รายงานการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย

นางสาวอังคณา อัตถาพร
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย จังหวัดหนองคาย
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก นายอุดมภูเบศวร์ สมบูรณ์เรศ ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ที่ส่งเสริม สนับสนุน ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ผู้รายงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ 1) รศ.ดร.สุรชัย สุขสกุลชัย ตำแหน่ง อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2) รศ.ดร.นิสัย เฟื่องเวโรจน์สกุล ตำแหน่ง รักษาการหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบซอฟต์แวร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 3) นายอนุรักษ์ ชนะกุล ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูเชี่ยวชาญ แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี 4) นายรัชวิทย์ เมธีโชติเศรษฐ์ ตำแหน่ง รองผู้อำนวยการเชี่ยวชาญ วิทยาลัยสารพัดช่างลำปาง และ 5) นายสมพร อ่อนเกตุพล ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูเชี่ยวชาญ แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคลำพูน ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ ปรับปรุง และแก้ไขเครื่องมือในการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ คณะครูในแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคายที่ช่วยเหลือแนะนำ ส่งเสริมให้กำลังใจ และนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ และเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานการวิจัยครั้งนี้ ผู้รายงานขอมอบเป็นเครื่องบูชาแด่พระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อังคณา อัตถาพร

ชื่อเรื่อง รายงานการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
ผู้รายงาน นางสาวอังคณา อัตถาพร
ตำแหน่งหน้าที่การงาน ครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ
หน่วยงาน วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

รายงานการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 นี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน 2) เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน 3) เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน 4) เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ 5) เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 6) เพื่อพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 7) เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 80/80 8) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 9) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนโดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ก่อนเรียนและหลังเรียน 10) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 11) เพื่อประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 การดำเนินการโดยใช้รูปแบบการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบบกลุ่มเดียว ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียน ปวช.1 กลุ่ม 1 จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาประกอบด้วย 1) ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 จำนวน 15 หน่วย 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 2 ฉบับ คือ 2.1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน จำนวน 60 ข้อ มีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.22 ถึง 0.78 และมีค่าอำนาจจำแนก (B)

ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.83 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.847 2.2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน จำนวน 60 ข้อ มีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.22 ถึง 0.93 และมีค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.21 ถึง 0.92 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.883 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 มีลักษณะเป็นชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ จำนวน 15 ชุด และ 5) แบบประเมินชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 มีความเหมาะสมเท่ากับ 1.00 แสดงว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับคุณลักษณะที่ต้องการวัดทุกข้อคำถาม การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าประสิทธิภาพ ค่าดัชนีประสิทธิผล และการทดสอบค่าที ผลการศึกษาพบว่า

1. ได้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดฝึก จำนวน 5 เครื่อง ดังนี้

1.1 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

1.2 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

1.3 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

1.4 ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

1.5 ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

1.6 เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

2. ประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 มีค่าเฉลี่ย E_1/E_2 เท่ากับ 84.33/85.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80

3. ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเท่ากับ 0.7614 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มจากก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.14

4. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 มีค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียน เท่ากับ 22.77 และค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 51.10 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 โดยภาพรวม พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46

6. ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.28

Report, design, build and develop teaching sets To develop learning achievement Electrical and electronic instruments, course code 2105-2004 Professional Certificate Program, BE 2556

Angkana Autthaporn

Abstract

The purpose of this research is 1) to design, create an analog multitasking training set with a protection system 2) In order to design, create a series of digital impulse digital tuners, select a range with a security system 3) to design, create training sets Digital multi-selector with automatic protection system 4) To design, create training sets for multitasking operations. And experimenting to expand the analog multimeter measurement range 5) to design, construct, train power gauge and impedance kits Electrical and electronic measuring instruments 6) To find out the efficiency of the instruction set Electrical instrumentation and Electronic Code 2105-2004 according to the standard criteria set 80/80 7) To compare achievement Student learning Vocational certificate level Studying from organizing learning activities by using the instructional package Electrical and electronic measuring instruments, course code 2105-2004 before and after study Sample groups used in research This time is the student's vocational certificate 1, group 1, number 20, semester 1, academic year 2017, tools for development Consists of 1) Teaching Tools for Electrical and Electronic Measuring Instruments, Course Code 2105-2004, 15 units. 2) Learning achievement test 3) Student satisfaction questionnaire on learning management By using the instruction set of electrical and electronic measuring instruments, course code 2105-2004, the results of the research were as follows: 1) the teaching kit Electrical and electronic measuring instruments Consisting of 5 training units 2) the efficiency of the teaching set Electrical and electronic measuring instruments, course code 2105–2004, with average E1 / E2 equal to 84.33 / 85.17 3) Students who have been learning by using teaching sets Electrical and electronic measuring instruments, course code 2105–2004 with an average score of 22.77, and an average of 51.10, which is different. With statistical significance at the level of .05

Keywords : design, creation and development of teaching sets, teaching sets, development

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง
สารบัญ..... จ
สารบัญตาราง..... ช
สารบัญภาพ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 4
สมมติฐานของการศึกษา..... 5
ขอบเขตของการศึกษา..... 6
ประโยชน์ของการศึกษา..... 7
นิยามศัพท์เฉพาะ..... 8
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม..... 11
นวัตกรรมการศึกษา..... 18
แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับชุดการสอน..... 21
การทดสอบประสิทธิภาพของชุดการสอน..... 37
การหาค่าดัชนีประสิทธิผล..... 42
ทฤษฎีแนวคิดเกี่ยวกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน..... 43
เอกสารประกอบการสอน..... 51
ความพึงพอใจ..... 59
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 63
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา..... 71
ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา..... 72
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง..... 74
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา..... 74
ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา..... 75
การออกแบบสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือ..... 81
รูปแบบการศึกษา..... 288
วิธีดำเนินการศึกษา..... 289
การวิเคราะห์ข้อมูล..... 290
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 290

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 295
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล..... 295
ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล..... 295
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 296
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 357
วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 357
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา..... 358
วิธีดำเนินการศึกษา..... 359
การวิเคราะห์ข้อมูล..... 359
สรุปผลการศึกษา..... 360
อภิปรายผล..... 379
ข้อเสนอแนะ..... 385
บรรณานุกรม..... 387
ภาคผนวก..... 395
ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญ และหนังสือขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจผลงานและตรวจสอบเครื่องมือ..... 396
ภาคผนวก ข ผลการหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556..... 421
ภาคผนวก ค คะแนนประจำหน่วยของวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556..... 429
ภาคผนวก ง ผลการประเมินชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556..... 445
ภาคผนวก จ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 491
ภาคผนวก ฉ คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวม..... 547
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 591
ภาคผนวก ซ การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ..... 593
ภาคผนวก ฌ รายชื่อนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง... 597
ประวัติผู้รายงาน..... 599

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1	การนำนวัตกรรมชุดการสอนที่ออกแบบสร้างมาใช้ร่วมกับใบงานที่พัฒนาขึ้นใหม่	79
3.2	การกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยวัดมัลติมิเตอร์ทุกชนิด	130
3.3	การกำหนดค่ากระแสไฟตรงอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด	130
3.4	การกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด	131
3.5	การกำหนดค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทุกแบบ	131
3.6	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 0.05 V	139
3.7	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 0.39 V	142
3.8	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 2.36 V	146
3.9	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 6.31 V	149
3.10	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 39.2 V	153
3.11	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 232.0 V	157
3.12	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 272.0 V	161
3.13	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 30.0 μA	169
3.14	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 1.76 mA	170
3.15	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 14.2 mA	174
3.16	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 184.0 mA	178
3.17	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 450.0 mA	182

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.18	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 1.80 V	188
3.19	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 5.40 V	194
3.20	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 31.0 V	201
3.21	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 235.0 V	207
3.22	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 252.0 V	214
3.23	ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด	219
3.24	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 200 μA ที่ค่า I_{ref} = 125 μA	220
3.25	ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด	223
3.26	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 2 mA ที่ค่า I_{ref} = 1.65 mA	224
3.27	ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด	227
3.28	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 200 mA ที่ค่า I_{ref} = 110.0 mA	227
3.29	ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด	231
3.30	เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 10 A ที่ค่า I_{ref} = 0.55 A	231
3.31	ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.174	268
3.32	ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.176	270
3.33	ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.177	271
4.1	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCV	289
4.2	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด ACV	297

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.3	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA	298
4.4	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω	299
4.5	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน	301
4.6	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCA ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้	301
4.7	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCV ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้	302
4.8	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด ACV ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้	303
4.9	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด Ω ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้	304
4.10	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV	305
4.11	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA	306
4.12	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย Ω	306
4.13	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCV	307
4.14	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC	308
4.15	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA	309
4.16	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~)	310
4.17	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω	311
4.18	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV	313
4.19	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย VAC	313
4.20	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA	314
4.21	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย AC (A~)	315
4.22	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VDC	315
4.23	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC	316
4.24	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA	317
4.25	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~)	318
4.26	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω	318

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.27	ผลการหาประสิทธิภาพ (E_1) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	321
4.28	ผลการหาประสิทธิภาพ (E_2) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	323
4.29	การเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	326
4.30	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	327
4.31	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	328
4.32	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	330
4.33	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง	332
4.34	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน	333
4.35	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล	335
4.36	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่	337
4.37	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง	338
4.38	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	340
4.39	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	342
4.40	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน	343
4.41	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า	345
4.42	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป	347

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.43 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ 349
4.44 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า 350
4.45 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยภาพรวม 353
4.46 ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ 354
5.1 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน 360
5.2 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน 364
5.3 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน 366
5.4 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 369
5.5 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงกระแสไฟตรง 369
5.6 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 370
5.7 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงกระแสไฟสลับ 370
5.8 ผลการทดสอบคุณภาพของโหลดชนิดต่าง ๆ จากมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน 374
5.9 ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าโดยประมาณของโหลดชนิดต่าง ๆ 376
ข.1 ผลการหาประสิทธิภาพ (E_1) แบบรายบุคคลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 422
ข.2 ผลการหาประสิทธิภาพ (E_2) แบบรายบุคคลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 423
ข.3 ผลการหาประสิทธิภาพ (E_1) แบบกลุ่มย่อยของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 424
ข.4 ผลการหาประสิทธิภาพ (E2) แบบกลุ่มย่อยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 425
ข.5 ผลการหาประสิทธิภาพ (E1) แบบภาคสนามของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 426
ข.6 ผลการหาประสิทธิภาพ (E2) แบบภาคสนามของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 428

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ค.1 คะแนนประจำหน่วยของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 430

ง.1 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก 446

ง.2 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 449

ง.3 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 452

ง.4 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง 455

ง.5 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน 458

ง.6 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล 461

ง.7 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่ 464

ง.8 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรง 467

ง.9 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 470

ง.10 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 473

ง.11 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดของมาตรวัดความต้านทาน 476

ง.12 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า 479

ง.13 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป 482

ง.14 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ 485

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ง.15 ผลการประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า 488

ฉ.1 แสดงค่าความสอดคล้องระหว่างข้อสอบแต่ละข้อกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (IOC) ของแบบทดสอบก่อนเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 548

ฉ.2 แสดงค่าความสอดคล้องระหว่างข้อสอบแต่ละข้อกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 551

ฉ.3 แสดงค่าความสอดคล้องความเหมาะสมของข้อความที่แสดงถึงความพึงพอใจและภาษาที่ใช้ (IOC) ของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 554

ฉ.4 แสดงค่าความสอดคล้องความเหมาะสมของข้อความที่แสดงถึงความคิดเห็นและภาษาที่ใช้ (IOC) ของแบบประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จากการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ 586

ฉ.5 แสดงค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (B) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 557

ฉ.6 แสดงค่าความยากง่าย (P) และ ค่าอำนาจจำแนก (B) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 589

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1	ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของพิชิต ฤทธิ์จรูญ	49
3.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	73
3.2	รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	82
3.3	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในพิสัยการวัดโอห์มมิเตอร์	84
3.4	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12V เพื่อใช้กับวงจรระบบป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	86
3.5	วงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	87
3.6	การต่อสายวัดของมัลติมิเตอร์แอนะลอก	90
3.7	หน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	91
3.8	โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก	91
3.9	การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	92
3.10	การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	92
3.11	โครงสร้างภายในของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	93
3.12	ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	94
3.13	ลักษณะภายนอกของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	95
3.14	โครงสร้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	97
3.15	รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย	98
3.16	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ใช้แทนแบตเตอรี่ 9 V	99
3.17	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 200 mA	100
3.18	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 200 mA ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย	101
3.19	วงจรปรับตั้งค่ากระแส 230mA AC	102
3.20	วงจรปรับตั้งค่ากระแส 430mA AC	103
3.21	วงจรปรับตั้งค่ากระแส 4 A AC	103
3.22	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดตัวเก็บประจุ	104
3.23	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดตัวเก็บประจุของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย	105
3.24	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสที่เกินพิสัย 10 A	105
3.25	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย	106
3.26	การต่อสายวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.27	หน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	107
3.28	โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก	108
3.29	การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	108
3.30	การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	109
3.31	โครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	110
3.32	ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	111
3.33	ลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	112
3.34	โครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	114
3.35	รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	115
3.36	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9V ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	116
3.37	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 400 mA	117
3.38	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 400 mA	118
3.39	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10A	119
3.40	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10 A	120
3.41	หน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	120
3.42	โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก	121
3.43	การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	121
3.44	การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	122
3.45	โครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	122
3.46	ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	123
3.47	ลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.48	ด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	125
3.49	โครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	127
3.50	แบบร่างหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ	128
3.51	หน้าปัดส่วนที่เป็นจุดวัดอ้างอิงของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ	129
3.52	แสดงชุดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายในชุดอ้างอิง	133
3.53	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 0.05 V	136
3.54	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะไม่มีโหลด	138
3.55	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะมีโหลด	138
3.56	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 0.39 V	140
3.57	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะไม่มีโหลด	141
3.58	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะมีโหลด	142
3.59	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 2.36 V	143
3.60	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะไม่มีโหลด	144
3.61	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะมีโหลด	145
3.62	แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $+5V_1$	146
3.63	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 6.31 V	147
3.64	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะไม่มีโหลด	148
3.65	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะมีโหลด	149
3.66	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 39.2 V	150
3.67	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะไม่มีโหลด	151
3.68	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะมีโหลด	152
3.69	ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +24 V และ +48 V	153
3.70	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 232.0 V	154
3.71	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด	156
3.72	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะมีโหลด	157
3.73	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 272.0 V	159
3.74	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด	160
3.75	วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะมีโหลด	161
3.76	ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +310 V	162
3.77	วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 30.0 μA	164

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.78 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref} = 30.0 μA 165
3.79 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} 166
3.80 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} 167
3.81 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 1.76 mA 168
3.82 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref} = 1.76 mA 169
3.83 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} 169
3.84 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} 170
3.85 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 14.2 mA 171
3.86 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref} = 14.2 mA 172
3.87 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} 173
3.88 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} 173
3.89 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 184 mA 174
3.90 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref} = 184.0 mA 176
3.91 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} 177
3.92 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} 178
3.93 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 450.0 mA 178
3.94 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 450.0 mA 180
3.95 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} 181
3.96 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} 181
3.97 ชุดวงจรแบ่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรง $+5V_2$ 182
3.98 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 1.80 VAC 183
3.99 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะไม่มีโหลด 184
3.100 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะไม่มีโหลด 185
3.101 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 2.368 V 186
3.102 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 1.2562 V 186
3.103 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะมีโหลด 187
3.104 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะมีโหลด 188
3.105 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 5.40 VAC 189
3.106 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะไม่มีโหลด 191
3.107 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะไม่มีโหลด 191

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.108 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 6.4929 V 192
3.109 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 4.2919 V 192
3.110 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะมีโหลด 193
3.111 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะมีโหลด 194
3.112 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $12V_{AC}$ 195
3.113 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 31.0 VAC 196
3.114 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 197
3.115 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 198
3.116 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 41.841 V 199
3.117 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 20.921 V 199
3.118 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะมีโหลด 200
3.119 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะมีโหลด 201
3.120 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 235.0 VAC 202
3.121 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 204
3.122 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 205
3.123 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 282.075 V 205
3.124 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 188.05 V 206
3.125 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะมีโหลด 206
3.126 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะมีโหลด 207
3.127 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 252.0 VAC 209
3.128 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 210
3.129 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด 211
3.130 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 292.888 V 211
3.131 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 213.729 V 212
3.132 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะมีโหลด 212
3.133 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะมีโหลด 213
3.134 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $239V_{AC}$ 215

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.135 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 113.6 μA 218
3.136 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=125 μA จาก I_{dc} = 113.6 μA ที่ออกแบบได้ 219
3.137 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 1.50 mA 222
3.138 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=1.65 mA จาก I_{dc} =1.50 mA ที่ออกแบบได้ 223
3.139 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 100.0 mA 226
3.140 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref} =110.0 mA จาก I_{dc}=100.0 mA ที่ออกแบบได้ 226
3.141 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 0.5 A 230
3.142 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref} = 0.55 A จาก I_{dc} = 0.50 A ที่ออกแบบได้ 230
3.143 วงจรสร้างแหล่งจ่ายกระแสไฟสลับ 233
3.144 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 50 μA 234
3.145 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 0-50 μA และรูปแบบการนำมอดูลไปใช้งาน 236
3.146 วงจรสมมูลจากวงจรรูปที่ 3.145 236
3.147 วงจรสมมูลมาตรวัดกระแสไฟตรง 0-50 μA 237
3.148 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 50 μA – 250 mA ที่ออกแบบได้ 238
3.149 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10 V 239
3.150 มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0.1 V, 0.5 V, 2.5 V, 10 V, 50 V, 250 V, 1000 V 241
3.151 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 243
3.152 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น 244
3.153 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับ 0 – 1000 V 245
3.154 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด 247
3.155 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด 249
3.156 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์ 251
3.157 วงจรมาตรวัดความต้านทาน พิสัยการวัด ×1 ถึง ×1k 253
3.158 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทานเมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้กึ่งกลางสเกล 253
3.159 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทาน เมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าต่ำสุดในทิศทวนเข็มนาฬิกา 254
3.160 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทานเมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าสูงสุดในทิศตามเข็มนาฬิกา 255
3.161 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่สมบูรณ์ 256
3.162 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัยวัด R×1 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล 256
3.163 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×10 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล 257
3.164 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×100 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล 258

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.165	วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×1k ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล	259
3.166	วงจรมาตรวัดความต้านทานพิสัย R×10k	260
3.167	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันให้กับชุดขยายพิสัยการวัดแอนะลอกพิสัยวัดความต้านทาน	261
3.168	วงจรและหน้าปัดของชุดขยายพิสัยการวัดแบบแอนะลอก	261
3.169	หน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	262
3.170	โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก	263
3.171	โครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	263
3.172	โครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	264
3.173	วงจรและหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	265
3.174	โครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	266
3.175	วงจรตัวต้านทานในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์	268
3.176	วงจรตัวเหนี่ยวนำในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์	269
3.177	วงจรตัวเก็บประจุในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์	271
3.178	การออกแบบหน้าปัดของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	274
3.179	จุดต่อมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน	275
3.180	จุดวัดและทดสอบอุปกรณ์ R-L-C	275
3.181	จุดต่อตัวต้านทานปรับค่าได้	276
3.182	มาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไป	276
3.183	จุดวัดและทดสอบ โหลด R L C	277
3.184	จุดวัดและทดสอบหลอดไฟชนิดต่าง ๆ	277
3.185	หน้าปัดของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	278
3.186	ขนาดแผงไฟฟ้าพลาสติกมาตรฐาน	279
3.187	แผงไฟฟ้าพลาสติกมาตรฐานประกบ 2 ชั้น	279
3.188	ตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	280

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.189	ลักษณะภายนอกของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	281
5.1	ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	363
5.2	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	366
5.3	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	368
5.4	ชุดฝึกใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์	373
5.5	ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	378

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงด้านเศรษฐกิจและสังคมของไประเทศไทยทำให้ตลาดแรงงานระดับพื้นฐานที่มีทักษะวิชาชีพ มีความต้องการกำลังคนเพิ่มสูงขึ้นเพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิต การเปลี่ยนแปลงและความต้องการดังกล่าวย่อมมีผลกระทบต่อสภาพของตลาดแรงานซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการจัดอาชีวศึกษาของประเทศไทย (วีระศักดิ์ วงษ์สมบัติ,2546) ได้กล่าวไว้ว่าในการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วเปลี่ยนแปลงไปสู่ความเป็นเทคโนโลยีมากขึ้น ทั้งด้านอุตสาหกรรมและการบริหารทำให้ตลาดแรงงานมีความต้องการแรงงานระดับพื้นฐานที่มีลักษณะวิชาชีพในอัตราที่สูงขึ้น เพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิตสามารถแข่งขันกับตลาดต่างประเทศได้ การเปลี่ยนแปลงและความต้องการดังกล่าวมีผลกระทบต่อตลาดแรงงาน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกาจัดการอาชีวศึกษาของประเทศ สภาพวิฤกติแรงงานไทยในปัจจุบัน พบว่า ในสถานประกอบการมีแรงงานที่ขาดคุณภาพ ขาดมาตรฐานสากล ไม่ตรงตามสาขางานที่สถานประกอบการต้องการ แรงงานที่ได้มาจำเป็นต้องนำมาฝึกอบรมให้ความรู้เพิ่มเติมก่อนจะลงมือปฏิบัติจริง ครูผู้สอนจึงต้องจัดการศึกษาโดยยึดพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2552 (เกษม วัฒนชัย,2545) ซึ่งระบุไว้ว่า การศึกษาเป็นกระบวนการเรียนรู้เพื่อความเจริญงอกงามของบุคคลและสังคมโดยการถ่ายทอดความรู้ การฝึกอบรม การสืบสานทางวัฒนธรรม การสร้างสรรค์ จรรโลง ความก้าวหน้าทางวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ อันเกิดจากสภาพแวดล้อมสังคม การเรียนรู้ และปัจจัยเกื้อหนุนให้บุคคลเกิดการเรียนรู้ต่อเนื่องตลอดชีวิต แนวทางในการจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ จะต้องมีการจัดเนื้อหาสาระสอดคล้องกับความสนใจของผู้เรียนและจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น ทำเป็น รักการอ่าน เกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง

จากกระแสการเปลี่ยนแปลงทางสังคม เศรษฐกิจ และการเมือง มีผลผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิดในการจัดการเมืองที่เรียกว่า ปฏิรูปการเมืองการปกครอง ซึ่งมีผลมาถึงแนวคิดในการปฏิรูปการศึกษาด้วยทั้งนี้เพราะการศึกษาเป็นกลไกสำคัญที่สามารถพัฒนาคุณภาพของบุคคลเพื่อให้บุคคลเหล่านั้นกลับมาพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ และการเมืองของประเทศให้อยู่รอดและทุกคนมีความสุขสาระสำคัญของการปฏิรูปการศึกษาแสดงออกเป็นตัวกำหนดการปฏิบัติในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ซึ่งระบุไว้ชัดเจนให้มีการจัดการเรียนการสอนโดยยึดผู้เรียนเป็นสำคัญเพราะถือว่าเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ที่แท้ จริงและยั่งยืน (สมภพ สุวรรณรัฐ, มปป. : 1)

การจัดการเรียนการสอนของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จัดเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555-2559 โดยสนับสนุนให้การเรียนอาชีวศึกษามีมาตรฐานด้านวิชาชีพ เรียนรู้จนเกิดทักษะสามารถนำไปประกอบอาชีพได้ ดังนั้น การเรียนการสอนวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์จึงมีความสำคัญในระดับต้น ๆ ซึ่งวิชาที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก คือ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 จากคำอธิบายรายวิชา ระบุให้มีการเรียนการสอนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติงานควบคู่กันไป เพื่อพิสูจน์หลักการทางทฤษฎีว่าเป็นจริงตามที่เรียนหรือไม่ แต่ในการเรียนการสอนทางด้านปฏิบัติจะมีปัญหาค่อนข้างมาก เนื่องจากไม่มีชุดฝึกทักษะ ซึ่งในแต่ละครั้งจะอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ มาต่อในแผงวงจรเอนกประสงค์ โดยเฉพาะเรื่องการฝึกใช้งานมัลติมิเตอร์ ทั้งชนิดแอนะลอกและชนิดดิจิตอล ไม่มีแหล่งจ่ายแรงดัน และกระแสอ้างอิงที่สอดคล้องกับพิสัยวัดของมัลติมิเตอร์แต่ละชนิด จึงทำให้ผู้เรียนไม่มีทักษะในการใช้งานมัลติมิเตอร์ อีกทั้งมัลติมิเตอร์ที่นำมาใช้ในการฝึกทักษะยังไม่มีระบบป้องกันตัวเองที่ดีพอ จึงทำให้เกิดการชำรุดเสียหายแก่ตัวมัลติมิเตอร์อยู่บ่อยครั้ง ซึ่งต้องเสียค่าฟิวส์และเวลาในการแก้ปัญหาขณะปฏิบัติงานซึ่งประมาณค่าไม่ได้ โดยมีคำกล่าวถึงมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกในแวดวงครูอาชีวะที่สอนการใช้งานมิเตอร์ว่า มิเตอร์ 1 เดือน หรือมิเตอร์ 1 เทอม หมายความว่าถ้าดูแลดีจะใช้ได้ประมาณ 1 เทอม ถ้าดูแลไม่ดีจะใช้ได้ 1 เดือน หรือเมื่อปล่อยให้ผู้เรียนใช้ทดลองแบบอิสระอาจจะใช้ได้เพียง 1 สัปดาห์ ปัญหานี้เป็นที่มาของการสร้างระบบป้องกันให้กับแอนะลอกมัลติมิเตอร์เพื่อป้องกันการชำรุด ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการฝึกใช้มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลซึ่งถูกผลิตมาโดยให้ระบบป้องกันได้ดีกว่า ผู้เรียนส่วนมากจึงคุ้นกับการใช้มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลมากกว่าชนิดแอนะลอก ปัญหาอีกประการหนึ่งที่สำคัญ คือ การฝึกวัดค่าความต้านทานพิสัยวัด ×1 ซึ่งกินกระแสสูงสุดประมาณ 150 mA ซึ่งเมื่อต้องการวัดจำเป็นต้องมีการปรับให้เข็มชี้ศูนย์โอห์มจะกินกระแส 150 mA ทุกครั้งในขณะนั้น ถึงแม้จะกำชับผู้เรียนไม่ให้ปรับเข็มชี้ศูนย์นานกลับเหมือนการกระตุ้นว่าลองแตะใช้เข็มชี้ศูนย์นาน ๆ จะเกิดผลอย่างไร ภายในเวลาเรียน 3-4 ชั่วโมง ปรากฏว่าแบตเตอรี่ 1.5 V อ่อน ไม่สามารถปรับให้เข็มชี้ศูนย์โอห์มได้ การฝึกทดลองวัดค่าตัวต้านทานค่าต่ำ ๆ จะวัดค่าได้ไม่ถูกต้อง ทำให้การเรียนรู้สะดุดเหมือนถูกขัดจังหวะและน่าเบื่อ ทำให้เกิดการทดลองที่ผิดพลาดไม่เป็นไปตามหลักการ ดังนั้น ผู้เรียนส่วนมากจะไม่เกิดทักษะในการใช้มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกในระดับดี และสถานศึกษาไม่สามารถจัดสรรงบประมาณจัดซื้อให้เพียงพอกับการฝึกของผู้เรียน อาจจัดหามาได้ 1-2 เครื่อง ที่มาพร้อมกับฟิวส์และแบตเตอรี่ต่อภาคเรียน หรือผู้สอนบางคนที่รับผิดชอบในการสอนอาจซื้อมาเก็บไว้ใช้เองและควบคุมการสอนอย่างใกล้ชิด เพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสฝึกบ้างเล็กน้อย ดังนั้น มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกในอุดมคติ จึงหมายถึง ไม่ใช้แบตเตอรี่ภายในตัวเครื่อง มีระบบป้องกันการวัดเกินพิสัยวัดและผิดพิสัยวัดในทุกกรณี ซึ่งมัลติมิเตอร์ลักษณะนี้ไม่มีผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายในที่ใดด้วยเหตุผลทางการค้า และในส่วนการออกแบบการขยายพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกไม่มีความสอดคล้องกับมัลติมิเตอร์ที่ใช้งานจริงในปัจจุบัน ทำให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนค่อนข้างต่ำ

จากปัญหาที่เกิดข้างต้น ทำให้ผู้รายงานได้ทำการศึกษาวิจัยรายงานการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการจัดการเรียนการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและ

ความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 2) เพื่อศึกษาระดับปัญหาและความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 และ 3) เพื่อศึกษาระดับความต้องการชุดฝึกและเอกสารประกอบ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ผลการศึกษาพบว่า ความคิดเห็นของครูที่มีต่อสภาพปัญหาและความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 3.38 (S.D. = 0.58) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ข้อ 10) ท่านมีความต้องการเอกสารประกอบการสอนที่ครบถ้วนสมบูรณ์ สำหรับสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ระดับใด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 4.55 (S.D. = 0.73) รองลงมา ได้แก่ ข้อ 9) ท่านมีความต้องการชุดฝึกวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ที่สมบูรณ์ ระดับใด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 4.53 (S.D. = 0.78) และข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่ ข้อ 5) ท่านมีชุดฝึกการขยายย่านการวัดมากน้อยเพียงใด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 2.74 (S.D. = 0.94) ข้อเสนอแนะโดยผู้ตอบแบบสอบความคิดเห็นของครูที่มีต่อสภาพปัญหาและความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 สำหรับข้อที่มีความถี่มากที่สุด ได้แก่ต้องการชุดฝึกวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ อย่างมาก (F=18) รองลงมา คือ 1) ไม่มีชุดฝึกวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ที่เป็นมาตรฐาน 2) ขาดครุภัณฑ์เกี่ยวกับวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ (F=13) และ ต้องการชุดฝึกวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ที่สมบูรณ์ที่สุดและต้องการเอกสารประกอบการสอนที่ครบถ้วน เพื่อใช้สำหรับสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ระดับ ปวช. (F=12) 1) ไม่มีชุดฝึกปฏิบัติ ส่วนใหญ่จะต้องสร้างขึ้นมาเอง ซึ่งอาจจะไม่ครบถ้วนตามรายวิชา 2) ขาดงบประมาณในการจัดซื้อ เนื่องจากเครื่องมือวัดบางตัวมีราคาแพง 3) เครื่องมือวัดมีจำนวนไม่เพียงพอกับจำนวนนักศึกษาทำให้นักศึกษาบางส่วนไม่สนใจ ขาดทักษะในการใช้งาน (F=11) ควรมีชุดฝึกที่สามารถนำมาใช้กับมัลติมิเตอร์ได้ทุกย่านวัด (F=9) ชุดฝึกการสอนยังไม่สมบูรณ์ ทำให้การฝึกปฏิบัติยังขาดประสิทธิภาพ ผู้เรียนได้รับความรู้ไม่ครบถ้าขาดการฝึกปฏิบัติที่มีมาตรฐานที่ดี และครุภัณฑ์วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีจำนวนน้อยและไม่ครบ (F=8) การเรียนการสอนรายวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้า ขาดเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ และในการใช้เครื่องมือวัดไฟฟ้ากรณีตัวย่านวัดผิด ควรมีวงจรป้องกันไม่ให้มัลติมิเตอร์พัง และเกิดความเสียหาย และการขยายย่านวัดควรมีคู่มือหรือแบบฝึกปฏิบัติ ในการคำนวณและสร้างเครื่องมือวัดในการใช้งาน เช่น DCV และให้นักศึกษาได้ทดลองบ้าง (F=7) ตามลำดับ

ซึ่งสภาพปัญหาดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่าปัญหาในการจัดการเรียนการสอนควรได้รับการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้การเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สัมฤทธิ์ผลตามจุดประสงค์ของการเรียนการสอน จากการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน สำหรับวิชาที่เกี่ยวข้องกับมัลติมิเตอร์ทั้งหมดมารวมในชุดที่มีรูปแบบการฝึกใช้งานและออกแบบการขยายพิสัยวัดอย่างครบถ้วน โดยจะแบ่งเป็นชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

อัตโนมัติ และมัลติมิเตอร์ทุกชนิดจำเป็นต้องมีจุดวัดอ้างอิงเพื่อฝึกทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ พิสัยวัดความต้านทาน, ค่าแรงดัน, ค่ากระแส ทั้งค่ากระแสไฟตรง และค่ากระแสไฟสลับ เพื่อให้ครอบคลุมทุกพิสัยวัดของมัลติมิเตอร์ทั้ง 3 แบบ เป็นต้น จึงต้องสร้างชุดฝึกในประเด็นดังกล่าวพร้อมกับให้สามารถทดลองขยายพิสัยวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ เพื่อให้ผลที่เกิดขึ้นทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้การใช้งานมัลติมิเตอร์ได้ทุกชนิดอย่างรวดเร็ว เข้าใจวิธีการขยายพิสัยวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก โดยใช้เวลาในการเรียนให้เป็นไปตามที่กำหนดในหน่วยการเรียน อีกหัวข้อที่ผู้เรียนมักถูกประเมินเฉพาะด้านพุทธิพิสัย ไม่ได้มีโอกาสฝึกทักษะหรือทดลองปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและการวัดและทดสอบอิมพีแดนซ์ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีชุดฝึกที่สมบูรณ์ ผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาในหัวข้อนี้ จึงมีความจำเป็นต้องสร้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้า สำหรับการฝึกปฏิบัติได้จริงและถูกต้องครบถ้วน

ด้วยหลักการและเหตุผลดังกล่าว ผู้รายงานจึงมีความตั้งใจที่จะออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ให้เป็นเครื่องมือในการสอนที่มีประสิทธิภาพ เป็นสื่อการเรียนการสอนที่สมบูรณ์ โดยผู้เรียนสามารถเรียนรู้และตรวจสอบความผิดพลาดจากผลการทดลองได้ด้วยตนเองและลดภาระการสอนของผู้สอนได้ ทั้งนี้เพื่อเป้าหมายในการพัฒนาผู้เรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น มีทัศนะคติที่ดีต่อการเรียนในวิชาชีพ ช่างอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นกำลังในการพัฒนาประเทศในโอกาสต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ผู้รายงานได้ออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยมีวัตถุประสงค์ ของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน
2. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน
3. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน
4. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์
5. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
6. เพื่อพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
7. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 80/80

8. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

9. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนโดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ก่อนเรียนและหลังเรียน

10. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

11. เพื่อประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

สมมติฐานของการศึกษา

1. มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก มีระบบป้องกันฟิวส์ขาด ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัย ระบบป้องกันการตั้งมิเตอร์ผิดพิสัยการวัดและระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่สามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยงตรงในการวัดค่า

2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย มีระบบป้องกันฟิวส์ขาด ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัย ระบบป้องกันการตั้งมิเตอร์ผิดพิสัยการวัดและระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่ สามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยงตรงในการวัดค่า

3. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ มีระบบป้องกันฟิวส์ขาด ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัย ระบบป้องกันการตั้งมิเตอร์ผิดพิสัยการวัดและระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่ สามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยงตรงในการวัดค่า

4. ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ สามารถนำมาใช้เป็นจุดวัดอ้างอิงของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด ฝึกได้ครบทุกพิสัยวัด และมีความเที่ยงตรงในการวัดค่า

5. ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้ฝึกทักษะวัดค่ากำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ได้ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงในการวัดค่า

6. เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ 80/80

7. นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนโดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

8. ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 อยู่ในระดับมาก

9. ครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 มีความพึงพอใจต่อเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 อยู่ในระดับมาก

ขอบเขตของการศึกษา

1. ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ระดับ ปวช.1 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 41 คน

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ระดับ ปวช.1 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่าย โดยวิธีการจับสลาก จำนวน 20 คน

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ เวลาที่ปฏิบัติการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 72 ชั่วโมง

4. ตัวแปรที่ศึกษา

4.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ วิธีการเรียนทดลองด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน เมื่อเรียนด้วยชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

5.2 ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

5.3 ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

5.4 ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

5.5 ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

5.6 เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 หน่วย ประกอบด้วย

หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก
หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง
หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน
หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล

หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่
หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง
หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน
หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า
หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป
หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ
หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า

5.7 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 2 ชุด แบบคู่ขนาน ชุดละจำนวน 60 ข้อ

5.8 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 ชุด

5.9 แบบประเมินคุณภาพชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบ่งเป็น 5 ด้าน รวมจำนวน 21 ข้อ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน สำหรับฝึกทักษะการใช้งานวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004
2. ได้ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน สำหรับฝึกทักษะการใช้งานในวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004
3. ได้ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน สำหรับฝึกทักษะการใช้งานในวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004
4. ได้ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์
5. ได้ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
6. ได้เอกสารประกอบชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ที่ถูกต้องสมบูรณ์
7. ได้ชุดการสอนราคาถูกและมีคุณภาพดี
8. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือลดการซื้อมัลติมิเตอร์มาทดแทนเมื่อชำรุด
9. ช่วยทำให้การฝึกปฏิบัติเป็นไปตามที่กำหนดในแผนการสอนหรือใช้เวลาน้อยกว่าที่กำหนด

10. ช่วยพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นสื่อการสอนในการพัฒนาผู้เรียน

11. เป็นแนวทางการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนในรายวิชาอื่นๆ ต่อไป

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดการสอน หมายถึง ชุดฝึกทักษะ จำนวน 5 เครื่อง เอกสารประกอบการสอน 4 เล่ม รวมทั้งหมด 9 รายการ มีรายละเอียด ดังนี้

1) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

2) ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

3) ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

4) ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

5) ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

6) เอกสารประกอบการเรียนภาคทฤษฎี วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

7) เอกสารประกอบการเรียนภาคปฏิบัติ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

8) คู่มือครู ภาคทฤษฎี วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

9) คู่มือครู ภาคปฏิบัติ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

2. ประสิทธิภาพของชุดการสอน หมายถึง ผลการเรียนของผู้เรียนที่เรียนทดลองด้วยชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ร่วมกับใบงาน ผ่านเกณฑ์ 80/80 ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

80 ตัวแรก หมายถึง ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากกระบวนการเรียนการจัดกิจกรรมต่าง ๆ ระหว่างเรียนรู้ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ซึ่งได้มาจากการทำแบบฝึกหัด ใบงานและแบบทดสอบหลังเรียนประจำเอกสารประกอบการสอน รวมคะแนนทั้งสิ้น 589 คะแนน จำแนกได้ดังนี้

หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก จำนวน 35 คะแนน

หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 30 คะแนน

หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จำนวน 30 คะแนน

หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง จำนวน 25 คะแนน

หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน จำนวน 26 คะแนน

หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล จำนวน 63 คะแนน

หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่ จำนวน 32 คะแนน

หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง จำนวน 37 คะแนน

หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 33 คะแนน
หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจำนวน 32 คะแนน
หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน จำนวน 30 คะแนน
หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า จำนวน 50 คะแนน
หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป จำนวน 41 คะแนน
หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ จำนวน 40 คะแนน
หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า จำนวน 82 คะแนน

80 ตัวหลัง หมายถึง ร้อยละของคะแนนที่วัดจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 คะแนนรวม 60 คะแนน

3. ดัชนีประสิทธิผล (The Effectiveness Index : E.I.) หมายถึง ค่าแสดงความก้าวหน้าของนักเรียนหลังเรียนที่เรียนรู้โดยใช้เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

4. เอกสารประกอบการเรียนภาคทฤษฎี หมายถึง เอกสารที่ผู้รายงานพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เรียนในชั่วโมงทฤษฎี ประกอบด้วยเนื้อหา 15 หน่วย พร้อมแบบทดสอบก่อนเรียน แบบฝึกหัด ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำแนกดังนี้

หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล จำนวน 8 ชั่วโมง
หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่ จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรง จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า จำนวน 8 ชั่วโมง
หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ จำนวน 4 ชั่วโมง
หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า จำนวน 8 ชั่วโมง

5. เอกสารประกอบการเรียนภาคปฏิบัติ หมายถึง เอกสารที่ผู้รายงานพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เรียนในชั่วโมงปฏิบัติ ทั้งหมด ใบงาน 18 ใบงาน

6. คู่มือครู ภาคทฤษฎี วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หมายถึง เอกสารที่ผู้รายงานพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นคู่มือครูผู้สอนภาคทฤษฎี วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ประกอบด้วย แบบทดสอบก่อนเรียน เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน เฉลยแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

7. คู่มือครูภาคปฏิบัติ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หมายถึง เอกสารที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นคู่มือครูผู้สอนภาคปฏิบัติ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ประกอบด้วย เฉลยใบงาน 18 ใบงาน

8. นักเรียน หมายถึง นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560

9. ความพึงพอใจ หมายถึง ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

10. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง เครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์หลังจากการเรียนโดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ที่ผู้รายงานสร้างขึ้นเป็นแบบทดสอบชนิดเลือกตอบแบบ 4 ตัวเลือก จำนวน 60 ข้อ

บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายงานการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ผู้รายงานได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยนำเสนอตามหัวข้อดังนี้

1. หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
2. นวัตกรรมการศึกษา
3. สื่อการสอน
4. แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับชุดการสอน
5. การทดสอบประสิทธิภาพของชุดการสอน
6. การหาค่าดัชนีประสิทธิผล
7. ทฤษฎีแนวคิดเกี่ยวกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
8. เอกสารประกอบการสอน
9. ความพึงพอใจ
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

หลักการของหลักสูตร

1. เป็นหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพหลังมัธยมศึกษาตอนต้นหรือเทียบเท่าด้านวิชาชีพที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ แผนการศึกษาแห่งชาติ และประชาคมอาเซียนเพื่อผลิตและพัฒนากำลังคนระดับฝีมือให้มีสมรรถนะ มีคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพสามารถประกอบอาชีพได้ตรงตามความต้องการของสถานประกอบการและการประกอบอาชีพอิสระ

2. เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้เลือกเรียนได้อย่างกว้างขวาง เน้นสมรรถนะเฉพาะด้านด้วยการปฏิบัติจริงสามารถเลือกวิธีการเรียนตามศักยภาพและโอกาสของผู้เรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถเทียบโอนผลการเรียน สะสมผลการเรียน เทียบความรู้และประสบการณ์จากแหล่งวิทยาการ สถานประกอบการและสถานประกอบอาชีพอิสระ

3. เป็นหลักสูตรที่สนับสนุนการประสานความร่วมมือในการจัดการศึกษาร่วมกันระหว่างหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐและเอกชน

4. เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้สถานศึกษา สถานประกอบการ ชุมชนและท้องถิ่น มีส่วนร่วมในการพัฒนาหลักสูตรให้ตรงตามความต้องการและสอดคล้องกับสภาพยุทธศาสตร์ของภูมิภาค เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ

จุดหมายของหลักสูตร

1. เพื่อให้มีความรู้ ทักษะและประสบการณ์ในงานอาชีพสอดคล้องกับมาตรฐานวิชาชีพ สามารถนำความรู้ ทักษะและประสบการณ์ในงานอาชีพไปปฏิบัติงานอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เลือกวิถีการดำรงชีวิต การประกอบอาชีพได้อย่างเหมาะสมกับตน สร้างสรรค์ความเจริญต่อชุมชน ท้องถิ่นและประเทศชาติ

2. เพื่อให้เป็นผู้มีปัญญา มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่เรียนรู้ เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและการประกอบอาชีพ สามารถสร้างอาชีพ มีทักษะในการจัดการและพัฒนาอาชีพให้ก้าวหน้าอยู่เสมอ

3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่ออาชีพ มีความมั่นใจและภาคภูมิใจในวิชาชีพที่เรียน รักงาน รักหน่วยงานสามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี โดยมีความเคารพในสิทธิและหน้าที่ของตนเองและผู้อื่น

4. เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงาม ทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน การต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว หน่วยงาน ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น มีจิตสำนึกด้านปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง รู้จักใช้และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี

5. เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรม วินัยในตนเอง มีสุขภาพอนามัยที่สมบูรณ์ทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับงานอาชีพ

6. เพื่อให้ตระหนักและมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ สังคม การเมืองของประเทศและโลกมีความรักชาติ สำนึกในความเป็นไทย เสียสละเพื่อส่วนรวม ดำรงรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์ และการปกครองระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

หลักเกณฑ์การใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

1. การเรียนการสอน

1.1 การเรียนการสอนตามหลักสูตรนี้ ผู้เรียนสามารถลงทะเบียนเรียนได้ทุกวิธีเรียนที่กำหนด และนำผลการเรียนแต่ละวิธีมาประเมินผลร่วมกันได้ สามารถเทียบโอนผลการเรียน และขอเทียบความรู้และประสบการณ์ได้

1.2 การจัดการเรียนการสอนเน้นการปฏิบัติจริง สามารถจัดการเรียนการสอนได้หลากหลายรูปแบบ เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจในวิธีการและการดำเนินงาน มีทักษะการปฏิบัติงานในขอบเขตสำคัญและบริบทต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กันซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานประจำ สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะไปสู่บริบทใหม่ สามารถให้คำแนะนำ แก้ปัญหาเฉพาะด้านและรับผิดชอบต่อตนเองและผู้อื่น มีส่วนร่วมในคณะทำงานหรือมีการประสานงานกลุ่ม รวมทั้งมีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ เจตคติและกิจนิสัยที่เหมาะสมในการทำงาน

2. การจัดการศึกษาและเวลาเรียน

การจัดการศึกษาในระบบปกติ ใช้ระยะเวลา 3 ปีการศึกษา การจัดเวลาเรียนให้ดำเนินการดังนี้

2.1 ในปีการศึกษาหนึ่ง ๆ ให้แบ่งภาคเรียนออกเป็น 2 ภาคเรียนปกติหรือระบบทวิภาคี ภาคเรียนละ 18 สัปดาห์ โดยมีเวลาเรียนและจำนวนหน่วยกิตตามที่กำหนด และสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันอาจเปิดสอนภาคเรียนฤดูร้อนได้อีกตามที่เห็นสมควร

2.2 การเรียนในระบบชั้นเรียน ให้สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันเปิดทำการสอนไม่น้อยกว่าสัปดาห์ละ 5 วัน ๆ ละไม่เกิน 7 ชั่วโมง โดยกำหนดให้จัดการเรียนการสอนคาบละ 60 นาที

3. หน่วยกิต

ให้มีจำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 103 หน่วยกิต การคิดหน่วยกิตถือเกณฑ์ดังนี้

3.1 รายวิชาทฤษฎีที่ใช้เวลาบรรยายหรืออภิปราย ไม่น้อยกว่า 18 ชั่วโมง เท่ากับ 1 หน่วยกิต

3.2 รายวิชาปฏิบัติที่ใช้เวลาในการทดลองหรือฝึกปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ ไม่น้อยกว่า 36 ชั่วโมงเท่ากับ 1 หน่วยกิต

3.3 รายวิชาปฏิบัติที่ใช้เวลาในการฝึกปฏิบัติในโรงฝึกงานหรือภาคสนาม ไม่น้อยกว่า 54 ชั่วโมงเท่ากับ 1 หน่วยกิต

3.5 รายวิชาที่ใช้ในการศึกษาระบบทวิภาคี ไม่น้อยกว่า 54 ชั่วโมง เท่ากับ 1 หน่วยกิต

3.5 การฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพในสถานประกอบการหรือแหล่งวิทยาการ ไม่น้อยกว่า 320 ชั่วโมง เท่ากับ 4 หน่วยกิต

3.6 การทำโครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพ ไม่น้อยกว่า 54 ชั่วโมง เท่ากับ 1 หน่วยกิต

4. โครงสร้าง

โครงสร้างของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบ่งเป็น 3 หมวดวิชาและกิจกรรมเสริมหลักสูตร ดังนี้

4.1 หมวดวิชาทักษะชีวิต

- 4.1.1 กลุ่มวิชาภาษาไทย
- 4.1.2 กลุ่มวิชาภาษาต่างประเทศ
- 4.1.3 กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์
- 4.1.4 กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์
- 4.1.5 กลุ่มวิชาสังคมศึกษา
- 4.1.6 กลุ่มวิชาสุขศึกษาและพลศึกษา

4.2 หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ

- 4.2.1 กลุ่มทักษะวิชาชีพพื้นฐาน
- 4.2.2 กลุ่มทักษะวิชาชีพเฉพาะ
- 4.2.3 กลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก
- 4.2.4 ฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพ
- 4.2.5 โครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพ

4.3 หมวดวิชาเลือกเสรี

4.4 กิจกรรมเสริมหลักสูตร

จำนวนหน่วยกิตของแต่ละหมวดวิชาตลอดหลักสูตร ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในโครงสร้างของแต่ละประเภทวิชาและสาขาวิชา รายวิชาแต่ละหมวดวิชา สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันสามารถจัดตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร และหรือพัฒนาได้ตามความเหมาะสมของภูมิภาคตาม

ยุทธศาสตร์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ทั้งนี้ สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันต้องกำหนดรหัสวิชาจำนวนหน่วยกิตและจำนวนชั่วโมงเรียนตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

5. การฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพ

เป็นการจัดกระบวนการเรียนรู้โดยความร่วมมือระหว่างสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันกับภาคการผลิตและหรือภาคบริการ หลังจากที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ภาคทฤษฎีและการฝึกหัดหรือฝึกปฏิบัติเบื้องต้นในสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันแล้วระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ได้สัมผัสกับการปฏิบัติงานอาชีพ เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ทันสมัย และบรรยากาศการทำงานร่วมกัน ส่งเสริมการฝึกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนทำได้ คิดเป็น ทำเป็นและเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง ตลอดจนเกิดความมั่นใจและเจตคติที่ดีในการทำงานและการประกอบอาชีพอิสระ โดยการจัดฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพต้องดำเนินการ ดังนี้

5.1 สถานศึกษาอาชีวศึกษา หรือสถาบันต้องจัดให้มีการฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพ ในรูปของการฝึกงานในสถานประกอบการ แหล่งวิทยาการ รัฐวิสาหกิจหรือหน่วยงานของรัฐ โดยใช้เวลารวมไม่น้อยกว่า 320 ชั่วโมง กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4 หน่วยกิต กรณีสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันต้องการเพิ่มพูนประสบการณ์ทักษะวิชาชีพ สามารถนำรายวิชาในหมวดวิชาทักษะวิชาชีพที่ตรงหรือสัมพันธ์กับลักษณะงานไปเรียนหรือฝึกในสถานประกอบการ รัฐวิสาหกิจหรือหน่วยงานของรัฐได้โดยใช้เวลารวมกับการฝึกประสบการณ์ทักษะวิชาชีพ ไม่น้อยกว่า 1 ภาคเรียน

5.2 การตัดสินผลการเรียนและให้ระดับผลการเรียน ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับรายวิชาอื่น

6. โครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพ

เป็นรายวิชาที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้า บูรณาการความรู้ ทักษะและประสบการณ์จากสิ่งที่ได้เรียนรู้ ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองตามความถนัดและความสนใจ ตั้งแต่การเลือกหัวข้อหรือเรื่องที่จะศึกษาค้นคว้า การวางแผน การกำหนดขั้นตอนการดำเนินการ การดำเนินงาน การประเมินผลและการจัดทำรายงาน ซึ่งอาจทำเป็นรายบุคคลหรือกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงการนั้น ๆ โดยการจัดทำโครงการดังกล่าว ต้องดำเนินการดังนี้

6.1 สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันต้องจัดให้ผู้เรียนจัดทำโครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพที่สัมพันธ์หรือสอดคล้องกับสาขาวิชา ในภาคเรียนที่ 5 และหรือภาคเรียนที่ 6 รวมจำนวน 4 หน่วยกิต ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 216 ชั่วโมง ทั้งนี้ สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันต้องจัดให้มีชั่วโมงเรียน 4 ชั่วโมง ต่อสัปดาห์ กรณีที่ใช้รายวิชาเดียว

หากจัดให้มีโครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพ 2 รายวิชา คือ โครงการ 1 และโครงการ 2 ให้สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันจัดให้มีชั่วโมงเรียนต่อสัปดาห์ ที่เทียบเคียงกับเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น

6.2 การตัดสินผลการเรียนและให้ระดับผลการเรียน ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับรายวิชาอื่น

7. การศึกษาระบบทวิภาคี

เป็นรูปแบบการจัดการศึกษาที่เกิดจากข้อตกลงร่วมกันระหว่างสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันกับสถานประกอบการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ โดยผู้เรียนใช้เวลาส่วนหนึ่งในสถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบัน และเรียนภาคปฏิบัติในสถานประกอบการ รัฐวิสาหกิจ หรือ

หน่วยงานของรัฐเพื่อให้การจัดการศึกษาระบบทวิภาคีสามารถเพิ่มขีดความสามารถด้านการผลิตและพัฒนากำลังคนตามจุดหมายของหลักสูตร การจัดการศึกษาระบบทวิภาคี โดยนำรายวิชาทวิภาคีในกลุ่มทักษะวิชาชีพเลือกไปกำหนดรายละเอียดของรายวิชาและเวลาที่ใช้ฝึก จัดทำแผนฝึกอาชีพการวัดและการประเมินผลในแต่ละรายวิชาให้สอดคล้องกับลักษณะงานของสถานประกอบการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ทั้งนี้ อาจนำรายวิชาชีพอื่นในหมวดวิชาทักษะวิชาชีพไปจัดร่วมด้วยก็ได้

8. การเข้าเรียน

ผู้เข้าเรียนต้องสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 หรือเทียบเท่า และมีคุณสมบัติเป็นไปตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการ ว่าด้วยการจัดการศึกษาและการประเมินผลการเรียนตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2556

9. การประเมินผลการเรียน

เน้นการประเมินสภาพจริง ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการ ว่าด้วยการจัดการศึกษาและการประเมินผลการเรียนตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2556

10. กิจกรรมเสริมหลักสูตร

10.1 สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันต้องจัดให้มีกิจกรรมเสริมหลักสูตรไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ทุกภาคเรียน เพื่อพัฒนาวิชาการและวิชาชีพ ปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม ระเบียบวินัย การต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด ส่งเสริมการคิด วิเคราะห์ สร้างสรรค์การทำงาน ปลูกฝังจิตสำนึกและเสริมสร้างการเป็นพลเมืองไทยและพลโลก ใช้กระบวนการกลุ่มในการทำประโยชน์ต่อชุมชนและท้องถิ่น รวมทั้งการทะนุบำรุงขนบธรรมเนียมประเพณีอันดีงาม โดยการวางแผน ลงมือปฏิบัติ ประเมินผลและปรับปรุงการทำงาน ทั้งนี้สำหรับนักเรียนอาชีวศึกษาระบบทวิภาคี ให้เข้าร่วมกิจกรรมที่สถานประกอบการจัดขึ้น

10.2 การประเมินผลกิจกรรมเสริมหลักสูตร ให้เป็นไปตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการว่าด้วยการจัดการศึกษาและการประเมินผลการเรียนตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2556

11. การสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตร

11.1 ประเมินผ่านรายวิชาในหมวดวิชาทักษะชีวิต หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ และหมวดวิชาเลือกเสรีตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

11.2 ได้จำนวนหน่วยกิตสะสมครบตามโครงสร้างของหลักสูตร

11.3 ได้ค่าระดับคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า 2.00 และผ่านการประเมินมาตรฐานวิชาชีพ

11.4 เข้าร่วมกิจกรรมและประเมินผ่านทุกภาคเรียน

12. การพัฒนารายวิชาในหลักสูตร

12.1 หมวดวิชาทักษะชีวิต สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันสามารถพัฒนารายวิชาเพิ่มเติมในแต่ละกลุ่มวิชาของหมวดวิชาทักษะชีวิต ในลักษณะจำแนกเป็นรายวิชาหรือลักษณะบูรณาการใด ๆ โดยผสมผสานเนื้อหาวิชาที่ครอบคลุมสาระของกลุ่มวิชาภาษาไทย กลุ่มวิชาภาษาต่างประเทศ กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ กลุ่มวิชาสังคมศึกษา กลุ่มวิชาสุขศึกษาและพลศึกษา ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มวิชานั้น ๆ เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ของหมวดวิชาทักษะชีวิต

12.2 หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันสามารถปรับปรุงรายละเอียดของรายวิชาในกลุ่มทักษะวิชาชีพเฉพาะ และหรือพัฒนารายวิชาเพิ่มเติมในกลุ่มทักษะวิชาชีพเลือกได้ โดยพิจารณาจากจุดประสงค์สาขาวิชาและมาตรฐานการศึกษาวิชาชีพสาขาวิชาตลอดจนความต้องการของสถานประกอบการหรือสภาพยุทธศาสตร์ของภูมิภาคเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ

12.3 หมวดวิชาเลือกเสรี สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันสามารถพัฒนารายวิชาเพิ่มเติมได้ตามความต้องการของสถานประกอบการ ชุมชน ท้องถิ่น หรือสภาพยุทธศาสตร์ของภูมิภาคเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ และหรือเพื่อการศึกษาต่อ

ทั้งนี้ การกำหนดรหัสวิชา จำนวนหน่วยกิตและจำนวนชั่วโมงเรียนให้เป็นไปตามที่หลักสูตรกำหนด

13. การปรับปรุงแก้ไข พัฒนารายวิชา กลุ่มวิชาและการอนุมัติหลักสูตร

13.1 การพัฒนาหลักสูตรหรือการปรับปรุงสาระสำคัญของหลักสูตรตามมาตรฐานคุณวุฒิอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ให้เป็นหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา สถาบันการอาชีวศึกษา หรือสถานศึกษา โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

13.2 การอนุมัติหลักสูตร ให้เป็นหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

13.3 การประกาศใช้หลักสูตรให้ทำเป็นประกาศกระทรวงศึกษาธิการ

13.4 การพัฒนารายวิชาหรือกลุ่มวิชาเพิ่มเติม สถานศึกษาอาชีวศึกษาหรือสถาบันสามารถดำเนินการได้ โดยต้องรายงานให้สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาทราบ

14. การประกันคุณภาพหลักสูตร

ให้ทุกหลักสูตรกำหนดระบบประกันคุณภาพไว้ให้ชัดเจน อย่างน้อยประกอบด้วย 4 ประเด็น คือ

14.1 คุณภาพของผู้สำเร็จการศึกษา

14.2 การบริหารหลักสูตร

14.3 ทรัพยากรการจัดการอาชีวศึกษา

14.4 ความต้องการกำลังคนของตลาดแรงงาน

ให้สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา สถาบันการอาชีวศึกษาและสถานศึกษาจัดให้มีการประเมินเพื่อพัฒนาหลักสูตรที่อยู่ในความรับผิดชอบอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยทุก 5 ปี

โครงสร้างหลักสูตร หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา สุขศึกษาและพลศึกษาในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ

2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพช่างอิเล็กทรอนิกส์ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี

3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านอุตสาหกรรม

4. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในผลิตและงานบริการทางอิเล็กทรอนิกส์ตามหลักการและกระบวนการในลักษณะครบวงจรเชิงธุรกิจ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างอิเล็กทรอนิกส์ในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้ และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้

6. เพื่อให้สามารถเลือก ใช้ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในงานอาชีพช่างอิเล็กทรอนิกส์

7. เพื่อให้มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ ประหยัด อดทน มีวินัย มีความรับผิดชอบต่อสังคมสิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด สามารถพัฒนาตนเองและทำงานร่วมกับผู้อื่น

มาตรฐานการศึกษาวิชาชีพ

คุณภาพของผู้สำเร็จการศึกษาระดับคุณวุฒิการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

1. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

1.1 คุณธรรม จริยธรรมและจรรยาบรรณวิชาชีพ ได้แก่ ความเสียสละ ความซื่อสัตย์สุจริต ความกตัญญูกตเวที ความอดกลั้น การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน การมีจิตสำนึกและเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพและสังคม เป็นต้น

1.2 พฤติกรรมลักษณะนิสัย ได้แก่ ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การมีมนุษยสัมพันธ์ ความเชื่อมั่นในตนเอง ความรักสามัคคี ขยัน ประหยัด อดทน การพึ่งตนเอง เป็นต้น

1.3 ทักษะทางปัญญา ได้แก่ ความรู้ในหลักทฤษฎี ความสนใจใฝ่รู้ ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ความสามารถในการคิด วิเคราะห์ เป็นต้น

2. ด้านสมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป

2.1 สื่อสารโดยใช้ภาษาไทยและภาษาต่างประเทศในชีวิตประจำวันและในงานอาชีพ

2.2 แก้ไขปัญหาในงานอาชีพโดยใช้หลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

2.3 ปฏิบัติตนตามหลักศาสนา วัฒนธรรม ค่านิยม คุณธรรม จริยธรรมทางสังคมและสิทธิหน้าที่พลเมือง

2.4 พัฒนาบุคลิกภาพและสุขอนามัยโดยใช้หลักการและกระบวนการด้านสุขศึกษาและพลศึกษา

3. ด้านสมรรถนะวิชาชีพ

3.1 วางแผน ดำเนินงานจัดการงานอาชีพตามหลักการและกระบวนการ โดยคำนึงถึงการบริหารงานคุณภาพ การอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม หลักอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

3.2 ใช้คอมพิวเตอร์และสารสนเทศเพื่องานอาชีพ

3.3 ปฏิบัติงานพื้นฐานอาชีพช่างอิเล็กทรอนิกส์ตามหลักและกระบวนการ

3.4 อ่านแบบเขียนแบบเทคนิคในงานอิเล็กทรอนิกส์ งานระบบเสียง งานระบบภาพ งานระบบสื่อสาร การประเมินราคา และเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.5 คิดวิเคราะห์ปัญหา สาเหตุและวิธีแก้ไข รวมทั้งคิดแยกแยะประเด็นปัญหาในทางวิชาชีพ

3.6 ประกอบ ติดตั้งและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ในงานระบบเสียง งานระบบภาพ งานระบบสื่อสาร และงานอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม ด้วยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

3.7 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ ระบบเสียง ระบบภาพ ระบบสื่อสารโทรคมนาคม ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ งานอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม

จุดประสงค์ สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004

จุดประสงค์รายวิชา

1. เข้าใจโครงสร้าง หลักการทำงานและการขยายย่านการวัดของเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
2. มีทักษะในการวัด การใช้งานและการบำรุงรักษาเบื้องต้นของเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
3. มีกิจนิสัยในการปฏิบัติงานด้วยความละเอียดรอบคอบ ถูกต้องและปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการขยายย่านวัดและการใช้งานเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
2. วัดและทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติงานเกี่ยวกับโครงสร้าง หลักการทำงาน การใช้งานและขยายย่านการวัด โวลท์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ และมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) วาร์มิเตอร์ (VAR Meter) เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter) ออสซิลโลสโคป เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องกำเนิดสัญญาณหลายรูปคลื่น การวัดและทดสอบค่าความต้านทาน อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ กำลังไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

นวัตกรรมการศึกษา

ความหมายของนวัตกรรมการศึกษา

นวัตกรรมการศึกษา คือ นวัตกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านการศึกษา หมายถึง แนวคิดใหม่ๆ วิธีการใหม่ๆ หรือสิ่งใหม่ที่นำมาใช้เปลี่ยนแปลงในวงการศึกษา เพื่อแก้ไขปัญหาทางการศึกษา หรือนำมาใช้เพื่อให้งานทางด้านการศึกษามีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตามความคิดของนักการศึกษา ดังที่ได้เสนอมาแล้วนี้ พอที่จะสรุปได้ว่า นวัตกรรมการศึกษา หมายถึง การนำวิธีการ หลักปฏิบัติ และแนวความคิดใหม่ๆ ทางการศึกษา ซึ่งได้ผ่านการทดลองและ

พัฒนาเป็นขั้นๆ เข้ามาเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงแนวการปฏิบัติทางการศึกษา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการศึกษาให้สูงขึ้น

นวัตกรรมทางการศึกษา คือ แนวความคิดใหม่ วิธีการใหม่ รูปแบบใหม่ แนวทางใหม่ ผลผลิตใหม่ ที่ได้รับการปรับเปลี่ยนประยุกต์ พัฒนาหรือสร้างสรรค์ เมื่อนำมาใช้แล้วเกิดประโยชน์ต่อการศึกษา

นวัตกรรมการสอน คือ แนวคิดใหม่ วิธีการสอนใหม่ รูปแบบการสอนใหม่ สิ่งผลิตใหม่ๆ ที่มีการปรับเปลี่ยน ประยุกต์ พัฒนา หรือสร้างสรรค์ คือ เมื่อนำมาใช้แล้วจะส่งผลให้การจัดการสอนเกิดประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

นวัตกรรมการศึกษาและเทคโนโลยีการศึกษา

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2537 : 24 – 25) กล่าวไว้ว่า นวัตกรรมการศึกษาและเทคโนโลยีเป็นคำควบคู่กันไป เมื่อใช้เทคโนโลยีซึ่งเป็นเรื่องของวัสดุอุปกรณ์และวิธีการนั้น เมื่อใช้ไปก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา และสถานที่ วิธีการบางอย่างอาจใช้ได้ผลในต่างประเทศ แต่พอเอามาใช้ในเมืองไทยอาจไม่ได้ผล ดังนั้น จึงต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวิธีการนั้นให้ดีขึ้น การที่ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงวิธีการนั้นให้ดีขึ้นนี้ เรียกว่า “นวัตกรรม” สิ่งที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็พัฒนาและเผยแพร่ต่อไป จนเต็มรูปแบบ ก็จะเปลี่ยนเป็น “เทคโนโลยี” อีก ซึ่งจะหมุนเวียนอยู่เช่นนี้

การพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน

ชนาธิป พรกุล (2544 : 59) ได้กล่าวว่า นวัตกรรมการเรียนการสอน (Education Innovation) คือ สิ่งที่นำเข้ามาใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นวัตกรรมที่นำมาใช้อาจมีผู้คิดค้นขึ้นมาก่อนแล้ว หรือคิดขึ้นใหม่ เพื่อให้เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ นวัตกรรมการเรียนการสอนส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแนวคิดหรือวิธีการ เช่น รูปแบบการสอน ความคิดรวบยอด การสอนแบบจุลภาค และการเรียนรู้แบบร่วมมือหรือสื่อการเรียนการสอน เช่น บทเรียนสำเร็จรูป บทเรียนคอมพิวเตอร์ และชุดการสอน เป็นต้น

นวัตกรรมการเรียนการสอน คือ สื่อการสอนที่ได้รับการพัฒนาอย่างเป็นระบบ โดยผ่านการผลิต การทดลองใช้ ปรับปรุงจนมีประสิทธิภาพ แล้วจึงนำไปใช้จริงอย่างได้ผล

องค์ประกอบของนวัตกรรมการเรียนการสอน

นวัตกรรมการเรียนการสอนมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ เป็นส่วนหนึ่งที่บอกว่านวัตกรรมนั้น ใช้เพื่อพัฒนาอะไร ผลที่จะเกิดขึ้นคืออะไร ผู้สร้างนวัตกรรมต้องกำหนดจุดประสงค์ให้ชัดเจน เพื่อให้ผู้ต้องการนำไปใช้ สามารถใช้ได้ผลตรงกับความต้องการ

2. ทฤษฎี หลักการ หรือแนวคิด เป็นส่วนที่ทำให้นวัตกรรมมีความน่าเชื่อถือว่า เมื่อนำไปใช้จะประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ดังนั้น การเลือกทฤษฎี หลักการ หรือแนวคิด ควรเลือกให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และแนวทางในการจัดกิจกรรม หากทฤษฎี หลักการ หรือแนวคิด มีงานวิจัยรองรับ ก็ยิ่งทำให้มั่นใจในความสำเร็จ

3. โครงสร้าง หรือขั้นตอนการใช้ เป็นส่วนที่แสดงภาพรวมของนวัตกรรม ถ้านวัตกรรมเป็นประเภทสื่อการเรียนการสอน ก็จะแสดงส่วนประกอบต่างๆและคำอธิบายในการจัดกิจกรรมอย่างชัดเจน ส่วนนวัตกรรมที่เป็นประเภทวิธีการ ก็ต้องมีคำอธิบายในการจัดกิจกรรมตามลำดับขั้นตอน ตั้งแต่ขั้น

เตรียมการ ขั้นดำเนินการ และขั้นกิจกรรมหลังการสอน โดยกำหนดเงื่อนไขหรือคำแนะนำในการนำนวัตกรรมไปใช้ให้ได้ผลด้วย

4. การประเมินผลเป็นส่วนที่แสดงความสำเร็จของนวัตกรรมในส่วนนี้ประกอบด้วย วิธีการวัดผล เครื่องมือที่ใช้ในการวัด เกณฑ์ในการวัดและประเมินผล

ระบบการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน

ชนาธิป พรกุล (2544 : 60) ได้กล่าวถึง ระบบของการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอนไว้ดังนี้

การพัฒนา (Development) มีความหมายได้ 2 นัย ได้แก่ การปรับปรุงสิ่งที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น และการสร้างสิ่งใหม่ ในที่นี้การพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน หมายถึง การสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ระบบการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญคือ

1. ปัจจัย (Input) หมายถึง จุดเริ่มต้นในการคิดสร้างสรรค์นวัตกรรม เช่น สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ความต้องการในการเปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงการเรียนการสอน เป็นต้น

2. กระบวนการ (Process) หมายถึง ขั้นตอนต่างๆ ที่จัด กระทำเพื่อให้ได้นวัตกรรมตามที่ต้องการ ประกอบด้วย ขั้นตอนการสร้าง การนำไปใช้ และการประเมินผล

3. ผลผลิต (Output) หมายถึง ตัวนวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้หรือนำไปสู่การปฏิบัติ ได้รวมถึงเอกสารประกอบ คู่มือการใช้ แนวปฏิบัติที่ดี และสื่อต่างๆที่พัฒนาขึ้น

กระบวนการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน

การพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน แบ่งขั้นตอนหลักได้ 3 ขั้นตอนคือ

1. การสร้างหลังจากได้ศึกษาสภาพปัญหา หลักการ และเหตุผล หรือความต้องการของการสร้างแล้ว ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้

1.1 เขียนวัตถุประสงค์ของนวัตกรรม โดยระบุให้ชัดเจนว่าต้องการให้นวัตกรรมนั้นเปลี่ยนแปลงอะไร

1.2 ศึกษาทฤษฎี หลักการ หรือแนวคิด ที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางวางโครงสร้างของนวัตกรรม

1.3 เขียนโครงสร้าง หรือวางขั้นตอนการใช้นวัตกรรม โดยอธิบายรายละเอียดเพื่อให้ความสะดวกในการนำนวัตกรรมไปใช้อย่างถูกต้อง

1.4 ตรวจสอบความเหมาะสมของโครงสร้าง หรือขั้นตอนโดยนำโครงสร้างของนวัตกรรมไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ หรือผู้มีประสบการณ์ในด้านการเรียนการสอน ตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ หากมีข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิให้ทำการแก้ไข

1.5 ทดลองใช้นวัตกรรมกับกลุ่มตัวอย่าง ที่มีลักษณะเหมือนกับกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการนำนวัตกรรมไปใช้ เช่น นวัตกรรมต้องการเปลี่ยนแปลงการเรียน ก่อนที่จะนำไปให้ผู้เรียนใช้จริง ผู้สร้างควรให้กลุ่มผู้เรียนประมาณ 10 คน ลองใช้ โดยผู้สร้างทำการบันทึกการใช้ ปัญหาและอุปสรรค รวมทั้งสอบถามความคิดเห็นของผู้ใช้

1.6 จากข้อมูลที่ทำการบันทึกและสอบถาม นำมาประเมินผลแล้วพิจารณา แก้ไขปรับปรุงโครงสร้างหรือขั้นตอน เพื่อให้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อไป

2. การนำนวัตกรรมไปใช้ เป็นขั้นตอนนำนวัตกรรมที่สร้างขึ้นไปใช้ในสถานการณ์จริง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ ผู้สร้างควรดำเนินการดังนี้

2.1 จัดทำเอกสารชี้แจงหรือคู่มือการใช้ และสื่อที่จำเป็น

2.2 เตรียมบุคลากร ได้แก่ ผู้เรียนและผู้เกี่ยวข้อง ผู้สร้างควรชี้แจงทำความเข้าใจให้ผู้เรียนซึ่งเป็นผู้เกี่ยวข้องกับการใช้นวัตกรรมโดยตรง เข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ และวิธีการของนวัตกรรม

2.3 ดำเนินการใช้ตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้ในเอกสารคำชี้แจง หรือคู่มือการใช้นวัตกรรม

3. การประเมินผลการใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่แสดงผลของการใช้นวัตกรรม มีวิธีการประเมินดังนี้

3.1 ระบุสิ่งที่ต้องการวัดให้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เช่น ความจำ การนำไปใช้ ทักษะการทำงานและเจตคติ เป็นต้น

3.2 สร้างเครื่องมือสำหรับวัดให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล เช่น แบบสอบถาม แบบวัดความจำ แบบสังเกต เป็นต้น

3.3 กำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับว่านวัตกรรมมีคุณภาพ

3.4 นำผลที่ได้จากการประเมินมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์

แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับชุดการสอน

ความหมายของชุดการสอน

ชุดการสอนเป็นนวัตกรรมอย่างหนึ่งที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของชุดการสอนไว้ ดังนี้

ฐิติทร ทองสุข (2541: 9) ได้ให้ความหมายของชุดการสอนว่า หมายถึง การนำเอาวัสดุอุปกรณ์หลากหลายที่ตรงกับเนื้อหา นำมาจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ ตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้และช่วยอำนวยความสะดวกให้กับครูในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2544 ก : 1) ได้ให้ความหมายของชุดการสอนไว้ว่า เป็นสื่อประเภทหนึ่งซึ่งมีจุดมุ่งหมายเฉพาะเรื่องที่สอนเท่านั้น เป็นนวัตกรรมการใช้สื่อการสอนแบบประสมโดยอาศัยระบบบูรณาการสื่อหลายๆ อย่างเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้เรียนในหน่วยการเรียนนั้นๆ ชุดการสอนแต่ละชุดจะมีระบบการใช้สื่อการสอนแบบประสม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

กุศยา แสงเดช (2545 : 5) กล่าวว่า ชุดการสอนเป็นสื่อการเรียนการสอนที่จัดอย่างมีระบบให้สอดคล้องกับเนื้อหากลุ่มสาระการเรียนรู้ และประสบการณ์ที่จัดไว้แต่ละหน่วย เพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนรู้

สุวิทย์ มูลคำและอรทัย มูลคำ (2545 : 51) ได้ให้ความหมายของชุดการสอนว่าเป็นสื่อการสอนชนิดหนึ่งที่เป็นลักษณะของสื่อประสม (Multi-Media) เป็นการใช้สื่อตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปร่วมกันเพื่อให้ผู้เรียนได้รับความรู้ที่ต้องการ

ภานุพันธ์ ภักดี (2550 : 8) กล่าวว่า ชุดการสอน เป็นสื่อการสอนชนิดหนึ่งที่เป็นลักษณะของสื่อประสม ที่จัดไว้อย่างเป็นรูปแบบ มีจุดมุ่งหมายแน่ชัด มีระบบ มีขั้นตอน มีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ครู และนักเรียน ช่วยให้เปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนตามจุดมุ่งหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

สัมฤทธิ์ บุญเฉลียว (2552 : 26) ได้ให้ความหมายของชุดการสอนว่า หมายถึง การบูรณาการนวัตกรรมกับการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการเรียนรู้แก่ผู้เรียน โดยผู้เรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้จากกระบวนการการเรียนรู้ด้วยตนเอง ตามความสนใจ และความถนัดของตนเอง ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างมีความสุข

Ashby (1972 : 15-17) กล่าวว่าถึง ชุดการสอนว่า หมายถึง ชุดการสอนที่ประกอบด้วย รูปภาพ สไลด์ เพลง เทปประกอบการสอน เป็นต้น อันเป็นเครื่องมือช่วยสอนที่สำคัญที่ทำให้นักเรียนเข้าใจบทเรียนได้ดียิ่งขึ้นและหลังจากนักเรียนเรียนจบแล้ว สามารถทดสอบหรือสำรวจความก้าวหน้าในการเรียนของตนเอง โดยทำการทดสอบที่อยู่ในชุดการสอน

จากความหมายของนักการศึกษาเกี่ยวกับชุดการสอนที่ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า ชุดการสอน หมายถึง นวัตกรรมการศึกษาที่มีลักษณะเป็นสื่อผสม มีการใช้สื่อตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปรวมกันเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามลำดับขั้นตอน เนื้อหา และประสบการณ์ของแต่ละหน่วย โดยผู้เรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้จากกระบวนการการเรียนรู้ด้วยตนเองตามความสนใจและความถนัด

ประเภทของชุดการสอน

ชุดการสอนมีหลายประเภทได้มีนักการศึกษาหลายท่านได้แบ่งประเภทของชุดการสอนไว้ดังนี้

ประหยัด จิระวรพงศ์ (2529 : 244 – 245) ได้จำแนกประเภทของชุดการสอนออกเป็น4 ประเภท ดังนี้

1. ชุดการสอนประกอบการบรรยาย ได้แก่ ชุดการสอนที่มีจุดประสงค์ให้ครูได้ใช้ประกอบการบรรยายได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งนี้จะมีคู่มือครูช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติ

2. ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมหรือแบบกิจกรรมกลุ่ม ได้แก่ ชุดการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนเรียนในลักษณะศูนย์การเรียน หรือแก้ไขปัญหาแบบกลุ่มสัมพันธ์ โดยอาศัยบัตรงานหรือบัตรสำหรับการปฏิบัติของกลุ่มผู้เรียน

3. ชุดการสอนรายบุคคล ได้แก่ ชุดการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนเรียนตามศักยภาพด้วยตนเองโดยอาศัยบทเรียนสำเร็จรูปสำหรับการเรียน หรือโมดูล

4. ชุดการสอนทางไกล ได้แก่ ชุดการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียน ได้ศึกษาด้วยตนเองเป็นหลักประกอบด้วย สิ่งพิมพ์ แถบเสียง รายการวิทยุ โทรทัศน์ และการสอนเสริมตามศูนย์บริการการ เช่น ชุดการสอนทางไกลของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

นอกจากนั้นยังจำแนกตามลักษณะเนื้อหาได้อีก 2 ประเภท คือ

1. ชุดการสอนรายวิชา ซึ่งได้จัดทำเป็นรายวิชาต่างๆ ไว้เป็นชุดแยกเป็นรายวิชา

2. ชุดการสอนสหวิทยาการ ซึ่งได้จัดทำเป็นเรื่องๆ ที่มีวิชาต่างๆ มาเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน เป็นต้น

วิเศษศักดิ์ โคตรอาษา (2535 : 119 – 120) ได้กล่าวถึงประเภทของชุดการสอน มี 3 ประเภท คือ

1. ชุดการสอนสำหรับครู เป็นชุดการสอนที่ผลิตสำหรับครูใช้กับห้องเรียนทั้งห้อง กิจกรรมหรือสื่อการสอนสำหรับชุดการสอนประเภทนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้กันทั้งห้องเรียนจึงจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่พอ ที่จะมองเห็นได้ชัดทั้งห้องเรียน ชุดการสอนประเภทนี้จัดเป็นหน่วยเรียงลำดับไปใน 1 ชุดจะมีเพียง 1 หน่วยเท่านั้น

2. ชุดการสอนสำหรับการสอนเอกัตภาพ เป็นชุดการสอนที่จัดทำขึ้นสำหรับผู้เรียนโดยเฉพาะผู้เรียนจะดำเนินการเรียนตามคำแนะนำที่จะปรากฏอยู่ในชุดการสอนนั้น โดยศึกษาไปตามลำดับขั้นด้วยตนเอง การเรียนมักจะนำไปศึกษาในคูหา หรือที่ใดตามความชอบของนักเรียน เมื่อศึกษาเสร็จจะมาทำแบบทดสอบ เมื่ออ่านแบบทดสอบชุดแรกแล้วก็จะทำชุดต่อๆ ไป ตามลำดับเมื่อมีปัญหาระหว่างศึกษาชุดการสอนแบบนี้ ผู้เรียนจะปรึกษากันได้ และครูผู้สอนพร้อมจะให้ความช่วยเหลือ

3. ชุดการสอนสำหรับกิจกรรมกลุ่ม ใช้สำหรับการเรียนแบบกลุ่มกิจกรรมครูจะทำหน้าที่เตรียมสภาพการณ์ เป็นผู้อำนวยการและประสานงานการเรียนการสอน นักเรียนจะเรียนจากชุดการสอนแบบกิจกรรมกลุ่มที่ยึดระบบการผลิตสื่อการสอนตามหน่วย และหัวเรื่องที่จะเปิดโอกาสให้ผู้เรียน ได้ประกอบกิจกรรมร่วมกันชุดการสอนแบบกิจกรรมกลุ่มประกอบด้วย ชุดย่อยเท่ากับจำนวนศูนย์กิจกรรมนั้นๆ สื่อที่ใช้ในศูนย์จัดไว้ในรูปของสื่อประสม อาจใช้เป็นสื่อรายบุคคลหรือสื่อสำหรับกลุ่มที่นักเรียนที่เรียนจากชุดการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม จะต้องการความช่วยเหลือจากครูเพียงเล็กน้อยในระยะเริ่มแรกเท่านั้น หลังจากเคยชินต่อวิธีการใช้แล้วผู้เรียนจะสามารถช่วยเหลือกันได้ระหว่างประกอบกิจกรรมการเรียน หากนักเรียนมีปัญหาสามารถสอบถามผู้สอนได้เสมอ นอกจากชุดการสอนดังกล่าวทั้ง 3 ประเภทนี้ยังมีชุดการสอนประเภทอื่นที่แตกต่างไปอีกแล้ว แต่วัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้ เช่น ชุดการสอนประกอบการผลิตและรายการโทรทัศน์ ชุดการสอนสำหรับผู้ปกครองช่วยนักเรียนที่บ้าน ชุดการสอนสำหรับเด็กที่เรียนเร็ว ชุดการสอนซ่อมเสริมและชุดการสอนทางไกล เป็นต้น

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2544 ก : 2-3) จำแนกชุดการสอนออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ชุดการสอนประกอบการบรรยาย หรืออาจเรียกว่าชุดการสอนสำหรับครูเป็นชุดการสอนที่กำหนดกิจกรรมและสื่อการเรียน ที่มุ่งขยายเนื้อหาสาระการสอนแบบบรรยายให้ชัดเจนขึ้น เพื่อเปลี่ยนบทบาทของครูให้พูดน้อย และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมกิจกรรมมากยิ่งขึ้นหรือสื่อการสอน ทำหน้าที่แทนสื่อที่อาจเป็นคำสอนสไลด์ประกอบเสียงบรรยายในเทป แผนภูมิ แผ่นภาพ ภาพยนตร์ โทรทัศน์และกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนทดลองอภิปราย หรือประกอบกิจกรรมอื่นๆ ตามปัญหาหรือหัวข้อที่ครูกำหนดให้ เพื่อความเรียบร้อยและความสะดวก ชุดการสอนประเภทนี้มักบรรจุ

ในกล่องที่มีขนาดพอเหมาะกับจำนวนสื่อการสอน ชุดการสอนแบบบรรยายนี้ นิยมใช้ในการฝึกอบรมและสอนในระดับอุดมศึกษา

2. ชุดการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม เป็นชุดการสอนที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนประกอบกิจกรรมกลุ่ม เช่น ในการสอนแบบศูนย์การเรียน การสอนแบบกลุ่มสัมพันธ์เป็นต้น ครูเป็นเพียงผู้ที่เตรียมการเป็นผู้อำนวยการ และมีหน้าที่คอยประสานงานอำนวยความสะดวกในการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียน ผู้เรียนจะเรียนรู้เนื้อหาต่างๆ จากสื่อ และจากการทำกิจกรรมขั้นตอนที่กำหนดไว้ในชุดการสอน ชุดการสอนชนิดนี้ ยึดระบบการผลิตสื่อการสอนตามหน่วยและหัวเรื่องที่จะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประกอบกิจกรรมร่วมกัน คือ ลักษณะของห้องเรียนแบบศูนย์การเรียนชุดการสอนนี้ประกอบด้วยชุดการสอนย่อยตามศูนย์ที่แบ่งไว้แต่ละหน่วย ในแต่ละศูนย์มีสื่อหรือบทเรียนครบชุดตามจำนวนของผู้เรียนในศูนย์กิจกรรมนั้น สื่อที่ใช้ในศูนย์จะจัดไว้ในรูปสื่อประสม อาจใช้เป็นรายบุคคล หรือสื่อสำหรับผู้เรียนทั้งศูนย์จะได้ศึกษาตามศูนย์กำหนดไว้ หมุนเวียนไปจนครบศูนย์ ผู้เรียนจะต้องการความช่วยเหลือจากครูเพียงเล็กน้อย หลังจากเคยชินต่อวิธีการใช้แล้วผู้เรียนจะสามารถช่วยเหลือกันเองได้ระหว่างการประกอบกิจกรรมการเรียนหากผู้เรียนมีปัญหาก็สามารถซักถามครูได้เสมอ

3. ชุดการสอนรายบุคคล เป็นชุดการสอนที่มุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถศึกษาหาความรู้ได้ด้วยตนเองตามความแตกต่างระหว่างบุคคล อาจเป็นที่โรงเรียนหรือที่บ้านก็ได้ เพื่อให้ผู้เรียนก้าวไปข้างหน้าตามความสามารถ ความสนใจและความพร้อมของผู้เรียน ชุดการสอนรายบุคคลนั้นผู้เรียนจะใช้เรียนด้วยตนเองตามขั้นตอนที่ระบุ เมื่อเกิดปัญหาระหว่างเรียน ผู้เรียนจะปรึกษาหารือกัน ผู้สอนก็ต้องพร้อมให้ความช่วยเหลือทันทีในฐานะผู้ประสานงาน ผู้เรียนอาจนำชุดการสอนประเภทนี้ไปเรียนที่บ้านด้วย โดยบุคลากรอื่นๆ คอยให้ความช่วยเหลือ

4. ชุดการสอนทางไกล เป็นชุดการสอนที่ผู้สอนและผู้เรียนต่างถิ่นต่างเวลากันมุ่งสอนให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเอง โดยไม่ต้องเข้าชั้นเรียน แต่สามารถเรียนได้เองที่บ้าน โดยมีสื่อประสมต่างๆ ที่ผู้สอนจัดให้ เช่น เอกสารการสอน แบบฝึกปฏิบัติ เทปเสียงประจำวิชา รายการวิทยุกระจายเสียง รายการวิทยุโทรทัศน์ การศึกษาโดยระบบทางไกลนี้ ความสำเร็จของการศึกษาขึ้นอยู่กับตัวผู้เรียนเป็นส่วนใหญ่ ผู้สอนเป็นเพียงผู้จัดประสบการณ์ในเรื่องของสื่อต่างๆ และให้คำแนะนำในการศึกษาเท่านั้น ดังนั้นผู้เรียนจำเป็นต้องมีวินัยและควบคุมตนเองได้ อีกทั้งยังต้องยึดมั่นในแนวทางปฏิบัติตามคำแนะนำที่กำหนดให้อย่างเคร่งครัดจากการจัดประเภทของชุดการเรียนรู้ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

ผู้รายงานสรุปได้ว่า ชุดการสอนแต่ละประเภทจะมีลักษณะที่ส่งเสริมความแตกต่างระหว่างบุคคล สามารถใช้สื่อการสอนหลายๆ อย่างที่สัมพันธ์และสอดคล้องกับเนื้อหามาใช้ในการจัดกิจกรรมมีความสะดวกในการใช้ รวมทั้งสามารถประเมินผลแบบอิงเกณฑ์ หรือตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ ดังนั้นในการเลือกใช้ชุดการสอน ไม่ว่าสำหรับครูใช้ประกอบการบรรยายสำหรับกิจกรรมกลุ่ม หรือการสอนรายบุคคลนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเนื้อหาผู้เรียนและสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปชุดการสอนแต่ละประเภทมีจุดประสงค์ให้ผู้เรียน เรียนด้วยตนเองสามารถพัฒนาตนเองตามศักยภาพของตน ซึ่งในการวิจัยผู้รายงานจึงใช้แนวทางการสร้างชุดการสอนที่ผู้เรียนเป็นผู้ใช้เรียนรู้ด้วยตนเอง เมื่อมีปัญหาผู้เรียนสามารถปรึกษากันได้ และครูผู้สอนพร้อมที่จะช่วยเหลือและคอยให้คำแนะนำ สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้รายงานสนใจที่จะสร้างชุดการสอน โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อส่งเสริมศักยภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนแต่ละบุคคล

องค์ประกอบของชุดการสอน

ในการสร้างชุดการสอนนั้น ผู้สร้างจะต้องศึกษาถึงองค์ประกอบของชุดการสอนว่ามีองค์ประกอบหลักอะไรบ้าง เพื่อจะได้นำมากำหนดองค์ประกอบของชุดการสอนที่จะสร้างขึ้น มีนักการศึกษาที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดการสอนได้แจกแจงถึงองค์ประกอบของชุดการสอนต่างๆ ที่พร้อมจะส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียน ดังองค์ประกอบต่อไปนี้

สุกิจ ศรีพรหม (2541 : 69) ได้แนะนำองค์ประกอบของชุดการสอน 7 อย่างดังนี้

1. เนื้อหา หรือ มโนภาพที่ต้องการให้ผู้เรียนศึกษา (Concept Focus) ชุดการสอนชุดหนึ่งควรจะเน้นให้ผู้เรียนศึกษาเพียงมโนทัศน์หลักเรื่องเดียว

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behaviorally Stated Objective) เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้ชุดการสอนนั้นประสบความสำเร็จหรือล้มเหลวเป็นข้อความที่ระบุถึงพฤติกรรมที่คาดว่าจะให้เกิดขึ้นหลังจากการเรียนรู้ ควรระบุชัดเจนให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างแจ่มแจ้งเพราะวัตถุประสงค์นี้เป็นแนวทางในการทำกิจกรรมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์

3. มีกิจกรรมให้เลือกหลาย ๆ อย่าง (Multiple Active Methodologies) คือรายละเอียดของกิจกรรมที่ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติ เช่น ทำงานกลุ่ม ทำการทดลองหรือใช้สื่อการเรียนชนิดต่างๆ การที่มีกิจกรรมให้นักเรียนเลือกปฏิบัติหลาย ๆ ทางมาจากความเชื่อว่าไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งจะเหมาะที่สุดกับนักเรียนทุกคน

4. วัสดุประกอบการเรียน (Diversified Learning Resources) จากกิจกรรมให้เลือกหลายทางนั้นจำเป็นต้องมีวัสดุประกอบการเรียนหลาย ๆ อย่างเช่น แผนภูมิภาพ หุ่นจำลอง เทปบันทึกเสียง เป็นต้น วัสดุหรือสื่อการเรียนเป็นแหล่งที่จะช่วยให้นักเรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์และเกิดการเรียนรู้ในมโนทัศน์ที่กำหนดให้

5. แบบทดสอบ (Evaluation Instrument) ในการประเมินผลดูว่านักเรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนรู้จากการสอนมากน้อยเพียงใด แบบทดสอบที่ใช้อาจใช้ได้ 3 ลักษณะ

5.1 แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-Test)

5.2 แบบทดสอบตนเอง (Self-Test)

5.3 แบบทดสอบหลังเรียน (Post-Test)

6. กิจกรรมสำรองหรือกิจกรรมเพิ่มเติม (Breadth and Depth Activities) หลังจากที่นักเรียนทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแล้ว อาจทำกิจกรรมที่เสนอแนะเพิ่มเติมตามความสนใจ

7. คำชี้แจงวิธีใช้ชุดการสอน (Instruction) เนื่องจากชุดการสอนที่ผลิตขึ้นเพื่อให้นักเรียน เรียนด้วยตนเอง คำชี้แจงวิธีใช้ชุดการสอนจึงจำเป็นต้องให้รายละเอียดของวิธีใช้ชุดการสอนทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจและเรียนด้วยตนเอง

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545 : 52) ระบุองค์ประกอบของชุดการสอนไว้ 4 ส่วน ดังนี้

1. คู่มือการใช้ชุดการสอน เป็นคู่มือ หรือแผนการสอนสำหรับผู้สอนใช้ศึกษา และปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดชี้แจงไว้อย่างชัดเจน เช่น การนำเข้าสู่บทเรียน การจัดชั้นเรียน บทบาทผู้เรียน เป็นต้น ลักษณะของคู่มือ อาจจัดทำเป็นเล่มหรือแผ่นพับก็ได้

2. บัตรคำสั่ง หรือบัตรงาน เป็นเอกสารที่บอกให้ผู้เรียนประกอบกิจกรรมแต่ละอย่างตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ บรรจุอยู่ในชุดการสอน บัตรคำสั่งหรือบัตรงานจะมีครบตามจำนวนกลุ่ม หรือจำนวนผู้เรียน ซึ่งจะประกอบด้วยคำอธิบายในเรื่องที่จะศึกษาคำสั่งให้ผู้เรียนประกอบกิจกรรม และการสรุปบทเรียน การจัดทำบัตรคำสั่งหรือบัตรงาน ส่วนใหญ่นิยมใช้กระดาษแข็งขนาด 6 คูณ 8 นิ้ว

3. เนื้อหาสาระและสื่อการเรียนประเภทต่าง ๆ จัดไว้ในรูปของสื่อการสอนที่หลากหลาย อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1 เอกสารสิ่งพิมพ์ เช่น หนังสือ วารสาร บทความ ใบความรู้ที่เป็นเนื้อหาเฉพาะเรื่อง บทเรียนโปรแกรม เป็นต้น

3.2 โสตทัศนูปกรณ์ เช่น รูปภาพ แผนภาพ แผนภูมิ สมุดภาพ เทปบันทึกเสียง เทป โทรทัศน์ สไลด์ วีดิทัศน์ แผ่นซีดีรอม (CD-ROM) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) เป็นต้น

4. แบบประเมินผล เป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดและประเมินความรู้ด้วยตนเอง ก่อนเรียนและ หลังเรียน อาจเป็นแบบทดสอบชนิดจับคู่ เลือกตอบ หรือกาเครื่องหมายถูก-ผิด ก็ได้

ไชยยศ เรืองสุวรรณ (2546 : 153) กล่าวว่าชุดการสอนอาจมีหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่จะต้องประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. คู่มือครู เป็นคู่มือและแผนการสอนสำหรับครูและผู้เรียนตามลักษณะของชุดการสอนภายในคู่มือครูจะชี้แจงถึงวิธีการใช้ชุดการสอนเอาไว้โดยละเอียด ครูและผู้เรียนจะต้องปฏิบัติตามคำชี้แจงนั้นอย่างเคร่งครัด จึงจะสามารถใช้ชุดการสอนนั้นอย่างได้ผล คู่มือครูอาจทำเป็นเล่มหรือเป็นแผ่น ซึ่งมีส่วนสำคัญดังนี้

1.1 คำชี้แจงสำหรับครู

1.2 บทบาทของผู้เรียน

1.3 การจัดชั้นเรียนพร้อมแผนผัง

1.4 แผนการสอน

1.5 แบบฝึกหัดปฏิบัติ

2. บัตรคำสั่ง (คำแนะนำหรือคู่มือสำหรับผู้เรียน) เพื่อให้ผู้เรียนประกอบกิจกรรมแต่ละอย่าง ซึ่งจะมีอยู่ในชุดการสอนแบบกลุ่มและชุดการสอนรายบุคคล และในบัตรคำสั่งนั้นประกอบด้วย

2.1 คำอธิบายในเรื่องที่จะศึกษา

2.2 คำสั่งให้ผู้เรียนดำเนินกิจกรรม

2.3 การสรุปบทเรียนอาจใช้การอภิปรายหรือตอบคำถาม

บัตรคำสั่งที่ดีต้องมีถ้อยคำกะทัดรัด เข้าใจง่าย ชัดเจน ครอบคลุมกิจกรรมที่ผู้สอนต้องการให้ผู้เรียนทำ ผู้เรียนจะต้องอ่านบัตรคำสั่งให้เข้าใจเสียก่อน แล้วปฏิบัติตามเป็นขั้นๆ ไป

3. เนื้อหาหรือประสบการณ์ ส่วนนี้จะถูกบรรจุไว้ในรูปของสื่อการสอนต่างๆ ประกอบด้วย บทเรียนสำเร็จรูป สไลด์ เทปบันทึกเสียง ฟิล์มสตริป หุ่นจำลอง รูปภาพ วัสดุกราฟฟิค แผ่นภาพโปร่งใส เป็นต้น ผู้เรียนจะศึกษาจากสื่อการสอนต่างๆที่บรรจุอยู่ในชุดการสอนตามบัตรคำสั่งที่กำหนดไว้ให้

4. แบบประเมินผล (ทั้งก่อนและหลังเรียน) อาจจะอยู่ในลักษณะของแบบฝึกหัดเติมคำในช่องว่าง จับคู่ เลือกคำตอบที่ถูก หรือให้ดูผลจากการทดลองหรือทำกิจกรรม ส่วนประกอบทั้งหมดนี้จะอยู่ในซองหรือกล่องอย่างเป็นหมวดหมู่ เพื่อสะดวกต่อการใช้

Duann (1973 : 169) กล่าวว่า โครงสร้างพื้นฐานของชุดการสอนที่คล้ายคลึงกันทุกรูปแบบมี 7 ประการ คือ

1. จุดมุ่งหมายและเนื้อหาที่จะเรียน
2. บรรยายเนื้อหา
3. จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม
4. กิจกรรมในการเรียนการสอน
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอน
6. เครื่องมือวัดผลระหว่างเรียนและหลังเรียน
7. คู่มือครู

จากนักการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น สรุปว่า องค์ประกอบที่สำคัญของชุดการสอนประกอบด้วย คู่มือครูเพื่อทำหน้าที่ชี้แจงลักษณะ และวิธีการใช้ชุดการสอน คำสั่งเพื่อกำหนดแนวทางการใช้ชุดการสอน เนื้อหาสาระและสื่อการสอน ซึ่งจัดไว้ในรูปของสื่อการสอนแบบประสม ที่จะให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้า โดยจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบกลุ่มและรายบุคคลตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมและการประเมินผล เพื่อเป็นการทดสอบความก้าวหน้าของนักเรียน

คุณค่าของชุดการสอน

ชุดการสอนเป็นนวัตกรรมสำเร็จรูปสำหรับผู้สอนและผู้เรียน นักการศึกษาได้กล่าวถึงประโยชน์ของชุดการสอนไว้ ดังนี้

กุศยา แสงเดช (2545 : 10 -11) ระบุประโยชน์ของชุดการสอนไว้ ดังนี้

1. ชุดการสอนจะช่วยทำให้กระบวนการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ เพราะชุดการสอนผลิตขึ้นจากกลุ่มบุคคลที่มีความรู้ ความชำนาญหลายด้าน ได้แก่ ครูผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้น และนักโสตทัศนศึกษาซึ่งได้ร่วมกันผลิต มีการทดลองใช้จนแน่ใจว่ามีผลดี จึงนำออกมาใช้ได้ทั่วไป

2. ชุดการสอนจะช่วยลดภาระของครูผู้สอน เมื่อมีชุดการสอนสำเร็จรูป ผู้สอนจะดำเนินการตามคำแนะนำในชุดการสอน ตามลำดับขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนจะมีอุปกรณ์กิจกรรมตลอดจนข้อแนะนำไว้ให้พร้อม ผู้สอนนำไปใช้ได้ทันที

3. การมีชุดการสอน จะช่วยให้ผู้เรียนได้รับความรู้ในแนวเดียวกัน และจะช่วยแก้ปัญหา เกี่ยวกับความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการสอนของครูหลายคนที่สอนวิชาเดียวกัน

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545 : 57- 58) ระบุประโยชน์ของชุดการสอน ซึ่งสอดคล้องกับ บุญเกื้อ ควรหาเวช (2543 : 110 -111) ดังนี้

1. ส่งเสริมการเรียนรายบุคคล ผู้เรียนเรียนได้ตามความสามารถ ความสนใจตามเวลาและโอกาสที่เหมาะสมของแต่ละคน

2. ช่วยขจัดปัญหาการขาดแคลนครู เพราะชุดการสอนช่วยให้ผู้เรียนเรียนได้ด้วยตนเอง หรือต้องการความช่วยเหลือจากผู้สอนเพียงเล็กน้อย

3. ช่วยในการศึกษานอกระบบโรงเรียน เพราะผู้เรียนสามารถนำเอาชุดการสอนไปใช้ได้ ทุกสถานที่และทุกเวลา

4. ช่วยลดภาระและช่วยสร้างความพร้อมและความมั่นใจให้แก่ครู เพราะชุดการสอนถูกจัดเป็นหมวดหมู่ สามารถนำไปใช้ได้ทันที

5. เป็นประโยชน์ในการสอนแบบศูนย์การเรียน

6. ช่วยให้ครูวัดผลผู้เรียนได้ตรงตามความมุ่งหมาย

7. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็น ฝึกการตัดสินใจ แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง และมีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม

8. ช่วยให้ผู้เรียนจำนวนมากได้รับความรู้แนวเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพ

9. ช่วยฝึกให้ผู้เรียนรู้จักเคารพ นับถือความคิดเห็นของผู้อื่น

คุณค่าของชุดการสอนมีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ของครูและผู้เรียน สรุปได้ว่าดังนี้

1. ช่วยเร้าความสนใจ ผู้เรียนที่เรียนโดยใช้ชุดการสอนจะประกอบกิจกรรมด้วยตนเอง ซึ่งมักจะเป็นสิ่งที่ทำให้ผู้เรียนสนใจต่อการเรียนตลอดเวลา

2. ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดี จากการที่ผู้เรียนได้ประกอบกิจกรรมด้วยตนเอง สามารถเรียนได้ตามความสนใจ และตามอัตราการเรียนรู้ของตนเอง จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดี

3. ส่งเสริมและฝึกหัดให้ผู้เรียน รู้จักการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง และมีความรับผิดชอบ

4. ช่วยให้ผู้เรียนเป็นอิสระจากบุคลิกภาพของผู้สอน เนื่องจากเรียนโดยชุดการสอน ผู้สอนจะเปลี่ยนบทบาทจากผู้บรรยายตลอดเวลามาเป็นผู้แนะนำ ช่วยเหลือและใช้ชุดการสอนทำหน้าที่ถ่ายทอดความรู้ต่างๆแทนครู ดังนั้นผู้เรียนสามารถเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพจากชุดการสอน

5. แก้ปัญหาเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคล เพราะชุดการสอนสามารถช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ตามความสามารถ ความถนัด ความสนใจและตามโอกาสที่เอื้ออำนวยให้แก่ผู้เรียนซึ่งมีความแตกต่างกัน

6. สร้างความพร้อม และความมั่นใจแก่ครู เพราะในการผลิตชุดการสอนนั้นได้จัดระบบการใช้สื่อการสอน ทั้งการผลิตสื่อการสอน กิจกรรม ตลอดจนข้อแนะนำการใช้สำหรับผู้สอน สามารถนำไปใช้ได้ทันที

7. ส่งเสริมการเรียนรู้แบบต่อเนื่อง หรือการศึกษาตลอดชีพ เพราะสามารถนำชุดการสอนไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองได้ทุกเวลาและทุกสถานที่

8. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ เพราะชุดการสอนได้ผลิตขึ้นโดยใช้วิธีระบบและกลุ่มผู้มีความรู้ ความสามารถ มีการทดลองใช้จนแน่ใจว่าใช้ได้ผลดี มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้แล้วจึงนำออกมาใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสร้างชุดการสอน

การส่งเสริมให้มนุษย์มีการเรียนรู้ที่ดีจะต้องตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล ดังนั้นชุดการสอนจึงเป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนที่ถูกนำมาใช้ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลในการเรียนรู้ โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีต่อไปนี้

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต (2528 : 292-293) ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างชุดการสอนซึ่งสามารถนำมาใช้ในการสร้างชุดการสอน ดังนี้

1. ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual Differences) นักการศึกษาได้นำหลักจิตวิทยาในด้านความแตกต่างระหว่างบุคคลมาใช้เพราะถือว่าการสอนนั้นไม่สามารถจะปั้นผู้เรียนให้เป็นพิมพ์เดียวกันได้ในช่วงเวลาที่เท่ากัน เพราะผู้เรียนแต่ละคนจะเรียนรู้ตามวิถีทางของเขาและใช้เวลาเรียน ในเรื่องหนึ่งๆ ที่แตกต่างกันไป ความแตกต่างเหล่านี้มี ความแตกต่างในด้านความสามารถ (Ability) สติปัญญา (Intelligence) ความต้องการ (Need) ความสนใจ (Interest) ร่างกาย (Physical) อารมณ์ (Emotion) และสังคม (Social) ด้วยเหตุผลที่คนเรามีความแตกต่างกันดังกล่าว ผู้สร้างชุดการสอน จึงพยายามที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะทำให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ในชุดนั้น ๆ ซึ่งวิธีที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งก็คือ การจัดการสอนรายบุคคล หรือการจัดการสอนตามเอกัตภาพหรือการศึกษาด้วยตนเองซึ่งล้วนแต่เป็นวิธีสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีอิสระในการเรียนตามความแตกต่างของแต่ละคน

2. การนำสื่อประสมมาใช้ (Multi-media Approach) เป็นการนำเอาสื่อการสอนหลายประเภทมาใช้สัมพันธ์กันอย่างมีระบบ ความพยายามอันนี้ก็เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงการเรียนการสอนจากเดิมที่เคยยึดครูเป็นแหล่งให้ความรู้หลัก มาเป็นการจัดประสบการณ์ ให้ผู้เรียนเรียนด้วยการใช้แหล่งความรู้จากสื่อประเภทต่างๆ

3. ทฤษฎีการเรียนรู้ (Learning Theory) เป็นจิตวิทยาการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้

3.1 เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนด้วยตนเอง

3.2 ตรวจสอบผลการเรียนของตนเองว่าถูกหรือผิดได้ทันที

3.3 มีการเสริมแรง คือ ผู้เรียนจะเกิดความภาคภูมิใจ ดีใจที่ตนเองทำได้ถูกต้อง เป็นการให้กำลังใจที่จะเรียนต่อไป ถ้าตนเองทำไม่ถูกต้องจะได้ทราบว่าที่ถูกต้องนั้นคืออะไร จะได้ไตร่ตรองพิจารณาทำให้เกิดความเข้าใจ ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความท้อถอยหรือสิ้นหวังในการเรียน เพราะเขามีโอกาสที่จะสำเร็จได้เหมือนคนอื่นเหมือนกัน

3.4 เรียนรู้ไปทีละขั้นตามความสามารถและความสนใจของตนเอง

4. การใช้การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) เป็นการนำเอาการวิเคราะห์ระบบมาใช้โดยจัดเนื้อหาวิชาให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม และวัยของผู้เรียนทุกสิ่งทุกอย่างที่จัดไว้ในชุดการสอนจะสร้างขึ้นอย่างมีระบบจะต้องมีการตรวจเช็คทุกขั้นตอนและทุกอย่างจะต้องสัมพันธ์สอดคล้องกันเป็นอย่างดี มีการทดลองปรับปรุงจนมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นที่เชื่อถือได้จึงจะนำออกใช้

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคนอื่นๆ (2526 : 197) กล่าวถึง แนวคิด หลักการ และทฤษฎีต่างๆ ที่นำไปสู่การผลิตชุดการสอน มี 5 ประการ ดังนี้

แนวคิดที่ 1 เป็นแนวคิดตามหลักจิตวิทยาที่เกี่ยวกับทฤษฎีความแตกต่างระหว่างบุคคล ซึ่งนักการศึกษาได้นำแนวคิดนี้มาจัดการเรียนการสอน โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน โดยการจัดการศึกษาที่ให้อิสระในการเรียนรู้ด้วยตนเองตามกำลังความสามารถของแต่ละคน

แนวคิดที่ 2 เป็นแนวคิดที่พยายามจะเปลี่ยนการจัดการสอนจากแบบเดิมที่ยึดครูเป็นศูนย์กลาง ซึ่งมีครูเป็นแหล่งความรู้ มาเป็นแบบของการนำประสบการณ์ และสื่อประสมที่ตรงตามเนื้อหา ในรูปของชุดการสอนโดยให้นักเรียนศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองจากชุดการสอน

แนวคิดที่ 3 เป็นแนวคิดที่พยายามจะจัดระบบการผลิต และการใช้อุปกรณ์การสอนไว้เป็นไปในรูปสื่อประสมโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเปลี่ยนจากการใช้สื่อในการช่วยครูสอนมา เป็นช่วยนักเรียน

แนวคิดที่ 4 เป็นแนวคิดที่พยายามจะสร้างปฏิสัมพันธ์ให้เกิดขึ้นระหว่างครูกับนักเรียน และนักเรียนกับสภาพแวดล้อม โดยนำสื่อการสอนและทฤษฎีของกระบวนการกลุ่มมาใช้ในการประกอบกิจกรรมร่วมของนักเรียน

แนวคิดที่ 5 เป็นแนวคิดที่ยึดหลักจิตวิทยาการเรียนรู้ มาจัดสภาพการเรียนรู้เพื่อให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพ โดยการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เข้าร่วมในการเรียนด้วยตนเอง โดยทราบว่าการตัดสินใจหรือการทำงานของตนถูกต้อง หรือผิดในทันที มีการเสริมแรง ทำให้นักเรียนได้เกิดความภาคภูมิใจที่ตนทำได้ถูกหรือคิดถูก อาจจะทำให้กระทำพฤติกรรมนั้นอีกในอนาคต และการที่ค่อยเรียนรู้ไปทีละขั้นตามความสามารถ และความสนใจของนักเรียนเอง โดยไม่ต้องมีใครมาบังคับ

จากทฤษฎีและแนวคิดการสร้างชุดการสอนที่มีประสิทธิภาพนั้น เน้นการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองของผู้เรียน เพื่อให้รู้ถึงกระบวนการ ความรู้ ความเข้าใจ และมีความสามารถในการจัดกระทำการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง สื่อที่ออกแบบต้องทำให้เกิดแรงจูงใจให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน ชุดการสอนต้องตอบสนองวัตถุประสงค์การเรียนรู้เป็นการสะท้อนกลับเพื่อทราบความก้าวหน้าในการเรียนเป็นการเสริมแรง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องในการฝึกปฏิบัติและการกระทำซ้ำ เพื่อนำไปสู่ความคงทนในการเรียนรู้ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์และถ่ายโยงการเรียนรู้ เพื่อนำไปปรับใช้กับสภาพหรือปัญหาใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้น

ทฤษฎีที่เป็นแนวทางการสร้างชุดการสอน

ชุดการสอนเป็นนวัตกรรมการใช้สื่อการสอนให้มีบทบาทในการเรียนการสอนให้มีบทบาทในการเรียนการสอนการสร้างชุดการสอนจึงต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีสำคัญ มีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (Dayton and Kemp 1985 : 13-14)

1. กลุ่มพฤติกรรมนิยม (Behaviorism) เป็นกลุ่มที่กำหนดพฤติกรรมของมนุษย์ว่าเป็นการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้า (Stimulus) และการตอบสนอง (Response) บางทีจึงเรียกว่าการเรียนรู้แบบ S–R สิ่งเร้าก็คือข่าวสารหรือเนื้อหาวิชาที่ส่งไปให้ผู้เรียนโดยผ่านกระบวนการเรียนการสอน โปรแกรมการเรียนการสอนอิงหลักการและทฤษฎีนี้มาก โดยจะลำดับขั้นการเรียนรู้ออกเป็นขั้นย่อยๆ และเมื่อผู้เรียนเกิดการตอบสนอง ก็จะสามารถทราบผลได้ทันทีว่าเกิดการเรียนรู้หรือไม่ ถ้าตอบสนองถูกต้องก็จะมีการเสริมแรง โปรแกรมการสอนเป็นรายบุคคลอิงทฤษฎีนี้มาก

2. กลุ่มเกสตัลท์ หรือ ทฤษฎีสนามหรือความรู้ความเข้าใจ (Gestalt, Field or Cognitive Theories) เป็นกลุ่มที่เน้นกระบวนการความรู้ความเข้าใจหรือการรู้จักคิดอัน ได้แก่ การรับรู้อย่างมีความหมาย ความเข้าใจและความสามารถในการจัดกระทำ อันเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของพฤติกรรมมนุษย์ ทฤษฎีนี้ถือว่าการเรียนรู้ของมนุษย์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของสติปัญญาและความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์ 3. กลุ่มจิตวิทยาทางสังคม หรือการเรียนรู้ทางสังคม (Social

Psychology of Social Learning Theories) เป็นกลุ่มที่ได้รับความสนใจมากขึ้น ทฤษฎีนี้เน้นปัจจัยทางบุคลิกภาพและปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ การเรียนรู้สวนใหญ่เกี่ยวข้องกับการกระทำทางสังคม โดยการเรียนรู้จากประสบการณ์โดยตรงหรือผ่านสื่อการเรียนการสอน

Dayton and Kemp (1985 : 14-15) กล่าวว่า ทฤษฎีทั้งสามกลุ่มต่างมีความคล้ายคลึงหรือจุดเน้นเกี่ยวกับการออกแบบ และการใช้สื่อการเรียนการสอนดังนี้คือ

1. แรงจูงใจ (Motivation) ถ้านักเรียนมีความต้องการความสนใจหรือความปรารถนาที่จะเรียนรู้ก็จะทำให้การเรียนการสอนที่ก่อให้เกิดแรงจูงใจ คือ ประสบการณ์หรือกิจกรรมในการเรียนรู้ ซึ่งมีความหมายหรือน่าสนใจสำหรับนักเรียน

2. ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual Differences) นักเรียนแต่ละคนต่างมีอัตรา และวิธีการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ดังนั้น การจัดสื่อการสอนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยนี้ด้วย

3. วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ (Learning Objectives) ในการจัดการเรียนการสอน หากนักเรียนได้ทราบวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้ ก็จะทำให้นักเรียนมีโอกาสบรรลุจัดประสงค์จุดประสงค์ได้มากกว่าที่ไม่ทราบ นอกจากนี้วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ยังช่วยในการวางแผนการสร้างสื่อการเรียนการสอน คือทำให้เราทราบว่าควรบรรจุเนื้อหาอะไรในสื่อ

4. การจัดเนื้อหา (Organization of Content) การเรียนรู้จะง่ายขึ้นหากมีการจัดลำดับเนื้อหาสาระในการเรียนรู้เป็นลำดับขั้นและสมเหตุผล

5. การจัดเตรียมความรู้ที่มีมาก่อน (Pre – Learning Preparation) บางครั้งการเรียนรู้เนื้อหาสาระหนึ่งๆ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีมาก่อน ดังนั้นในการสร้างชุดการสอน ควรคำนึงถึงธรรมชาติและระดับการรับรู้ของแต่ละกลุ่ม เพื่อจะจัดเตรียมความพร้อมให้กับกลุ่มผู้เรียน

6. อารมณ์ (Emotion) การเรียนรู้เกี่ยวข้องกับอารมณ์ และความรู้สึกของบุคคลพอๆ กับความสามารถทางสติปัญญา ดังนั้นในการสร้างชุดการสอนควรตอบสนองต่ออารมณ์ ซึ่งก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้เป็นสำคัญ

7. การมีส่วนร่วม (Participation) การเรียนรู้จะเกิดผลอย่างรวดเร็วและคงทน หากนักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งทางสติปัญญา และควรจัดเป็นเวลายาวนานกว่าการเรียนรู้โดยการฟังหรือการดู

8. การสะท้อนกลับ (Feedback) การเรียนรู้จะเพิ่มขึ้นหากนักเรียนได้ทราบความก้าวหน้าในการเรียนรู้ จึงเป็นการสร้างแรงจูงใจ

9. การเสริมแรง (Reinforcement) เมื่อนักเรียนบรรลุผลในการเรียนรู้เนื้อหาสาระใดแล้วก็จะถูกกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องต่อไป ซึ่งการเรียนรู้ก็เป็นรางวัลที่สร้างความเชื่อมั่นและส่งผลให้เกิดพฤติกรรมในทางบวกแก่นักเรียน

10. การฝึกปฏิบัติและการทำซ้ำ (Practice and Repetition) บุคคลจะเกิดการเรียนรู้ในเรื่องของความรู้และทักษะได้ จะต้องอาศัยการฝึกปฏิบัติและการทำซ้ำอยู่เสมอ ซึ่งจะนำไปสู่ความคงทนในการเรียนรู้

11. การนำไปประยุกต์ใช้ (Application) ผลลัพธ์ที่พึงปรารถนาของการเรียนรู้ คือการเพิ่มความสามารถของแต่ละบุคคลในการประยุกต์ หรือการถ่ายโยงการเรียนรู้คือสามารถนำไป

ปรับใช้กับการศึกษาทฤษฎีที่เป็นแนวทางการสร้างชุดการสอนสรุปได้ว่า การเรียนโดยใช้ชุดการสอนเป็นการเรียนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ คือ ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรม โดยครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ให้การเสริมแรง และให้คำแนะนำในการปฏิบัติกิจกรรม โดยใช้หลักจิตวิทยา

ขั้นตอนการผลิตชุดการสอน

มีผู้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตชุดการสอนไว้หลายท่าน ดังนี้ คือ

สุกิจ ศรีพรหม (2541 :69-70) ได้นำเสนอขั้นตอนการสร้างชุดการสอนไว้ 10 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดหมวดหมู่ เนื้อหา และประสบการณ์ อาจกำหนดเป็นหมวดวิชาหรือบูรณาการเป็นแบบสหวิทยาการตามความเหมาะสม

2. กำหนดหน่วยการสอนแบ่งเนื้อหาออกเป็นการสอนโดยประมาณเนื้อหาวิชาที่ครูจะถ่ายทอดความรู้แก่นักเรียนได้ในหนึ่งสัปดาห์หรือหนึ่งครั้ง

3. กำหนดหัวเรื่อง ผู้สอนจะต้องถามตนเองว่าในการสอนแต่ละหน่วยควรให้ประสบการณ์แก่ผู้เรียนอะไรบ้าง แล้วกำหนดออกมาเป็น 4-6 หัวข้อ

4. กำหนดมโนทัศน์และหลักการให้สอดคล้องกับหน่วยและหัวเรื่องโดยสรุปรวมแนวคิดสาระและหลักเกณฑ์สำคัญไว้เพื่อเป็นแนวทางจัดเนื้อหามาสอนให้สอดคล้องกับปัญหาหรือสภาพการใหม่

5. กำหนดวัตถุประสงค์ให้สอดคล้องกับหัวเรื่อง เป็นจุดประสงค์ทั่วไปก่อนแล้วเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไว้ทุกครั้ง

6. กำหนดกิจกรรมการเรียนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมซึ่งเป็นแนวทางการเลือกและการผลิตสื่อการสอน

7. กำหนดแบบประเมินผล ต้องประเมินผลให้ตรงกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมโดยใช้แบบทดสอบอิงเกณฑ์ เพื่อให้ผู้สอนทราบว่าหลังจากผ่านกิจกรรมเรียบร้อยแล้วนักเรียนได้เปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

8. เลือกและผลิตสื่อการสอน วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการที่ครูใช้ ถือว่าเป็นสื่อการสอนทั้งสิ้น เมื่อผลิตสื่อการสอนของแต่ละหัวเรื่องแล้วก็จัดสื่อการสอนเหล่านั้นไว้เป็นหมวดหมู่ในกล่องที่เตรียมไว้ ก่อนนำไปทดลองหาประสิทธิภาพ เรียกว่า “ชุดการสอน”

9. หาประสิทธิภาพของชุดการสอนเพื่อเป็นการประกันว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสอน ผู้สร้างจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ขึ้นล่วงหน้า โดยคำนึงถึงหลักการที่ว่าการเรียนรู้เป็นกระบวนการเพื่อช่วยให้การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้เรียนบรรลุผล

10. การใช้ชุดการสอน ชุดการสอนที่ได้รับการปรับปรุงและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้สามารถนำไปสอนผู้เรียนได้ตามประเภทของชุดการสอนและตามระดับการศึกษา โดยกำหนดขั้นตอนการใช้ดังนี้

10.1 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อพิจารณาพื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียน (ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที)

10.2 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

10.3 ขั้นประกอบกิจกรรมการเรียน (ขั้นสอน) ผู้สอนบรรยายหรือแบ่งกลุ่มประกอบกิจกรรมการเรียน

10.4 ขั้นสรุปผลการสอน เพื่อสรุปมโนทัศน์และหลักการที่สำคัญ

10.5 ทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อดูพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เปลี่ยนไป

บุญเกื้อ ควรหาเวช (2543 : 97-99) โดยมี 10 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดหมวดหมู่เนื้อหา และประสบการณ์
2. กำหนดหน่วยการสอน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยการสอน
3. กำหนดหัวเรื่อง
4. กำหนดความคิดรวบยอด และหลักการให้สอดคล้องกับหน่วยและหัวเรื่อง
5. กำหนดวัตถุประสงค์
6. กำหนดกิจกรรมการเรียนการสอน
7. กำหนดแบบประเมิน
8. เลือกและผลิตสื่อการสอน
9. หาประสิทธิภาพของชุดการสอน
10. การใช้ชุดการสอน โดยมีขั้นตอนการใช้ดังนี้

10.1 ทดสอบก่อนเรียน

10.2 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

10.3 ขั้นประกอบกิจกรรมการเรียนการสอน

10.4 ขั้นสรุปผลการสอน

10.5 ทดสอบหลังเรียน

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545 : 37) กล่าวถึงขั้นตอนในการผลิตชุดการสอนไว้ดังนี้

1. กำหนดเรื่องเพื่อทำชุดการสอน ซึ่งอาจกำหนดตามเรื่องในหลักสูตรหรือกำหนดเรื่องใหม่ขึ้นมาก็ได้ การจัดแบ่งเรื่องย่อยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อหาและลักษณะการใช้ชุดการสอนนั้นๆ การแบ่งเนื้อเรื่องเพื่อทำชุดการสอนในแต่ละระดับย่อมไม่เหมือนกัน

2. กำหนดหมวดหมู่เนื้อหาและประสบการณ์ อาจกำหนดเป็นหมวดวิชาหรือบูรณาการแบบสหวิทยาการได้ตามความเหมาะสม

3. จัดเป็นหน่วยการสอนซึ่งจะแบ่งเป็นกี่หน่วย ซึ่งหน่วยหนึ่งๆ จะใช้เวลานานเท่าใดนั้น ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัยและระดับชั้นผู้เรียน

4. กำหนดหัวเรื่อง จัดแบ่งหน่วยการสอนเป็นหัวข้อย่อยๆ เพื่อสะดวกแก่การเรียนรู้ แต่ละหน่วยควรประกอบด้วยหัวข้อย่อย หรือประสบการณ์ในการเรียนรู้ประมาณ 4-6 หัวข้อ

5. กำหนดความคิดรวบยอด หรือหลักการ และต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการให้ผู้เรียนเกิดความคิดรวบยอดหรือสามารถสรุปหลักการ แนวคิดอะไร ถ้าผู้สอนยังไม่ชัดเจนว่าจะให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อะไรบ้าง การกำหนดกรอบความคิด หรือหลักการก็จะไม่ชัดเจน ซึ่งจะรวมไปถึงการจัดกิจกรรม เนื้อหาสาระ สื่อและส่วนประกอบอื่นๆ ก็จะไม่ชัดเจนตามไปด้วย

6. กำหนดจุดประสงค์การสอน หมายถึง จุดประสงค์ทั่วไปและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม รวมทั้งการกำหนดเกณฑ์การตัดสินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ไว้ชัดเจน

7. การกำหนดกิจกรรมการเรียน ต้องกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกและผลิตสื่อการสอน กิจกรรมการเรียน หมายถึง กิจกรรมทุกอย่างที่ผู้เรียนปฏิบัติ เช่น การอ่าน การทำกิจกรรมตามบัตรคำสั่ง การตอบคำถาม การเขียนภาพการทดลอง การเล่นเกม การแสดงความคิดเห็น การทดสอบ เป็นต้น

8. กำหนดออกแบบวิธีประเมินผล และต้องออกแบบประเมินผลให้ตรงกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้การสอบแบบอิงค์เกณฑ์ (การวัดผลที่ยึดเกณฑ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์โดยไม่มีการนำไปเปรียบเทียบกับคนอื่น) เพื่อให้ผู้สอนทราบว่าหลังจากผ่านกิจกรรมมาเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนได้เปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้มากน้อยเพียงใด

9. เลือกและผลิตสื่อการสอน วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการที่ผู้สอนใช้ถือเป็นสื่อในการสอนทั้งสิ้น เมื่อผลิตสื่อการสอนในแต่ละหัวเรื่องเรียบร้อยแล้ว ควรจัดสื่อการสอนเหล่านั้นแยกออกเป็นหมวดหมู่ในกล่อง/แฟ้มที่เตรียมไว้ ก่อนนำไปหาประสิทธิภาพเพื่อหาความตรงความเที่ยงก่อนนำไปใช้ เราเรียกสื่อการสอนแบบนี้ว่า ชุดการสอน โดยปกติรูปแบบของชุดการสอนที่ดีควรมีขนาดมาตรฐานเพื่อความสะดวกในการใช้และความเป็นระเบียบเรียบร้อยในการเก็บรักษาโดยพิจารณาในด้านต่างๆ เช่น การใช้ประโยชน์ ความประหยัด ความคงทนถาวร ความน่าสนใจ ความทันสมัยทันเหตุการณ์ ความสวยงาม เป็นต้น

10. สร้างข้อทดสอบก่อนและหลังเรียนพร้อมทั้งเฉลย ในการสร้างข้อสอบเพื่อทดสอบก่อนและหลังเรียนควรสร้างให้ครอบคลุมเนื้อหาและกิจกรรมที่กำหนดให้เกิดการเรียนรู้โดยพิจารณาจากจุดประสงค์การเรียนรู้เป็นสำคัญ ข้อสอบไม่ควรมากเกินไปแต่ควรเน้นกรอบความรู้สำคัญในประเด็นหลักมากกว่ารายละเอียดปลีกย่อย หรือถามเพื่อความจำเพียงอย่างเดียว และเมื่อสร้างเสร็จแล้วควรทำเฉลยไว้ให้พร้อมก่อนส่งไปหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

11. หาประสิทธิภาพของชุดการสอน เมื่อสร้างชุดการสอนเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องนำชุดการสอนนั้นๆ ไปทดสอบโดยวิธีการต่างๆ ก่อนนำไปใช้จริง เช่น ทดลองใช้เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้อง ความครอบคลุมและความตรงของเนื้อหา เป็นต้น

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคนอื่นๆ (2537 : 199) อธิบายขั้นตอนของการผลิตชุดการสอนที่ได้จัดระบบไว้แล้ว ดังนี้

1. กำหนดหมวดหมู่เนื้อหาและประสบการณ์ อาจกำหนดเป็นหมาดวิชาหรือบูรณาการค้นคว้าเป็นแบบสหวิทยาการตามที่เห็นเหมาะสม

2. กำหนดหน่วยการสอนแบ่งเนื้อหาวิชาออกเป็นหน่วยการสอน โดยประมาณเนื้อหาวิชาที่จะให้ครูสามารถถ่ายทอดความรู้แก่นักเรียนได้ในสัปดาห์ หรือครั้งละประมาณ 1-2 ชั่วโมง

3. กำหนดหัวเรื่อง ผู้สอนจะต้องกำหนดว่าในครั้งหนึ่งควรใช้ประสบการณ์อะไรบ้างแก่ผู้เรียน แล้วกำหนดหัวเรื่องออกมาเป็นหน่วยการสอน

4. กำหนดมโนทัศน์และหลักการ มโนทัศน์และหลักการที่กำหนดนี้จะต้องสอดคล้องกับหน่วยและหัวเรื่อง โดยสรุปรวมแนวคิด สาระ หลักเกณฑ์สำคัญไว้ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดเนื้อหาที่จะสอนให้สอดคล้องกัน

5. กำหนดวัตถุประสงค์ให้สอดคล้องกับหัวเรื่อง โดยคิดเป็นจุดประสงค์ทั่วไปก่อนแล้วจึงเขียนเป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

6. กำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมอันจะเป็นแนวทางในการเลือกและการผลิตสื่อการสอน ซึ่งกิจกรรมการเรียนหมายถึงกิจกรรมทุกอย่างที่ผู้เรียนปฏิบัติ เช่น การอ่านบัตรคำสั่ง ตอบคำถาม เล่นเกม ฯลฯ

7. กำหนดแบบประเมินผล ซึ่งต้องประเมินผลให้ตรงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้แบบทดสอบอิงเกณฑ์เพื่อให้ผู้สอนทราบว่า หลังจากผ่านกิจกรรมเรียบร้อยแล้วนักเรียนได้เปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

8. เลือกและผลิตสื่อการสอน วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการที่ครูใช้ทุกชนิด นับว่าเป็น สื่อการสอนทั้งสิ้น เมื่อผลิตสื่อการสอนของแต่ละหัวเรื่องแล้ว ก็จัดสื่อการสอนเหล่านั้นไว้เป็นหมวดหมู่ในกล่องที่เตรียมไว้ก่อนนำไปทดลองหาประสิทธิภาพ

9. หาประสิทธิภาพของชุดการสอน เพื่อเป็นการประกันว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสอน

จากกระบวนการผลิตชุดการสอนที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การผลิตชุดการสอนที่มีประสิทธิภาพต้องเน้นการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองของผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนรู้ถึงกระบวนการ ความเข้าใจและสามารถจัดกระทำได้โดยการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง โดยใช้สื่อที่ออกแบบให้เกิดแรงจูงใจแตกต่างระหว่างระหว่างบุคคล ทั้งนี้ชุดการสอนควรตอบสนอง วัตถุประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา การจัดการเรียนการสอน การสะท้อนกลับเพื่อทราบความก้าวหน้าในการเรียน สามารถนำไปประยุกต์หรือถ่ายโยงการเรียนรู้ไปปรับใช้กับปัญหาหรือสภาพการใหม่

ขั้นตอนการใช้ชุดการสอน

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545 : 55-58) ได้กล่าวถึงการใช้ชุดการสอน ดังนี้

1. ชุดการสอนรายบุคคลหรือชุดการสอนตามเอกัตภาพ ควรดำเนินการดังนี้

1.1 ผู้สอนควรแนะนำหรือชี้แจงภาพรวมของชุดการสอน เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนได้เข้าใจ เช่น ลักษณะการจัดการเรียนรู้ ส่วนประกอบที่สำคัญ แนะนำการใช้บัตรคำสั่ง การใช้สื่อต่างๆ เป็นต้น

1.2 ให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองจากบัตรคำสั่ง และดำเนินตากิจกรรมของบัตรคำสั่งจนครบกระบวนการ โดยมีการประเมินตนเองทั้งก่อนและหลังการใช้ชุดการสอน

2. ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม หรือชุดการสอนสำหรับการเรียนเป็นกลุ่มย่อยโดยปกติชุดการสอนชนิดนี้มักจะใช้ในการสอนแบบศูนย์การเรียน ดังนั้นการใช้ชุดการสอนควรดำเนินการดังนี้

2.1 แนะนำหรือชี้แจงการใช้ชุดการสอนเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีใช้

2.2 แบ่งกลุ่มย่อยผู้เรียนตามจำนวนชุดการสอน

2.3 ให้ผู้เรียนทำกิจกรรมตามบัตรคำสั่งที่อยู่ในชุดการสอน โดยเริ่มต้นพร้อมๆ กัน ภายในชุดการสอนจะกำหนดคำสั่ง กิจกรรม การประเมิน ภายในกรอบเวลาที่กำหนด

2.4 เมื่อผู้เรียนกลุ่มใดประกอบกิจกรรมเสร็จตามเวลาที่กำหนดแล้วให้สลับหมุนเวียนกับกลุ่มอื่นๆ ในกรณีที่ยังสลับกลุ่มไม่ได้ให้ปฏิบัติกิจกรรมในศูนย์การเรียนรู้สำรอง

3. ชุดการสอนประกอบคำบรรยายของผู้สอน การใช้ชุดการสอนประเภทนี้ ควรดำเนินการดังนี้

3.1 ผู้สอนต้องทำความเข้าใจอย่างดีกับบัตรคำสั่ง เนื้อหา สื่อ ใบงานและกิจกรรม

3.2 ผู้สอนต้องเตรียมวัสดุอุปกรณ์หรือสื่อในการนำเสนอหรือการสาธิต โดยฝึกให้เกิดทักษะก่อนนำไปปฏิบัติจริง

3.3 ผู้สอนต้องประเมินการใช้ชุดการสอน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงในโอกาสต่อไป

การใช้ชุดการสอนจะใช้ตามประเภทและจุดประสงค์ที่ทำขึ้น มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1. ขั้นทดสอบก่อนเรียนให้ผู้เรียนได้ทดสอบก่อนเรียน เพื่อพิจารณาพื้นฐานความรู้เดิมของนักเรียน อาจใช้เวลาประมาณ 10 – 15 นาที และควรเฉลยผลการทดสอบให้ผู้เรียนแต่ละคนทราบพื้นฐานความรู้ของตนเอง

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อเป็นการสร้างแรงจูงใจให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้

3. ขั้นประกอบกิจกรรมการเรียน ผู้สอนจะต้องชี้แจงและอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างละเอียดทุกขั้นตอนก่อนลงมือทำกิจกรรม

4. ขั้นสรุปบทเรียน ผู้สอนนำสรุปบทเรียนซึ่งอาจทำได้โดยการถามหรือให้ผู้เรียนสรุปความเข้าใจหรือสาระที่ได้จากการเรียนรู้ เพื่อให้แน่ใจว่าผู้เรียนมีความคิดรวบยอดตามหลักการที่กำหนด

5. ประเมินผลการเรียน โดยการทำข้อสอบหลังเรียนเพื่อประเมินดูว่าผู้เรียนบรรลุตามจุดประสงค์หรือไม่ เพื่อจะได้ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียนในกรณีที่ยังไม่ผ่านจุดประสงค์ที่กำหนดข้อใดข้อหนึ่ง

ข้อดีและข้อจำกัด

ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนมีดังนี้

ข้อดี 1. ส่งเสริมการเรียนเป็นรายบุคคล โดยผู้เรียนสามารถเรียนได้ตามความสามารถ ความสนใจ ตามเวลาและโอกาสที่เหมาะสมของแต่ละบุคคล

2. แก้ปัญหาการขาดแคลนครูผู้สอน เพราะชุดการสอนสามารถช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง และต้องการความช่วยเหลือของครูผู้สอนไม่มากนัก

3. ส่งเสริมการจัดการศึกษานอกโรงเรียนและการจัดการศึกษาตลอดชีวิต เพราะผู้เรียนสามารถนำชุดการสอนไปเรียนรู้ได้ในทุกสถานที่และทุกเวลาไม่จำกัดชั้นเรียน

4. สร้างความมั่นใจและช่วยลดภาระของผู้สอน เพราะการผลิตชุดการสอนเตรียมไว้ครบจำนวนหน่วยการเรียนรู้และจัดไว้เป็นหมวดหมู่ทำให้ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ได้ทันที

5. ผู้เรียนสามารถแสวงหาความรู้ได้ด้วยตนเอง มีโอกาสฝึกการตัดสินใจและการทำงานร่วมกับกลุ่ม

6. ช่วยให้ผู้เรียนจำนวนมากได้รับความรู้แนวเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อจำกัด 1. การออกแบบและการผลิตชุดการสอน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา ด้านเทคโนโลยี ด้านการศึกษา ด้านศิลปะทำงานร่วมกัน

2. ผู้สอนต้องเป็นกัลยาณมิตร รวมทั้งมีความกระตือรือร้นสนใจใฝ่รู้วิทยาการใหม่ๆ อยู่เสมอ

3. ต้องใช้เวลาพอสมควรในการเตรียมชุดการสอนพร้อมสื่ออุปกรณ์ให้ครบครัน

การนำไปประยุกต์ใช้

ผลลัพธ์ที่พึงปรารถนาของการเรียนรู้ คือ การเพิ่มความสามารถของแต่ละบุคคลในการประยุกต์หรือการถ่ายโยงการเรียนรู้ สามารถนำไปปรับใช้กับปัญหาหรือสภาพการณ์ใหม่ได้

สาโรจน์ แพ่งยัง (2535 : 17) ได้สรุปว่า ในการผลิตชุดการสอน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่จะถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียนนั้น จำเป็นต้องอาศัยหลักการจัดแนวคิดของทฤษฎีทางจิตวิทยาที่สำคัญดังนี้

1. ต้องให้ผู้เรียนเข้ามามีส่วนร่วม ไม่ว่าในการผลิต การใช้หรือการประเมิน
2. สื่อการสอนที่ดีต้องให้ความรู้แก่ผู้เรียนเป็นขั้นตอนทีละน้อยจากง่ายไปหายาก
3. สื่อการสอนที่ดีจะต้องเร้าความสนใจของผู้เรียน และผู้เรียนสามารถตอบสนองได้ในทันที
4. สื่อการสอนที่ดีจะต้องเหมาะกับวุฒิภาวะ และความสามารถของผู้เรียน
5. สื่อการสอนที่ดีจะต้องสามารถให้ผู้เรียนทราบผลในการเรียนได้ทันที
6. สื่อการสอนที่ดีต้องให้ผู้เรียนได้ประสบการณ์ในความสำเร็จของตน

สรุปได้ว่า สื่อการสอนที่ผลิตสามารถตอบสนองตามหลักการ สื่อนั้นย่อมนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดการสอน

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2537 : 493-500) กล่าวถึงการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนว่าเมื่อผลิตสื่อขึ้นมาใช้ประกอบการเรียนการสอน เช่น เอกสารประกอบการสอน ชุดการเรียน ชุดการสอน บทเรียนสำเร็จรูป หนังสือหรือแบบหน่วยหรือชุดฝึกแบบฝึก ควรได้รับการประเมินประสิทธิภาพของสื่อว่าเหมาะที่จะนำไปใช้ต่อไปหรือไม่ หรือสื่อนี้จะส่งเสริมหรือสนับสนุนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ หรืออย่างไร จะได้หาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพต่อไป

การทดสอบประสิทธิภาพของสื่อการสอนเป็นการนำไปทดลองใช้ (Try-out) เพื่อปรับปรุงแล้วนำไปทดลองสอนจริง (Trial run) นำผลที่ได้มาปรับปรุง แก้ไขเสร็จแล้วผลิตออกมาเป็นจำนวนมากซึ่ง ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2537 : 494) กล่าวถึงความจำเป็นที่ต้องทดสอบประสิทธิภาพของสื่อการสอน ดังนี้

1. สำหรับหน่วยงานผลิต เป็นการประกันคุณภาพของสื่อการสอนว่าอยู่ในขั้นสูงเหมาะสมที่จะลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก หากไม่ทดสอบประสิทธิภาพเสียก่อนแล้วหากผลิตออกมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ดีก็จะต้องทำใหม่เป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลา แรงงานและเงินทอง

2. สำหรับผู้ใช้สื่อการสอน ซึ่งสื่อการสอนจะทำหน้าที่สอนโดยที่ช่วยสร้างสภาพการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเปลี่ยนพฤติกรรมตามที่มุ่งหวังบางครั้งสอนแทนครู ดังนั้น ก่อนนำสื่อการสอน ไปใช้ครูควรมั่นใจว่าสื่อการสอนนั้นมีประสิทธิภาพในการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จริง การทดสอบประสิทธิภาพตามลำดับขั้น จะช่วยให้เราได้ชุดการสอนที่มีคุณค่าทางการสอนจริงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

3. สำหรับผู้ผลิตสื่อการสอน การทดสอบประสิทธิภาพจะทำให้ผู้ผลิตมั่นใจว่าเนื้อหาสาระที่นำเสนอไปนั้นเหมาะสมและง่ายต่อความเข้าใจ อันจะช่วยให้ผู้ผลิตมีความชำนาญสูงขึ้นเป็นการประหยัดแรงงาน เวลาและเงินทองในการเตรียมต้นแบบ

การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ

เกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของสื่อการสอนจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เป็นระดับที่ผู้ผลิตชุดการสอนพึงพอใจว่าหากชุดการสอนมีประสิทธิภาพถึงระดับนั้นแล้วก็จะมีคุณค่าที่จะนำไปสอนนักเรียน และคุ้มค่าแก่การลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพกระทำได้โดยการประเมินผลพฤติกรรม 2 ประเภท คือ พฤติกรรมต่อเนื่อง (กระบวนการ) และพฤติกรมขั้นสุดท้าย (ผลลัพธ์) โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น
E_1 (ประสิทธิภาพของกระบวนการ) และ E_2 (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์)

1. ประเมินพฤติกรรมต่อเนื่อง (Transitional Behavior) คือ ประเมินผลต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมย่อยหลายๆ พฤติกรรมเรียกว่า กระบวนการ (Process) ของผู้เรียนที่สังเกตจากการประกอบกิจกรรมกลุ่มและบุคคล ได้แก่ งานที่มอบหมายและกิจกรรม อื่นใดที่ผู้สอนกำหนดไว้

2. ประเมินพฤติกรรมขั้นสุดท้าย (Terminal Behavior) คือการประเมินผลลัพธ์ (Products) ของผู้เรียน โดยพิจารณาจากการสอบหลังเรียนและการสอบไล่

ประสิทธิภาพของสื่อการสอนจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหมายว่าผู้เรียนจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นที่น่าพอใจ โดยกำหนดเปอร์เซ็นต์ของผลเฉลี่ยของคะแนนการทำงานและการประกอบกิจกรรมของผู้เรียนทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์ของผลการทดสอบหลังเรียนของผู้เรียนทั้งหมด นั่นคือ
E_1 / E_2 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ / ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

ตัวอย่าง 80/80 หมายความว่า เมื่อเรียนจากแบบฝึกแล้ว ผู้เรียนจะสามารถทำแบบฝึกหัดหรืองานได้ผลเฉลี่ย 80% และทำข้อสอบหลังเรียนได้ผลเฉลี่ย 80%

การที่จะกำหนดเกณฑ์ E_1 / E_2 ให้มีค่าเท่าใดนั้นให้ผู้สอนเป็นผู้พิจารณาตามความพอใจ โดยปกติเนื้อหาที่เป็นความรู้ความจำมักจะตั้งไว้ 80/80 , 85/85 หรือ 90/90 ส่วนเนื้อหาที่เป็นทักษะอาจตั้งไว้ต่ำกว่านี้ เช่น 75/75 เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่ควรตั้งไว้ต่ำเพราะตั้งเกณฑ์ไว้เท่าใดก็มักได้ผลเท่านั้น

การยอมรับหรือไม่ยอมรับประสิทธิภาพสื่อการสอน เมื่อทดลองสื่อการสอนภาคสนามแล้วให้เทียบค่า E_1/E_2 ที่หาได้จากแบบฝึกกับ E_1/E_2 ของเกณฑ์ เพื่อดูว่าเราจะยอมรับประสิทธิภาพหรือไม่ การยอมรับประสิทธิภาพให้ถือค่าแปรปรวน 2.5 – 5 % นั่นคือประสิทธิภาพของสื่อการสอน

ไม่ควรต่ำกว่าเกณฑ์เกิน 5% แต่โดยปกติเราจะกำหนดไว้ 2.5% เช่น เราตั้งเกณฑ์ประสิทธิภาพไว้ 90/90 เมื่อทดลองแบบ 1:100 แล้ว สื่อการสอนนั้นมีประสิทธิภาพ 87.5/87.5 เราก็สามารถยอมรับได้ว่าสื่อการสอนนั้นมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้รายงานได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพไว้ที่ 80/80

การคำนวณประสิทธิภาพของสื่อการสอน

การหาประสิทธิภาพของสื่อที่สร้างขึ้น มีกระบวนการสำคัญ อยู่ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนของการหาประสิทธิภาพตามวิธีการหาประสิทธิภาพเชิงเหตุผล (Rational Approach) และขั้นตอนการหาประสิทธิภาพตามวิธีการหาประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ (Empirical Approach) ทั้งสองวิธีนี้ควรทำควบคู่กันไป จึงจะมั่นใจได้ว่าสื่อหรือเทคโนโลยีการเรียนการสอนที่ผ่านกระบวนการหาประสิทธิภาพจะเป็นที่ยอมรับได้ มีรายละเอียดดังนี้ (เผชิญ กิจระการ. 2544)

1. วิธีการหาประสิทธิภาพเชิงเหตุผล (Rational Approach)

กระบวนการนี้เป็นการหาประสิทธิภาพโดยใช้หลักของความรู้และเหตุผลในการตัดสินคุณค่าของสื่อการเรียนการสอน โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญ (Panel of Experts) เป็นผู้พิจารณาตัดสินคุณค่า ซึ่งเป็นการหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความเหมาะสมในด้านความถูกต้องของการนำไปใช้ (Usability) ผลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนจะนำมาหาประสิทธิภาพโดยใช้สูตรดังนี้

$$CVR = \frac{2N_e}{N} - 1$$

เมื่อ CVR แทน ประสิทธิภาพเชิงเหตุผล (Rational Approach)

N_e แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ยอมรับ (Number of Panelists who had Agreement)

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด (Total Number of Panelists)

ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินสื่อการเรียนการสอนตามแบบประเมินที่สร้างขึ้นในลักษณะของแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) (นิยมใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ) นำค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนไปแทนค่าในสูตร สำหรับค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญที่ยอมรับจะต้องอยู่ในระดับมากขึ้นไป

2. วิธีการหาประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ (Empirical Approach) วิธีการนี้จะนำสื่อไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนเป้าหมาย การหาประสิทธิภาพของสื่อ เช่น บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) บทเรียนโปรแกรม ชุดการสอน แผนจัดการเรียนรู้ แบบฝึกทักษะ เป็นต้น ส่วนมากใช้วิธีการหาประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้ ประสิทธิภาพที่วัดส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การทำแบบฝึกหัดหรือกระบวนการเรียน หรือแบบทดสอบย่อย โดยแสดงค่าตัวเลข 2 ตัว

เช่น E_1 / E_2 = 80/80 , E_1 / E_2 = 90/90 เป็นต้น การคำนวณหาค่า E_1 และ E_2 มีสูตรดังนี้

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

เมื่อ E_1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการ

$\sum X$ แทน คะแนนรวมของแบบฝึกหัด ใบงาน หรือแบบทดสอบย่อย ทุกชุดรวมกัน

A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดใบงาน หรือแบบทดสอบย่อย ทุกชุดรวมกัน

N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

$$E_2 = \frac{\frac{\sum Y}{N}}{B} \times 100$$

เมื่อ E_2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum Y$ แทน คะแนนของการทดสอบหลังเรียน

B แทน คะแนนเต็มของการทดสอบหลังเรียน

N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

ประสิทธิภาพของสื่อการสอน จะมาจากผลลัพธ์ของการคำนวณ E_1 และ E_2 เป็นตัวเลขตัวแรกและตัวหลังตามลำดับ ถ้าตัวเลขเข้าใกล้ 100 มากเท่าไรยิ่งถือว่ามีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาการรับรองประสิทธิภาพของสื่อการเรียนการสอน ส่วนแนวคิดในการหาประสิทธิภาพที่ควรคำนึง มีดังนี้

1. สื่อการเรียนการสอน ที่สร้างขึ้นต้องมีการกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อการเรียนการสอนอย่างชัดเจน และสามารถวัดได้

2. เนื้อหาของบทเรียนที่สร้างขึ้นต้องผ่านกระบวนการวิเคราะห์เนื้อหาตามจุดประสงค์ของการเรียนการสอน

3. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบต้องมีการประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาตามวัตถุประสงค์ของการสอนที่ได้วิเคราะห์ไว้ ส่วนความยากง่ายและอำนาจจำแนกของแบบฝึกหัดและแบบทดสอบควรมีการวิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้กำหนดค่าน้ำหนักของคะแนนในแต่ละข้อคำถาม

4. จำนวนแบบฝึกหัดต้องสอดคล้องกับจำนวนของวัตถุประสงค์และต้องมีแบบฝึกหัดและข้อคำถามในแบบทดสอบครอบคลุมทุกจุดประสงค์ของการสอน จำนวนแบบฝึกหัดและข้อคำถามในแบบทดสอบไม่ควรน้อยกว่าจำนวนวัตถุประสงค์จะเห็นได้ว่า การคำนวณหาประสิทธิภาพสื่อการเรียนการสอนนี้ เป็นผลรวมของการหาคุณภาพ (Quality) ทั้งเชิงปริมาณที่แสดงเป็นตัวเลข (Quantitative) และเชิงคุณภาพ (Qualitative) ที่แสดงเป็นภาษาที่เข้าใจได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของสื่อการเรียนการสอน ในที่นี้จึงเป็นองค์รวมของประสิทธิภาพ (Efficiency) ในความหมายของการทำในสิ่งที่ถูก (Do the Things Right) นั้นหมายถึง การเรียนอย่างถูกต้องตามกระบวนการของการเรียนและการมีประสิทธิผล (Effectiveness) ในความหมายของการทำสิ่งที่ถูกต้องให้เกิดขึ้น (Get the Right Things Done) นั้นหมายถึงผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตาม

จุดประสงค์ถูกต้องถึงระดับเกณฑ์ที่คาดหวัง ทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลนั้นจะนำไปสู่การมีคุณภาพ ซึ่งมักนิยมเรียกรวมกันเป็นที่เข้าใจสั้นๆ ว่า “ประสิทธิภาพ” ของสื่อการเรียนรู้

การประเมินประสิทธิภาพของสื่อการสอน

ประสิทธิภาพของสื่อการสอนจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหมายว่าผู้เรียนจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นที่พึงพอใจ โดยกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ของผลเฉลี่ยของคะแนนการทำงานและการประกอบกิจกรมของผู้เรียนทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์ของผลการสอบหลังเรียนของผู้เรียนทั้งหมด นั่นคือ ถ้าเกณฑ์ 80 / 80 ก็คือประสิทธิภาพของกระบวนการต่อประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2537: 916) ซึ่งประสิทธิภาพของแผนให้สถิติที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นผลรวมเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมด ถ้าค่าเฉลี่ยสูงแสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มหรือห้องนั้นๆ สูงในแผนการจัดการเรียนรู้คะแนนเฉลี่ยหลังสอนจะต้องมากกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน จึงจะถือว่าการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นค่าที่วัดการกระจายของข้อมูลหรือคะแนนของผู้เรียนในกลุ่มหรือห้องนั้นๆ ว่าผู้เรียนมีความรู้ความสามารถแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มาก ก็แสดงว่าระดับความสามารถของผู้เรียนในห้องหรือกลุ่มนั้นๆ แตกต่างกันมาก ถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) น้อยก็แสดงว่าระดับความรู้ความสามารถของนักเรียนในห้องหรือกลุ่มนั้นๆ แตกต่างกันน้อย ในแผนการจัดการเรียนรู้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) หลังเรียนจะต้องน้อยกว่าก่อนเรียนจึงจะถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ

ความสำคัญระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$)

1. ถ้า $\bar{X}$ มาก S.D. น้อย หมายความว่า ความรู้ความสามารถของกลุ่มหรือห้องนั้นๆ จะสูงใกล้เคียงกัน

2. ถ้า $\bar{X}$ มาก S.D. มาก หมายความว่า ความรู้ความสามารถของกลุ่มหรือห้องนั้นๆ จะสูงและแตกต่างกัน

3. ถ้า $\bar{X}$ น้อย S.D. น้อย หมายความว่า ความรู้ความสามารถของกลุ่มหรือห้องนั้นๆ จะต่ำใกล้เคียงกัน

4. ถ้า $\bar{X}$ น้อย S.D. มาก หมายความว่า ความรู้ความสามารถของกลุ่มหรือห้องนั้นๆ จะต่ำและแตกต่างกันมาก

3. ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) เป็นค่าเปรียบเทียบอัตราการกระจายของคะแนนกับค่าเฉลี่ยว่าการกระจายของคะแนนเป็นร้อยละเท่าใดของคะแนนเฉลี่ย ซึ่งเกณฑ์ของค่า C.V. มีดังนี้

ค่า C.V. ต่ำกว่าร้อยละ 10 การกระจายของการเรียนการสอนจะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ค่า C.V. ระหว่างร้อยละ 10 –15 การกระจายของการเรียนการสอนจะอยู่ในเกณฑ์ดี

ค่า C.V. ระหว่างร้อยละ 15 การกระจายของการเรียนการสอนยังไม่น่าพอใจ

การหาค่าดัชนีประสิทธิผล

ดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness index) หมายถึง ตัวเลขที่แสดงถึงความก้าวหน้าในการเรียนของผู้เรียน โดยการเทียบคะแนนที่เพิ่มขึ้นจากคะแนนการทดสอบก่อนเรียนกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบหลังเรียน และคะแนนเต็มหรือคะแนนสูงสุดกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียน เมื่อมีการประเมินสื่อการสอนที่ผลิตขึ้นมา เรามักจะดูถึงประสิทธิผลทางด้านการสอนและการวัดประเมินผลทางสื่อนั้น ตามปกติแล้วจะเป็นการประเมินความแตกต่างของค่าคะแนนใน 2 ลักษณะ คือ ความแตกต่างของคะแนนกับการทดสอบก่อนเรียนและคะแนนการทดสอบหลังเรียน หรือการทดสอบเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในการปฏิบัติส่วนมากจะเน้นที่ผลความแตกต่างที่แท้จริงมากกว่าผลความแตกต่างทางสถิติ แต่ในบางกรณีการเปรียบเทียบเพียง 2 ลักษณะก็อาจจะยังไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของการทดสอบใช้สื่อการเรียนการสอนครั้งหนึ่งปรากฏว่ากลุ่มที่ 1 การทดสอบก่อนเรียนได้คะแนน 18% การทดสอบ หลังเรียนได้คะแนน 67% และกลุ่มที่ 2 การทดสอบก่อนเรียนได้คะแนนจาก การทดสอบทั้งสองกรณีมีพื้นฐาน (คะแนนทดสอบก่อนเรียน) แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลถึงคะแนนสอบหลังเรียนที่จะเพิ่มได้สูงสุดของแต่ละกรณี (เผชิญ กิจระการ. 2544 : 33-39) ได้เสนอค่าดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness index) ไว้ดังนี้

1. การพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียนโดยอาศัยค่า t-test (Dependent Samples) เป็นการพิจารณาดูว่า ผู้เรียนมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างเชื่อถือได้หรือไม่ โดยทำการทดสอบผู้เรียนทุกคนก่อนเรียน (Pre test) และหลังเรียน (Post test) แล้วนำมาหาค่า t-test (Dependent Samples) หากมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ถือได้ว่าผู้เรียนกลุ่มที่ผู้วิจัยกำลังศึกษามีการพัฒนาขึ้นอย่างเชื่อถือได้

2. การหาพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียนโดยอาศัยค่าดัชนีประสิทธิผล มีสูตรดังนี้

$$\text{ดัชนีประสิทธิผล} = \frac{\text{ผลรวมคะแนนทดสอบหลังเรียน- ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}{\text{(จำนวนนักเรียน} \times \text{คะแนนเต็ม) – ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}$$

หรือ $$E.I. = \frac{P_2 - P_1}{Total - P_1}$$

เมื่อ P_1 แทน ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน

P_2 แทน ผลรวมของคะแนนหลังเรียนทุกคน

Total แทน ผลคูณของจำนวนนักเรียนกับคะแนนเต็ม

ทฤษฎีแนวคิดเกี่ยวกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ความหมายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ (Achievement) เป็นผลการเรียนรู้ตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า อันเกิดจากกระบวนการเรียนการสอนในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งที่ผ่านมา

คำว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement Test) นักวัดผลและนักการศึกษาเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น แบบทดสอบความสัมฤทธิ์ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ และได้ให้ความหมายไว้ ในแนวเดียวกัน

ในพจนานุกรม Encyclopedia World Dictionary แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ คือ แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวัดผลของการเรียนหรือการสอน

ศิริชัย กาญจนวาสี (2544 : 125) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement Tests) ใช้วัดสมรรถนะอันเป็นผลลัพธ์จากการเรียนการสอนหรือโปรแกรมการฝึกอบรม ใช้วัดผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น (What Has Learned) จากกิจกรรมการเรียนการสอนที่ผู้สอนได้จัดขึ้นเพื่อการเรียนรู้นั้น สิ่งที่มุ่งวัดจึงเป็นสิ่งที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดขึ้น ซึ่งอาจเป็นความรู้หรือทักษะบางอย่าง (ส่วนใหญ่จะเน้นทักษะทางสมองและความคิด) อันบ่งบอกถึง สถานภาพการเรียนรู้ที่ผ่านมา หรือสภาพการเรียนรู้ที่บุคคลนั้นได้รับ

วินัย ธรรมศิลป์ และคณะ (ม.ป.ป. : 5) ให้ความหมายของ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่วัดความรู้ ทักษะ และสมรรถภาพสมองด้านต่างๆ ที่เด็กได้รับจากประสบการณ์ทั้งปวง ทั้งจากโรงเรียนและทางบ้าน ยกเว้นการวัดทางร่างกายความถนัดและทางบุคคลกับสังคม

พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2545 : 95) ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ หมายถึง แบบทดสอบที่วัดความรู้ ทักษะและสมรรถภาพสมองด้านต่างๆ ที่เด็กได้รับจากประสบการณ์ทั้งปวงทั้งจากโรงเรียนและทางบ้านยกเว้นการวัดทางร่างกาย ความถนัด และทางบุคคลกับสังคม สำหรับในโรงเรียนแล้วแบบทดสอบประเภทผลสัมฤทธิ์มุ่งที่จะวัดความสำเร็จในวิชาเป็นส่วนใหญ่

สมนึก ภัททิยธานี (2546 : 73) ได้ให้ความหมายแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่วัดสมรรถภาพทางสมองด้านต่างๆ ที่นักเรียนได้รับการเรียนรู้ผ่านมา

กล่าวโดยสรุป แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ทักษะและความสามารถทางวิชาการที่ผู้เรียนได้เรียนรู้มาแล้วว่าบรรลุผลสำเร็จตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้เพียงใด

ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2545 : 96) กล่าวถึง แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบทดสอบที่ครูสร้าง (Teacher – Made Test) หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนเฉพาะกลุ่มที่ครูสอน เป็นแบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นใช้กันโดยทั่วไปในสถานศึกษา มีลักษณะเป็นแบบทดสอบข้อเขียน (Paper and Pencil Test) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2

ชนิด คือ แบบทดสอบอัตนัย (Subjective or Essay Test) และแบบทดสอบปรนัยหรือแบบให้ตอบสั้น ๆ (Objective Test or Short Answer)

2. แบบทดสอบมาตรฐาน (Standardized Test) หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนทั่วๆ ไป ซึ่งสร้างโดยผู้เชี่ยวชาญ มีการวิเคราะห์และปรับปรุงอย่างดี จนมีคุณภาพ มีมาตรฐาน กล่าวคือ มีมาตรฐานในการดำเนินการสอบ วิธีการให้คะแนนและการแปลความหมายของคะแนน

สมนึก ภัททิยธนี (2546 : 73) กล่าวถึงประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน อาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างกับแบบทดสอบมาตรฐาน

วินัย ธรรมศิลป์ และคณะ (ม.ป.ป. : 5) กล่าวถึง ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement Test) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นเอง (Teacher – Made Test) หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้กันทั่วๆ ไปในโรงเรียน ครูเป็นผู้สร้างขึ้นเอง สอบเสร็จแล้วก็ทิ้งไป จะสอบใหม่ก็สร้างขึ้นมาใหม่ หรือเอาของเก่ามาเปลี่ยนแปลง ข้อสอบแบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่าครูส่วนใหญ่ไม่ค่อยสนใจว่าข้อสอบที่ออกมานั้นใช้แล้วดี – เลวประการใด

2. แบบทดสอบมาตรฐาน (Standardized Test) หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นแล้วนำไปใช้ทดสอบ และวิเคราะห์ผลการสอบตามวิธีการทางสถิติหลายครั้งหลายหน เพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพดีและเป็นแบบทดสอบที่มาตรฐานสำหรับใช้กับเด็กทั่วๆ ไป มีการหาเกณฑ์ปกติ (Norms) เพื่อใช้เป็นหลักในการเปรียบเทียบ แบบทดสอบมาตรฐานนี้เป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดและประเมินค่าการเรียนการสอน การสร้างแบบทดสอบมาตรฐานต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมาก จึงมักเป็นงานของสถาบันใหญ่ๆ หรือเป็นงานระดับชาติ คำว่ามาตรฐาน หมายถึง มาตรฐาน 2 ประเด็น คือ มาตรฐานในการดำเนินการสอบและในวิธีการแปลคะแนน

จากประเภทแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่กล่าวมา สรุปได้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้น (Teacher – Made Test) หมายถึง แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ซึ่งสร้างขึ้นมาใช้เฉพาะเรื่องหรือเฉพาะกลุ่มของผู้เรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไปในสถานศึกษา

2. แบบทดสอบมาตรฐาน (Standardized Test) หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน มีการวิเคราะห์ข้อสอบตามวิธีการทางสถิติ มีการปรับปรุงและพัฒนาแบบทดสอบเพื่อให้ได้ข้อสอบที่มีคุณภาพ

ความแตกต่างระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มาตรฐานกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นเพื่อใช้ในชั้นเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มาตรฐานกับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นเพื่อใช้ในชั้นเรียนอาจจำแนกความแตกต่างที่ชัดเจนได้ 5 ประการ ดังนี้ (เยาวดี วิบูลย์ศรี. 2540 : 26)

1. การจำกัดของเนื้อหาวิชาที่สอบ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะสุ่มเนื้อหาสำหรับนำมาสอบในระดับที่กว้างและทั่วไป เพื่อใช้กับโรงเรียนต่าง ๆ ตลอดจนมีการ

กลั่นกรองเนื้อหาในการสร้างข้อกระทงโดยผู้เชี่ยวชาญทางเนื้อหาและหลักสูตร สำหรับแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นจะเน้นเนื้อหาเฉพาะที่เกี่ยวกับการเรียนการสอนในชั้นเรียน ครูจะทำหน้าที่เป็นผู้เชี่ยวชาญซึ่งอาจประกอบด้วยครูคนเดียวหรือคณะครูก็ได้ เป็นผู้กำหนดเนื้อหาที่เหมาะสมในการสอบ

2. การทดลองใช้แบบทดสอบ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์มาตรฐาน เมื่อสร้างขึ้นแล้วจะต้องมีการทดลองใช้ เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบทดสอบด้วยค่าสถิติต่างๆ ต่อจากนั้นก็จะรายงานในคู่มือแบบทดสอบ เช่น ค่าความตรง ความเที่ยง ระดับความยากง่าย และอำนาจจำแนกของข้อกระทงในทำนองตรงกันข้าม สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นโดยทั่วไปจะไม่มีการทดลองใช้เพื่อวิเคราะห์ค่าสถิติในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบทดสอบมาก่อน

3. วิธีดำเนินการสอบ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มาตรฐานโดยปกติจะต้องมีคู่มืออธิบายวิธีดำเนินการสอบอย่างเป็นมาตรฐาน เช่น วิธีการตอบ เวลาในการสอบ ฯลฯ ผู้ใช้แบบทดสอบต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้น โดยทั่วไปจะไม่มีคู่มือประกอบการใช้ เพราะตัวครูเองจะเป็นผู้กำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติเกี่ยวกับวิธีการสอบ

4. วิธีการให้คะแนน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มาตรฐานต้องมีคำเฉลยสำหรับการตรวจให้คะแนนตามที่ระบุอยู่ในคู่มือการใช้ทดสอบ ส่วนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นนั้นครูจะเป็นผู้ให้คะแนนตามมาตรฐานที่ครูกำหนดขึ้นเอง

5. ตารางปกติวิสัยเพื่อการเปรียบเทียบ โดยปกติแล้วแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มาตรฐานจะมีการนำไปใช้กับกลุ่มอ้างอิง หรือที่เรียกว่า Norm Group เพื่อทำตารางปกติวิสัย (Norm Table) ไว้ในคู่มือของการใช้แบบทดสอบมาตรฐาน โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้ใช้แบบทดสอบสามารถนำไปใช้ในการตีความสำหรับคะแนนสอบที่ได้รับ รวมทั้งใช้เป็นตารางเพื่อการเปรียบเทียบของคะแนนดังกล่าวด้วย ส่วนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ครูสร้างขึ้นจะมีเพียงคะแนนของผู้เข้าสอบด้วยกัน ซึ่งอาจใช้เปรียบเทียบได้เฉพาะภายในกลุ่มเท่านั้น

หลักการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะมีคุณภาพได้นั้นจะต้องอาศัยหลักการสร้างที่มีประสิทธิภาพ

Gronlund (Gronlund. 1976 : 8 – 11) ได้ให้หลักการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ดังนี้

1. ต้องนิยามพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้ที่ต้องการจะวัดให้ชัดเจน โดยกำหนดในรูปของจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียนหรือรายวิชาด้วยคำที่เฉพาะเจาะจงสามารถวัดและสังเกตได้

2. ควรสร้างแบบทดสอบให้ครอบคลุมผลการเรียนรู้ที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด ทั้งในระดับความรู้ ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้และระดับที่ซับซ้อนมากขึ้น

3. แบบทดสอบที่สร้างขึ้นควรจะวัดพฤติกรรม หรือผลการเรียนรู้ที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมการเรียนรู้ โดยจะต้องกำหนดตัวชี้วัด และขอบเขตของผลการเรียนรู้ที่จะวัดแล้วจึงเขียนข้อสอบตามตัวชี้วัดจากขอบเขตที่กำหนดไว้

4. แบบทดสอบที่สร้างขึ้น ควรประกอบด้วยข้อสอบชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมสอดคล้องกับการวัดพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ ให้มากที่สุด

5. ควรสร้างแบบทดสอบโดยคำนึงถึงแผนหรือวัตถุประสงค์ของการนำผลการทดสอบไปใช้ประโยชน์ จะได้เขียนข้อสอบให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และทันใช้ตามแผนที่กำหนด เช่น การใช้แบบทดสอบก่อนการเรียนการสอน (Pretest) สำหรับตรวจสอบความรู้พื้นฐานของผู้เรียนเพื่อการสอนซ่อมเสริม การใช้แบบทดสอบระหว่างการเรียนการสอนเพื่อการปรับปรุงการเรียนการสอน (Formative Test)และการใช้แบบทดสอบหลังการเรียนการสอนเพื่อตัดสินผลการเรียน (Summative Test)

6. แบบทดสอบที่สร้างขึ้น จะต้องทำให้การตรวจให้คะแนนไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการวัด (Measurement Errors) ซึ่งไม่ว่าจะนำแบบทดสอบไปทดสอบกับผู้เรียนในเวลาที่แตกต่างกันจะต้องได้ผลการวัดเหมือนเดิม

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530 : 41) ได้กล่าวถึง หลักในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ว่า หลักเบื้องต้นในการสร้างข้อสอบให้มีคุณภาพ มีอยู่ 2 ประการ การทราบคุณลักษณะของข้อสอบที่ดีประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งคือ การทราบคุณลักษณะที่จำเป็นของผู้เขียนข้อสอบที่ดี องค์ประกอบ 2 ประการนี้จะเป็นพื้นฐานในการเตรียมตัวของครูให้สามารถสร้างข้อสอบที่ดีได้

ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530 : 47) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการสร้างข้อสอบไว้ว่ามีอยู่ 4 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ

1. ขั้นวางแผน โดยทั่วไปในการสร้างข้อสอบควรจะกระทำกันในรูปของคณะกรรมการจะเหมาะสมกว่า เพราะจะทำให้ได้ข้อสอบที่มาจากหลายแนวความคิด และมีแง่มุมต่างๆ ในการถามกว้างขวางขึ้น แต่ในกรณีที่ครูผู้สอนจะต้องออกข้อสอบประจำวิชาที่สอนแต่เพียงผู้เดียว ก็เป็นความจำเป็นที่ครูจะต้องออกข้อสอบวิชานั้นๆ ทั้งฉบับเพียงผู้เดียว อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นการออกข้อสอบในลักษณะของกลุ่มคณะกรรมการหรือครูผู้สอนเพียงคนเดียว สิ่งที่ควรปฏิบัติในการวางแผนสร้างข้อสอบ คือ กำหนดจุดมุ่งหมาย กำหนดเนื้อหาและพฤติกรรมที่ต้องการวัด กำหนดชนิดและรูปแบบของข้อสอบ กำหนดส่วนประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นในการออกข้อสอบและในการสอบ

2. ขั้นเตรียมงาน ขั้นนี้เป็นการเตรียมสิ่งต่างๆ ที่จะต้องใช้และเอื้ออำนวยต่อการสร้างข้อสอบ ได้แก่

2.1 หลักสูตร หนังสือแบบเรียน แผนการสอน คู่มือครู

2.2 ทำการวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชาที่จะออกข้อสอบ พร้อมบันทึกผลการวิเคราะห์

2.3 อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการพิมพ์ การอัดสำเนา

2.4 กระดาษคำตอบและอื่นๆ

3. ขั้นลงมือปฏิบัติ เป็นขั้นลงมือเขียนข้อสอบ ในกรณีที่การสร้างข้อสอบนั้นทำในรูปคณะกรรมการ คณะกรรมการก็จะตกลงแบ่งงานกันไปเขียนข้อสอบ โดยกำหนดเนื้อหาและ

จำนวนข้อสอบให้แต่ละคนรับผิดชอบไป แล้วนัดหมายเวลาเพื่อมาประชุมวิจารณ์ข้อสอบที่สร้างขึ้นในขั้นนี้สิ่งที่ควรยึดถือเป็นหลักปฏิบัติ คือ

3.1 กรรมการทุกคนควรจะทราบคุณลักษณะของข้อสอบที่ดี คุณลักษณะที่จำเป็นของผู้เขียนข้อสอบ และเทคนิคการเขียนข้อสอบชนิดต่างๆ เทคนิคการเขียนข้อสอบวัดพฤติกรรมด้านความรู้และความคิด

3.2 การออกข้อสอบจะต้องยึดผลวิเคราะห์ในตารางวิเคราะห์หลักสูตรเป็นหลัก

3.3 หากมีปัญหาด้านเนื้อหาหรือด้านเทคนิควิธีการออกข้อสอบควรประชุมตกลงกัน

4. ขั้นประเมินหรือตรวจคุณภาพ ขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลไปปรับปรุงข้อสอบ แยกเป็นขั้นย่อยๆ ดังนี้

4.1 ขั้นประเมินเบื้องต้น ขั้นนี้ก็คือการวิจารณ์ข้อสอบนั่นเอง โดยผู้แทนกลุ่มวิชา ได้แก่ ประธานหรือเลขากลุ่มทำการรวบรวมข้อสอบที่กรรมการแต่ละคนสร้างมาถ่ายเอกสารพร้อมกับแจกจ่ายให้กรรมการแต่ละคนได้ใช้ในการวิจารณ์ การวิจารณ์ข้อสอบเป็นสิ่งดีและเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับข้อสอบแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ เป็นการร่วมกันพิจารณาปรับปรุงข้อคำถามและตัวเลือกให้ดีขึ้น การวิจารณ์ข้อสอบเป็นการพิจารณาในเรื่องต่อไปนี้

1. ข้อคำถามวัดในสิ่งที่ต้องการวัดหรือไม่
2. ข้อคำถามชัดเจน เข้าใจตรงกันหรือไม่
3. ข้อคำถามมีคำตอบถูกที่แน่นอนเพียงคำตอบเดียวหรือไม่
4. ข้อคำถามใช้ภาษารัดกุม เหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียนหรือไม่
5. ในกรณีเป็นข้อสอบเลือกตอบ จะต้องพิจาณาตัวลวงเหมาสมหรือไม่

การเรียงข้อคำถามถูกต้องตามหลักหรือไม่ การเรียงตัวเลือกในแต่ละข้อเรียงเหมาะสมสวยงามหรือไม่

4.2 การตรวจสอบคุณภาพหลังการทดลอง ข้อสอบที่ได้ผ่านการวิจารณ์และได้แก้ไขปรับปรุงจนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะนำไปจัดพิมพ์เพื่อนำไปทดลอง (Try – out) และเมื่อนำไปทดลองแล้วก็จะต้องนำมาตรวจคะแนน และทำการตรวจสอบคุณภาพอีก การตรวจสอบคุณภาพในขั้นนี้เป็นการพิจารณาในเรื่อง ความยากง่ายของข้อสอบ (Difficulty) และ อำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discrimination) ซึ่งเป็นการตรวจสอบเป็นรายข้อและรายตัวเลือก วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบ ก็คือ การวิเคราะห์ข้อสอบนั่นเอง

เยาวดี วิบูลย์ศรี (2540 : 179) กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์จะต้องมีการเตรียมตัวและมีการวางแผน เพื่อให้แบบทดสอบดังกล่าวมีกลุ่มตัวอย่างของพฤติกรรมที่ต้องการวัดได้อย่างเด่นชัดจากการทดสอบ แต่ละครั้ง ซึ่งจะต้องอาศัยกรรมวิธีอย่างมีระบบในการสร้างแบบสอบแต่ละชุด โดยปกติกรรมวิธีในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 กำหนดวัตถุประสงค์ทั่วไปของการสอบให้อยู่ในรูปของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยระบุเป็นข้อๆ และให้วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเหล่านั้น สอดคล้องกับเนื้อหาสาระทั้งหมดที่จะทำการทดสอบด้วย

ขั้นที่ 2 กำหนดโครงการเรื่องของเนื้อหาสาระ ที่จะทำการทดสอบให้ครบถ้วน

ขั้นที่ 3 เตรียมตารางเฉพาะ หรือผังของแบบทดสอบ เพื่อแสดงถึงน้ำหนักของเนื้อหาวิชาแต่ละส่วน และพฤติกรรมต่างๆ ที่ต้องการทดสอบให้เด่นชัด สั้น กะทัดรัด และมีความชัดเจน

ขั้นที่ 4 สร้างข้อกระทงทั้งหมดที่ต้องการจะทดสอบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนของน้ำหนักที่ระบุไว้ในตารางเฉพาะ

เพลินพิศ ธรรมรัตน์ (2542 : 91) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า การสร้างแบบทดสอบให้มีคุณภาพ จำเป็นต้องศึกษาขั้นตอนและกระบวนการต่างๆ ในการสร้างแบบทดสอบให้เข้าใจ ครูหรือผู้สร้างข้อสอบ วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ควรดำเนินการสร้างแบบทดสอบแบบครูสร้างเองตามขั้นตอน ดังนี้

1. วางแผนการสร้างแบบทดสอบ
2. การเตรียมงานเขียนข้อสอบ
3. การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ
4. การคัดเลือกและปรับปรุงแบบทดสอบ
5. การจัดพิมพ์แบบทดสอบฉบับสมบูรณ์

พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2545 : 97) กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. วิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตร การสร้างแบบทดสอบควรเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตรเพื่อวิเคราะห์เนื้อหาสาระและพฤติกรรมที่ต้องการจะวัด ตารางวิเคราะห์หลักสูตรจะใช้เป็นกรอบในการออกข้อสอบโดยระบุจำนวนข้อสอบในแต่ละเรื่องและพฤติกรรมที่ต้องการจะวัดไว้

2. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้เป็นพฤติกรรมที่เป็นผลการเรียนรู้ที่ผู้สอนมุ่งหวังจะให้เกิดขึ้นกับผู้เรียน ซึ่งผู้สอนจะต้องกำหนดไว้ล่วงหน้าสำหรับเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน และเป็นการสร้างข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์

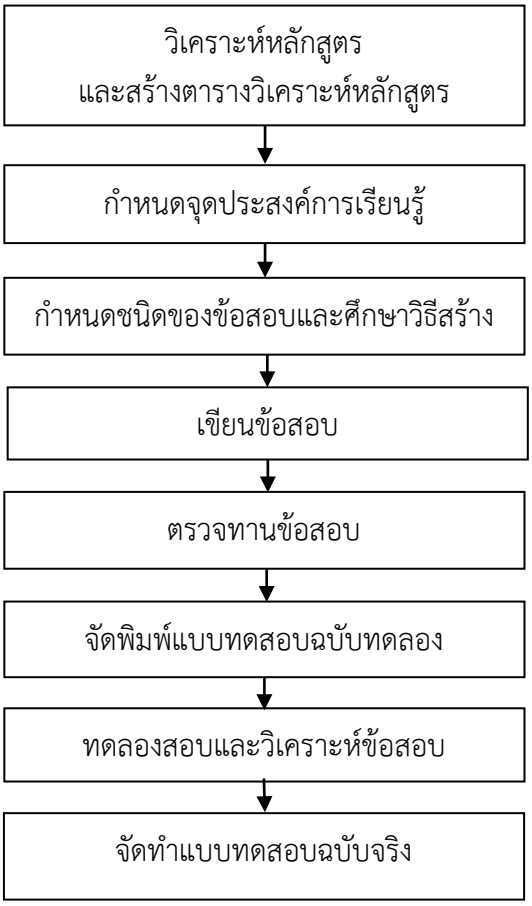
3. กำหนดชนิดของข้อสอบและศึกษาวิธีสร้าง โดยศึกษาตารางวิเคราะห์หลักสูตรและจุดประสงค์การเรียนรู้ ผู้ออกข้อสอบต้องพิจารณาและตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของข้อสอบที่จะใช้วัดว่าจะเป็นแบบใด โดยเลือกให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน แล้วศึกษาวิธีเขียนข้อสอบชนิดนั้นให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักและวิธีการเขียนข้อสอบ

4. เขียนข้อสอบ ผู้ออกข้อสอบลงมือเขียนข้อสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตรและให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยอาศัยหลักและวิธีการเขียนข้อสอบที่ได้ศึกษามา

5. ตรวจทานข้อสอบ เพื่อให้ข้อสอบที่เขียนไว้แล้ว มีความถูกต้องตามหลักวิชามีความสมบูรณ์ครบถ้วนตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร ผู้ออกข้อสอบต้องพิจารณา ทบทวน ตรวจทานข้อสอบอีกครั้งก่อนที่จะนำไปจัดพิมพ์และนำไปใช้ต่อไป

6. จัดพิมพ์แบบทดสอบฉบับทดลอง เมื่อตรวจทานข้อสอบเสร็จแล้วให้พิมพ์ข้อสอบทั้งหมด จัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับทดลอง โดยมีคำชี้แจงหรือคำอธิบายวิธีตอบแบบทดสอบ (Direction) และจัดวางรูปแบบการพิมพ์ให้เหมาะสม

7. ทดลองสอบและวิเคราะห์ข้อสอบ การทดลองสอบและวิเคราะห์ข้อสอบเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบก่อนนำไปใช้จริง โดยนำแบบทดสอบไปทดลองกับกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกลุ่มที่ต้องการสอบจริง แล้วนำผลการสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงข้อสอบให้มีคุณภาพ โดยสภาพการปฏิบัติจริงของการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ในโรงเรียนมักไม่ค่อยมีการทดลองสอบและวิเคราะห์ข้อสอบ ส่วนใหญ่นำแบบทดสอบไปใช้ทดสอบแล้วจึงวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อปรับปรุงข้อสอบและนำไปใช้ในครั้งต่อไปจัดทำแบบทดสอบฉบับจริง จากผลการวิเคราะห์ข้อสอบหากพบว่าข้อสอบข้อใดไม่มีคุณภาพหรือมีคุณภาพไม่ดีพออาจจะต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงแก้ไขข้อสอบให้มีคุณภาพดีขึ้น แล้วจึงจัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับจริงที่จะนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายต่อไปซึ่งขั้นตอนการเขียนข้อสอบของพิชิต ฤทธิ์จรูญ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ดังนี้



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของพิชิต ฤทธิ์จรูญ

ลักษณะของแบบทดสอบที่ดี

วินัย ธรรมศิลป์ และคณะ (ม.ป.ป. : 7) กล่าวถึงคุณลักษณะของแบบทดสอบที่ดีมี 10 ประการ คือ

1. ต้องเที่ยงตรง (Validity) หมายถึง คุณสมบัติที่จะทำให้ผู้ใช้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ แบบทดสอบที่มีความเที่ยงตรงสูง คือ แบบทดสอบที่สามารถทำหน้าที่วัดได้อย่างถูกต้องตามความมุ่งหมาย

2. ต้องยุติธรรม (Fair) คือ โจทย์คำถามทั้งหลายไม่มีช่องทางแนะให้เด็กฉลาดใช้ไหวพริบเดาได้ถูก ไม่เปิดโอกาสให้เด็กเกียจคร้านที่ดูตำราแต่ลวกๆ ตอบได้ดี

3. ต้องถามลึก (Searching) วัดความลึกซึ้งของวิทยาการตามแนวดิ่งมากกว่าที่จะวัดตามแนวกว้าง ว่ารู้มากน้อยปานใด

4. ต้องยั่วยุเป็นเยี่ยงอย่าง (Exemplary) คือ คำถามมีลักษณะท้าทาย เชิญชวนให้คิดเด็กสอบแล้วเกิดรอยพิมพ์ใจ ใคร่จะรู้เห็นเรื่องราวนั้นให้กว้างยิ่งขึ้นไปอีก

5. ต้องจำเพาะเจาะจง (Definite) คือ เด็กอ่านคำถามแล้วต้องเข้าใจแจ่มชัดว่าครูถามอะไร ไม่ถามครอบจักรวาลและไม่ถามคลุมเครือ

6. ต้องเป็นปรนัย (Objectivity) คำว่า ปรนัย ควรจะต้องหมายถึงคุณสมบัติ 3 ประการคือ

6.1 แจ่มชัดในความหมายของคำถาม

6.2 ความแจ่มชัดในวิธีตรวจหรือมาตรฐานในการให้คะแนน

6.3 ความแจ่มชัดในการแปลความหมายของคะแนนนั้นๆ

7. ต้องมีประสิทธิภาพ (Efficiency) คือ สามารถให้คะแนนที่เที่ยงตรงและเชื่อถือได้มากที่สุดภายในเวลาและแรงงานที่น้อยที่สุดด้วย

8. ต้องยากพอเหมาะ (Difficulty)

9. ต้องมีอำนาจจำแนก (Discriminstion) คือ สามารถแยกเด็กออกเป็นประเภทๆ ได้ทุกชั้น ทุกระดับ อย่างถ้วนถี่และครบถ้วนตั้งแต่อ่อนสุดจนถึงเก่งสุด

10. ต้องเชื่อมั่นได้ (Relisbility) คือ ข้อสอบนั้นสามารถให้คะแนนได้คงที่แน่นอนไม่แปรผัน อุปมาดังนาฬิกาที่เดินเร็วสม่ำเสมอ

แนวคิด และทฤษฎีเกี่ยวกับแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ความสามารถ (Ability) เป็นพลังที่แสดงถึงสมรรถนะการทำงานของบุคคลในปัจจุบัน แบบสอบความสามารถ (Ability Test) ใช้วัดทักษะความสามารถต่างๆ ที่บุคคลได้พัฒนาขึ้นมา แบบสอบความสามารถเป็นแบบสอบที่ใช้วัดสมรรถนะของบุคคลในการทำงานใดงานหนึ่ง (Power to Perform a Task) สิ่งที่มุ่งวัดจึงเป็นระดับของทักษะทั้งความคิดและการปฏิบัติที่แสดงถึงความสามารถเฉพาะอย่างในสภาพปัจจุบัน (Current) ของบุคคล (ศิริชัย กาญจนวาสี. 2544 : 1 – 24)

เอกสารประกอบการสอน

ความหมายของเอกสารประกอบการสอน

เอกสารประกอบการสอนนับว่ามีความสำคัญยิ่งในการเรียนการสอนในปัจจุบัน ดังที่มีผู้ให้ความหมายของเอกสารประกอบการสอน ไว้ดังนี้

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2537 : 3) ให้ความหมายว่า เอกสารประกอบการสอนเป็นสื่อกลางให้ผู้สอนสามารถส่งหรือถ่ายทอดความรู้ เจตคติและทักษะไปสู่นักเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นสิ่งที่จะเอื้อต่อการศึกษาเล่าเรียนของเยาวชนด้วยการช่วยให้เกิดความรู้ทักษะ เจตคติและกิจนิสัยที่พึงประสงค์ อาจจะเป็นสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายๆ สิ่งรวมกัน

วิเชียร เกษประทุม (2541 : 2) กล่าวถึง ความหมายของเอกสารประกอบการเรียนหรือเอกสารประกอบการสอน ว่าหมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการสอนวิชาใดวิชาหนึ่งตามหลักสูตร มีลักษณะเป็นเอกสารหรืออุปกรณ์เกี่ยวข้องในวิชาที่สอน ประกอบด้วย แผนการสอน หัวข้อบรรยาย ซึ่งมีรายละเอียดพอสมควร และอาจมีสิ่งต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น รายชื่อบทความหรือหนังสืออ่านประกอบ

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2544 : 2) กล่าวถึง เอกสารประกอบการเรียนการสอน คือ เอกสารที่จัดขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนของครู หรือประกอบการเรียนของนักเรียนในวิชาใดวิชาหนึ่ง ควรมีหัวข้อเรื่อง จุดประสงค์ เนื้อหาสาระและกิจกรรม เพื่อจะส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้ตามที่หลักสูตรกำหนด

ราชบัณฑิตยสถาน (2546 : 647) ให้ความหมายของเอกสารประกอบการสอนไว้ว่า หมายถึง วัสดุหรือเครื่องมือที่จัดทำขึ้นซึ่งมีข้อมูลเนื้อหาสาระที่เป็นประโยชน์ต่อประสบการณ์การเรียนรู้สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการเรียนการสอนของครูและนักเรียนให้เป็นไปตามหลักสูตรกำหนด

วาโร เพ็งสวัสดิ์ (2546 : 31) กล่าวว่า เอกสารประกอบการสอน หมายถึง เอกสารหรืออุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการสอนวิชาใดวิชาหนึ่งตามหลักสูตรที่กำหนด มีลักษณะเป็นเอกสารหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในวิชาที่สอน ซึ่งจะประกอบไปด้วยแผนการสอน หัวข้อคำบรรยาย และอาจมีสิ่งต่อไปนี้เพิ่มเติมก็ได้ คือ หนังสือประกอบ บทเรียบเรียง บทคัดย่อ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เป็นต้น

ปานรวี ยงยุทธวิชัย (2549 : 5) กล่าวถึง เอกสารประกอบการสอน หมายถึง เอกสารหรือสื่ออื่น ๆ ที่ใช้ประกอบการสอนวิชาใดวิชาหนึ่งตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยที่สะท้อนให้เห็นเนื้อหาวิชาและวิธีการสอนอย่างเป็นระบบ

สุวิทย์ มูลคำ และสุนันทา สุนทรประเสริฐ (2550 : 41) กล่าวว่า เอกสารประกอบการเรียนการสอน หมายถึง เอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนของครู หรือประกอบการเรียนของนักเรียนในวิชาใดวิชาหนึ่ง ควรมีหัวข้อเรื่อง จุดประสงค์ เนื้อหาสาระ และกิจกรรมเพื่อจะส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้ตามหลักสูตรกำหนด

จากความหมายของเอกสารประกอบการสอน หรือเอกสารประกอบการเรียนการสอนที่กล่าวมาข้างต้น อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า เอกสารประกอบการสอน คือ เอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนของครู หรือประกอบการเรียนในวิชาใดวิชาหนึ่ง โดยเอกสารที่ผลิตขึ้นจะครอบคลุมหัวข้อเรื่อง สาระสำคัญ จุดประสงค์ เนื้อหาสาระ และกิจกรรมเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้ตามหลักสูตรที่กำหนด เอกสารประกอบการสอน จึงสามารถจัดทำได้หลายรูปแบบ ตามความเหมาะสมของเนื้อหา และกิจกรรมในแต่ละวิชาซึ่งอาจรวมถึงบทเรียนสำเร็จรูป ใบความรู้ ใบงาน แบบฝึกในลักษณะต่างๆ ด้วย และแบบทดสอบท้ายหน่วยการเรียน เพื่อขยายแนวทาง ประสบการณ์การเรียนรู้และประสิทธิภาพการสอนให้สูงขึ้น

ส่วนประกอบของเอกสารประกอบการสอน

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2547 : 17 – 18) กล่าวว่า เอกสารประกอบการสอนไม่มีรูปแบบที่จำเพาะเจาะจง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ผลิตที่จะคำนึงถึงลักษณะการนำไปใช้ และกลุ่มผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อความเหมาะสมให้เป็นรูปแบบในแนวเดียวกัน ได้เสนอแนะส่วนประกอบของเอกสารประกอบการสอน ไว้ดังนี้

1. ส่วนนำ ควรมีส่วนประกอบดังนี้
   1.1 ปกนอก
   1.2 ปกใน
   1.3 คำนำ
   1.4 สารบัญ
   1.5 คำชี้แจงหรือคำแนะนำในการใช้
   1.6 จุดประสงค์
2. ส่วนเนื้อหา อาจแบ่งเป็นเรื่องย่อย หรือเป็นตอนตามลักษณะของเนื้อหา ควรมีส่วนประกอบดังนี้
   2.1 ชื่อบท หรือชื่อหน่วย หรือชื่อเรื่อง
   2.2 หัวข้อเรื่องย่อย
   2.3 จุดประสงค์การเรียนรู้
   2.4 กิจกรรมหลัก
   2.5 เนื้อหาโดยละเอียด
   2.6 กิจกรรมฝึกปฏิบัติ หรือแบบฝึก หรือใบงาน
   2.7 บทสรุป (ถ้ามี)
3. ส่วนอ้างอิง อาจอยู่ส่วนท้ายของเนื้อหาในแต่ละตอน หรืออยู่ท้ายเล่มเอกสาร ควรมีส่วนประกอบดังนี้
   3.1 เอกสารอ้างอิงประจำบท หรือบรรณานุกรม
   3.2 ภาคผนวก (ถ้ามี) เช่น เฉลยแบบฝึกหัด

ปานรวี ยงยุทธวิชัย (2549 : 15 – 18) กล่าวถึงลักษณะของเอกสารประกอบการสอนดังนี้

1. จัดทำเป็นรูปเล่ม มี ปกนอก ปกใน คำนำ สารบัญ
2. มีการแบ่งบทเรียน รายการเอกสารประกอบการสอน
3. เนื้อหาเรียงตามแผนการจัดการเรียนรู้และมีจุดประสงค์การสอนแต่ละบทที่คำนึงถึงลำดับการเรียนรู้
4. แต่ละบทมีแบบฝึกหัดท้ายบท

จากข้อมูลที่กล่าวมา จะเห็นว่าส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ของเอกสารประกอบการสอน ได้แก่ ปก คำนำ สารบัญ คำแนะนำ เนื้อหาและแบบทดสอบ ดังนั้นในการจัดทำเอกสารประกอบการสอน ผู้รายงานจึงได้จัดทำเอกสารประกอบการสอนที่มีส่วนประกอบ ดังนี้

1. ส่วนนำ มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 ปกนอก

1.2 ปกใน

1.3 คำนำ

1.4 สารบัญ

1.5 คำชี้แจงหรือคำแนะนำในการใช้

2. ส่วนเนื้อหา แบ่งเป็นเรื่องย่อยหรือเป็นตอนตามลักษณะของเนื้อหา โดยมีส่วนประกอบดังนี้

2.1 ชื่อบทหรือชื่อหน่วยหรือชื่อเรื่อง

2.2 สาระสำคัญ

2.3 จุดประสงค์การเรียนรู้

2.4 สาระการเรียนรู้

2.5 เนื้อหาโดยละเอียดหรือใบความรู้

2.6 กิจกรรมฝึกปฏิบัติ หรือแบบฝึกปฏิบัติกิจกรรม หรือแบบฝึกหัด

2.7 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อทราบผลการพัฒนาของผู้เรียน

2.8 แบบประเมินที่ใช้ระหว่างปฏิบัติกิจกรรม

3. ส่วนอ้างอิง อาจอยู่ส่วนท้ายของเนื้อหาในแต่ละตอน หรืออยู่ท้ายเล่ม เอกสารควรมีส่วนประกอบดังนี้

3.1 เอกสารอ้างอิงประจำบท หรือบรรณานุกรม

3.2 ภาคผนวก (ถ้ามี) เช่น เฉลยแบบฝึกหัด

ชนิดของเอกสารประกอบการสอน

สุรชัย บุญญานุสิทธิ์ (อ้างอิงจาก อัจฉรา ดลประสิทธิ์. 2549 : 5) ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับชนิดของเอกสารประกอบการสอน ไว้ดังนี้

1. ใบความรู้ มุ่งเสนอเนื้อหาสาระประกอบการสอน

2. ใบงาน ใช้เป็นแนวทางในการฝึกปฏิบัตินักเรียน

3. แบบฝึกหัด ใช้ฝึกกิจกรรมหรือทักษะที่สอดคล้องตามเนื้อหาสาระที่เรียน

4. แผ่นคำสอน เสนอเนื้อหาสาระกิจกรรมและข้อทดสอบหลังเรียน

5. บทเรียนซ่อมเสริม ใช้เป็นบทเรียนซ่อมเสริมการเรียนรู้ให้สูงขึ้น

6. เอกสารการสอนใช้ประกอบการเรียนประจำหน่วยใดหน่วยหนึ่ง ในเรื่องวิชาประกอบด้วย แผนการสอน การทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน กิจกรรมและแบบฝึกปฏิบัติ

7. หนังสือเสริมประสบการณ์ สร้างเสริมทักษะและนิสัยรักการอ่านหรือเพิ่มพูนความรู้ในการเรียนตามหลักสูตรให้กว้างขวางยิ่งขึ้น มี 2 รูปแบบ คือ

7.1 หนังสืออ่านนอกเวลา ใช้อ่านนอกเวลาตามที่หลักสูตรระบุไว้

7.2 หนังสืออ่านเพิ่มเติม เนื้อหาสาระอิงหลักฐาน (ความรู้เพิ่มเติม)

8. คู่มือครู/คู่มือการเรียน เป็นเอกสารที่ครูและนักเรียนใช้เป็นแนวทางในการเรียนการสอน เพื่อให้การสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

8.1 คำแนะนำสำหรับครูผู้สอน
8.2 เนื้อหาสาระของหลักสูตร
8.3 กำหนดเวลาสอน
8.4 ความคิดรวบยอด หลักการหรือมโนทัศน์
8.5 จุดประสงค์การเรียนรู้
8.6 วิธีสอนและกิจกรรม
8.7 วิธีการวัดผล/สื่อสนับสนุนการเรียนการสอน
8.8 ข้อทดสอบ/แบบฝึกหัดรูปแบบต่าง ๆ พร้อมคำเฉลย
8.9 แหล่งอ้างอิงเพิ่มเติม
8.10 ภาคผนวก (การนำเสนอข้อมูลเพิ่มเติมจากเนื้อหาสาระ)

กล่าวโดยสรุป เอกสารประกอบการสอนมีรูปแบบที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของกิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งผู้สอนจะต้องเลือกให้เหมาะสม

ข้อควรพิจารณาในการผลิตเอกสารประกอบการสอน

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2547 : 19 – 20) ได้นำเสนอเทคนิคการเขียน และข้อควรพิจารณาบางประการ ดังนี้

1. กลุ่มเป้าหมาย ควรพิจารณาถึงกลุ่มเป้าหมายในด้านจิตวิทยา วุฒิภาวะ และวัยของผู้เรียนเป็นสำคัญ เพราะผู้เรียนแต่ละระดับย่อมมีความต้องการแตกต่างกัน ทั้งในด้านเนื้อหา การใช้ภาษา ภาพประกอบ และขนาดตัวอักษรที่ใช้ในเอกสารประกอบการเรียนการสอน

2. การกำหนดเนื้อหา ต้องมีความถูกต้องและเหมาะสม ความถูกต้อง ได้แก่ การมีเนื้อหาสาระตามที่หลักสูตรกำหนด มีความเที่ยงตรงของข้อมูลที่นำเสนอ มีความชัดเจนทันสมัยเป็นปัจจุบัน ไม่กำกวมสับสน หรือเบี่ยงเบนข้อเท็จจริง ส่วนความเหมาะสม ได้แก่ ความยากง่ายของเนื้อหาสาระ โดยพิจารณาถึงด้านวัยวุฒิ ประสบการณ์ และพื้นฐานของผู้เรียนเป็นสำคัญ

3. การเรียบเรียงถ้อยคำ ควรคำนึงถึง

3.1 รูปแบบ ควรเขียนให้สั้นกะทัดรัดที่ได้ใจความ ไม่มีคำขยายโดยไม่จำเป็น

3.2 การเว้นวรรคตอน ควรฝึกให้เป็นนิสัย เพราะการเขียนโดยไม่เว้นวรรคตอน หรือ เว้นวรรคตอนผิดที่ อาจจะทำให้ผิดความหมาย และเกิดความเสียหายต่อผู้เรียนได้

3.3 การย่อหน้า ควรย่อหน้าเมื่อเปลี่ยนประเด็นของเนื้อหา หรือเพื่อต้องการดึงดูดความสนใจของผู้เรียน โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมเป็นสำคัญ

4. การใช้ภาษา ควรเขียนให้อ่านง่ายและเข้าใจได้อย่างรวดเร็ว คำนึงถึงเนื้อหาและกลุ่มเป้าหมายในการที่จะสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรหลีกเลี่ยงการใช้คำซ้ำซาก และเล่นคำจนผู้เรียนสับสน

5. เทคนิคการนำเสนอ ควรมีความน่าสนใจ เร้าใจ ชวนให้ติดตาม ใคร่รู้ ใคร่ศึกษาต่อไปไม่บรรจุความรู้และข้อมูลที่อัดแน่นจนเกินไป ควรมีการสร้างบรรยากาศของความเป็นกันเองระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน เป็นการสื่อสารระหว่างผู้ส่งสารกับผู้รับสารในเชิงการพูดคุย เสมือนตัวหนังสือมีวิญญาณ การใช้ภาพประกอบการนำเสนอก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยเร้าความสนใจหรือเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาที่เป็นนามธรรมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรใช้ภาษาที่สอดคล้องกับเนื้อหา มีขนาด

พอเหมาะ และมีความชัดเจน มีเทคนิคการใช้คำถามนำที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน เพื่อนำไปสู่การค้นหาคำตอบในเนื้อหา จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจสิ่งที่ตนกำลังศึกษามากขึ้น การมีกิจกรรมแบบฝึกหัด แบบประเมินผล หรือแบบทดสอบ ล้วนเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้การใช้เอกสารประกอบการสอนบรรลุจุดประสงค์ได้เป็นอย่างดี

สรุปได้ว่า เทคนิคการจัดทำเอกสารประกอบการสอน ต้องคำนึงถึงข้อควรพิจารณาหลายประการ ได้แก่ วัยของผู้เรียน ความถูกต้องและเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบ การเว้นวรรคตอน การย่อหน้า การใช้ภาษา ควรเขียนให้อ่านง่ายและเข้าใจง่าย มีเทคนิคการนำเสนอที่น่าสนใจชวนติดตาม

การออกแบบและผลิตเอกสารประกอบการสอน

สุรชัย บุญญานุสิทธิ์ (อ้างอิงจาก อัจฉรา ดลประสิทธิ์. 2549 : 7) ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและผลิตเอกสารประกอบการสอน ไว้ดังนี้

1. กำหนดปัญหาและความต้องการจำเป็น โดย
   1.1 ระบุปัญหาว่าอยู่ในระดับใด (ตัวป้อน/กระบวนการ/ผลลัพธ์)
   1.2 ระบุความต้องการจำเป็น (จุดประสงค์ทั่วไปและเฉพาะ)
   1.3 ระบุประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (แก้ไข/ปรับปรุง/ป้องกัน/พัฒนา)
2. กำหนดทรัพยากรที่จำเป็นในการพัฒนา ได้แก่
   2.1 วัสดุ/อุปกรณ์/งบประมาณ/กำลังคน
   2.2 วิธีการ
3. วิเคราะห์หลักสูตร เกี่ยวกับ
   3.1 จุดประสงค์รายวิชา (จุดประสงค์การเรียนรู้/ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง)
   3.2 คำอธิบายรายวิชา (หัวข้อเนื้อหาสาระ)
   3.3 ธรรมชาติของรายวิชา
   3.4 หน่วยการเรียนและการสอน
4. เลือกและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับ
   4.1 แนวคิด ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องกับเอกสารการสอน
   4.2 ศึกษารูปแบบและองค์ประกอบของเอกสารการสอน
   4.3 เอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่จะใช้ในการเขียนเอกสารการสอน
5. วิเคราะห์ผู้เรียนเกี่ยวกับ
   5.1 ระดับสติปัญญา/อัตราการเรียนรู้/ผลการเรียนเดิม
   5.2 แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์/ความขยันหมั่นเพียร
   5.3 ความถนัด ความสามารถ และความสนใจในการคิด การอ่าน
   5.4 เจตคติต่อรายวิชา
6. การจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ (สัมพันธ์กับเอกสารการสอนที่ผลิตขึ้น) โดย
   6.1 กำหนดหน่วย/ตอน/เรื่องของเนื้อหาสาระ
   6.2 กำหนดเวลาเรียน
   6.3 เขียนจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์นำทาง/ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง)

6.4 กำหนดความคิดรวบยอด หลักการหรือมโนคติ

6.5 เขียนเนื้อหาสาระ

6.6 กำหนดกิจกรรมการเรียน (ขั้นนำ/ขั้นปฏิบัติ/ขั้นสรุป)

6.7 เลือกผลิตและจัดหาสื่อการสอน

6.8 กำหนดวิธีการวัดผลและเครื่องมือวัดผล

6.9 วิธีการส่งเสริมความแม่นยำหรือการซ่อมเสริม

7. การผลิตเอกสารการสอนโดย

7.1 ออกแบบเค้าโครงของเอกสารการสอน

7.2 เขียนเนื้อหาสาระและกิจกรรมปฏิบัติ

7.3 สร้างเครื่องมือวัดผล (ข้อทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน)

7.4 ผลิตต้นแบบของเอกสารประกอบการสอน

7.5 ตรวจสอบความเชื่อมั่น

8. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพโดย

8.1 นำไปใช้ในสถานการณ์จริง (1 : 100)

8.2 วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนก่อนเรียน (ก่อนใช้เอกสาร)

8.3 วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนกิจกรรมทั้งหมดเป็นค่าร้อยละ

8.4 วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนหลังเรียน (หลังการใช้เอกสาร)

8.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ข้อ 2. กับข้อ 4. และข้อ 3. กับข้อ 4.

8.6 แปลผลและนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์ข้อ 5

9. ปรับปรุง/จัดพิมพ์ให้ถูกต้อง/จัดเก็บไว้อย่างเป็นระบบ/เผยแพร่

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2544 : 6) กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตเอกสารประกอบการสอนดังนี้

1. วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุจากการเรียนการสอนซึ่งอาจได้มาจากการสังเกตปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการสอน การบันทึกปัญหาระหว่างสอน การศึกษาและวิเคราะห์ผลการเรียน

2. ศึกษารายละเอียดในหลักสูตรเพื่อวิเคราะห์เนื้อหา จุดประสงค์และกิจกรรม

3. เลือกเนื้อหาที่เหมาะสมแบ่งเป็นบทเป็นตอน หรือเป็นเรื่องเพื่อแก้ปัญหาที่พบ

4. ศึกษารูปแบบของการเขียนเอกสารประกอบการสอนและกำหนดส่วนประกอบภายในเอกสารประกอบการสอน

5. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมากำหนดเป็นจุดประสงค์ เนื้อหา วิธีการและสื่อประกอบเอกสารในแต่ละบทหรือแต่ละตอน

6. เขียนเนื้อหาในแต่ละตอน รวมทั้งภาพประกอบ แผนภูมิ และข้อทดสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

7. ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

8. นำไปทดลองใช้ในห้องเรียนและเก็บบันทึกผลการใช้

9. นำผลที่ได้มาใช้พิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่อง (อาจทดลองใช้มากกว่า 1 ครั้ง เพื่อปรับปรุงเอกสารประกอบการสอนนั้นให้สมบูรณ์และมีคุณภาพมากที่สุด)

10. นำไปใช้จริงเพื่อแก้ปัญหาที่พบจากข้อ 1

กรมวิชาการ (2545 : 35) กล่าวถึง การสร้างและผลิตเอกสารประกอบการสอน โดยทั่วไปมีกระบวนการดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์
2. ศึกษาและกำหนดสมบัติของนักเรียน
3. กำหนดและวิเคราะห์เนื้อหาสาระ
4. กำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
5. กำหนดรูปแบบและวิธีประเมินผล
6. กำหนดวิธีการและแนวทางการเสนอเนื้อหา
7. กำหนดแหล่งข้อมูลที่สนับสนุนการจัดทำ

กล่าวโดยสรุปแล้ว การออกแบบและผลิตเอกสารประกอบการสอน หรือเอกสารประกอบการเรียนการสอน จะต้องเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการของผู้เรียน วิเคราะห์หลักสูตร เอกสารทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จัดทำเอกสารประกอบการเรียน หรือเอกสารประกอบการสอน และหาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียน หรือเอกสารประกอบการสอน แล้วดำเนินการปรับปรุงและจัดพิมพ์

หลักการเขียนเอกสารประกอบการสอน

สุนันทา สุนทรประเสริฐ (2544 : 2 – 3) กล่าวว่า เอกสารประกอบการสอน ควรเขียนเนื้อหา โดยยึดหลักดังนี้

1. การเรียงลำดับไม่สับสน อาจเรียงตามความยากง่ายของเนื้อหา
2. ความถูกต้องทันสมัย เนื้อหาที่จะเขียนจะต้องถูกต้องตามหลักทฤษฎี และหลักการ เชื่อถือได้ ทันสมัย ทันเหตุการณ์
3. ครบถ้วน ตรงตามหัวข้อเรื่องหรือหลักสูตร ครอบคลุมเนื้อหาอย่างครบถ้วน
4. สอดคล้องกับหัวเรื่องและจุดประสงค์
5. มีการอธิบายเพิ่มเติม ขยายความหรือยกตัวอย่างประกอบ
6. มีภาพประกอบ แผนภูมิ หรือตารางประกอบเนื้อหา เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจได้อย่างชัดเจน

ปานรวี ยงยุทธวิชัย (2549 : 20) สรุปข้อเสนอแนะ ในการเขียนเอกสารประกอบการสอน ดังนี้

1. คำที่ใช้ต้องตรวจสอบจากพจนานุกรมที่เป็นที่ยอมรับ อย่าให้ผิด
2. ต้องมี Reference ของภาพ และข้อความ ที่คัดลอกมา
3. อย่าใช้คำว่าหน่วยที่ แบบในแผนการจัดการเรียนรู้ แต่ให้ใช้คำว่า บทที่
4. หัวข้อใหญ่ตัวอักษรใหญ่ชิดซ้าย หัวข้อย่อยย่อหน้า 1 Tab ตัวเล็กลง และลดหลั่นกันไป
5. Technical Term ต้องแปลเป็นภาษาไทย เช่น แฟ้มข้อมูลหลัก (Master File) เป็นต้น
6. อย่าใช้คำไทย สลับกับคำภาษาอังกฤษ

ชาตรี สำราญ (2547 : 10) กล่าวถึง หลักการเขียนเอกสารประกอบการสอน หรือเอกสารประกอบการเรียนการสอน ควรมีรูปแบบเนื้อหา ควรรวบรวมเรียบเรียงจากหลายแหล่งเรียนรู้ ควรจับประเด็นใจความให้เข้าใจแล้วนำมาเขียนใหม่จากความเข้าใจของตนเอง

จากการศึกษาหลักการเขียนเอกสารประกอบการสอน ผู้รายงานสรุปหลักการเขียนเอกสารประกอบการสอน ได้ว่า

1. เนื้อหาควรเรียงตามความยากง่าย
2. มีความถูกต้องทันสมัย เชื่อถือได้
3. ครบถ้วน ตรงตามหัวข้อเรื่องหรือหลักสูตร ครอบคลุมเนื้อหาอย่างครบถ้วน
4. สอดคล้องกับหัวเรื่องและจุดประสงค์
5. มีการอธิบายเพิ่มเติม ขยายความ
6. มีภาพประกอบ เพื่อให้ผู้เรียนได้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

ประโยชน์ของเอกสารประกอบการสอน

เอกสารประกอบการสอนเป็นคู่มือครูชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการเรียนการสอนดังที่มีผู้กล่าวถึงประโยชน์ของเอกสารประกอบการสอน ดังนี้

เดือนฉาย ศรีสวัสดิ์ (2541 : 17) กล่าวว่า เอกสารประกอบการสอน มีประโยชน์ ในการใช้เป็นคู่มือครู เพื่อการพัฒนาการเรียนการสอนของครู และพัฒนาทักษะการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ และผู้เรียนบรรลุจุดมุ่งหมายของหลักสูตร

รัชนีกร ทองสุขดี (2545 : 101) กล่าวว่า การสร้างเอกสารประกอบการสอน มีประโยชน์ดังนี้

1. ผู้เขียนได้มีโอกาสศึกษารายละเอียดแห่งวิชาตามโครงสร้าง ที่หลักสูตรแห่งวิชานั้น
2. ผู้เขียนได้ฝึกกำหนดขอบข่ายของเรื่องที่จะเขียน ตามคำอธิบายรายวิชานั้นๆ เช่น หัวเรื่อง(Topic) หรือรายบทเรียน และหัวข้อย่อย (Sub-Topic)
3. ผู้เขียนได้ฝึกการค้นคว้าแหล่งวิชาต่างๆ ที่จะประกอบการเขียนตามรายบท และขอบข่ายที่ผู้เขียนได้กำหนดขอบข่ายไว้
4. ผู้เขียนได้ฝึกใช้เชิงอรรถ จัดทำบรรณานุกรมอ้างอิงเพื่อให้การใช้เอกสารประกอบการสอนวิชานั้นมีความสมบูรณ์ขึ้น หรือสำหรับนักศึกษาที่สนใจอาจค้นคว้าศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้
5. ผู้เขียนได้เตรียมกำหนดแนวการสอนตามลักษณะบทเรียน โดยคำนึงถึงกิจกรรมที่เหมาะสมที่จะช่วยให้นักศึกษาสามารถเรียนบทเรียนนั้นๆได้ดี
6. ผู้เขียนได้มีโอกาสศึกษาโครงสร้างจากคำอธิบายรายวิชา เพื่อช่วยให้เข้าใจได้ว่าเนื้อหาตามคำอธิบายรายวิชานั้น อาจเป็นหัวเรื่องหรือหัวข้อย่อยที่อยู่ในหัวเรื่องใดหัวเรื่องหนึ่ง และอาจสลับหัวเรื่อง เพื่อความสะดวกในการศึกษา หรือเพื่อช่วยให้เนื้อหานั้นเกิดความต่อเนื่องกันเป็นอย่างดี
7. ช่วยให้ผู้เขียนได้เล็งเห็นลักษณะการจัดเนื้อหาวิชา จากคำอธิบายรายวิชานั้นว่ากว้าง แคบมีข้อบกพร่อง หรือ จุดเด่นที่ควรจะดัดแปลง ปรับปรุง เพิ่มเติม หรือ เน้นย้ำแล้วแต่กรณี การเขียนเอกสารประกอบการสอน จะต้องยึดโครงสร้างตามคำอธิบายรายวิชาโดยถือหลักว่า เพิ่มเติม

บทเรียนหรือหัวข้อย่อยได้ แต่จะตัดทอนหัวข้อหรือหัวเรื่องใดหัวเรื่องหนึ่งไม่ได้โดยเด็ดขาด ประสบการณ์ในการเขียนเอกสารประกอบการสอน ผู้เขียนจะได้รับประสบการณ์ที่มีคุณค่าครบถ้วนที่จะช่วยให้เกิดตำราวิชาการ เพียงแต่จะหยิบยกหัวเรื่อง หรือส่วนใดส่วนหนึ่ง มาเขียนเป็นตำราวิชาการได้ดีหรือไม่ ทั้งนี้ก็แล้วแต่ผู้เขียนจะเล็งเห็นประโยชน์และทางเป็นไปได้ตามแนวคิดแห่งตน

กล่าวโดยสรุปแล้ว เอกสารประกอบสอนมีประโยชน์ในการใช้เป็นคู่มือครู เพื่อการพัฒนาการเรียนการสอนของครูและพัฒนาทักษะการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพและผู้เรียนบรรลุจุดมุ่งหมายของหลักสูตร

ความพึงพอใจ

ความหมายของความพึงพอใจ

ความพึงพอใจเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลทางด้านการศึกษาทั้งต่อความสำเร็จของงานให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังเช่นการเรียนซึ่งเป็นผลมาจากการได้รับการตอบสนองต่อแรงจูงใจหรือความต้องการของแต่ละบุคคลในแนวทางที่เขาพึงประสงค์ ผู้รายงานได้ศึกษาเกี่ยวกับความหมายของความพึงพอใจ โดยมีผู้ให้ความหมายของความพึงพอใจไว้หลายทรรศนะด้วยกัน ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

ชัยวัฒน์ ดุงศรีแก้ว (2543 : 32) ให้ความหมายของความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกนึกคิด หรือทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานที่มีต่อการปฏิบัติงานนั้นๆ หากเป็นไปในทางบวกจะมีผลทำให้เกิดความพึงพอใจต่อการปฏิบัติงาน จะมีการเสียสละ อุทิศแรงกาย แรงใจ แรงทรัพย์ และสติปัญญาให้แก่งานมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามหากผู้ปฏิบัติงานมีความรู้สึกนึกคิดหรือทัศนคติต่อการปฏิบัติงานเป็นไปในทางลบ จะมีผลทำให้เกิดความไม่พึงพอใจต่อการปฏิบัติงาน ขาดความกระตือรือร้นปฏิบัติงานไม่มีประสิทธิภาพ

ไชยยัณท์ ชาญปรีชารัตน์ (2543 : 52) ได้ให้ความหมายของความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกของบุคคลที่มีต่องานที่ปฏิบัติในทางบวก คือความรู้สึกชอบ รัก พอใจ หรือเจตคติที่ดีต่องานซึ่งเกิดจากการได้รับการตอบสนองความต้องการทั้งด้านวัตถุ และด้านจิตใจ เป็นความรู้สึกที่มีความสุขได้รับความสำเร็จตามความต้องการ หรือแรงจูงใจ

ชัยวิชญ์ ทองทวี (2544 : 9) ได้กล่าวถึงความหมายของความพึงพอใจไว้ว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกของบุคคลที่มีต่อการทำงานในทางบวก เป็นความสุขของบุคคลที่เกิดจากการปฏิบัติงานและได้ผลตอบแทน คือผลที่เป็นความพึงพอใจที่ทำให้คนเกิดความกระตือรือร้นมีความมุ่งมั่นที่จะทำงาน มีขวัญและกำลังใจ สิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงาน รวมทั้งการส่งผลต่อความสำเร็จและเป็นไปตามเป้าหมายขององค์กร

ณัฐชยา เอื้อมอุ่น (2544 : 35) ให้ความหมายของความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกหรือทัศนคติของบุคคลที่มีต่องานหรือกิจกรรม ซึ่งสามารถเป็นไปได้ทั้งทางบวกและทางลบ ถ้าเป็นไปในทางบวกก็ทำให้เกิดผลดีต่องานและกิจกรรมที่ทำหรือเข้าร่วม แต่ถ้าเป็นไปในทางลบก็จะเกิดผลเสียต่องาน และกิจกรรมได้เช่นกัน

ศุภสิริ โสมาเกตุ (2544 : 49) สรุปความหมายของความพึงพอใจว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกนึกคิด หรือเจตคติของบุคคลที่มีต่อการทำงาน หรือการปฏิบัติกิจกรรมในเชิงบวก ดังนั้น ความพึงพอใจในการเรียนรู้จึงหมายถึง ความรู้สึกพอใจ ชอบใจ ในการร่วมปฏิบัติกิจกรรมการเรียนการสอน และต้องดำเนินกิจกรรมนั้นๆ จนบรรลุผลสำเร็จ

สุดาทิพย์ บุษมงคล (2546 : 47) ให้ความหมายไว้ว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกหรืออารมณ์ของบุคคลที่มีความสัมพันธ์ต่อสิ่งเร้า ต่างเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่บุคคลประเมินผลสิ่งเหล่านั้นแล้วว่า พอใจ ต้องการ หรือดีอย่างไร

จากความหมายดังกล่าวพอสรุปได้ว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกนึกคิด และความประทับใจความรู้สึกชอบยินดีที่มีต่อการกระทำของบุคคลหรือระดับความชอบไม่ชอบในการร่วมปฏิบัติกิจกรรมในการเรียนการสอนและการทำงานนั้น

ทฤษฎีความพึงพอใจ

ทฤษฎีสำหรับการสร้างความพึงพอใจมีหลายทฤษฎีแต่ทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับและมีชื่อเสียงที่ผู้วิจัยจะนำเสนอ คือ ทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้นของมาสโลว์ (Maslow's Hierarchy of Needs) ที่กล่าวว่า มนุษย์ทุกคนมีความต้องการเหมือนกัน แต่ความต้องการนั้นเป็นลำดับขั้น เขาได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความต้องการของมนุษย์ไว้ดังนี้ (ศุภสิริ โสมาเกตุ. 2544 : 50 ; อ้างอิงมาจาก Maslow. 1970 : 69 - 80)

1. มนุษย์มีความต้องการอยู่เสมอ และไม่มีที่สิ้นสุดขณะที่ความต้องการสิ่งใดได้รับการตอบสนองแล้ว ความต้องการอย่างอื่นก็จะเกิดขึ้นอีกไม่มีวันจบสิ้น

2. ความต้องการที่ได้รับการตอบสนองแล้วจะไม่เป็นสิ่งจูงใจสำหรับพฤติกรรมอื่นต่อไป ความต้องการที่ได้รับการตอบสนองเท่านั้นที่เป็นสิ่งจูงใจของพฤติกรรม

3. ความต้องการของมนุษย์จะเรียงเป็นลำดับขั้นตามลำดับความสำคัญ กล่าวคือ เมื่อความต้องการในระดับต่ำได้รับการตอบสนองแล้ว ความต้องการระดับสูงก็จะเรียกร้องให้มีการตอบสนอง ซึ่งลำดับขั้นความต้องการของมนุษย์มี 5 ขั้นตอนตามลำดับขั้นจากต่ำไปสูง ดังนี้

3.1 ความต้องการด้านร่างกาย (Physiological Needs) เป็นความต้องการเบื้องต้นเพื่อความอยู่รอดของชีวิต เช่น ความต้องการในเรื่องของอาหาร น้ำ อากาศ เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค ที่อยู่อาศัย และความต้องการทางเพศ ความต้องการทางด้านร่างกายจะมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของคนก็ต่อเมื่อความต้องการทั้งหมดของคนยังไม่ได้รับการตอบสนอง

3.2 ความต้องการด้านความปลอดภัยหรือความมั่นคง (Security of Safety Needs) ถ้าความต้องการทางด้านร่างกายได้รับการตอบสนองตามสมควรแล้ว มนุษย์จะต้องการในขั้นสูงต่อไป คือเป็นความรู้สึกที่ต้องการความปลอดภัยหรือความมั่นคงในปัจจุบันและอนาคตซึ่งรวมถึงความก้าวหน้าและความอบอุ่นใจ

3.3 ความต้องการทางด้านสังคม (Social or Belonging Needs) หลังจากที่มนุษย์ได้รับการตอบสนองในสองขั้นดังกล่าวแล้วก็จะมีความต้องการสูงขึ้นอีกคือ ความต้องการทางสังคมเป็นความต้องการที่จะเข้าร่วมและได้รับการยอมรับในสังคมความเป็นมิตรและความรักจากเพื่อน

3.4 ความต้องการที่จะได้รับการยอมรับนับถือ (Esteem Needs) เป็นความต้องการ

ให้คนอื่นยกย่อง ให้เกียรติ และเห็นความสำคัญของตนเอง อยากเด่นในสังคม รวมถึงความสำเร็จ ความรู้ ความสามารถ ความเป็นอิสระ และเสรีภาพ

3.5 ความต้องการความสำเร็จในชีวิต (Self Actualization) เป็นความต้องการระดับสูงสุดของมนุษย์ ส่วนมากจะเป็นการอยากจะเป็น อยากจะได้ตามความคิดของตนหรือต้องการจะเป็นมากกว่าที่ตัวเองเป็นอยู่ในขณะนั้น

สุรางค์ โคว้ตระกูล (2545 : 158-161) ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการกำหนดองค์ประกอบความพึงพอใจ ได้แก่ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงจูงใจของมาสโลว์ (Maslow) สรุปได้ดังนี้

1. มนุษย์มีความต้องการอยู่เสมอและไม่มีที่สิ้นสุด เมื่อความต้องการใดได้รับการตอบสนองแล้วก็มีความต้องการอยากจะได้อย่างอื่นอีกต่อไป กระบวนการเช่นนี้ไม่มีที่สิ้นสุด

2. เมื่อมนุษย์มีความต้องการจำเป็นอยู่ในลำดับขั้นใด ก็จะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลต่างๆ ที่มีผลสนองในขั้นนั้นๆ เมื่อความต้องการได้รับการตอบสนองพอแล้วอิทธิพลนั้นจะหมดความหมาย

3. เมื่อมนุษย์มีความต้องการจำเป็นขึ้นไปตามลำดับจากขั้นต่ำไปหาขั้นสูง (Hierarchy of Need)

ขั้นต่ำสุด ความต้องการขั้นพื้นฐานทางร่างกาย (The Physiological Needs) เป็นความต้องการด้านปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น อาหาร น้ำ อากาศ

ขั้นที่สอง ความต้องการความปลอดภัย (Safety Needs) เป็นความต้องการด้านความปลอดภัยไม่ว่าเด็กหรือผู้ใหญ่ต่างก็ต้องการความปลอดภัยด้วยกันทั้งสิ้น เช่น ความปลอดภัยในการทำงาน

ขั้นที่สาม ความต้องการความรัก และเป็นส่วนหนึ่งของหมู่ (Love and Belonging Needs) บุคคลที่อยู่ในขั้นนี้จะมีความรู้สึกและพยายามให้ได้มาซึ่งความรัก อาจจะลืมแม้แต่ความหิวในขณะที่ตนต้องการความรัก สิ่งที่ต่างคือเรื่องเพศเป็นความต้องการทางร่างกาย แต่พฤติกรรมทางเพศเกิดขึ้นจากความต้องการความรักซึ่งรวมไปถึงการให้ความรักและการรับรัก

ขั้นที่สี่ ความต้องการได้รับการยกย่องว่าตนเองมีค่า (Esteem needs) มนุษย์ปรารถนาจะมีสภาพที่มั่นคงเพื่อเกียรติยศและการยอมรับนับถือจากผู้อื่น ความต้องการได้รับการยกย่อง รวมทั้งปรารถนาความสำเร็จที่จะดำรงชีวิตในโลกนี้ และความปรารถนาชื่อเสียงหรือศักดิ์ศรีที่คนอื่นยอมรับ และการได้รับความสนใจจากผู้อื่น การที่ตนเองเป็นบุคคลสำคัญในสายตาของผู้อื่น

ขั้นสุดท้าย ความต้องการที่จะรู้จักตนเองตามสภาพที่แท้จริงและพัฒนาตามศักยภาพของตน (Needs for self-actualization) เป็นความต้องการขั้นสูงสุด เป็นความพึงพอใจที่จะทำในสิ่งที่อยากจะทำเป็นพิเศษ ที่แสดงถึงความสามารถในการกระทำด้วยตนเองต่อเป้าหมาย หรืออุดมคติอันสูงส่งที่ตนกำหนดไว้ ความต้องการของมนุษย์จะมีมากตามลำดับขั้น เมื่อความต้องการแต่ละขั้นได้รับการตอบสนองแล้ว ความต้องการนั้นก็จะลดลงแล้วไปเพิ่มความต้องการในขั้นสูงต่อไป นอกจากนี้ในขณะที่ยังมีความต้องการขั้นต้น ๆ อยู่นั้น จะยังไม่มีความต้องการมากนักในขั้นที่สูงขึ้นไป

จากสาระสำคัญของทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้นของมาสโลว์ สรุปได้ว่าความต้องการทั้ง 5 ขั้นของมนุษย์มีความสำคัญไม่เท่ากัน การจูงใจตามทฤษฎีนี้จะต้องพยายามตอบสนองความต้องการของมนุษย์ซึ่งมีความต้องการที่แตกต่างกันไปและความต้องการในแต่ละขั้นจะมี

ความสำคัญแก่บุคคลมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความพึงพอใจที่ได้รับจากการตอบสนองความต้องการในลำดับนั้นๆ

การวัดความพึงพอใจ

ความพึงพอใจ เป็นทัศนคติในทางบวกของบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง การที่จะวัดว่าบุคคลมีความพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจ จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องมือช่วยในการวัดทัศนคติ นักวิชาการหลายคนได้กล่าวถึงความพึงพอใจไว้ได้ดังต่อไปนี้

ถวิล ธาราโภชน์ และศรัณย์ ดำริสุข (2543 : 101 - 103) ได้สรุปวิธีการวัดความพึงพอใจไว้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการสังเกต วิธีการสัมภาษณ์ วิธีการใช้แบบสอบถาม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) วิธีการสังเกต เป็นวิธีการใช้ตรวจสอบบุคคลอื่นโดยการเฝ้ามอง และจดบันทึกอย่างมีแบบแผน วิธีนี้เป็นวิธีศึกษาที่เก่าแก่และยังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน แต่ก็เหมาะสมกับการศึกษาเป็นรายกรณีเท่านั้น

2) วิธีการสัมภาษณ์ เป็นวิธีที่ผู้วิจัยจะต้องไปสอบถาม โดยการพูดคุยกับบุคคลนั้นๆ โดยมีการเตรียมแผนงานล่วงหน้า เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นจริงมากที่สุด

3) วิธีการใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) วิธีการนี้จะเป็นการใช้แบบสอบถามที่มีข้อคำอธิบายไว้อย่างเรียบร้อย เพื่อให้ผู้ตอบทุกคนตอบมาเป็นแบบแผนเดียวกันมักใช้ในกรณีที่ต้องการข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวนมากๆ วิธีนี้นับเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดในการวัดทัศนคติ รูปแบบของแบบสอบถามจะใช้มาตราวัดทัศนคติ ซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบันวิธีหนึ่ง คือ มาตราส่วนแบบลิเคิร์ท (Likert Scales) ซึ่งประกอบด้วย ข้อความที่แสดงถึงทัศนคติของบุคคลที่มีต่อสิ่งเร้าอย่างใดอย่างหนึ่ง แล้วมีคำตอบที่แสดงระดับความรู้สึก

รัชวลี วรวุฒิ (2548 : 21) กล่าวถึงมาตรวัดความพึงพอใจว่าสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

1) การใช้แบบสอบถาม โดยผู้สอบถามจะออกแบบสอบถามเพื่อต้องการทราบความคิดเห็น ซึ่งสามารถทำได้ในลักษณะที่กำหนดคำตอบให้เลือก หรือตอบคำถามอิสระ คำถามดังกล่าวอาจถามความพึงพอใจในด้านต่างๆ เช่น การบริหาร การควบคุมงาน และเงื่อนไขต่างๆ เป็นต้น

2) การสัมภาษณ์ เป็นวิธีวัดความพึงพอใจทางตรงทางหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคและวิธีการที่ดีจึงจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นจริงได้

3) การสังเกต เป็นวิธีการวัดความพึงพอใจโดยสังเกตพฤติกรรมของบุคคลเป้าหมาย ไม่ว่าจะแสดงออกจากการพูด กิริยาท่าทาง วิธีนี้จะต้องอาศัยการกระทำอย่างจริงจังและการสังเกตอย่างมีระเบียบแบบแผน

สรุปได้ว่า การวัดความพึงพอใจเป็นการตรวจสอบทัศนคติของบุคคลทางการเรียนและผลการเรียนจะมีความสัมพันธ์กันในทางบวก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติ ผู้เรียนได้รับการตอบสนองเป็นไปตามที่คาดหวังไว้ จึงทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยเกี่ยวกับชุดการสอน

1.1 งานวิจัยในประเทศ

กิตติภพ ไกรเพชร (2555 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง ชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอลเรล การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างชุดการสอน หาคุณภาพ หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และหาความพึงพอใจของผู้เรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องระบบควบคุมการทำงาน เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เมื่อสร้างชุดการสอนเสร็จเรียบร้อยแล้วนำชุดการสอนไปหาคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและด้านสื่อ จำนวน 5 ท่าน แบบทดสอบหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีค่าระดับความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.20-0.79 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.20-0.40 ค่าความเชื่อมั่น (r_{tt}) มีค่าเท่ากับ 0.91 ค่าความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.8-1.0 กลุ่มประชากร เป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเครื่องกลสาขางานเทคนิคยานยนต์ วิทยาลัยการอาชีพปราสาท จำนวน 86 คน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าร้อยละและการทดสอบค่าที (t-test) ผลการวิจัยพบว่า 1) คุณภาพของชุดการสอนที่จัดสร้างขึ้นมีคุณภาพเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\overline{X}$ = 4.55, S.D.= 0.14) 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนจากการใช้ชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยเป็นร้อยละจากแบบทดสอบก่อนเรียน E_{pre} มีค่าเป็น 46.50 คะแนนเฉลี่ยเป็นร้อยละจากแบบทดสอบหลังเรียน E_{post} มีค่าเป็น 87.00 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนโดยใช้ค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 33.99 พบว่าเมื่อนำไปเทียบกับค่า t ในตารางค่าวิกฤตที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ค่า df มีค่าเป็น 85 นำค่าที่ได้เปิดตาราง t มีค่าเป็น 1.6630 ดังนั้นค่า t ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตของ t จากตาราง แสดงว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น โดยมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 3) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล 0.05 4) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล โดยรวมทั้งหมด มีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.50, S.D.= 0.26) ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

สุเมธ แย้มชุติ (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดการสอน (2) เพื่อพัฒนาชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขางานยานยนต์ (3) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (5) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 จำนวน 30 คน วิทยาลัย

เทคโนโลยีหมู่บ้านครู ปีการศึกษา 2557 คัดเลือกมาโดยวัดการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย (1) แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้างเพื่อใช้สอบถามผู้เชี่ยวชาญ (2) ชุดการสอน วิชา งานวัดละเอียดช่างยนต์ เรื่อง เวอร์เนียร์คาร์ลิเปอร์ (Venire Caliper) ไมโครมิเตอร์วัดนอก (Outside Micrometer) และบรรทัดวัดมุมสากล (Universal Bevel Protractor) 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยชุดการสอนวิชา งานวัดละเอียดช่างยนต์ (4) แบบสอบถามวัดความพึงพอใจในการใช้ชุดการสอน วิชา งานวัดละเอียดช่างยนต์ จำนวน 1 ฉบับ (5) แบบ สอบถามความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ จำนวน 1 ฉบับ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ สถิติพื้นฐานและค่าสถิติที (t-test) ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) กรอบแนวคิดของผู้เชี่ยวชาญในด้านเนื้อหา และด้านชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 หน่วย แต่ละหน่วยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อ มีแผนการสอนกำหนดเนื้อหา วัตถุประสงค์ กิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งประกอบด้วย โมเดลพลาสติกและ สื่อนำเสนอด้วยคอมพิวเตอร์นำเสนอ 2) ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีค่า E_1 เท่ากับ 83.91 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้และค่า E_2 เท่ากับ 83.18 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 4) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ =4.18) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ .07 5) ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ =4.29) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ .37

สุชาดา ถึกสถิต (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษา ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง จังหวัดระยอง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (2) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วย ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ผลิตขึ้น (3) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง จำนวน 45 คน ได้มาโดยการเลือกแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ (2) แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนแบบคู่ขนาน และ (3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดการสอนรายบุคคล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูล ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยปรากฏว่า (1)

ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ มีประสิทธิภาพ 80.14/80.28 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 (2) นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคล มีความก้าวหน้าทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (3) ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ มีค่าเท่ากับ 0.7550 หมายความว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 75.50 และ (4) นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคล มีความพึงพอใจต่อชุดการสอนรายบุคคลอยู่ในระดับมาก

เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์ (2558:บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ 2) เปรียบเทียบการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียนด้วยชุดการสอนสำหรับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น 3) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ได้จากการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) จำนวน 80 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1) ชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน 2) แบบวัดการคิดอย่างเป็นระบบ 3) แบบประเมินชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน 4) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 5) แบบสอบถามความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติ t-test แบบ dependent sample ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.74 , S.D. = 0.26) 2) ชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 73.67/74.20 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดที่ 70/70 3) นักเรียนที่เรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 4) ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.45 , S.D. = 0.50)

เอกพันธ์ พาเจริญ (2558 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี การวิจัยนี้

มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี 2) ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน เรื่อง สายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ลงทะเบียน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 20 คน ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีจำนวน 3 หน่วยเรียน โดยในแต่ละหน่วยประกอบไปด้วย ใบเนื้อหา โปรแกรมนำเสนอเพาเวอร์พอยด์ โปรแกรมจำลอง สื่อของจริง แบบทดสอบหลังหน่วยเรียนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพร้อยละ 80.11/81.33 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนด 80/80 2) ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน เรื่อง สายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี มีค่าเท่ากับ 0.7287 หมายความว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 72.87 และ 3) ผลของการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจ ต่อชุดการสอนอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.09) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ชุดการสอนเรื่องสายอากาศ ไมโครสตริปที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทรงธรรม ดีวาณิชสกุล และคณะ (2559 : บทความวิจัย) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนสมรรถนะรายวิชา “วิชาคณิตศาสตร์ยานยนต์” หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้นำชุดการสอนที่สร้างขึ้นไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างยนต์ ของวิทยาลัยเทคโนโลยีพระรามหก จำนวน 25 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ก่อนเข้าสู่บทเรียนทำการทดสอบพื้นฐานความรู้ของนักเรียนด้วยแบบทดสอบแล้วจึงสอนด้วยชุดการสอนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น และในระหว่างการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ทำแบบฝึกหัด เมื่อจบบทเรียนในแต่ละหัวข้อเรื่องแล้วให้นักเรียนทำแบบทดสอบอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบมาคำนาณหาประสิทธิภาพของชุดการสอน ผลการวิจัย พบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 78.61/72.85 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70 และวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยสถิติที (t-test) พบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

1.2 งานวิจัยต่างประเทศ

วิลสัน (Wilson. 1989) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลการใช้ชุดการสอนของครู เพื่อแก้ปัญหาในการเรียนของเด็กเรียนช้าด้านคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการบวก การลบ ผลการวิจัยพบว่า ครูผู้สอนยอมรับว่าใช้ชุดการสอนมีผลดีมากกว่าการสอนตามปกติอันเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้ครูสามารถแก้ปัญหาการสอนที่อยู่ในหลักสูตรคณิตศาสตร์สำหรับเด็กเรียนช้า

สโตน เจ แอล (Stone. J.L. 1989) ได้กล่าวถึงผลการใช้ชุดการสอนแบบกิจกรรมวิชาคณิตศาสตร์ ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเกรด 7 และ 8 ของ Demopolis City School โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการสอนกับการสอนตามปกติที่เรียนโดยการบรรยาย จำนวน 341 คน ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญระหว่างนักเรียนเกรด 7 และ 8 ที่ได้รับการสอนโดยใช้

ชุดการสอนกับการสอนปกติ แต่นักเรียนที่เรียน โดยใช้ชุดการสอนมีประสบการณ์การเรียนรู้สูงกว่านักเรียนที่เรียนตามปกติ และปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. งานวิจัยเกี่ยวกับเอกสารประกอบการสอน

2.1 งานวิจัยในประเทศ

พงษ์อนันต์ อนันตภักดิ์ (2556 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาเอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตร วิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 การศึกษาครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาเอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนด้วยเอกสารประกอบ การสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ 1 (ปวช.1) กลุ่มที่ 1 แผนกวิชาช่างงานไฟฟ้าเบื้องต้น วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 21 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 จำนวน 4 ชุดและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น จำนวน 30 ข้อ เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบ มีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.83 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ t-test ผลการวิจัย พบว่า 1) เอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.69/83.97 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ 2) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยเอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่1 พบว่า ก่อนและหลังเรียนด้วยเอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สุชาติ แต้ตระกูล (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง รายงานการใช้เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วย รหัสวิชา 3000-0206 สำหรับนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มีวัตถุประสงค์ 1)เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการสอนรายวิชาการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วยให้ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ 80/80 2) เพื่อหาค่าร้อยละของความก้าวหน้าของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการประยุกต์ใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ตามใบงานการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วย รหัสวิชา3000-0206 ของนักศึกษากับเกณฑ์ร้อยละ 80 ประชากรคือ นักศึกษาระดับชั้น ปวส. 1 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง จำนวน 11 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือเอกสารประกอบการสอน แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนใบปฏิบัติงานการประยุกต์ใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เอกสาร

ประกอบการสอน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าร้อยละผลการวิจัยปรากฏว่า 1) เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วยรหัสวิชา 3000-0206 มีประสิทธิภาพ 82.19/83.18 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80 2) ร้อยละของความก้าวหน้าของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 38.12 และร้อยละ 85.45 ตามลำดับ และความก้าวหน้าของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนร้อยละ 47.34 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 3) ทักษะการประยุกต์ใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ตามใบงานการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วย รหัสวิชา3000-0206 ของนักศึกษาเฉลี่ยร้อยละ 82.60 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 80 4) นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เอกสารประกอบการสอน ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คือมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 4.76 และ 0.28

เอกศักดิ์ สงวนคำ (2559 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง รายงานการสร้างและหาประสิทธิภาพเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (2101-2109) หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหาประสิทธิภาพ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หาประสิทธิผล และประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (2101-2109) ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพนครศรีธรรมราช สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย เอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาวิจัยดำเนินการโดยนำเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ปีที่ 2 แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพนครศรีธรรมราช ที่เรียนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 20 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ในระหว่างการทดลองผู้ศึกษาวิจัยให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดและฝึกปฏิบัติงาน เมื่อจบบทเรียนทุกบทให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนที่ได้จากแบบฝึกหัด การฝึกปฏิบัติงาน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้ศึกษาวิจัยได้นำมาหาประสิทธิภาพ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หาประสิทธิผล และให้นักเรียนประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเอกสารประกอบการสอน ผลการศึกษาวิจัยสรุปได้ ดังนี้ 1) เอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 84.86/81.83 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80 2) ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนโดยใช้ค่าที (t-test) พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ประสิทธิผลทางการเรียนรู้โดยใช้เอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นทำให้นักเรียนมีประสิทธิผลทางการเรียนรู้ ร้อยละ 71 และ 4) ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (X = 4.39, S.D. = 0.65)

2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

เอเดอร์สัน (Aderson. : 1973) ได้ทำการวิจัยหาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการสอนในการสอนเกษตรของโรงเรียนมัธยมศึกษาในแทนชาเนีย โดยเปรียบเทียบกลุ่มที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการสอนกับกลุ่มที่เรียนจากวิธีบรรยาย ผลปรากฏว่า เอกสารประกอบการสอนเป็นวิธีสอนที่มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบบรรยาย และนักเรียนชอบเรียนเอกสารประกอบการสอนมากกว่าวิธีบรรยาย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้สรุปได้ว่า หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีจุดเน้นสำคัญที่การจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาอย่างเต็มตามศักยภาพ และเป็นไปตามธรรมชาติ เกิดการเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่หลากหลายให้เกิดความรู้แบบองค์รวม ที่ผ่านมาได้มีผู้จัดทำชุดการสอนและเอกสารประกอบการสอนเพื่อใช้จัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีผลการวิจัยอย่างชัดเจนว่า การสอนโดยใช้ชุดการสอนและเอกสารประกอบการสอนเป็นสื่อที่ครูสร้างขึ้น เพื่อช่วยให้นักเรียนเรียนรู้อย่างเข้าใจ จำได้แม่นยำ และช่วยทำให้การเรียนการสอนบทเรียนนั้นทำให้ง่ายขึ้นในเวลาอันสั้น ทำให้มีคุณค่าต่อการเรียนการสอน สามารถพัฒนาผู้เรียนในระดับต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และผู้เรียนสามารถนำเอาความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ และสามารถพัฒนาชุดการสอนและเอกสารประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมครั้งนี้ ผู้รายงานได้ทำการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอนเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ในทุกๆ ด้าน โดยเริ่มจากศึกษาปัญหาการจัดการเรียนการสอนในสถานศึกษาที่ทำการสอน สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาทั่วประเทศ ปัญหาที่เกิดจากคำอธิบายรายวิชาของหลักสูตร ปัญหาเกี่ยวกับครูผู้สอน ปัญหาการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีหลักสูตรการเรียนการสอนคล้ายคลึงกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเรียนการสอนในรายวิชาดังกล่าว เป็นการแก้ปัญหาแบบผสมผสานระหว่างการจัดสร้างชุดทดลองสำหรับการฝึกที่หลากหลาย พร้อมกับการจัดทำเอกสารประกอบการสอนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง ที่ครอบคลุมเนื้อหาและสอดคล้องกับคำอธิบายรายวิชาเป็นการพัฒนาการเรียนการสอนแบบวนรอบและทวนสอบในลักษณะการเรียนทฤษฎีเชิงทดลองจริง จนเกิดความกลมกลืนในการเรียนอย่างต่อเนื่อง ถึงขั้นการประยุกต์ใช้งานได้จริงในห้องปฏิบัติการที่อ้างอิงทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม และแบบใช้เป็นเครื่องมือช่างทั่วไป ซึ่งผู้รายงานมีวิธีดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
4. ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
5. การหาคุณภาพและทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
6. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
7. การวิเคราะห์ข้อมูล
8. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

1. นำผลที่ได้จากรายงานการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ และศึกษาหลักการทฤษฎี แนวคิด จากตำรา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประสบการณ์ตรงจากผู้รายงานและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาข้อมูลใหม่ ๆ ที่ยังไม่มีการริเริ่มจัดทำเหมือนเป็นการสร้างองค์ความรู้พื้นฐานขึ้นมาใหม่เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาในทุกมิติ ดังนั้น รายละเอียดของงาน วิจัยในบทที่ 3, 4 จะเสมือนเป็นการวิจัยแบบวิจัยซ้อนวิจัยจึงเป็นงานวิจัยเชิงลึกในการพัฒนาสิ่งที่มีให้ดีขึ้นและแสวงหาสิ่ง

ที่ไม่มีให้เกิดขึ้นเพื่อตอบโจทย์ในทุกปัญหา ผู้รายงานได้จัดรูปแบบให้เกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์กันในทุก ๆ บทอย่างสมบูรณ์ในทุกขั้นตอน และสรุปแนวคิดเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยและพัฒนา

2. กำหนดประชากรพร้อมกลุ่มตัวอย่างที่จะวิจัย

3. กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4. ออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ที่เป็นเอกสารประกอบการสอนและชุดทดลอง เพื่อนำเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาความถูกต้องครอบคลุมคำอธิบายรายวิชา สำคัญที่สุด คือ อ่านแล้วเกิดความเข้าใจได้ง่าย เกิดคำถามจากผู้เรียนย้อนกลับมายังผู้สอนให้น้อยที่สุด ใช้เทคนิคการถ่ายทอดองค์ความรู้แทบทั้งหมดลงในเอกสารประกอบการสอนลงรายละเอียดให้มากที่สุด เสมือนผู้เรียนยังไม่มีพื้นฐานความรู้สามารถเรียนรู้ได้เป็นสำคัญ จึงไม่จำเป็นต้องแบ่งเนื้อหาสาระตามศักยภาพของผู้เรียนคำนึงถึงผู้เรียนที่อ่อนเป็นเกณฑ์ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียนแล้วนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเครื่องมือในการวิจัย แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การออกแบบสร้างชุดการสอน ซึ่งประกอบด้วยชุดฝึก 5 ชุด ได้แก่

1) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

2) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

3) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

4) ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

5) ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

<u>ส่วนที่ 2</u> การพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชา เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยใช้รูปแบบการเรียนแบบทดลองร่วมกับชุดการสอนรวมทั้งหมด 4 เล่ม ได้แก่

1) เอกสารประกอบการเรียน ภาคทฤษฎี

2) เอกสารประกอบการเรียน ภาคปฏิบัติ

3) คู่มือครู ภาคทฤษฎี

4) คู่มือครู ภาคปฏิบัติ

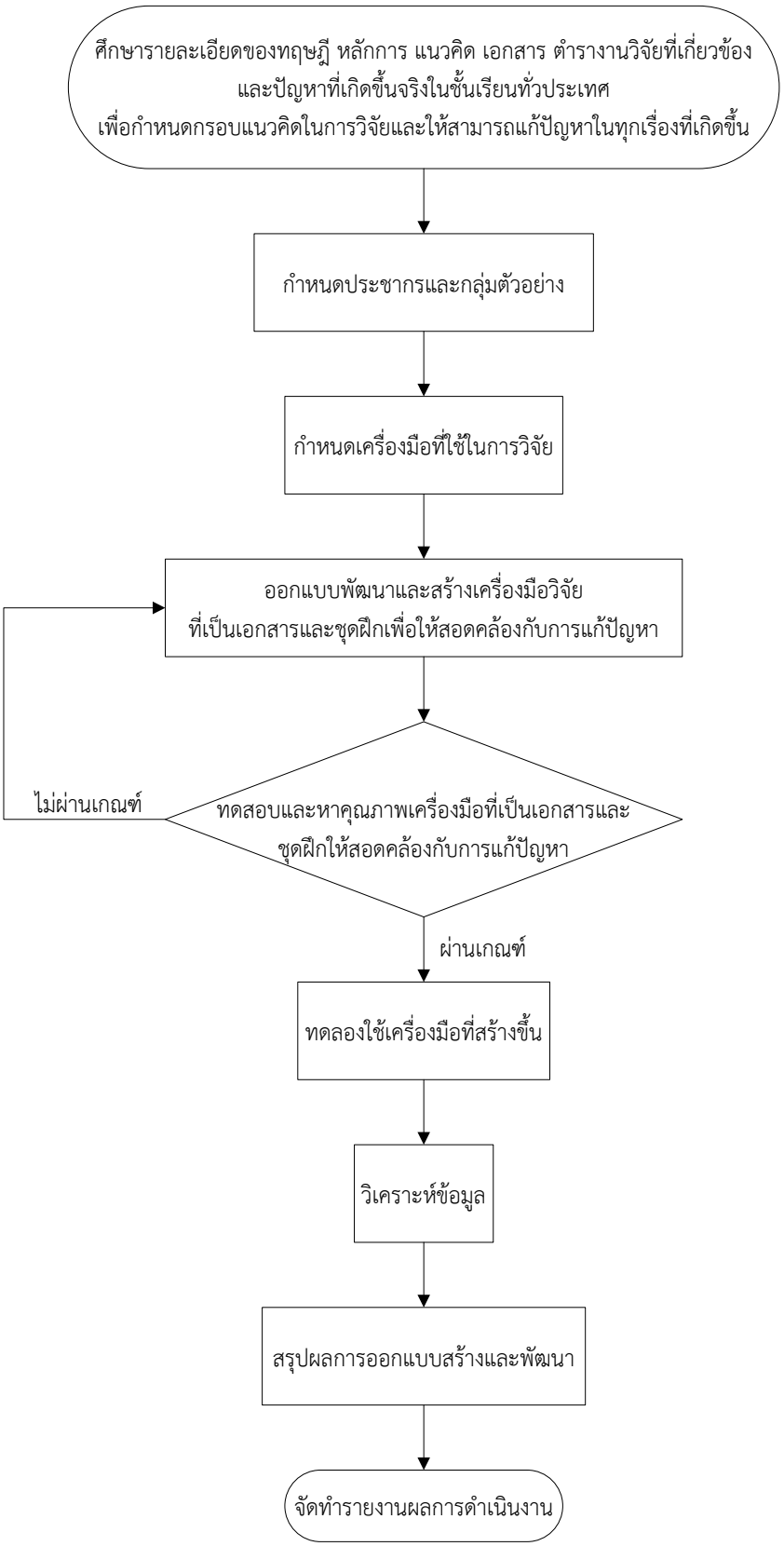
5. ทดสอบและหาคุณภาพเครื่องมือที่สร้างขึ้น และปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์

6. ทดลองใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น

7. วิเคราะห์ข้อมูล

8. สรุปผลการวิจัย

9. จัดทำรายงานผลการวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ระดับ ปวช.1 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 41 คน

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ระดับ ปวช.1 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่าย โดยวิธีการจับสลาก จำนวน 20 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ ผู้รายงานได้ทำการออกแบบสร้างทดลองและพัฒนาชุดทดลองวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ซึ่งเป็นการจัดสร้างขึ้นใหม่ โดยที่ยังไม่เคยมีการพัฒนาใช้ในสถานศึกษาใด ๆ โดยหลักการสร้างเน้นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำชุดฝึกที่ไม่เกิดการชำรุดได้ง่าย หาซื้อได้ทั่วไปและราคาถูก ผู้ที่สนใจสามารถเรียนรู้และสร้างใช้งานได้ ผู้รายงานใช้เครื่องมือในการวิจัย แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การออกแบบสร้างชุดการสอน ซึ่งประกอบด้วยชุดฝึก 5 ชุด ได้แก่

1) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

2) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

3) ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

4) ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

5) ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

<u>ส่วนที่ 2</u> การพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชา เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยใช้รูปแบบการเรียนแบบทดลองร่วมกับชุดการสอน รวมทั้งหมด 4 เล่ม ได้แก่

1) เอกสารประกอบการเรียน ภาคทฤษฎี

2) เอกสารประกอบการเรียน ภาคปฏิบัติ

3) คู่มือครู ภาคทฤษฎี

4) คู่มือครู ภาคปฏิบัติ

ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวิธีการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนา ผู้รายงานได้ดำเนินการดังนี้

- ศึกษาคู่มือและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- ศึกษาวิธีการพัฒนานวัตกรรมการศึกษา ประเภทชุดการสอนและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษาโครงสร้างหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 และคำอธิบายรายวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ซึ่งมีคำอธิบายรายวิชา ดังนี้ “ศึกษาและปฏิบัติงานเกี่ยวกับโครงสร้าง หลักการทำงาน การใช้งานและการขยายย่านการวัดโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์และมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) วาร์มิเตอร์ (Var Meter) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor Meter) ออสซิลโลสโคป เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องกำเนิดสัญญาณหลายรูปคลื่น การวัดและทดสอบค่าความต้านทาน อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์” จากคำอธิบายรายวิชาสามารถวิเคราะห์ประเด็นของเนื้อหาสำหรับการทดลอง เพื่อนำมาออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอนให้ครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาสอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา จึงกำหนดสาระของเนื้อหาได้ 15 เรื่อง ดังนี้

1) โครงสร้าง หลักการทำงาน มัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
2) การใช้งานโวลต์มิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
3) การใช้งานแอมมิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
4) การใช้งานโอห์มมิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
5) การขยายย่านการวัดโวลต์มิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
6) การขยายย่านการวัดแอมมิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
7) การขยายย่านการวัดโอห์มมิเตอร์ของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม
8) การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย
9) การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ
10) การใช้งานวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter)
11) การใช้งานวาร์มิเตอร์ (Var Meter)
12) การใช้งานเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter)
13) การใช้งานออสซิลโลสโคป
14) การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ
15) การวัดและทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ กำลังไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งแบ่งเนื้อหาตามคำอธิบายรายวิชาเป็นหน่วยการเรียนได้ 15 หน่วย และกำหนดหน่วยการเรียนรู้ทฤษฎีและปฏิบัติ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ดังนี้

หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด

- ใบงานที่ 1 เรื่อง พิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 2 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 3 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 4 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดกระแสไฟตรง

หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 5 การใช้งานพิสัยการวัดความต้านทาน

หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 6 เรื่อง การใช้มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย
- ใบงานที่ 7 เรื่อง การใช้มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

หน่วยที่ 7 เรื่อง ขดลวดเคลื่อนที่ภายในมาตรวัด

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 8 เรื่อง การวัดคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ภายในมาตรวัด

หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรงแบบชันต์

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 9 เรื่อง การออกแบบมอดูลและขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรงแบบชันต์

หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

- แบบทดสอบ

- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 12 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน

หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 13 เรื่อง การใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบมาตรฐาน
- ใบงานที่ 14 เรื่อง การใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป

หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 15 การใช้งานออสซิลโลสโคป

หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 15 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ

หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า

- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- ใบงานที่ 17 เรื่อง การวัดและทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า
- ใบงานที่ 18 เรื่อง การวัดและทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและดิจิตอล

จากการวิเคราะห์เนื้อหาตามคำอธิบายรายวิชา ได้แบ่งสาระการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้เป็น 15 หน่วย และจัดหมวดหมู่ตามประเภทเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ได้ดังนี้

1) โครงสร้างหลักการทำงานการใช้งานและการขยายย่านการวัดของมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็ม

2) การใช้งานมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล

3) การใช้งานเพาเวอร์มิเตอร์

4) การใช้งานออสซิลโลสโคป

5) การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ

6) การวัดและทดสอบค่าความต้านทาน อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ กำลังไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

จากการจัดหมวดหมู่ตามประเภทเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ได้ทั้งหมด 6 ประเภท จึงดำเนินการออกแบบจัดสร้างชุดทดลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สอดคล้องและครอบคลุมเนื้อหาสาระ สามารถพัฒนาและส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียน ช่วยเพิ่มพูนทักษะฝีมือ จนถึงขั้นนำหลักทฤษฎีมาวิเคราะห์ผลการทดลองได้ ซึ่งเป็นหลักการแนวคิดในการจัดสร้าง ดังนี้

ชุดที่ 1 หมายถึง ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน จัดสร้างขึ้นเพื่อฝึกทักษะการใช้งานและการขยายย่านการวัดมัลติมิเตอร์แบบใช้เข็มและการเรียนรู้ เกี่ยวกับโครงสร้าง หลักการทำงาน และสามารถนำไปใช้เรียนร่วมกับเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ชุดที่ 2 หมายถึง ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกันจัดสร้างขึ้นเพื่อฝึกทักษะการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์มิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยและสามารถนำไปใช้เรียนร่วมกับเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ชุดที่ 3 หมายถึง ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน จัดสร้างขึ้นเพื่อฝึกทักษะการเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์มิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ และสามารถนำไปใช้เรียนร่วมกับเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ชุดที่ 4 หมายถึง ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จัดสร้างขึ้นสำหรับเป็นจุดวัดอ้างอิง เพื่อฝึกทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ทุกชนิด สามารถใช้ทดลองออกแบบขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ และสามารถนำไปใช้เรียนร่วมกับเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การใช้งานออสซิลโลสโคป ฯลฯ

ชุดที่ 5 หมายถึง ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จัดสร้างขึ้นเพื่อฝึกทักษะการวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานใช้ในห้องปฏิบัติการ, แบบใช้งานทั่วไป และฝึกทักษะการวัดและทดสอบค่าความต้านทาน อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เรียนร่วมกับเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

หมายเหตุ : กรณีการเรียนภาคปฏิบัติ เรื่อง การใช้งานออสซิลโลสโคป ใช้ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ IWATSU รุ่น SS-7802A ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐาน

: การเรียนภาคปฏิบัติ เรื่อง การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ ยี่ห้อ METRIX รุ่น GX 245 ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐาน

ดังตารางที่ 3.1 ได้แสดงการนำนวัตกรรมชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาใช้งานร่วมกันกับใบงานที่พัฒนาขึ้นใหม่ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับกิจกรรมการทดลองทั้งรายวิชา ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การนำนวัตกรรมชุดทดลองที่ออกแบบสร้างมาใช้ร่วมกับใบงานที่พัฒนาขึ้นใหม่

ภาคปฏิบัติ	ชุดฝึกที่ 1	ชุดฝึกที่ 2	ชุดฝึกที่ 3	ชุดฝึกที่ 4	ชุดฝึกที่ 5
ใบงานที่ 1 เรื่อง พิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	✓			✓	
ใบงานที่ 2 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	
ใบงานที่ 3 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	✓		✓	✓	
ใบงานที่ 4 เรื่อง การใช้งานพิสัยการวัดกระแสไฟตรง	✓			✓	
ใบงานที่ 5 เรื่อง การใช้งานพิสัยวัดความต้านทาน	✓			✓	
ใบงานที่ 6 เรื่อง การใช้มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย		✓	✓	✓	
ใบงานที่ 7 เรื่อง การใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ		✓	✓	✓	
ใบงานที่ 8 เรื่อง การวัดค่าคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ภายในมาตรวัด	✓	✓		✓	
ใบงานที่ 9 เรื่อง การออกแบบมอดูลและขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรงแบบชันต์	✓	✓		✓	
ใบงานที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓		✓	

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ภาคปฏิบัติ	ชุดฝึกที่ 1	ชุดฝึกที่ 2	ชุดฝึกที่ 3	ชุดฝึกที่ 4	ชุดฝึกที่ 5
ใบงานที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	✓	✓	✓	✓	
ใบงานที่ 12 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน	✓	✓		✓	
ใบงานที่ 13 เรื่อง การใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบมาตรฐาน					✓
ใบงานที่ 14 เรื่อง การใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป					✓
ใบงานที่ 15 เรื่อง การใช้งานออสซิลโลสโคป			✓	✓	
ใบงานที่ 16 เรื่อง การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ			✓	✓	✓
ใบงานที่ 17 เรื่อง การวัดและทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า	✓	✓	✓		✓
ใบงานที่ 18 เรื่อง การวัดและทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและดิจิตอล	✓	✓	✓		✓

กระบวนการดำเนินงานออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ให้ครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา สามารถแยกส่วนทดลองให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน สามารถใช้กับรายวิชาอื่นได้ โดยแสดงรายละเอียดการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน มีดังนี้

การออกแบบสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือ

1. ขั้นตอนการพัฒนาชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

โดยทั่วไปมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก จะมีระบบป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการใช้งานที่ผิดพลาดอยู่น้อยมาก ปกติจะใช้ฟิวส์ 0.5 A ป้องกันพิสัยการวัด 250 mADC การใช้พิสัยวัดต่ำกว่า 250 mA จะมีโอกาสทำให้มาตรวัดชำรุดได้ง่าย เนื่องจากเน้นป้องกันเฉพาะพิสัยวัดสูงสุด เมื่อเกิดการตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัด เช่น กรณีเลือกพิสัยวัดกระแสแต่นำไปใช้วัดแรงดัน ฟิวส์ที่ต่ออนุกรมกับขั้วบวกของสายวัดจะขาด มัลติมิเตอร์ใช้งานในพิสัยใด ๆ ไม่ได้ เมื่อฟิวส์ขาดแต่ละครั้งเป็นการสะสมการเสื่อมสภาพของมาตรวัด กรณีเลือกฟิวส์ที่มีการทนกระแสสูงขึ้นจะเพิ่มโอกาสที่จะทำให้มาตรวัดชำรุดเร็วขึ้น เนื่องจากปกติฟิวส์จะขาดได้กระแสจะต้องมีค่าสูงกว่าค่าฟิวส์ที่ป้องกันประมาณ 2 เท่า ซึ่งมาตรฐานการออกแบบขดลวดเคลื่อนที่จะทนได้ 3-5 เท่า มาตรวัดจึงมีโอกาสชำรุดโดยที่ฟิวส์ไม่ขาดหลายเท่าตัว เมื่อเกิดขึ้นบ่อย ๆ ครั้งจะให้มาตรวัดชำรุดหรือมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามจำนวนครั้งที่วัดโหลดเกินพิสัย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเครื่องมือที่ถูกใช้งานมานานจะเริ่มเสื่อมสภาพและมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ด้วยสาเหตุการวัดค่าเกินพิสัยหรือผิดฟังก์ชั่นการวัด

ดังนั้น ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับฝึกทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก โดยพัฒนาให้มีระบบต่าง ๆ ภายในตัวเครื่อง ดังนี้

- ระบบป้องกันฟิวส์ขาด
- ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัย
- ระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัดหรือผิดฟังก์ชันการวัด
- ระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่และแก้ปัญหาการให้เข็มชี้ตำแหน่งศูนย์ไม่ได้ในพิสัยการวัดความต้านทาน ในกรณีแบตเตอรี่อ่อน

การออกแบบสร้างชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกันจึงหมายถึง การสร้างวงจรป้องกันตัวขดลวดเคลื่อนที่ภายในของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ ไม่ให้กระแสไหลผ่านเกินสภาวะปกติ คือ 44 μA ประมาณ 3-5 เท่า โดยเป็นมาตรฐานการผลิตที่ไม่มีผลทำให้ขดลวดเคลื่อนที่เกิดการชำรุด ซึ่งเป็นการป้องกันฟิวส์ขาดโดยอัตโนมัติ เนื่องจากระบบป้องกันมีความไวกว่าฟิวส์จึงช่วยทำให้มัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายซึ่งสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น เหตุผลในการเลือกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ยี่ห้อ ซันวา รุ่น 361TR เนื่องจากเป็นยี่ห้อดั้งเดิมมีการผลิตและประเทศไทยนำมาใช้เป็นเวลายาวนาน เป็นสินค้าจากประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีราคาถูกกว่าของยุโรปและอเมริกา จึงได้รับความนิยมในประเทศไทยสูงสุดและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เพราะความเที่ยงตรงค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคา มีคู่มือการใช้งานอย่างละเอียด จึงมีการทำเลียนแบบให้ราคาถูกแต่ความเที่ยงตรงจะลดลง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากขีดสเกลไม่คมหรือไม่ละเอียด การวัดค่าแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากันหรือไม่ชี้ตำแหน่งเดิม ส่วนการปรับให้เข็มชี้ที่ 0 Ω และ 0 V ค่อนข้างปรับได้ยากกว่า ขณะวัดค่าเข็มอาจไม่

นิ่งมีการแกว่งหรือการหน่วงขณะใช้วัดและหยุดวัดเร็วไปหรือช้าไป กล่าวคือ เสถียรภาพในการนำไปใช้งานค่อนข้างต่ำ จึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้ยี่ห้อซันวา เลือกใช้รุ่น 361TR ซึ่งเป็นรุ่นใหม่ที่มีฟังก์ชั่นใช้งานมากที่เหมาะสำหรับนำมาออกแบบสร้างและติดตั้งกับกล่องได้ง่าย สามารถพัฒนาเป็นชุดฝึกได้ง่าย ทำให้ได้ชุดฝึกที่คงทนและสวยงามสะดวกต่อการใช้งาน มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกสามารถใช้งานได้ครอบคลุมการวัดวงจรไฟฟ้าทั่วไป ขึ้นกับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต โดยทั่วไปจะมีพิสัยใช้งานไม่น้อยกว่า 20 พิสัย คุณภาพและประสิทธิภาพขึ้นกับมาตรฐานของผู้ผลิตแต่ละโรงาน จากรูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบภายนอกของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ดังนี้

รูปที่ 3.2 รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

หมายเลข 1 สกูรเพื่อปรับแต่งเข็มมิเตอร์ให้ชี้ตำแหน่งด้านซ้ายมือที่ค่า 0 V หรือ ∞
หมายเลข 2 เข็มชี้ของมิเตอร์
หมายเลข 3 สเกลหน้าปัดของมิเตอร์
หมายเลข 4 เป็นไดโอดปล่อยแสง (LED) แสดงการลัดของวงจร
หมายเลข 5 สวิตช์เลือกพิสัยการวัด
หมายเลข 6 ปุ่มปรับให้เข็มมิเตอร์ชี้ที่ 0 Ω
หมายเลข 7 ขั้วต่อขั้วบวก (+) ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีแดง
หมายเลข 8 ขั้วต่อขั้วลบ (-COM) ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีดำ

หมายเลข 9 ขั้วต่อเอาต์พุต (OUTPUT) ใช้วัดเฉพาะสัญญาณไฟกระแสสลับ โดยขั้วต่อขั้วลบ (-COM) ใช้วัดค่าความดังของสัญญาณเสียง (dB) และวัดสัญญาณแรงดันไฟสลับ

หมายเลข 10 ฝาครอบสเกลหน้าปัด

หมายเลข 11 ตัวถังของมิเตอร์

ดังนั้น การออกแบบสร้างและพัฒนามัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ให้มีระบบป้องกันการชำรุดขณะใช้งานประกอบด้วยการออกแบบสร้างเป็น 4 ส่วน มีรายละเอียดในการจัดทำ ดังนี้ คือ

1) วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 V และ 9 V ที่ใช้แทนแบตเตอรี่ภายในตัวเครื่องมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

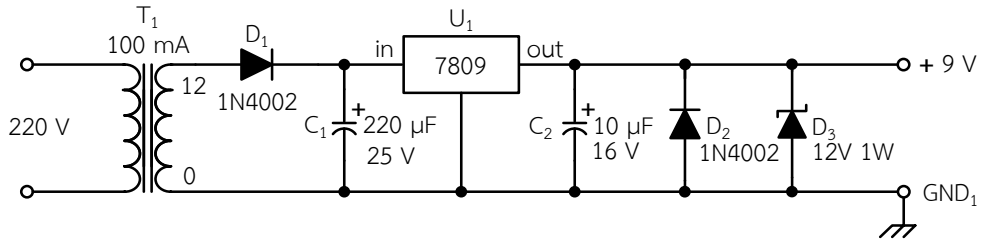
2) วงจรไฟเลี้ยงระบบป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

3) วงจรระบบป้องกันของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

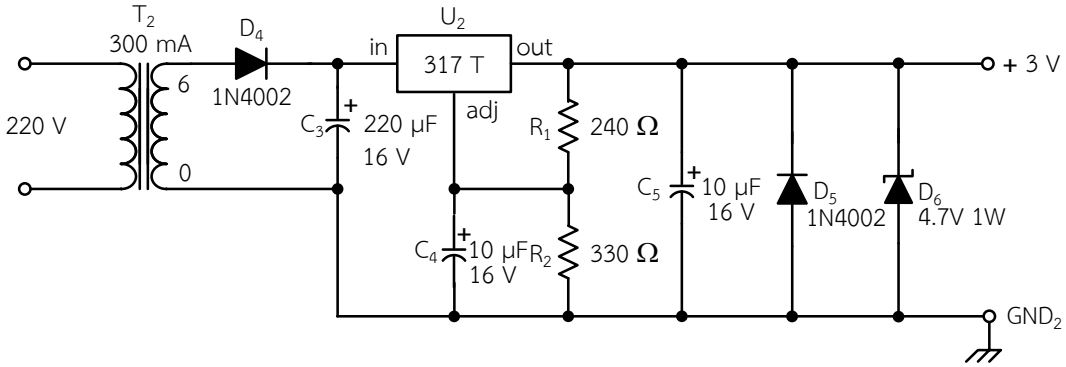
4) การออกแบบหน้าปัดและโครงสร้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

1.1 วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 V และ 9 V สำหรับใช้แทนแบตเตอรี่ของมัลติมิเตอร์

โดยทั่วไปมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกจะใช้แรงดันไฟตรง 3 V ป้อนให้กับวงจรวัดความต้านทาน พิสัยวัด ×1, ×10, ×100, ×1k และใช้แบตเตอรี่ 3 V ร่วมกับ 9 V ป้อนให้กับวงจรวัดความต้านทาน พิสัยวัด ×10k จากรูปที่ 3.3 (ก) เป็นวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V ใช้แทนแบตเตอรี่ 9 V ที่มากับเครื่องมัลติมิเตอร์ เพื่อใช้ในพิสัยการวัดโอห์มมิเตอร์ที่พิสัยการวัด R×10k ซึ่งขณะใช้พิสัยวัด R×10k แบตเตอรี่ 9 V จะต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ 3 V ที่อยู่ในเครื่องเช่นกันให้เป็นแรงดัน 12 V พิสัยวัด R×10k จึงสามารถใช้งานได้ เนื่องจากการวัดค่าความต้านทานสูงจะต้องใช้แรงดันไฟตรงสูง จึงจะทำให้เข็มชี้เต็มสเกลได้ การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มจากอินพุตแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ถูกป้อนเข้ามาทางหม้อแปลง T_1 ทำหน้าที่แปลงแรงดันลงมาให้มีค่า 12 VAC ค่าที่เหมาะสม คือ 9 V – 12 VAC แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ ไดโอด D_1 และ ตัวเก็บประจุ C_1 เรียงกระแสและกรองจะมีค่า 12 V $\times\sqrt{2} \cong$ 16.9 V สาเหตุที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและตัวเก็บประจุค่าต่ำ เนื่องจากพิสัย R×10k ใช้กระแสประมาณ 15 μA หม้อแปลง T_1 จึงเลือกใช้ขนาดเล็กที่สุดที่มีจำหน่าย คือ 100 mA แรงดันที่ถูกกรองกระแสเบื้องต้นแล้วจะถูกส่งไปยังชุดของไอซีเรกูเลเตอร์ เบอร์ 7809 ให้เอาต์พุต 9 V เอาต์พุตที่ได้จะถูกควบคุมให้วงจรมีเสถียรภาพ โดยตัวเก็บประจุค่า 10 μF ตามเงื่อนไขแนะนำจากโรงงานผู้ผลิต ไดโอด D_2 ป้องกันไฟลบที่จะทำให้ไอซี เบอร์ 7809 ชำรุด ไดโอด D_3 ซีเนอร์ไดโอด 12 V ใช้ป้องกันแรงดันไฟตรงตั้งแต่ 12 V ขึ้นไปที่จะทำให้ไอซี เบอร์ 7809 ชำรุดได้เช่นกัน ดังนั้น วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V ตามวงจรรูปที่ 3.3 (ก) ที่ออกแบบจึงมีความสมบูรณ์พร้อมระบบป้องกันการชำรุดสามารถนำไป ใช้แทนแบตเตอรี่ 9 V เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่



(ก) วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ใช้แทนแบตเตอรี่ 9V



(ข) วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ใช้แทนแบตเตอรี่ 3V

รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในพิสัยการวัดโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 3.3 (ข) เป็นวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 V สำหรับใช้แทนแบตเตอรี่ 1.5 V, 2 ก้อน ที่ต้องใส่ในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก เพื่อใช้ในพิสัยวัด R×1, R×10, R×100, R×1k และพิสัย R×10k แต่ต้องต่อแบตเตอรี่อนุกรมกับแรงดันไฟตรง 9 V ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 V ใช้คุณสมบัติของไอซีเรกูเลเตอร์ เบอร์ LM317T ในการออกแบบ ในที่นี้ไม่ใช้ไอซีที่จ่ายแรงดัน 3 V โดยตรงเพราะราคาแพงกว่าและหายากกว่า โดยไอซีเบอร์ LM317T สามารถออกแบบให้เกิดแรงดัน 1.25 V ถึง 30 VDC ได้ง่ายและราคาถูกกว่า เริ่มจากอินพุตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ถูกป้อนเข้ามาทางหม้อแปลง T_2 ทำหน้าที่แปลงแรงดันลงมาให้มีค่า 6 V ซึ่งเป็นแรงดันหม้อแปลงทั่วไป ใช้ขนาด 300 mA เนื่องจากพิสัยวัด R×1 กินกระแสสูงสุดประมาณ 150 mA จากแรงดัน 6 V ต่อเข้าไปยังวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ซึ่งประกอบด้วยไดโอด D_4 กระแสจะถูกกรองให้เรียบโดยตัวเก็บประจุ C_3 ค่า 220 µF แรงดันที่ถูกกรองกระแสเบื้องต้นแล้วจะถูกส่งไปยังวงจรควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยใช้ไอซีคงค่าแรงดันแบบปรับค่าได้ เบอร์ LM317T ซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันได้ 1.25 V ถึง 30 VDC กระแสไม่เกิน 1.5 A ตามเงื่อนไขการออกแบบด้วย R_1 และ R_2 เพื่อให้ได้เอาต์พุต 3 V จึงออกแบบหาค่า R_1 และ R_2 จากบริษัทผู้ผลิตกำหนดค่าที่เหมาะสมของ R_1 คือ ประมาณ 120 Ω – 240 Ω ในที่นี้เลือกใช้ 240 Ω

จากสูตร $V_{out} = 1.25\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj}R_2$

ค่ากระแส I_{adj} ปกติมีค่า 0.1 mA

แทนค่า $3\ V = 1.25\left(1+\frac{R_2}{240\Omega}\right) + 0.1\times10^{-3}A \times R_2$

$$= 1.25 + 0.0052R_2 + \left(\frac{0.1R_2}{1000}\right)$$

$$3-1.25 = 0.0052R_2 + 0.0001R_2$$

$$1.75 = 0.0053R_2$$

$$R_2 = \frac{1.75}{0.0053} \approx 330\ \Omega$$

แรงดันเอาต์พุต 3 V ที่ได้จะถูกควบคุมโดยตัวเก็บประจุ ค่า 10 μF คือ C_4 และ C_5 เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการทำงาน ไดโอด D_5 ป้องกันไฟลบที่จะทำให้ไอซีชำรุด ไดโอด D_6 ซีเนอร์ไดโอด 4.7 V ใช้ป้องกันแรงดันไฟตรงภายนอกที่จะทำให้ไอซีชำรุดได้เช่นกัน

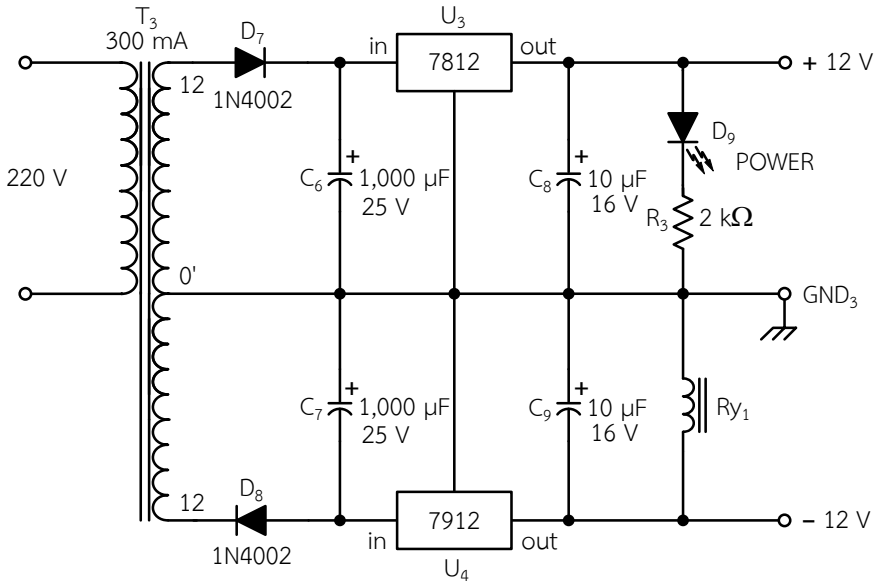
หมายเหตุ : - การออกแบบชุดฝึกเพื่อใช้วัดค่าความต้านทานอาจใช้วงจรจ่ายแรงดัน 3 VDC, 12 VDC แทนได้ หมายถึง กรณีการวัดพิสัย R×10k ไม่ต้องต่อแบตเตอรี่ 3 V อนุกรมกับ 9 V สามารถใช้ 12 V ในการออกแบบพิสัย R×10k ได้โดยตรง

- ข้อสังเกตกราวด์ของแหล่งจ่าย 3 V, 9 V ต้องแยกกันเหมือนแบตเตอรี่ จึงจำเป็นต้องแยกใช้หม้อแปลงคนละตัวหรืออาจสั่งพันแยกคนละขดจะกะทัดรัดมากขึ้น

1.2 วงจรไฟเลี้ยงระบบป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V ซึ่งเป็นไฟเลี้ยงวงจรระบบป้องกันของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ข้อสังเกต คือ ต้องให้หม้อแปลง T_3 แยกจากวงจรสร้างแบตเตอรี่ 3 V, 9 V กราวด์จึงกำหนดให้เป็น GND_3 กระแสสูงสุดขณะทำงานไม่เกิน 100 mA ซึ่งเลือก ใช้หม้อแปลง 300 mA วงจรกินกระแสไม่มากจึงใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นทั้งไฟบวกและลบเพื่อไปเลี้ยงไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM1458 การทำงานของวงจรจะเริ่มจากอินพุตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ถูกป้อนเข้ามาทางหม้อแปลง T_3, 12 V ซึ่งเป็นหม้อแปลงแรงดันแบบมีขั้วต่อกึ่งกลาง คือ มีขั้ว 12 V-0-12 V ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานทั่วไป ต่อเข้าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจ่ายไฟบวกและลบ ซึ่งประกอบด้วยไดโอด D_7, D_8 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น กระแสจะถูกกรองให้เรียบโดยตัวเก็บประจุ C_6, C_7 ค่า 1,000 μF 2 ตัว ซึ่งต่ออนุกรมกันอยู่ที่โหลดและขนานกับแรงดันไฟ บวกและลบแรงดันที่ถูกกรองเบื้องต้นแล้วจะถูกส่งไปยังไอซีเรกูเลเตอร์ เบอร์ 7812 และเบอร์ 7912 ให้เอาต์พุต ±12 V เอาต์พุตที่ได้จะถูกควบคุมโดยตัวเก็บประจุ C_8, C_9 ค่า 10 μF ก่อนที่

จะถูกส่งออกไปเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการทำงาน D_9, R_3 เป็นตัวแสดงผลให้ทราบถึงการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรระบบป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก โดย D_9 เป็นหลอด ไฟสีเขียวอยู่ที่หน้าปัดเครื่อง สำหรับ R_{y1} เป็นรีเลย์บังคับให้ผู้ใช้งานต้องเสียบปลั๊กก่อนใช้งานเพื่อให้หน้าสัมผัสรีเลย์ต่อกับสายวัดสีแดง มิฉะนั้นมัลติมิเตอร์จะไม่สามารถวัดค่าใด ๆ ได้ เหตุผลที่ต่อเข้าไฟลบ กล่าวคือ ไฟลบไม่ได้ใช้กระแสมากทำให้การใช้งานของแหล่งจ่ายไฟเกิดความสมดุลมากขึ้น

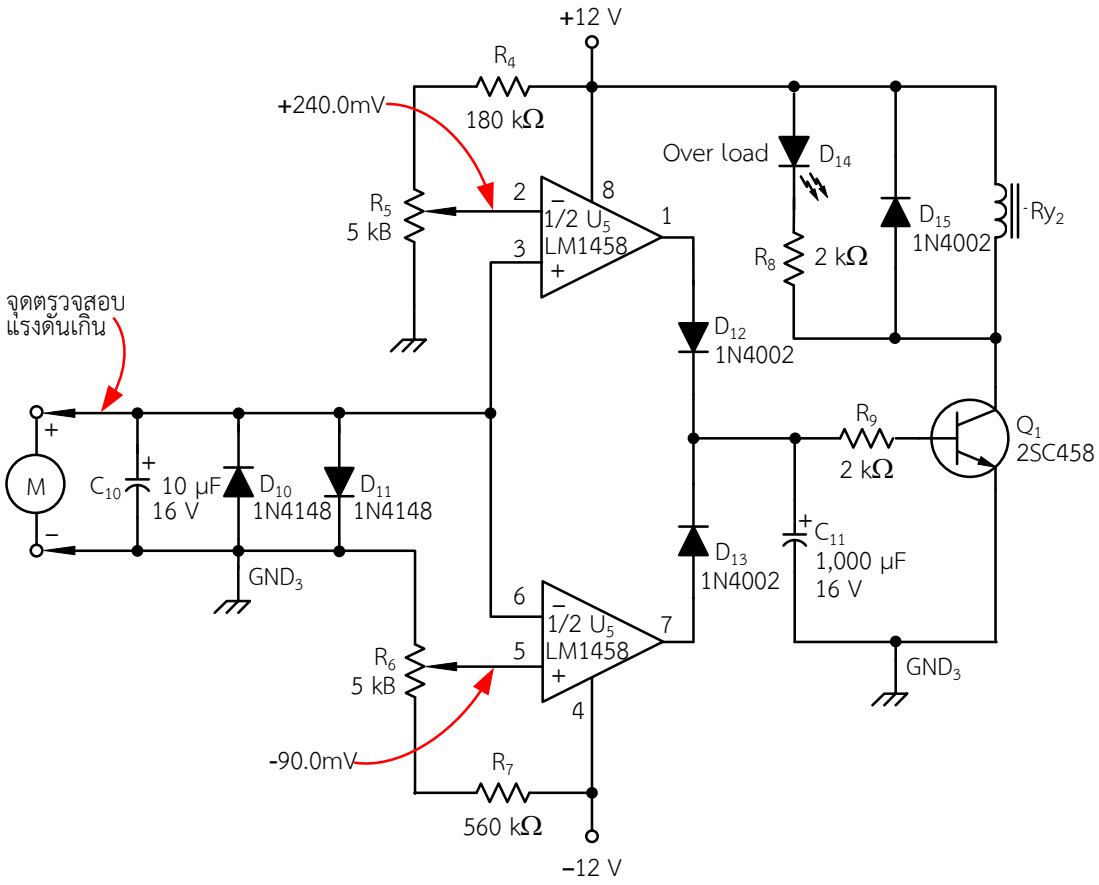


รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12V เพื่อใช้กับวงจรระบบป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

1.3 วงจรระบบป้องกันของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

วงจรระบบป้องกันของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก เป็นวงจรที่เน้นป้องกันการชำรุดของขดลวดเคลื่อนที่และมีผลทำให้สามารถป้องกันฟิวส์ขาด ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัยและระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัด โดยที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ภายในต่าง ๆ เกิดการชำรุด ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันของออปแอมป์และวงจรขับรีเลย์ เพื่อปิดเปิดสายวัดขั้วบวกของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งรับสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดันหรือกระแสจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ทุกครั้งที่วัดจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงบางส่วนตกคร่อมชุดขดลวดเคลื่อนที่ของมัลติมิเตอร์แอนะลอก ซึ่งภายในจะมีวงจรตัวต้านทานเพื่อลดแรงดันไฟตรงให้ตกคร่อมขดลวดเคลื่อนที่ ขณะเข็มชี้เต็มสเกลประมาณ 50 mV_{DC} เมื่อตั้งพิสัยได้ถูกต้อง ตัวเก็บประจุ C_{10} ทำหน้าที่กรองกระแสไฟฟ้าให้เรียบขึ้น เพื่อป้องกันไฟสูงชั่วขณะที่ทำให้วงจรไวต่อการทำงานมากเกินไป

วงจรรีเลย์จะตัดเร็วผิดปกติทำให้เข็มของขดลวดเคลื่อนที่ มีการแกว่งตัวที่นิ่มนวลมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

หลักการออกวงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ตามวงจรรูปที่ 3.5 อาศัยหลักการป้องกันอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในตัวมาตรวัด คือ ขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ราคาแพงที่สุดและรับผลกระทบโดยตรงจากการวัดค่าใด ๆ ขณะใช้งานแต่ละพิสัย ซึ่งขดลวดเคลื่อนที่จะเป็นตัวรับแรงดันในทุกค่าการวัด ปกติขดลวดเคลื่อนที่ถูกออกแบบมาให้ทนค่ากระแสหรือแรงดันเกินค่าปกติได้สูงสุดประมาณ 3-5 เท่า ชั่วขณะโดยไม่เกิดการชำรุด กรณีกระแส 44 μA จะรับได้สูงสุด คือ 44 μA × 5 = 220 μA หรือเป็นค่าแรงดันสูงสุด คือ 50 mV × 5 = 250 mV

ยกตัวอย่างง่าย ๆ ของการตั้งพิสัยการวัดผิดพลาด เช่น ตั้งพิสัยวัด 50 μA แต่นำไปใช้วัดค่ากระแส 25 mA ค่ากระแสเกินความสามารถของมาตรวัดเป็น 25 × 1000/50 = 400 เท่า แต่โดยทั่วไปมัลติมิเตอร์มีฟิวส์ 500 mA ป้องกันแต่จะหลอมละลายที่ประมาณ 1 A กล่าวคือ ป้องกันได้เฉพาะพิสัยวัด 250 mA ซึ่งกระแสจะเกินประมาณ 1000 mA / 250 mA = 4 เท่า โดยที่ไม่เกิดการชำรุด สำหรับระบบป้องกันโดยใช้ไดโอด 2 ตัว ต่อคร่อมสลับขั้วให้กับขดลวดเคลื่อนที่เป็นไดโอดชนิด

ซิลิคอนทำงานที่ 0.7 V หมายถึง แรงดันจะเกินค่าที่รับได้ 700 mV / 50 mV = 14 เท่า ซึ่งเกินขีดกำจัดการทนแรงดันและกระแส กล่าวคือ การใช้แอนะลอกมัลติมิเตอร์มีความเสี่ยงสูงมากต่อการชำรุดแม้วงจรจะสามารถป้องกันได้ในระดับหนึ่ง แต่การเสื่อมสภาพของขดลวดเคลื่อนที่จะเกิดการสะสมทุกครั้งที่รับภาระเกินพิสัย

ในการออกแบบเน้นการหาอุปกรณ์ง่ายเพื่อให้ผู้ศึกษางานวิจัยทำตามได้โดยง่ายที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

- การเลือกใช้ออปแอมป์แบบคู่หรือออปแอมป์ 2 ตัว ในไอซีตัวเดียวกัน โดยใช้เบอร์ LM1458 ซึ่งภายในเป็น LM741 ทั้งหมด 2 ตัว เป็นออปแอมป์พื้นฐานที่สุดในการเรียนรู้ จึงใช้ไฟเลี้ยง ±12 V สามารถเลือกใช้หม้อแปลง 12-0-12 ซึ่งหาได้ง่ายกว่า 15-0-15 จึงทำงานได้ไวกว่าออปแอมป์ที่ใช้เฉพาะไฟเลี้ยงบวกอย่างเดียว

- ระบบป้องกันจุดตรวจสอบของวงจรเกิน ±0.7 V ใช้ไดโอด D_6, D_7 เบอร์ 1N4148 สองตัวต่อสลับขั้วกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไดโอดชนิดซิลิคอน เมื่อมีกระแสไหลผ่านในลักษณะไบแอสไปหน้าจะควบคุมไม่ให้แรงดันตกคร่อม 0.7 V ในการควบคุมแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมขดลวดเคลื่อนที่คือ 50 mV × 5 = 250 mV จึงมีความเหมาะสม

- ตัวเก็บประจุ C_{10} ค่า 10 µF ใช้กรองสัญญาณที่วัดให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น เพราะบางสัญญาณเป็นการวัดแรงดันไฟสลับของมัลติมิเตอร์ จะใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น มาตรวัดจึงทำงานแบบค่าเฉลี่ยแต่ออปแอมป์ทำงานตามความเป็นจริงของรูปคลื่น คือ รูปสัญญาณเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจำเป็นต้องกรองให้เรียบ เมื่อถูกนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงจึงจะสามารถทำงานได้ถูกต้อง

- วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงด้านบวกประกอบด้วยอุปกรณ์ R_4, R_{10} เพื่อปรับให้ได้แรงดัน +240mV ถ้าอินพุตมีแรงดันไฟตรงเข้ามาที่ขดลวดเคลื่อนที่เกิน +240 mV วงจรจะตัดสายวัดออกจากการวัด โดย a_2 ซึ่งปกติจะต่อสายวัดให้สามารถวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้ ถ้าตั้งพิสัยการวัดสอดคล้องกับค่าที่ต้องการวัด ระบบป้องกันจะไม่ทำงานค่าแรงดัน +240 mV ได้มาจากการทดลองว่าเครื่องจะไม่เกิดการรบกวน หมายถึง ตั้งพิสัยตามที่ต้องการวัดแล้ววัดเกินพิสัยเพียงเล็กน้อยระบบป้องกันจะไม่ทำงาน เพื่อไม่เกิดความรำคาญขณะใช้งานเมื่อเกิดการตัดที่ไวหรือบ่อยเกินไป ซึ่งเป็นเหตุผลว่าค่าแรงดันเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ มีค่า 50 mV แต่ตั้งค่าแรงดันอ้างอิงที่ป้องกันโหลดเกินไว้ที่ +240 mV คือ ประมาณ 240 mV / 50 mV ≅ 5 เท่า ซึ่งขดลวดเคลื่อนที่รับภาระกระแสได้ชั่วคราวไม่เกิดการชำรุดเพราะรีเลย์จะตัดวงจรออกจากการวัดทันทีภายในระยะเวลาประมาณ 10 วินาที ถ้าไม่มีระบบป้องกันเข็มจะชี้ค้างหลายวินาทีและอาจชำรุดเสียหายได้ เนื่องจากฟิวส์ที่มากับมาตรวัดป้องกันเฉพาะพิสัย 250 mA ดังนั้น แอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่จำหน่ายทั่วไป จึงไม่ใช่เครื่องมือที่ควรจะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะการเริ่มฝึกใช้งานกับผู้เรียนที่ยังไม่มีความชำนาญในการใช้ จึง

เป็นเหตุผลหลักของการตั้งแรงดันอ้างอิงสูงไว้ที่ +240 mV เนื่องจากการตั้งพิสัยวัด R×1 ในการปรับให้เข็มชี้ศูนย์กระแสชั่วขณะในการวัดจะสูงมาก วงจรป้องกันจะตัดเร็วเกินไปผู้ใช้จะรู้สึกรำคาญที่วงจรทำงานไวเกินไป จึงต้องปรับแรงดันให้เหมาะสมเพื่อทำให้ผู้ใช้งานมีความรู้สึกเสมือนการใช้มิเตอร์ปกติที่ไม่มีระบบป้องกัน

กรณีการป้องกันการวัดผิดขั้ว สำหรับการวัดกระแสหรือแรงดันไฟตรง จะตั้งค่าไว้ที่ -90mV โดยใช้ R_6, R_7 เป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟลบ ซึ่งจะต่ำกว่าทางด้านบวกประมาณ 3 เท่า เพราะไม่ได้ใช้ในการอ่านค่า เนื่องจากเข็มชี้ไปด้านตรงข้ามกับสเกล การตั้งค่าอาศัยหลักการตั้งให้ค่าต่ำที่สุด เพื่อให้เกิดความไวสูงสุดในการป้องกันแต่ไม่ตัดวงจรไวเกินไปเช่นเดียวกันกับกรณีวัดถูกขั้ว

- ไดโอด D_8, D_9 ทำหน้าที่เป็นเกตแบบออร์ คือ D_8 จ่ายสัญญาณแรงดันบวกเมื่อวัดค่าเกินพิสัยหรือผิดฟังก์ชันการวัด D_9 จ่ายสัญญาณแรงดันบวกเมื่อใช้สายวัดผิดขั้ว และแรงดันตกคร่อมขดลวดเคลื่อนที่เกิน -90 mV ดังนั้น การวัดค่าเกินพิสัยหรือใช้สายวัดผิดขั้ววงจรป้องกันจะทำงานในทั้งสองกรณี

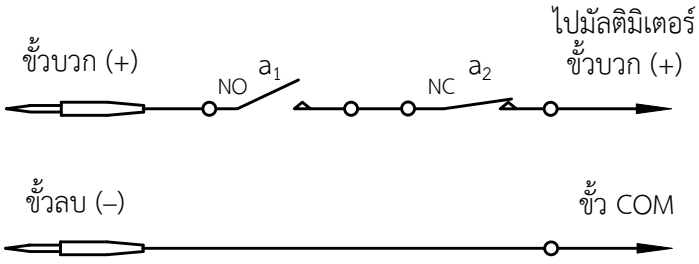
- ตัวเก็บประจุ C_{11} ทำหน้าที่หน่วงเวลาเมื่อระบบป้องกันทำงานโดยแสดงด้วยแอลอีดี D_{10} ให้ผู้ใช้ทราบว่าระบบป้องกันทำงาน คือ สายวัดเปิดวงจรและจะหน่วงเวลาประมาณ 5 วินาที คือขณะ D_{10} ทำงานสายวัดเปิดวงจรเข็มจะชี้ที่ศูนย์ เป็นการเตือนให้ผู้ใช้ทราบว่าขณะนี้วัดค่าเกินพิสัยหรือตั้งสวิตช์เลือกผิดฟังก์ชัน

- วงจรขับรีเลย์ใช้ R_2 เป็นตัวจำกัดกระแส Q_1 ใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2SC458 ทนค่ากระแสสูงสุด 100 mA แต่รีเลย์กันกระแสประมาณ 30 mA ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน D_{11} ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันย้อนกลับซึ่งจะทำให้ Q_1 ชำรุด รีเลย์ R_{y2} ใช้ขนาด 12V 3A เพียงพอต่อการใช้งาน

ค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับการป้องกันไม่ให้ขดลวดเคลื่อนที่รับแรงดันไฟเกินด้านบวกใช้ U_5 ส่วนบนของวงจร โดยวัดแรงดันที่ขา 2 แล้วปรับ R_{10} ให้ได้ค่าแรงดัน 240.0 mV เป็นค่าที่เหมาะสำหรับมัลติมิเตอร์ที่นำมาใช้ทำชุดฝึก ฯ ดังกล่าว กรณีใช้รุ่นอื่นสามารถปรับให้เหมาะสมตามการใช้งานได้ ซึ่งจะไม่แตกต่างกันมากในสภาวะยังไม่วัดค่าทางไฟฟ้าใด ๆ จะไม่มีแรงดันป้อนที่อินพุตโดยจะต่อคร่อมขดลวดเคลื่อนที่ กรณีวัดค่าไฟฟ้าทั่วไปแรงดันจะไม่เกิน 50 mV แต่เมื่อเกิดการวัดผิดพลาดจากสาเหตุใด ๆ จะทำให้แรงดันที่มาจากขดลวดเคลื่อนที่เกิน 240.0 mV แรงดันที่ขา 3 จะสูงกว่าขา 2 เอาต์พุตขา 1 จะมีลอจิกเป็น 1 จากปกติเป็นลอจิก 0 กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_8 และประจุแรงดันไว้ที่ C_{11}, R_9 จะควบคุมการจ่ายกระแสเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสภาวะอิ่มตัวได้นานประมาณ 5 - 10 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่หน้าสัมผัส a_2 เปิดวงจร ทั้งนี้ขึ้นกับการเลือกค่า R_9, ตัวเก็บประจุ C_{11} เมื่อ C_{11} คายประจุจนแรงดันต่ำถึง 0.7 V ทรานซิสเตอร์จะหยุดทำงานหน้าสัมผัส a_2 จะปิดวงจร ทำให้สายวัดสามารถวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้ตามปกติ การทำงานของระบบป้องกันของระบบป้องกันมีความไวสูง แม้ว่าแรงดันตกคร่อมขดลวดเคลื่อนที่จะทำให้วงจรป้องกันทำงานสูงสุดถึง

240 mV แต่ความสามารถในการตัดวงจรออกจากการวัดใช้เวลาประมาณ 10 วินาที ซึ่งบางครั้งเข็มของมาตรวัดเพิ่งเริ่มแกว่งตัวยังไม่เต็มสเกลมาตรวัดจะถูกเปิดวงจรก่อน ซึ่งถือได้ว่ามีความปลอดภัยสูง

ในการทำงานลักษณะเดียวกันออปแอมป์ที่อยู่ด้านล่างของวงจรจะตั้งค่าแรงดันไฟลบไว้ที่ -90mV ด้วย R_6 เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ได้รับแรงดันไฟลบ เนื่องจากการใช้สายวัดผิดขั้วและมีแรงดันเกิน -90mV ตัวอุปกรณ์ออปแอป์ต่ำที่อยู่ด้านล่างของวงจรตามรูปที่ 3.5 จะทำให้เอาต์พุตมีลอจิกเป็น 1 จากเดิมที่มีลอจิก 0 ผ่านไดโอด D_9 และประจุแรงดันที่ C_{11} ควบคุมกระแสด้วย R_9 ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานในสภาวะอิ่มตัว ไปขับให้รีเลย์ทำงานหน้าสัมผัส a_2 จะปิดวงจรประมาณ 5 ถึง 10 วินาที จึงกลับเข้าสู่สภาวะปกติ กรณีผู้ใช้วัดค่าทางไฟฟ้าไม่ถูกต้อง และไม่ปลดสายวัดออกจากวงจร วงจรป้องกันจะทำงานและหยุดทำงานสลับกันไป กล่าวคือ จะหยุดวัดประมาณ 10 วินาที จาก นั้นสายวัดจะตรวจสอบแรงดันที่ขดลวดเคลื่อนที่ยังสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ประมาณ 10 วินาที วงจรป้องกันจะเปิดวงจรสายวัดใหม่ ซึ่งผู้สอนควรแนะนำไม่ให้ผู้เรียนวัดค้างไว้ตลอด เมื่อวัดค่าไม่ถูกต้องให้ปลดสายออกจากวงจร แม้ว่าเครื่องจะไม่ชำรุด



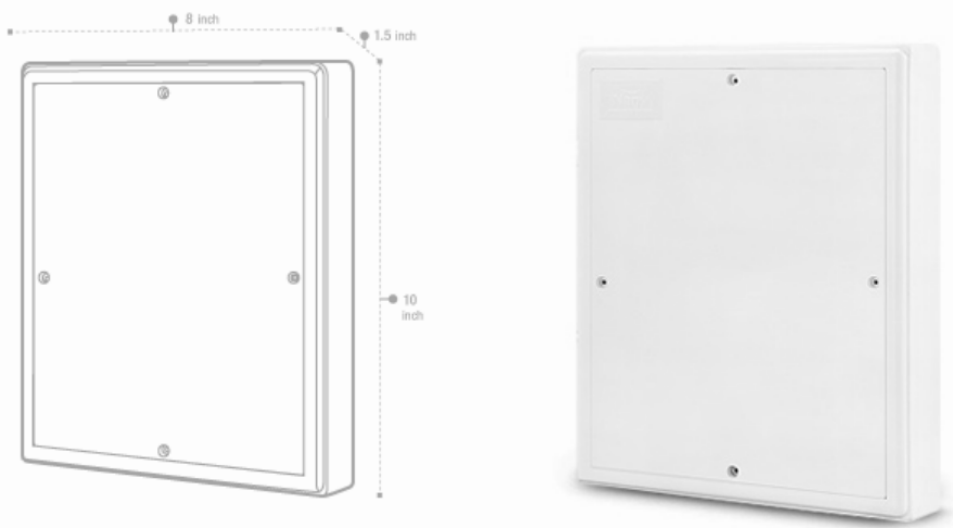
รูปที่ 3.6 การต่อสายวัดของมัลติมิเตอร์แอนะลอก

จากรูปที่ 3.6 แสดงการต่อสายวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก การต่อสายวัดขั้วบวกสีแดงเข้ากับหน้าสัมผัสของรีเลย์ตัวที่ 1 (Ry_1) ตามวงจรรูปที่ 3.4 ที่ทำงานแบบปกติเปิด คือ a_1 เป็นการกำหนดให้ผู้ใช้ต้องเสียบปลั๊กไฟให้วงจรทำงาน สายวัดสีแดงจึงจะต่อวงจรให้วัดค่าได้และต่อสายวัดอนุกรมกับหน้าสัมผัสของรีเลย์ตัวที่ 2 (Ry_2) คือ a_2 ตามวงจรรูปที่ 3.5 ซึ่งจะทำงานในสภาวะปกติปิด จากนั้นนำสายวัดมาต่อกับปลายสายที่เป็นตัวแจ๊คเสียบ เพื่อใช้เป็นตัวเสียบเข้ากับ P+ (สีแดง) มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกตามปกติและมีสายวัดขั้วลบสีดำ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับวงจรป้องกันแต่จะนำไปเสียบเข้ากับ COM ในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกเพื่อต่อออกมาใช้งานตามปกติ

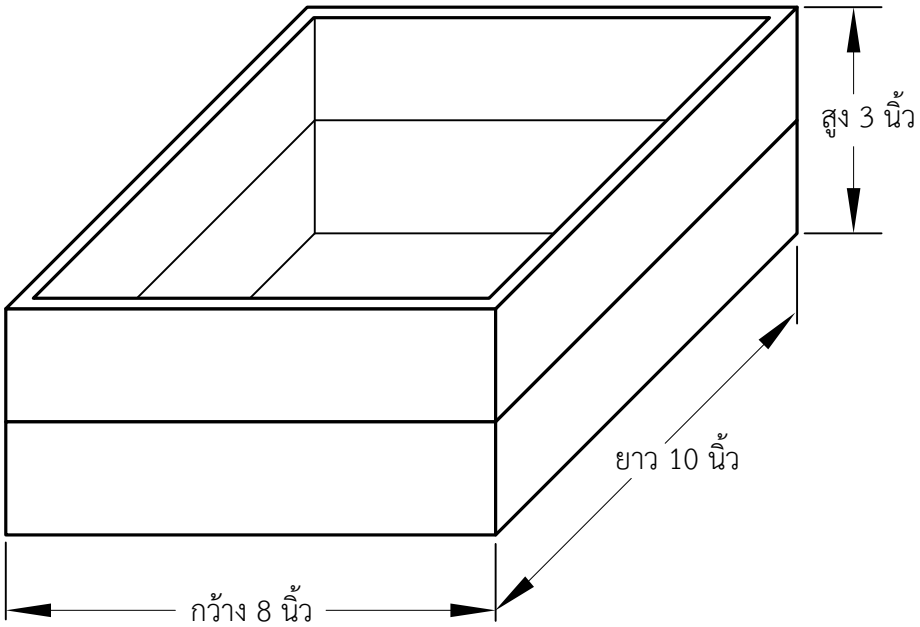
การทำงานของวงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ตามรูปที่ 3.5 โดยภาพรวมเริ่มจากสภาพปกติเมื่อเสียบและเปิดสวิตช์ จะมีไฟเลี้ยงวงจร สังเกตหลอดไฟสีเขียว จะติดและขึ้นด้านบนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นมัลติมิเตอร์ทั่วไปที่มีระบบป้องกัน ขณะนี้สายวัดขั้วบวกสีแดงถูกต่อวงจรด้วยหน้าสัมผัส a_1 ตามรูปที่ 3.6 ซึ่งปกติเปิดวงจร เมื่อป้อนไฟให้ระบบป้องกันหน้าสัมผัสจึงทำงานพร้อมที่จะวัด หมาย ความว่าเป็นการบังคับให้ผู้ใช้ต้องป้อนไฟเลี้ยงวงจรก่อนจึงจะใช้มัลติมิเตอร์ได้

1.4 การออกแบบโครงสร้างและหน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ได้แสดงรายละเอียดตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

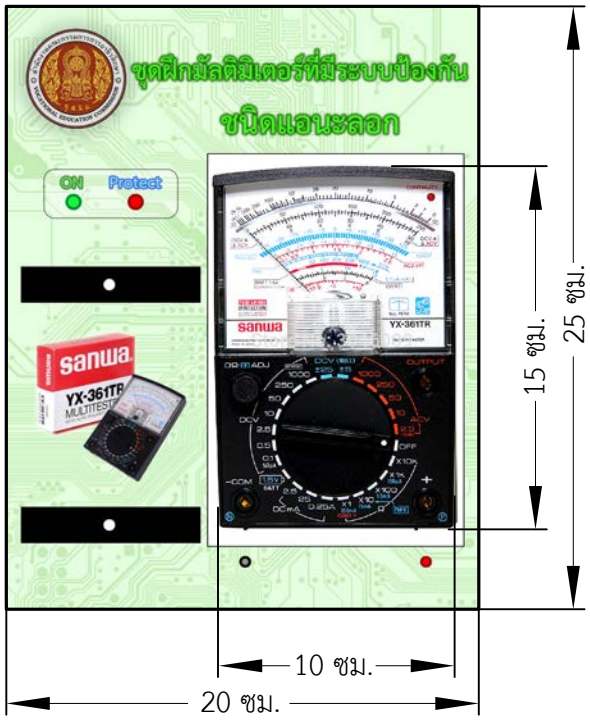
รูปที่ 3.7 หน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน



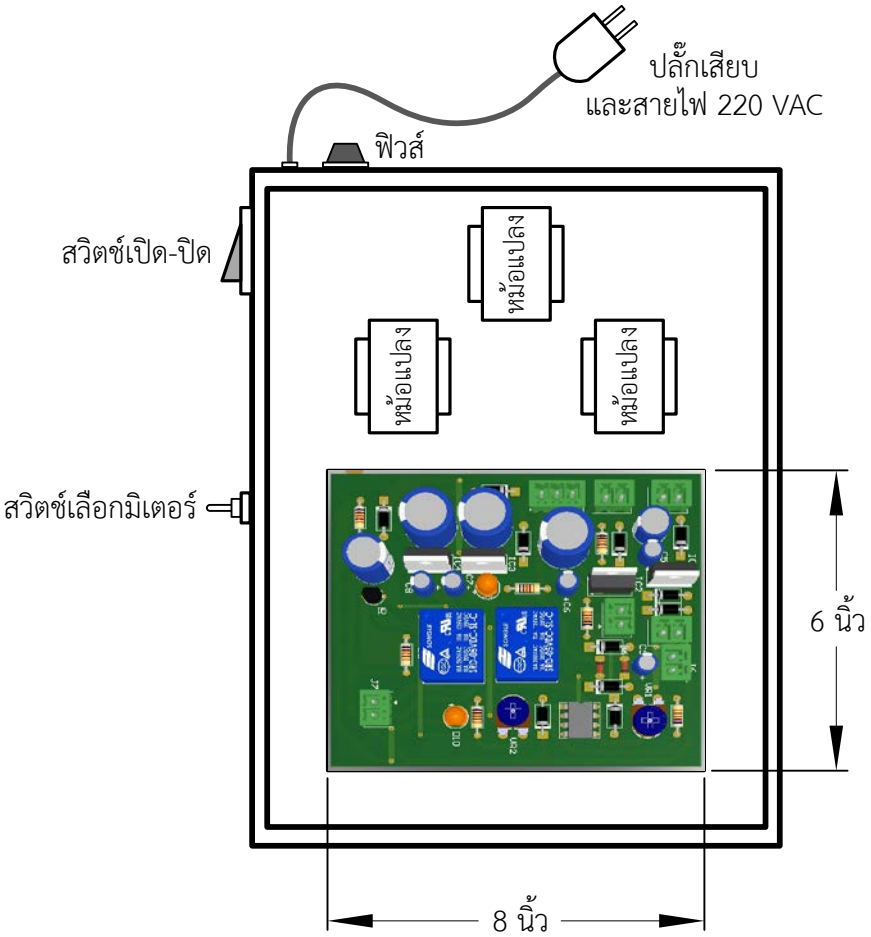
รูปที่ 3.8 โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก



รูปที่ 3.9 การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

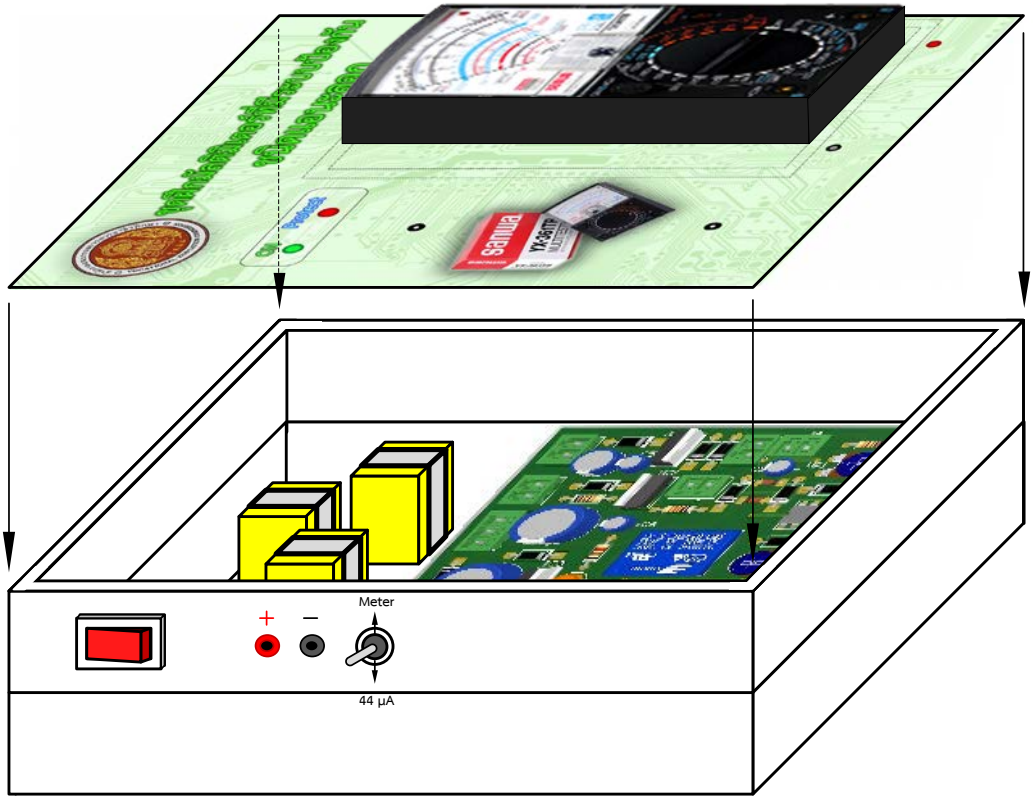


รูปที่ 3.10 การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างภายในของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกันที่ภายในติดตั้งแผงวงจรยึดติดกับกล่องด้านใน และด้านข้างติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยปลั๊กเสียบไฟ 220 VAC, สวิตช์สำหรับเปิดปิดเครื่อง สวิตช์เลือกใช้งานเป็นมัลติมิเตอร์หรือขดลวดเคลื่อนที่ 44 μA และฟิวส์ ทั้งหมดถูกบรรจุลงตามขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกที่เลือกและนำมาประกบเป็นกล่องชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.12 ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

จากรูปที่ 3.12 แสดงลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ซึ่งได้ออกแบบไว้ตามโครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกและนำแผงไฟฟ้าพลาสติกประกบเข้าด้วยกันเป็นชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน และได้แสดงลักษณะภายนอกของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 ลักษณะภายนอกของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

จากโครงสร้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ได้แสดงรายละเอียดด้านหน้าตามรูปที่ 3.14 (ก) ดังนี้

หมายเลข (1) ตำแหน่งหลอดแอลอีดีสีเขียวแสดงสถานะการทำงานของระบบไฟที่ป้อนเข้าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

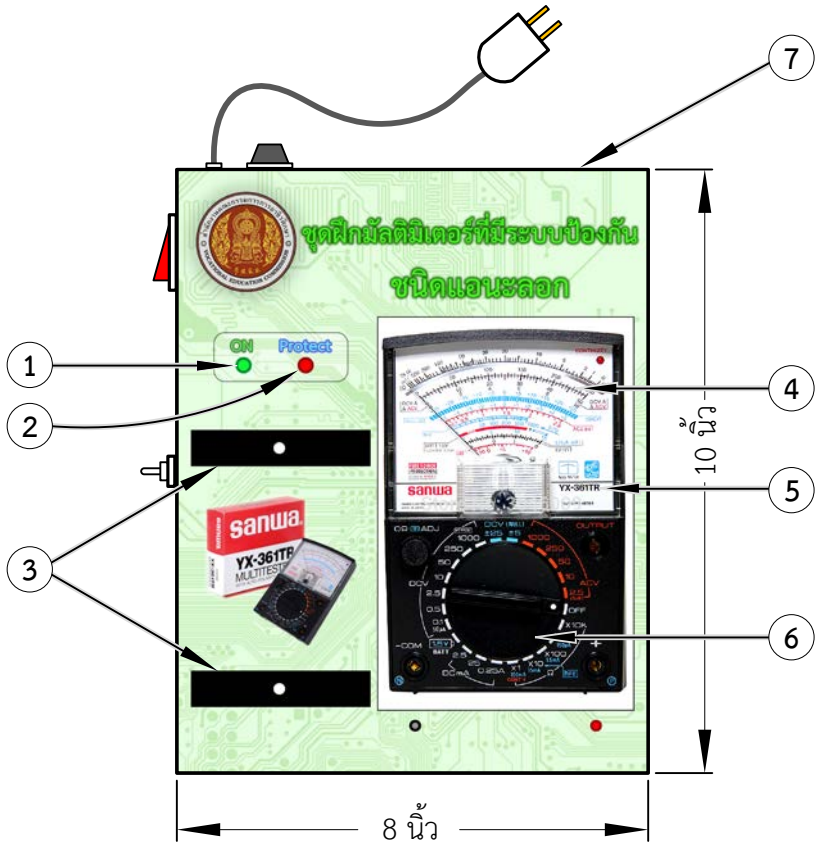
หมายเลข (2) ตำแหน่งหลอดแอลอีดีสีแดงจะแสดงสถานะการทำงานของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก เมื่อผู้ใช้ตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัด คือ เลือกใช้ฟังก์ชันการวัดผิดหรือตั้งพิสัยวัดต่ำเกินไป

หมายเลข (3) ตำแหน่งแถบผ้าตีนตุ๊กแกสำหรับเก็บสายวัดของมัลติมิเตอร์ให้เรียบร้อยเมื่อไม่ได้ใช้งาน

หมายเลข (4) หน้าปัดของมัลติมิเตอร์

หมายเลข (5) ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อซันวา รุ่น 361TR

หมายเลข (6) ปุ่มปรับเลือกพิสัยการวัด



(ก) ตำแหน่งใช้งานด้านหน้าของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

โครงสร้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ได้แสดงรายละเอียดด้านข้างตามรูปที่ 3.14 (ข) ดังนี้

หมายเลข (1) ตำแหน่งปลั๊กเสียบและสายไฟ 220 VAC

หมายเลข (2) ตำแหน่งกระบอกฟิวส์

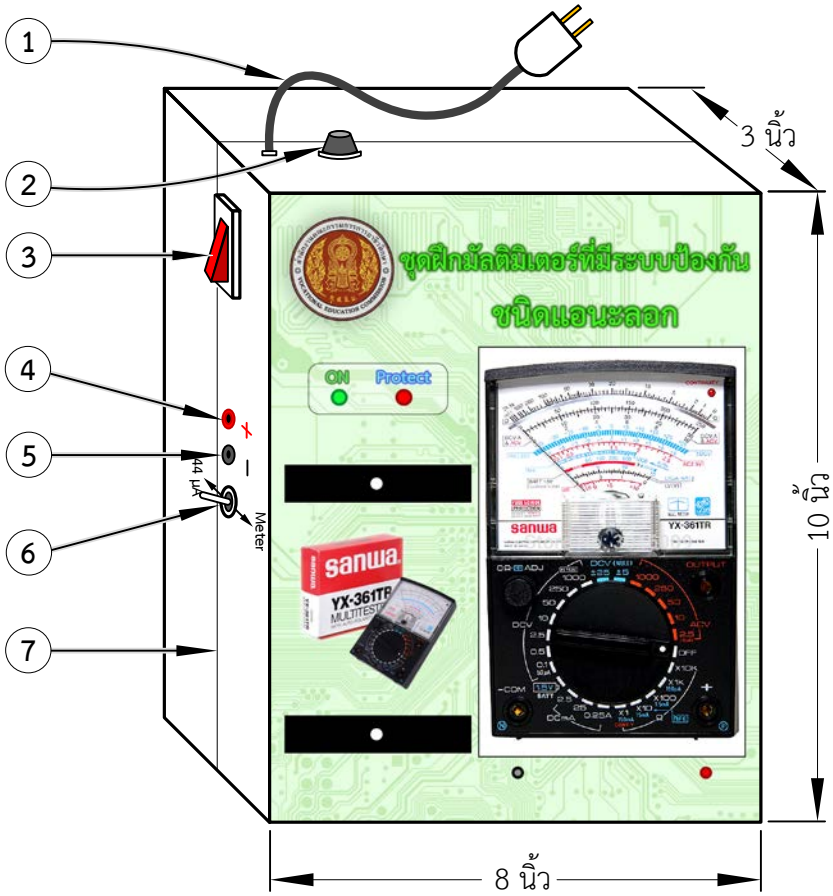
หมายเลข (3) แสดงสวิตช์ ปิด-เปิด การใช้งานของชุดฝึกแอนะลอกมัลติมิเตอร์

หมายเลข (4) แสดงขั้วบวกของขดลวดเคลื่อนที่

หมายเลข (5) แสดงขั้วลบของขดลวดเคลื่อนที่

หมายเลข (6) แสดงสวิตช์โยกขึ้น-ลง เมื่อโยกสวิตช์ลงจะทำหน้าที่เป็นมิเตอร์มูฟเมนท์ 44μA พร้อมระบบป้องกัน เพื่อนำไปใช้ฝึกการขยายพิสัยการวัดโดยตรง และเมื่อโยกสวิตช์ขึ้น เป็นการใช้งานมัลติมิเตอร์แอนะลอกที่มีระบบป้องกันตามปกติ

หมายเลข (7) แสดงโครงสร้างของชุดฝึกจากแผงไฟฟ้าพลาสติก ขนาด 8″×10″×1.5″ โดยนำด้านล่างของกล่องทั้ง 2 ชุดนำมาประกบกันเป็น 2 ชั้น เพื่อให้สามารถบรรจุมัลติมิเตอร์และวงจรควบคุมได้



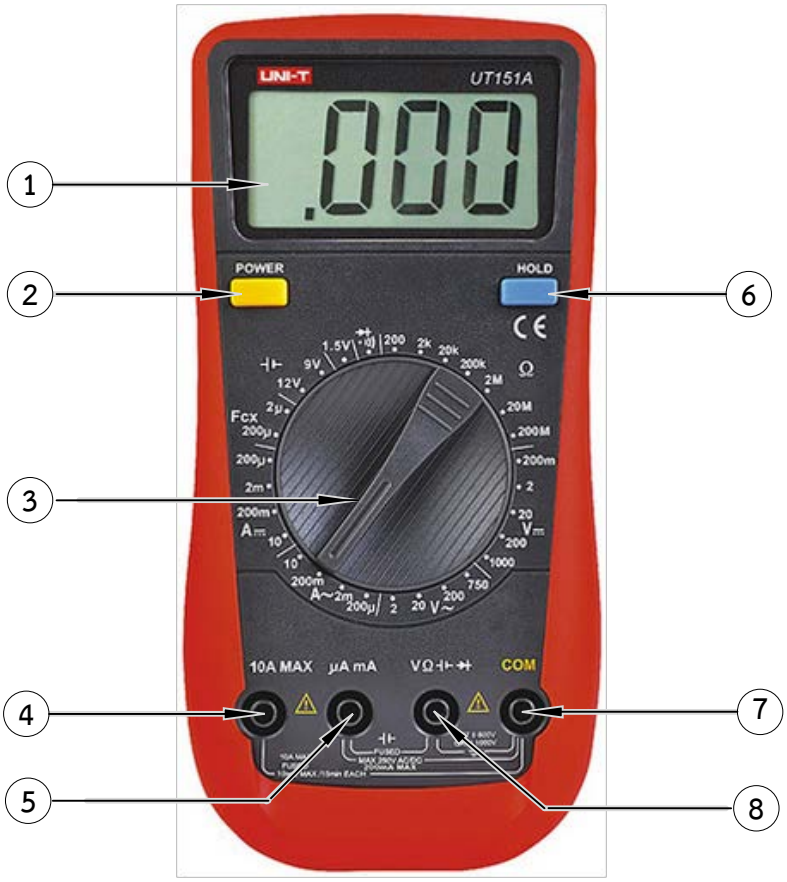
(ข) ตำแหน่งใช้งานด้านข้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

รูปที่ 3.14 โครงสร้างของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

2. ขั้นตอนการพัฒนาชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับฝึกปฏิบัติการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย โดยออกแบบให้มีระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่ และระบบป้องกันฟิวส์ขาด ซึ่งสามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยงตรงในการวัดค่าโดยไม่ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ชำรุด เสมือนมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์ที่มีรุ่นและยี่ห้อเดียวกัน การสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน จะอ้างอิงจากตัวดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีจำหน่ายทั่วไป จะต่างกันเฉพาะมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลจะมีฟิวส์ที่จะป้องกัน 2-3 ตัว ขึ้นกับรุ่นที่เลือกนำมาใช้ แต่จะเลือกรุ่นที่วัดกระแสแยกออก V/Ω เท่านั้น จึงจะสามารถใช้งานกับระบบป้องกันได้ โดยจะสร้างระบบป้องกันฟิวส์ภายใน เมื่อขณะใช้งานเกิดความผิดพลาดจะช่วยทำให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายง่าย มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับมัลติมิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาแบตเตอรี่หมด ทำให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานเกี่ยว

กับการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะผู้เรียนที่มีทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ค่อนข้างน้อย ซึ่งพิจารณาเลือกใช้ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT151A ขนาด 91 มิลลิเมตร X 186 มิลลิเมตร X 39 มิลลิเมตร มาทำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย จากรูปที่ 3.15 แสดงส่วนประกอบภายนอกของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย



รูปที่ 3.15 รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัย

หมายเลข 1 จอแอลซีดีแสดงผลของมิเตอร์ ขนาด 63 มิลลิเมตร X 29 มิลลิเมตร
หมายเลข 2 ปุ่มฟังก์ชันเปิด-ปิด มิเตอร์
หมายเลข 3 สวิตช์เลือกพิสัยการวัด
หมายเลข 4 ขั้วเสียบสายวัด 10 A
หมายเลข 5 ขั้วเสียบสายวัด μAmA ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีแดง
หมายเลข 6 ปุ่มเลือกฟังก์ชัน HOLD
หมายเลข 7 ขั้วเสียบสายวัด COM ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีดำ

หมายเลข 8 ขั้วเสียบสายวัด VΩ ⊣⊢ ⊳⊢ ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีแดง พิสัยวัดแรงดันไฟฟ้า DC, AC พิสัยวัดความต้านทาน พิสัยการทดสอบแบตเตอรี่ 12V/9V/1.5V พิสัยการวัดความจุ (F) 20μF/200μF พิสัยการทดสอบไดโอดต่อเนื่องบัฟเฟอร์

ดังนั้น การออกแบบสร้างและพัฒนามัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยให้มีระบบป้องกันกระแสเกิน ไม่ให้ชำรุดขณะใช้งานประกอบด้วยการออกแบบสร้างเป็น 4 ส่วน มีรายละเอียดในการจัดทำ ดังนี้ คือ

1) วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V ที่ใช้แทนแบตเตอรี่สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

2) วงจรไฟเลี้ยงของวงจรระบบป้องกันสำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

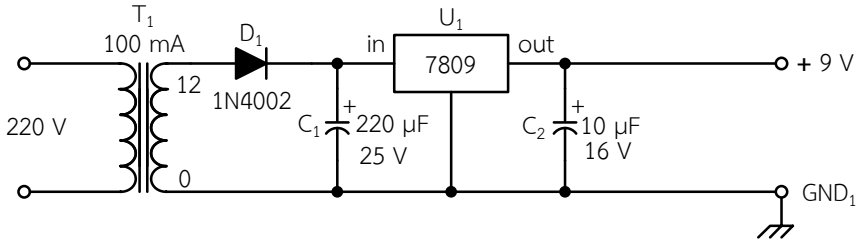
3) วงจรระบบป้องกันของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

4) การออกแบบหน้าปัดและโครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

2.1 การออกแบบชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

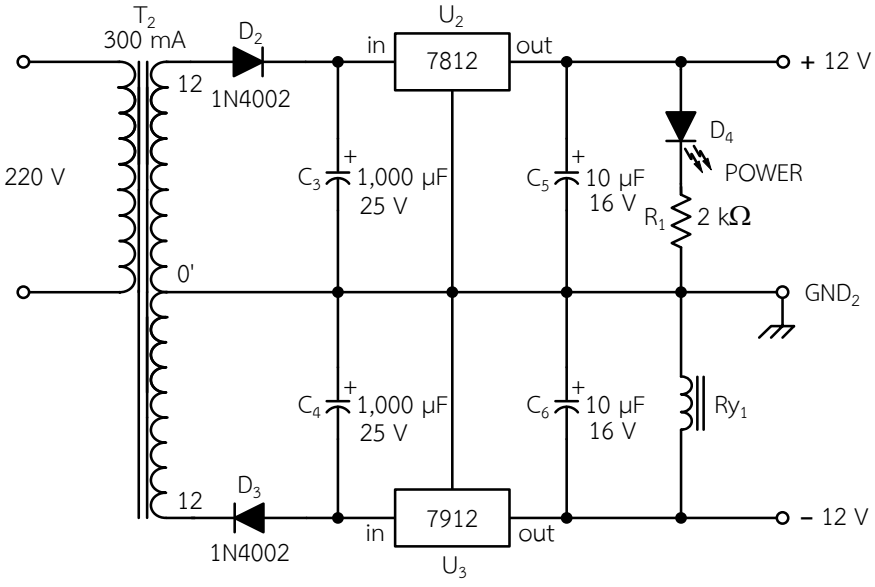
วงจรป้องกันฟิวส์ขาดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ออกแบบโดยใช้วงจรออปแอมป์ 2 ตัว มีลักษณะการทำงานคล้ายกับการป้องกันของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จะต่างเฉพาะวงจรแรงดันอ้างอิงจะไม่เท่ากัน แต่ค่าแรงดันอ้างอิงไฟบวก, ลบจะมีค่าเท่ากัน การออกแบบโครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน จะอ้างอิงจากตัวดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีจำหน่ายทั่วไป แต่จะเลือกรุ่นที่วัดกระแสแยกออก V/Ω เท่านั้น จึงจะสามารถใช้งานกับระบบป้องกันได้ โดยจะสร้างระบบป้องกันฟิวส์ภายในซึ่งจะมี 3 จุด คือวัดกระแสค่าต่ำ วัดกระแสค่าสูงและวัดกระแสจากพิสัยวัดตัวเก็บประจุ เมื่อขณะใช้งานเกิดความผิดพลาดจะช่วยทำให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายง่าย มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับมัลติมิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาแบตเตอรี่หมด ทำให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานเกี่ยวกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีรายละเอียดในการจัดทำ ดังนี้

2.2 การออกแบบวงจรป้องกันฟิวส์ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย



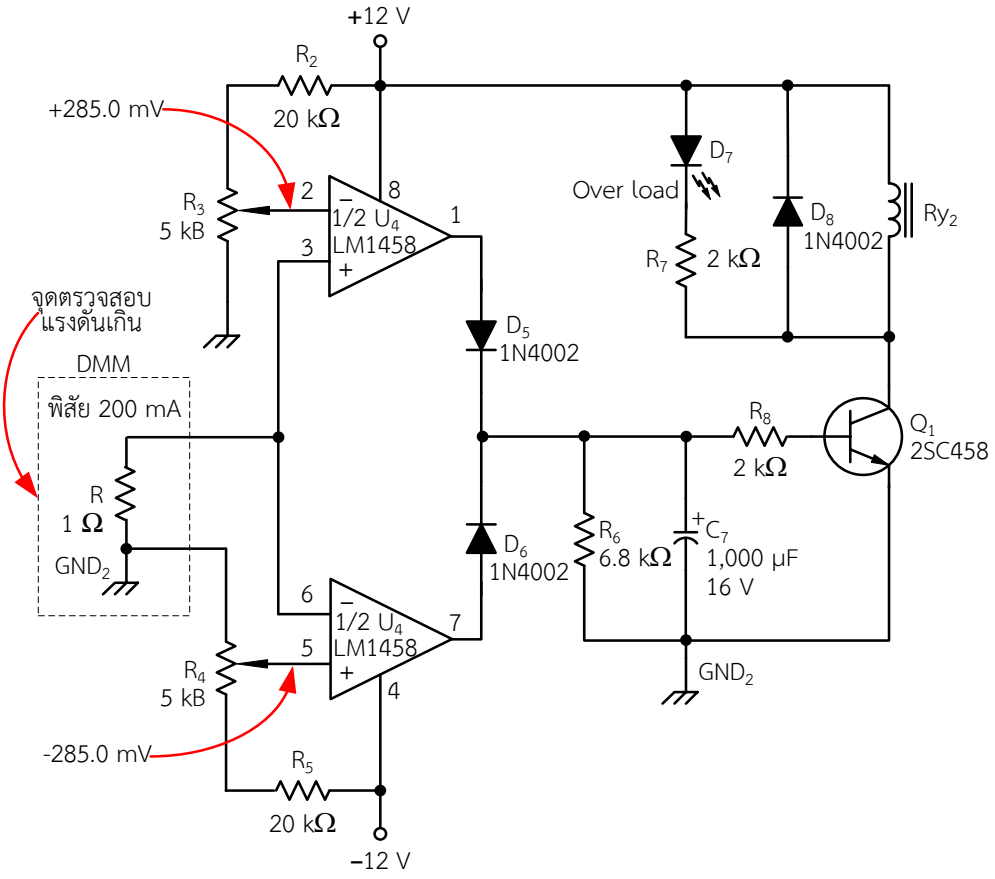
รูปที่ 3.16 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ใช้แทนแบตเตอรี่ 9 V

จากรูปที่ 3.16 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง 9 V เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ใช้แทนแบตเตอรี่ที่ต้องใส่ภายในตัวเครื่องมิเตอร์ การทำงานและออกแบบเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก



รูปที่ 3.17 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 200 mA

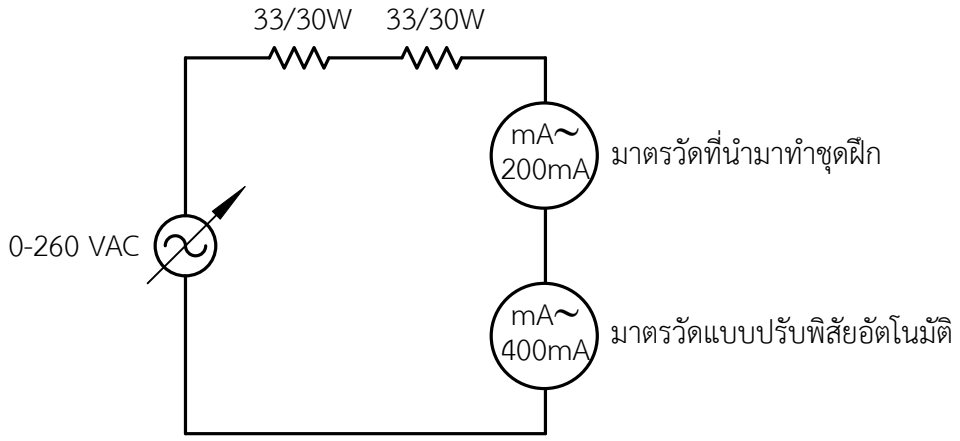
จากรูปที่ 3.17 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ซึ่งเป็นไฟเลี้ยงวงจรเปรียบเทียบแรงดันและขับรีเลย์ เพื่อใช้ในวงจรป้องกันฟิวส์ในการวัดกระแสพิสัย ≤200 mA การทำงานและออกแบบเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก



รูปที่ 3.18 วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 200 mA ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

จากรูปที่ 3.18 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรขับรีเลย์เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 200 mA ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย การทำงานของวงจรเหมือนกับวงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกดังที่กล่าวมาข้างต้นต่างกันเฉพาะการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงต้องสอดคล้องกับลักษณะการทำงานวงจรและเงื่อนไขการใช้งานว่าต้องการป้องกันไม่ให้ค่ากระแสเกินเท่าใดขึ้นกับการตั้งพิสัยการวัดซึ่งจะต้องหาจุดวัดที่เหมาะสมและสอดคล้องกับคุณสมบัติของวงจร เช่น พิสัยการวัด 200 mA AC มาต่ออนุกรมกับมาตรวัดที่นำมาทำชุดฝึกจะใช้ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ซึ่งวัดกระแสได้ 400 mA คุณสมบัติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะวัดกระแสไฟฟ้าได้ทั้งกระแสไฟตรงและกระแสไฟสลับ โดยใช้ตัวต้านทานชันต์ในวงจรร่วมกันแต่ค่าแรงดันที่เกิดจากกระแสไฟสลับสูงกว่าแรงดันที่เกิดจากกระแสไฟตรงเล็กน้อย ดังนั้นการทดลองหรือออกแบบจะใช้การป้องกันกระแสไฟสลับเป็นหลัก กรณีของการวัดกระแสไฟตรงจะสามารถป้องกันร่วมกันโดยอัตโนมัติ ซึ่งการกำหนดค่ากระแสให้วงจรป้องกันทำงาน คือ ให้หน้าสัมผัสรีเลย์เปิดวงจรสายวัดออกจากการวัดในพิสัยการวัด ~200 mA ควรตั้งการตัดกระแสไว้ที่ ~230 mA ดังนั้น การปรับแต่งเพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงไม่มีสูตรในการคำนวณที่ชัดเจน ซึ่งในที่นี้จุดวัดอยู่ตำแหน่ง

คร่อม R_{shunt} 1 Ω ที่เป็นค่ามาตรฐานของพิสัยวัด 200 mA เมื่อวัดเทียบกับกราวด์ของดิจิตอลมิเตอร์จะให้ค่าแรงดันค่อนข้างสูง ซึ่งสะดวกต่อการปรับแรงดันอ้างอิง การปรับแรงดันอ้างอิงให้ได้ค่ากระแส 230 mA AC จะใช้หม้อแปลงปรับแรงดันได้ ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ทนกำลังงานสูง ตามวงจรรูปที่ 3.20 โดยค่อย ๆ ปรับค่ากระแสให้สูงขึ้นเริ่มจาก ~200 mA ซึ่งมาตรวัดที่นำมาทำชุดฝึกไม่สามารถอ่านค่าได้ แล้ววัดแรงดันอ้างอิงที่ขา 2 ส่วนขา 5 ปรับไว้สูง เช่น 500 mV เพื่อไม่ให้ออปแอมป์ส่วนล่างทำงาน วิธีการคือ ตั้งค่ากระแสจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติไว้ที่ ~400 mA ปรับ R_3 ให้แรงดันที่ขา 1 เริ่มมีลอจิกป็น 1 เมื่อได้ค่าแรงดันที่ต้องการจะปรับ R_4 ที่ขา 5 ของไอซีให้ได้เท่ากับที่วัดที่ขา 2 ต่างกันที่มีศักย์เป็นลบ ตามวงจรรูปที่ 3.19 การปรับกระแส 230 mA AC เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรตามรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรปรับตั้งค่ากระแส 230mA AC

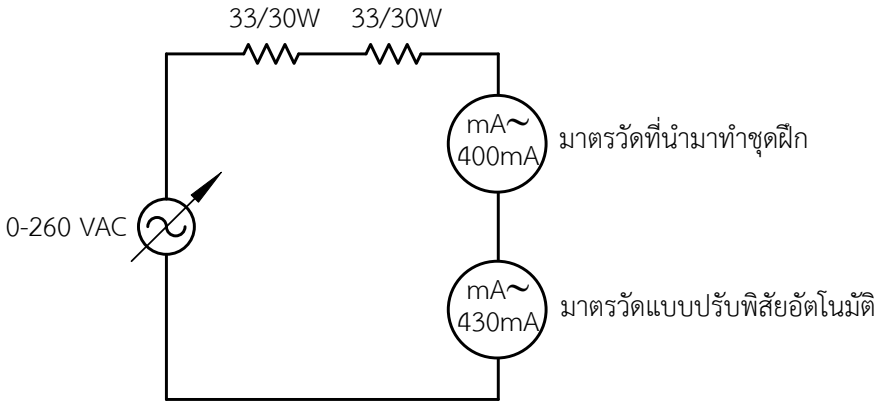
จาก R = 33 Ω + 33 Ω = 66 Ω / 60 W

$$V = I \times R = 230\ mA \times 66\ \Omega = 15.18\ V$$

เป็นค่าแรงดันโดยประมาณในการตั้งค่ากระแส

$$P = V \times I = 15.18\ V \times 230\ mA = 3.49\ W$$

เป็นค่าที่ระบุว่าตัวต้านทานทนกำลังงานสูญเสียได้มากกว่า 5 เท่า



รูปที่ 3.20 วงจรปรับตั้งค่ากระแส 430mA AC

จากวงจรรูปที่ 3.20 การปรับกระแส 430 mA AC วิเคราะห์ได้จากคุณสมบัติของวงจร

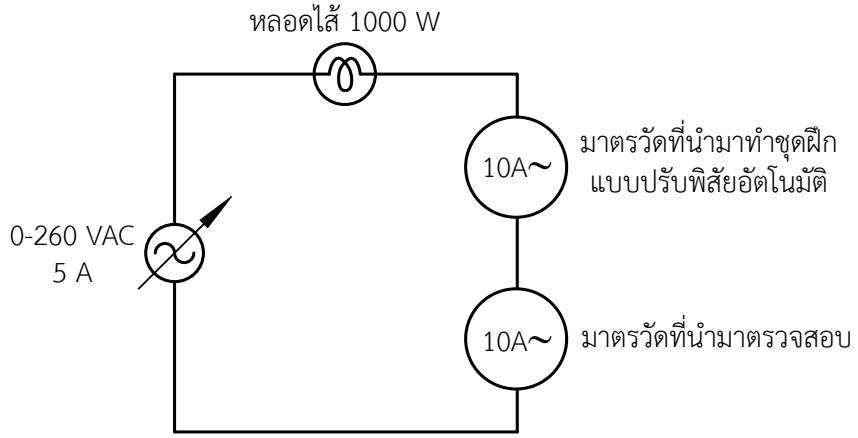
จาก R = 33 Ω + 33 Ω = 66 Ω / 60 W

V = I×R = 430 mA × 66 Ω = 28.38 V

เป็นค่าแรงดันโดยประมาณในการตั้งค่ากระแส

P = V×I = 28.38 V × 430 mA = 12.2 W

เป็นค่าที่ระบุว่าตัวต้านทานทนกำลังงานสูญเสียได้มากกว่า 5 เท่า



รูปที่ 3.21 วงจรปรับตั้งค่ากระแส 4 A AC

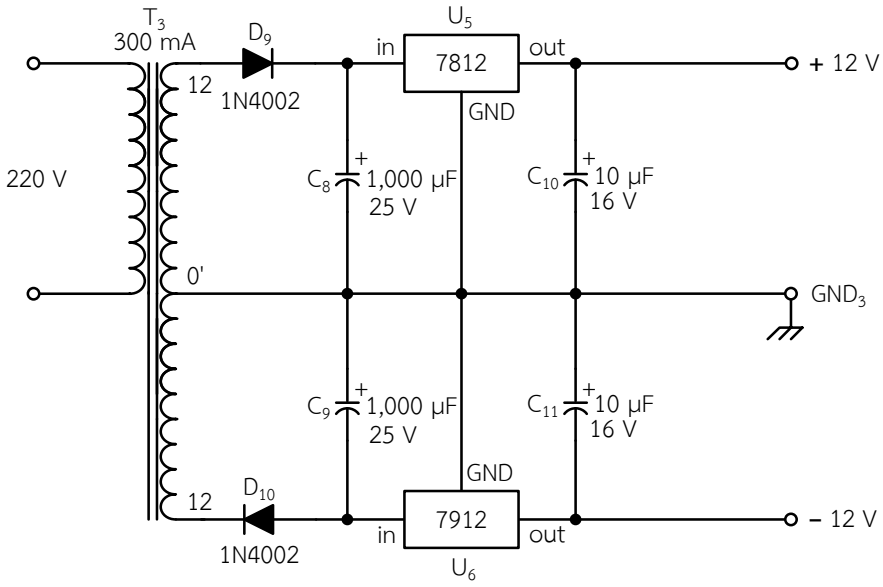
จากวงจรรูปที่ 3.21 การปรับกระแส 4 A AC โดยสมมติว่าในการใช้งานค่ากระแสสูงสุดไม่เกิน 4 A

จากสูตร P = V×I

1000W = 220V × I

I = 1000 W / 220 V = 4.5 A

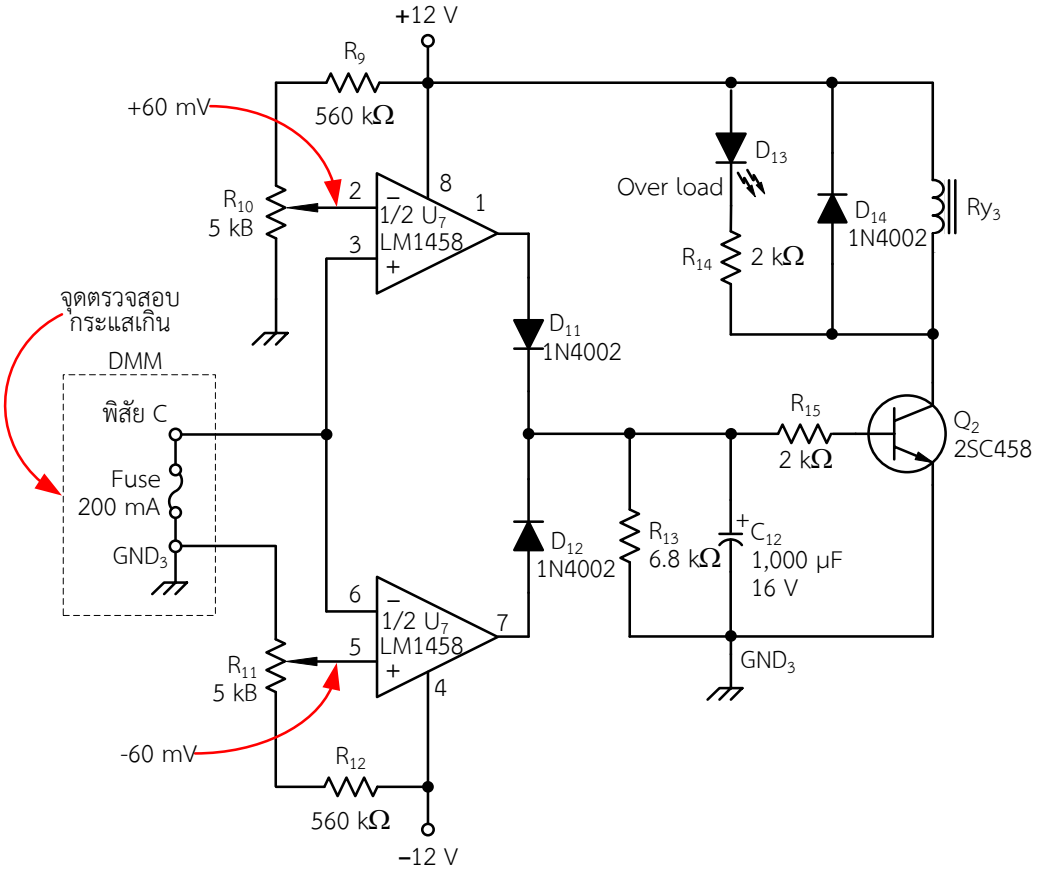
ค่ากระแสเกิน 4 A แสดงว่าโหลดมากพอในการปรับค่ากระแส



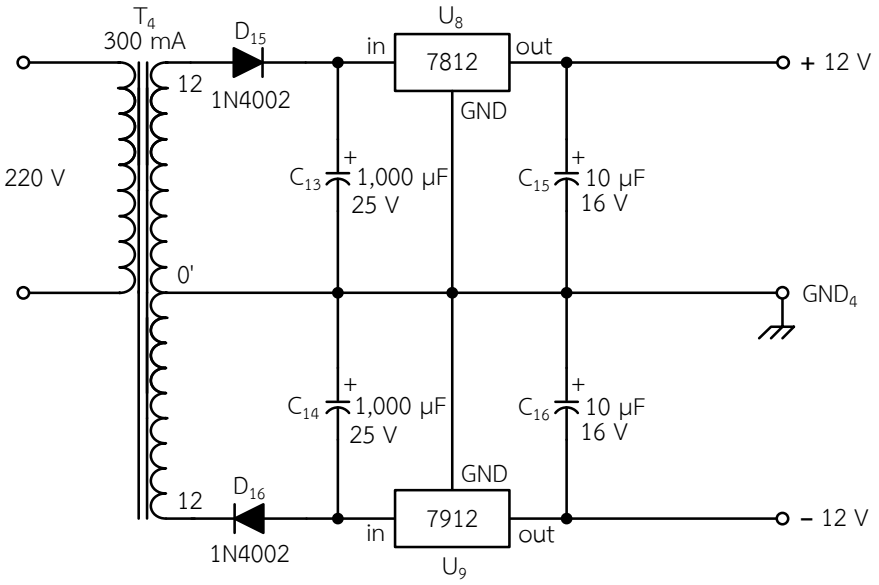
รูปที่ 3.22 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดตัวเก็บประจุ

จากรูปที่ 3.22 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้ป้องกันฟิวส์ทุกตัวทั้งแบบปรับเลือกพิสัยและปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ แต่จะต้องมีจำนวนชุดเท่ากับจำนวนฟิวส์ที่ป้องกัน เนื่องจากไม่ได้ใช้กราวด์ร่วมกันและการป้องกันเป็นอิสระแยกจากกัน ไม่ต้องศึกษาวงจรจากเครื่องวัดจริงเพราะบริษัทผู้ผลิตไม่เปิดเผย

จากรูปที่ 3.23 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันและวงจรขับรีเลย์เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ ในพิสัยการวัดตัวเก็บประจุของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย การทำงานของวงจรจะเหมือนกับวงจรป้องกันฟิวส์ขาดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ~200 mA ต่างกันที่เป็นการป้องกันฟิวส์ที่ต่ออนุกรมกับวงจรวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ การปรับแต่งจะปรับแรงดันไฟตรงเข้าที่ขั้ววัดตัวเก็บประจุแล้วค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟตรงให้สูงขึ้น พร้อมอ่านค่ากระแสไฟตรงจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ เมื่อแสดงค่าถึง 230 mADC จะทำให้ออปแอมป์ขาที่ 1 หรือ 7 เริ่มมีลอจิก 1 การป้องกันกระแสหรือแรงดันเกินจะมีทั้งสองขั้วที่มีค่าเท่ากัน ดังนั้น จากผลการทดลองได้ค่า 60 mVDC จึงตั้งค่าแรงดันอ้างอิงของออปแอมป์ไว้ที่ ±60 mV

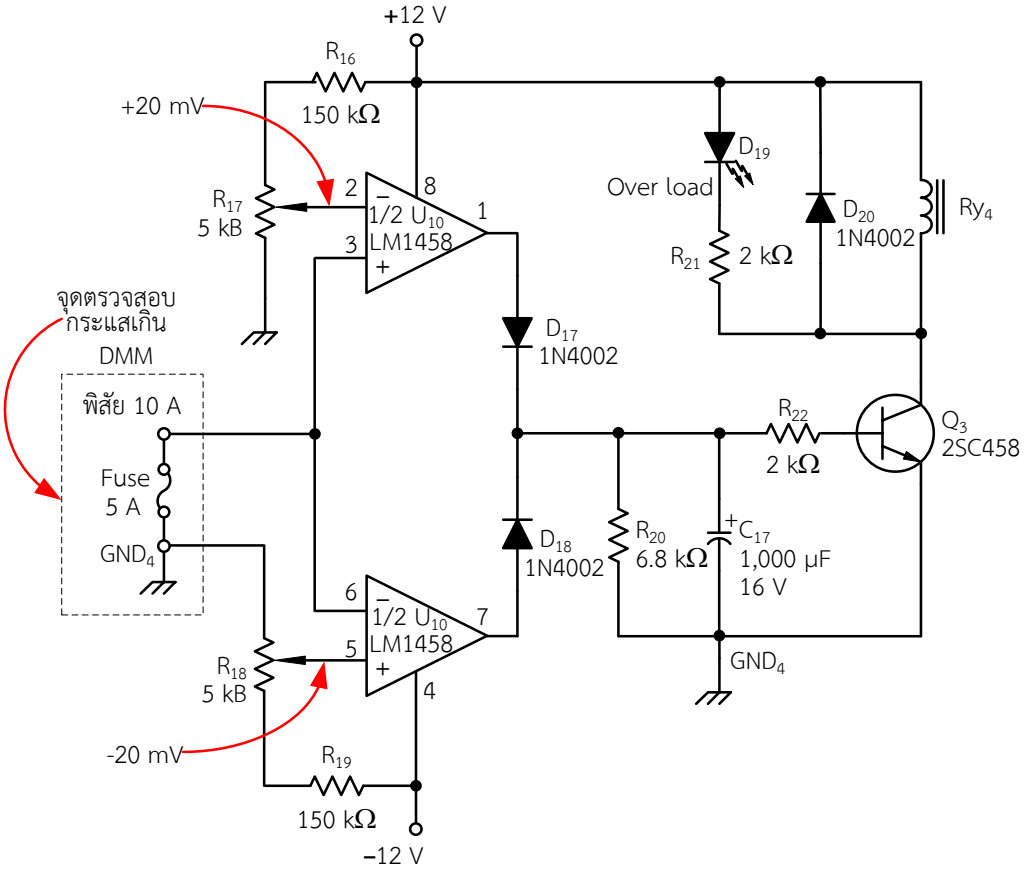


รูปที่ 3.23 วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดตัวเก็บประจุของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย



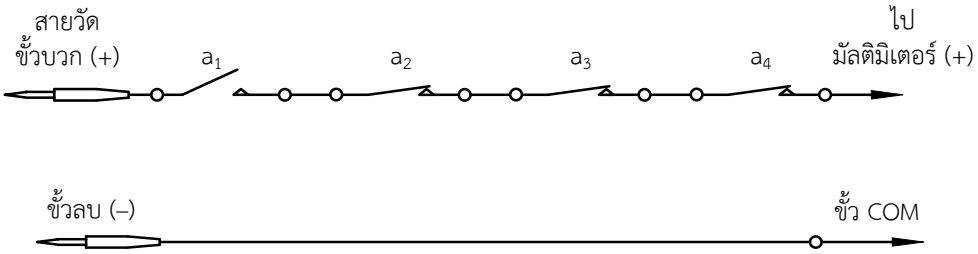
รูปที่ 3.24 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสที่เกินพิสัย 10 A

จากรูปที่ 3.24 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแส 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย



รูปที่ 3.25 วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

จากรูปที่ 3.25 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันและวงจรขับรีเลย์ เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย การทำงานของวงจรจะเหมือนกับวงจรป้องกันฟิวส์ขาดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ต่างกันที่จุดวัดและแรงดันอ้างอิงในการใช้งาน ควรเปลี่ยนฟิวส์ที่มากับเครื่อง 10 A เป็น 5 A เนื่องจากการใช้งานจริงจะไม่ถึง 5 A จุดวัดจะอยู่ตำแหน่งคร่อมฟิวส์ 5 A การเลือกค่าแรงดันอ้างอิงควรตั้งไว้ในระดับที่เหมาะสม เช่น การทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปกระแสไฟสลับไม่เกิน 4 A ควรตั้งการตัดไว้ที่ 4.5 A AC เป็นต้น ในที่นี้ปรับเลือกค่าแรงดันอ้างอิงไว้ที่ ±20 mV



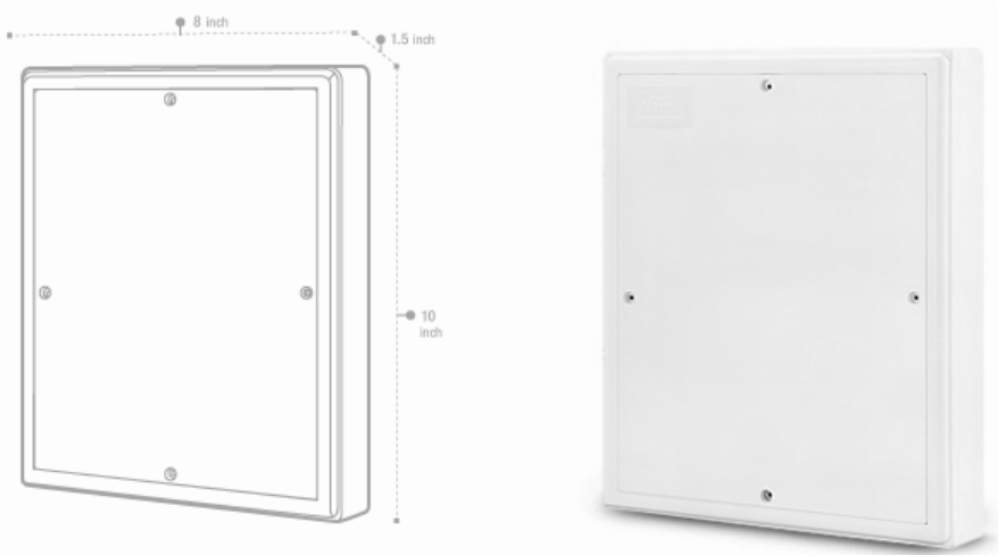
รูปที่ 3.26 การต่อสายวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

จากรูปที่ 3.26 แสดงการต่อสายวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย เริ่มจากทางซ้ายมือต่อสายวัดขั้วบวกสีแดงเข้ากับหน้าสัมผัส NO ของรีเลย์ตัวที่ 1 (Ry_1) คือ a_1 จากวงจรรูปที่ 3.18 และต่ออนุกรมสายวัดไปยังหน้าสัมผัส NC ของรีเลย์ตัวที่ 2 (Ry_2) คือ a_2 จากวงจรรูปที่ 3.19 แล้วต่ออนุกรมสายวัดไปยังหน้าสัมผัส NC ของรีเลย์ตัวที่ 3 (Ry_3) คือ a_3 จากวงจรรูปที่ 3.21 และต่ออนุกรมสายวัดไปยังหน้าสัมผัส NC ของรีเลย์ตัวที่ 4 (Ry_4) คือ a_4 (จากวงจรรูปที่ 3.25) ตามลำดับ และต่ออนุกรมสายกับปลายสายที่เป็นแจ็คเสียบ เพื่อใช้เป็นตัวเสียบเข้าขั้ว P+ สีแดงของมัลติมิเตอร์ และมีสายวัดขั้วลบสีดำ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับวงจรป้องกันแต่จะนำไปเสียบเข้ากับขั้ว COM ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย สำหรับต่อออกมาใช้งานตามปกติ

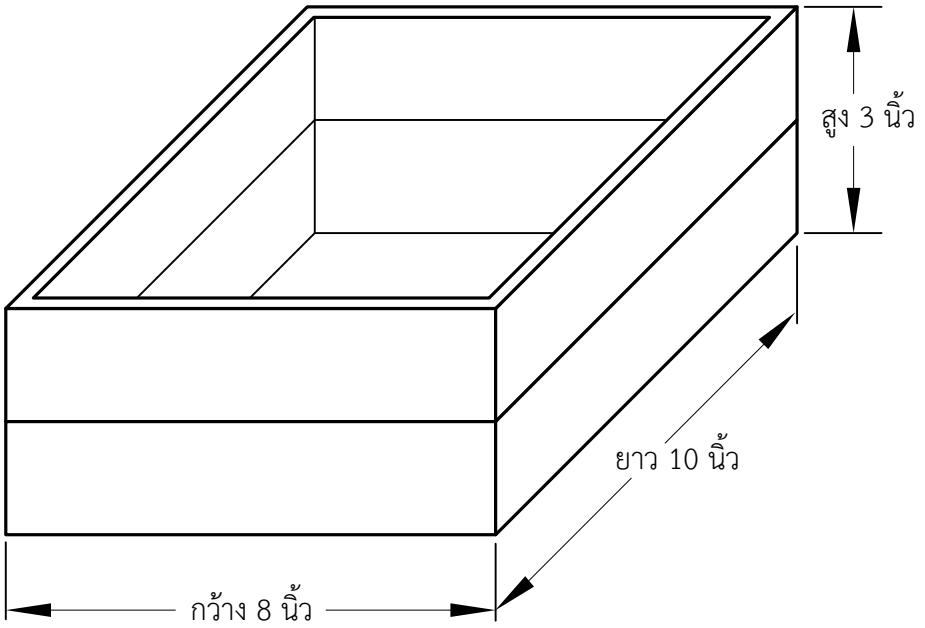
2.3 การออกแบบโครงสร้างและหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

ได้แสดงรายละเอียดตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.27 หน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

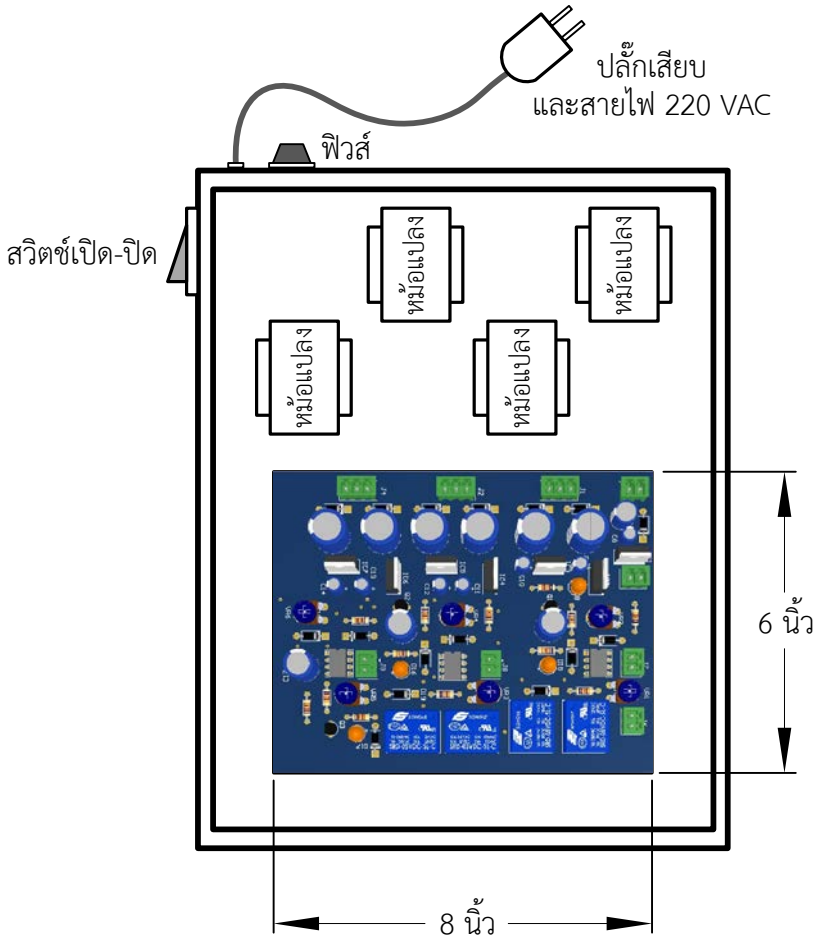


รูปที่ 3.28 โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก



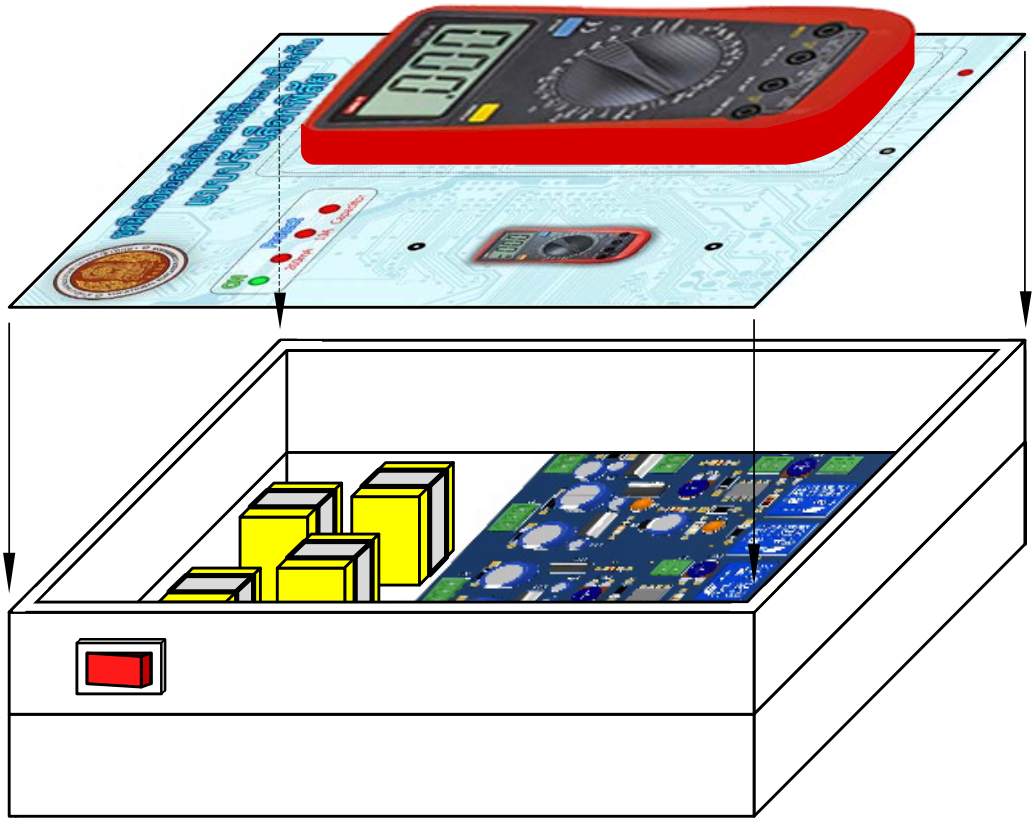
รูปที่ 3.29 การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

รูปที่ 3.30 การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.31 โครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.31 แสดงโครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกันที่ภายในติดตั้งแผงวงจรยึดติดกับกล่องด้านใน และด้านข้างติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยปลั๊กเสียบไฟ 220 VAC, สวิตช์สำหรับเปิดปิดเครื่องและฟิวส์ ทั้งหมดถูกบรรจุลงตามขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกที่เลือกและนำมาประกบเป็นกล่องชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.32 ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.32 แสดงลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ซึ่งได้ออกแบบไว้ตามโครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกและนำแผงไฟฟ้าพลาสติกประกบเข้าด้วยกันเป็นชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน และได้แสดงลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ดังรูปที่ 3.33

รูปที่ 3.33 ลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.34 (ก) แสดงโครงสร้างด้านบนของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ดังนี้คือ

หมายเลข (1) ตำแหน่งหลอดแอลอีดีสีเขียวแสดงสถานะ ON เพื่อแสดงการทำงานของวงจร

หมายเลข (2) ตำแหน่งหลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะของระบบป้องกันฟิวส์ทำงานเมื่อค่ากระแสไหลผ่านฟิวส์เกิน 200 mA

หมายเลข (3) ตำแหน่งแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะของระบบป้องกันฟิวส์ในพิสัย 10 A ทำงาน

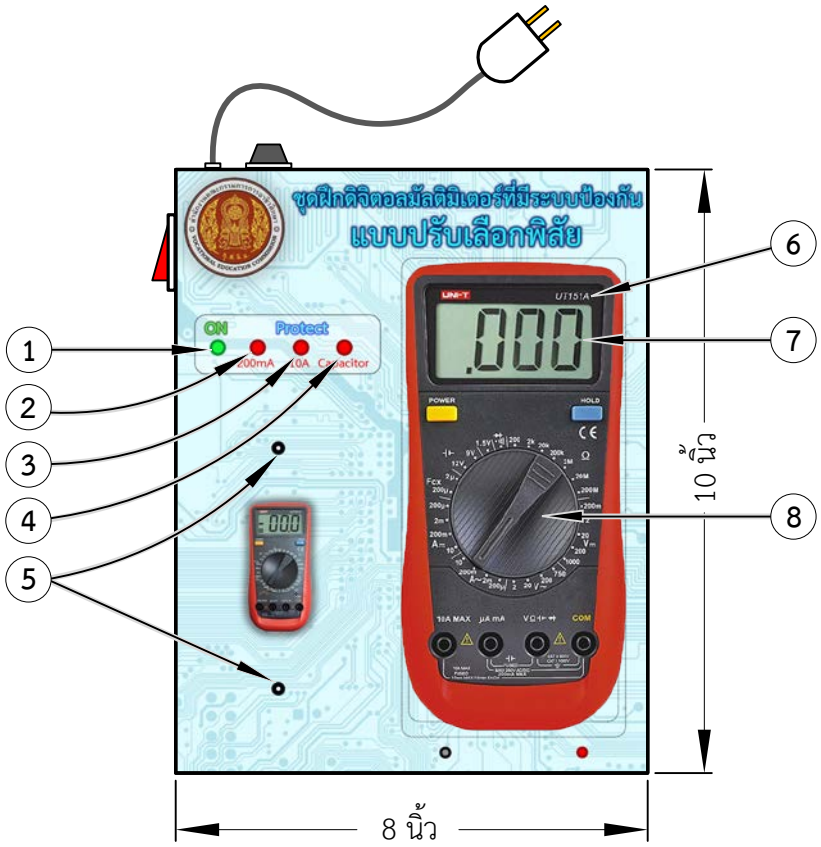
หมายเลข (4) ตำแหน่งหลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะป้องกันฟิวส์ของพิสัยวัดตัวเก็บประจุ

หมายเลข (5) ตำแหน่งแถบผ้าตีนตุ๊กแกเพื่อเก็บสายวัดของมัลติมิเตอร์

หมายเลข (6) ตำแหน่งตัวมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT151A

หมายเลข (7) ตำแหน่งหน้าจอแอลซีดีของมัลติมิเตอร์

หมายเลข (8) ตำแหน่งปุ่มปรับเลือกพิสัยการวัด



(ก) ด้านบนของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.34 (ข) แสดงโครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ดังนี้คือ

หมายเลข (1) ตำแหน่งปลั๊กเสียบและสายไฟ 220 VAC

หมายเลข (2) ตำแหน่งกระบอกฟิวส์

หมายเลข (3) แสดงสวิตช์ ปิด-เปิด การทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย

หมายเลข (4) แสดงโครงสร้างของชุดฝึกเป็นชุดติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 8×10×1.5 นิ้ว โดยนำด้านล่างของชุดทั้ง 2 ชุดนำมาประกบกันเป็น 2 ชั้น

(ข) ด้านข้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

รูปที่ 3.34 โครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

3. ขั้นตอนการพัฒนาชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันกระแสเกิน

3.1 การออกแบบชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันกระแสเกิน

การออกแบบชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันกระแสเกิน จะอ้างอิงจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ โดยสร้างระบบป้องกันฟิวส์และแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของมิเตอร์ภายใน ซึ่งทำให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายง่าย มีความคงทนต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น เงื่อนไขที่สำคัญ คือ ต้องเลือกมัลติมิเตอร์รุ่นที่แยก V/Ω ออกจาก mA การวัดจึงจะไม่เกิดความคลาดเคลื่อน ถ้าใช้รุ่นที่มี V/Ω ร่วมกับ mA วงจรป้องกันฟิวส์จะไปรบกวนการวัดของมัลติมิเตอร์ทำให้มีความผิดพลาดสูงไม่สามารถใช้งานได้ สรุปความแตกต่างของวงจรต่างกัน คือ การตั้งค่าแรงดันอ้างอิงมีค่าเป็น ±570 mV สำหรับพิสัยการวัด ~400 mA และค่าแรงดัน

อ้างอิงมีค่าเป็น ±30 mV ที่พิสัยวัด ~10 A สำหรับรุ่นที่นำมาใช้ทำชุดฝึกไม่มีฟิวส์พิสัยวัดตัวเก็บประจุ จึงไม่มีวงจรป้องกันฟิวส์ในส่วนนี้ ข้อควรพิจารณาในการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงควรนำผลการทดลองจริงเป็นข้อสรุป เนื่องจากวงจรภายในมีความแตกต่างกันรวมทั้งความต้านทานของฟิวส์และข้อต่อมีผลต่อการตั้งระดับแรงดันอ้างอิง ซึ่งพิจารณาเลือกใช้ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT136B ตัวเครื่องมีขนาด 72 มิลลิเมตร X 137 มิลลิเมตร X 35 มิลลิเมตร นำมาทำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ จากรูปที่ 3.35 แสดงส่วนประกอบภายนอกของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

รูปที่ 3.35 รูปร่างของมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

หมายเลข 1 จอแอลซีดีแสดงผลของมิเตอร์ ขนาด 49 มิลลิเมตร x 18 มิลลิเมตร

หมายเลข 2 ปุ่มเลือกฟังก์ชัน DC/AC

หมายเลข 3 สวิตช์เลือกพิสัยการวัด และฟังก์ชันเปิด-ปิด

หมายเลข 4 ขั้วเสียบสายวัด 10 A

หมายเลข 5 ขั้วเสียบสายวัด COM ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีดำ

หมายเลข 6 ปุ่มเลือกฟังก์ชัน HOLD

หมายเลข 7 ขั้วเสียบสายวัด ⊣⊢VΩHz⊳⊢ ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีแดง พิสัยการวัด

แรงดันไฟฟ้า DC, AC พิสัยวัดความต้านทาน พิสัยวัดความความจุ พิสัยการทดสอบไดโอด ต่อเนื่อง บัฟเฟอร์ พิสัยวัดความถี่

หมายเลข 8 ขั้วเสียบสายวัด μAmA ของมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดสีแดง

ดังนั้น การออกแบบสร้างและพัฒนามัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติให้มีระบบป้องกันกระแสเกิน ไม่ให้ชำรุดขณะใช้งานประกอบด้วยการออกแบบสร้างเป็น 4 ส่วน มีรายละเอียดในการจัดทำ ดังนี้ คือ

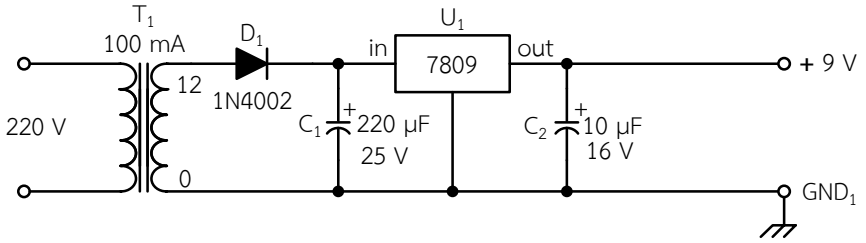
1) วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V ที่ใช้แทนแบตเตอรี่ที่มากับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

2) วงจรไฟเลี้ยงของวงจรระบบป้องกันของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

3) วงจรระบบป้องกันของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

4) การออกแบบหน้าปัดและโครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีระบบป้องกันแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

3.2 การออกแบบวงจรป้องกันการวัดกระแสเกินของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.36 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9V ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

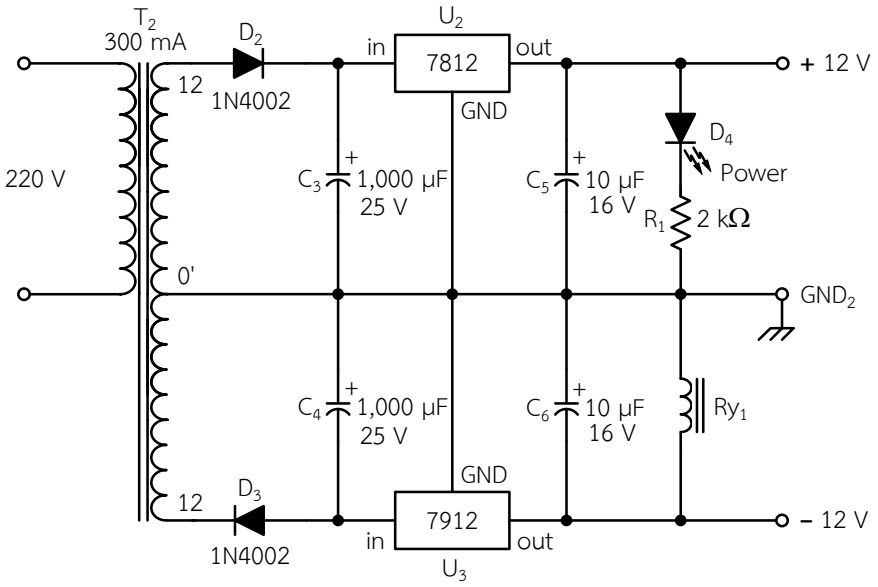
จากรูปที่ 3.36 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ แทนแบตเตอรี่ที่ต้องใส่ในดิจิตอลมัลมิเตอร์เดิม เพื่อแก้ปัญหาแบตเตอรี่เสื่อม

ข้อสังเกต : 1) กราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ 9 V จะไม่ใช้เป็นกราวด์ของขั้ววัดไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกันได้ กราวด์ขั้ววัดถูกสร้างขึ้นจากมอดูลของไอซีภายในเครื่อง

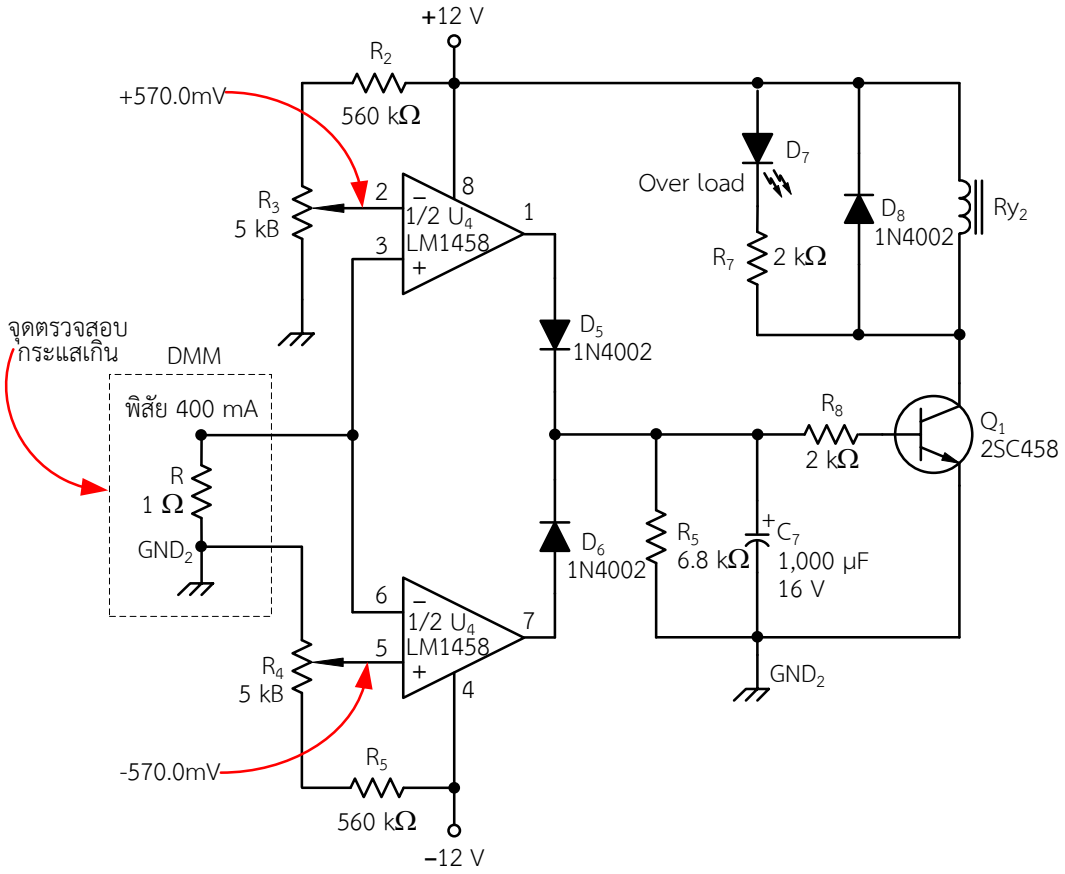
2) โดยทั่วไปวงจรดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะไม่ถูกเปิดเผยด้วยเหตุผลทางธุรกิจ ดังนั้น การออกแบบวงจรป้องกันฟิวส์หรือกระแสเกินจะใช้การแยกกราวด์ของหม้อแปลง วงจรป้องกันฟิวส์แต่ละตัวแยกกันเป็นอิสระ การทดลองหาจุดวัดจะทำได้ง่าย โดยจะต่อคร่อมอุปกรณ์ที่พิสัยวัดค่าให้เกิดแรงดันแปรผันตามกระแสสามารถใช้งานได้ โดยไม่ต้องเข้าใจการทำงานของวงจร หรืออาจวัดคร่อม

ฟิวส์โดยตรงได้ถ้าแรงดันไม่ต่ำเกินไป เนื่องจากการตั้งแรงดันอ้างอิงต่ำ วงจรจะมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น

จากรูปที่ 3.37 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 400 mA ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

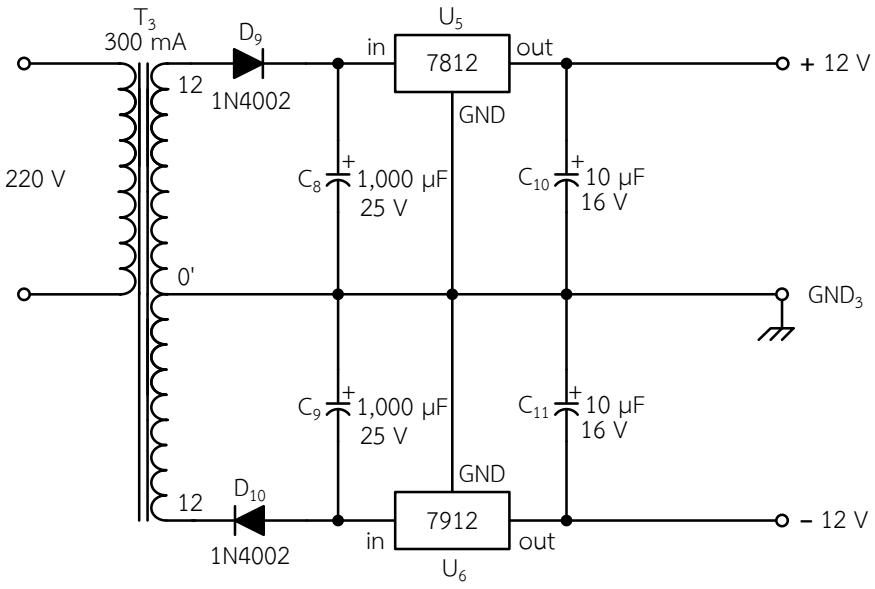


รูปที่ 3.37 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 400 mA



รูปที่ 3.38 วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 400 mA

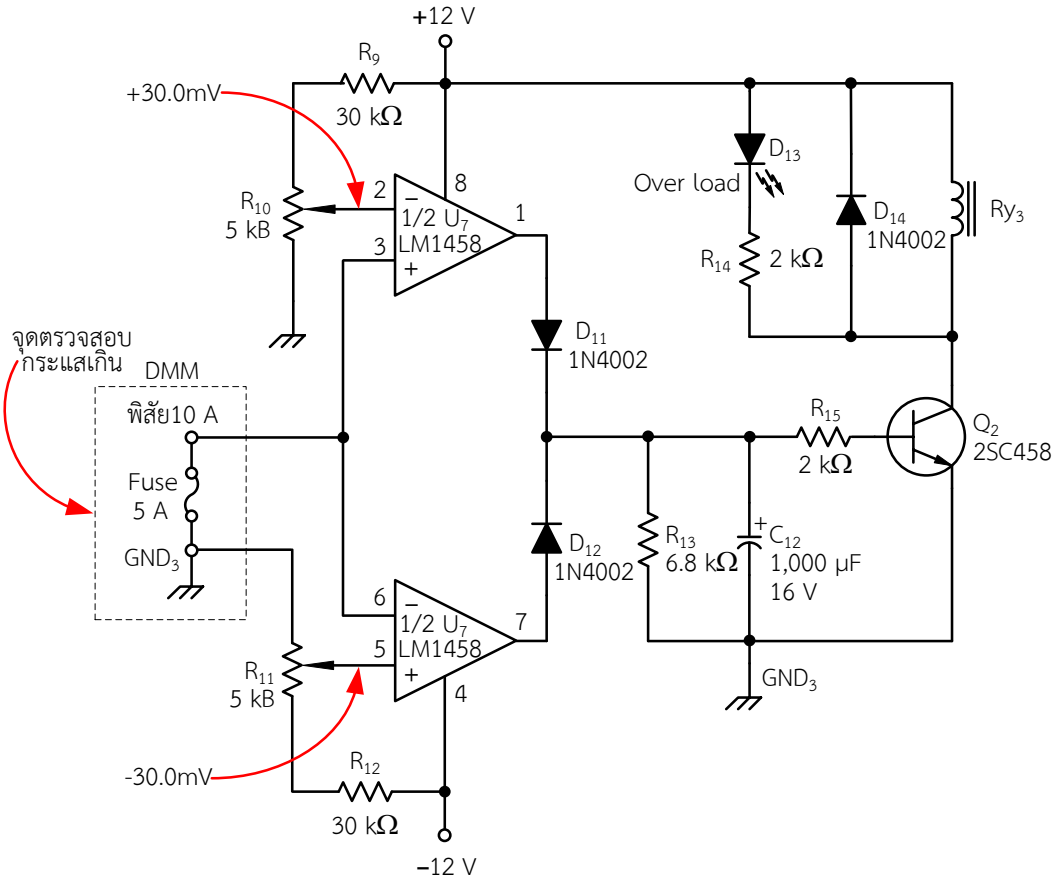
จากรูปที่ 3.38 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรขับรีเลย์เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 400 mA ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ซึ่งมีการทำงานคล้ายกับวงจรป้องกันมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกต่างกันเฉพาะการตั้งค่าแรงดันอ้างอิง



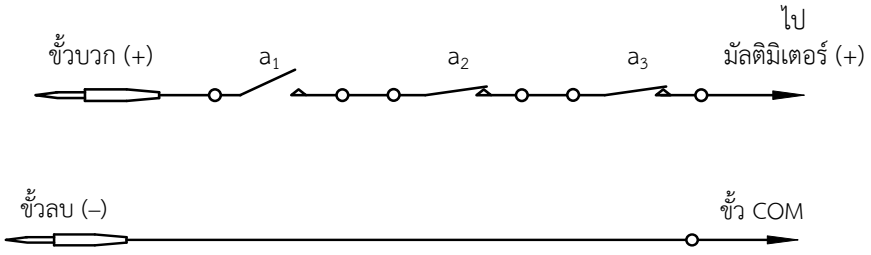
รูปที่ 3.39 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12V เพื่อใช้กับวงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด10A

จากรูปที่ 3.39 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±12 V เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสพิสัย 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.40 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรขับรีเลย์เพื่อป้อนให้กับวงจรป้องกันฟิวส์ในพิสัยการวัดกระแสที่เกินพิสัย 10 A ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.40 วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10 A

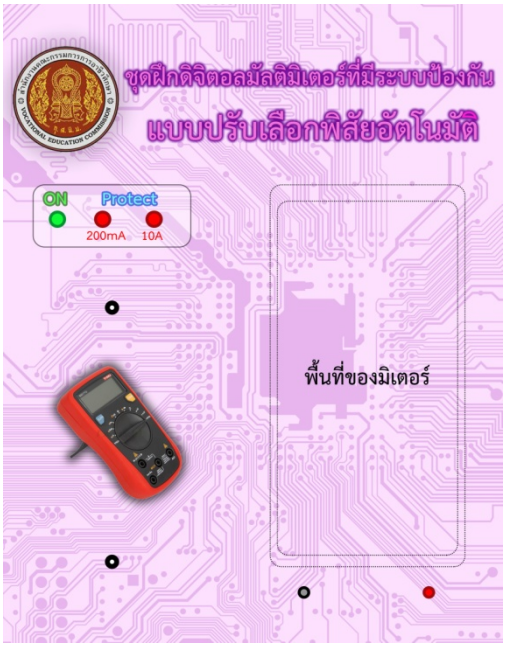


รูปที่ 3.41 การต่อสายวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

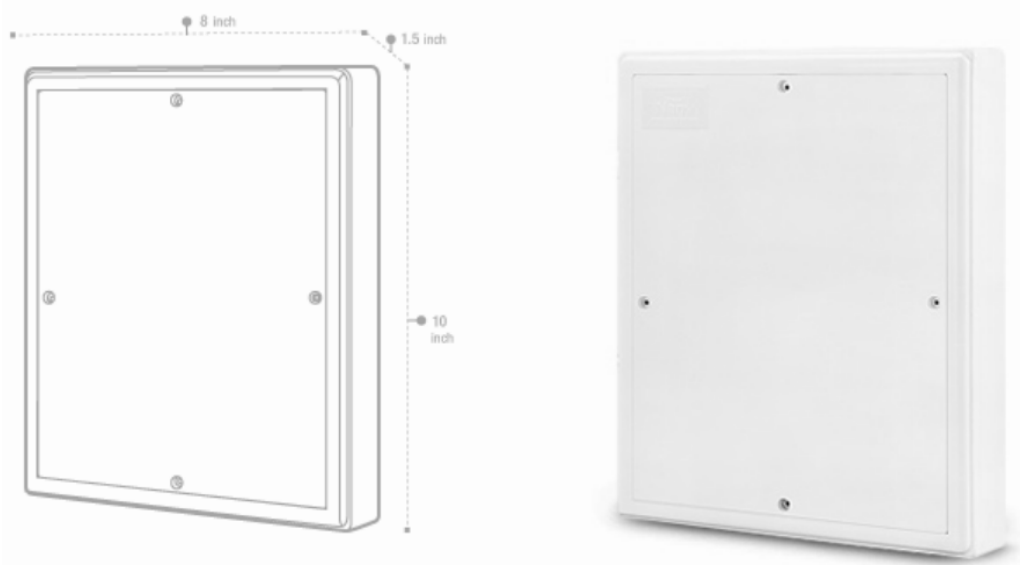
จากรูปที่ 3.41 แสดงการต่อสายวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ เริ่มจากทางซ้ายมือ ต่อสายวัดขั้วบวกสีแดงเข้ากับหน้าสัมผัส NO ของรีเลย์ตัวที่ 1 (Ry_1) คือ a_1 จากวงจรรูปที่ 3.37 และต่ออนุกรมสายวัดไปยังหน้าสัมผัส NC ของรีเลย์ตัวที่ 2 (Ry_2) คือ a_2 จากวงจรรูปที่ 3.38 แล้วต่ออนุกรมสายวัดไปยังหน้าสัมผัส NC ของรีเลย์ตัวที่ 3 (Ry_3) คือ a_3 จากวงจรรูปที่ 3.40 ตามลำดับ และต่ออนุกรมสายกับปลายสายที่เป็นแจ็คเสียบ เพื่อใช้เป็นตัวเสียบเข้ากับ P+ สีแดง ของมัลติมิเตอร์ และมีสายวัดขั้วลบสีดำ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับวงจรป้องกัน แต่จะนำไปเสียบเข้ากับขั้ว COM ในดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติสำหรับต่อออกมาใช้งานตามปกติ

3.3 การออกแบบโครงสร้างและหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

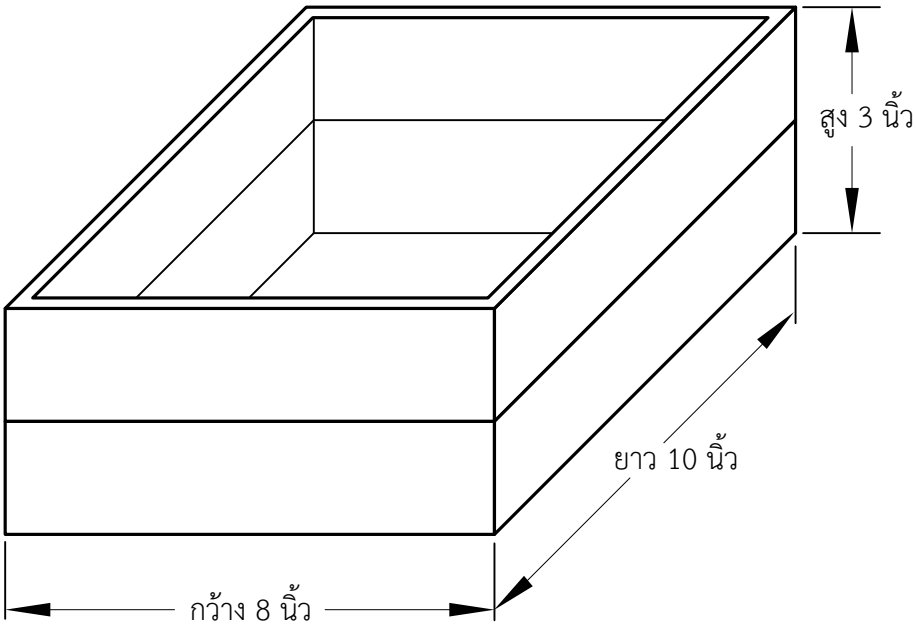
ได้แสดงรายละเอียดตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้



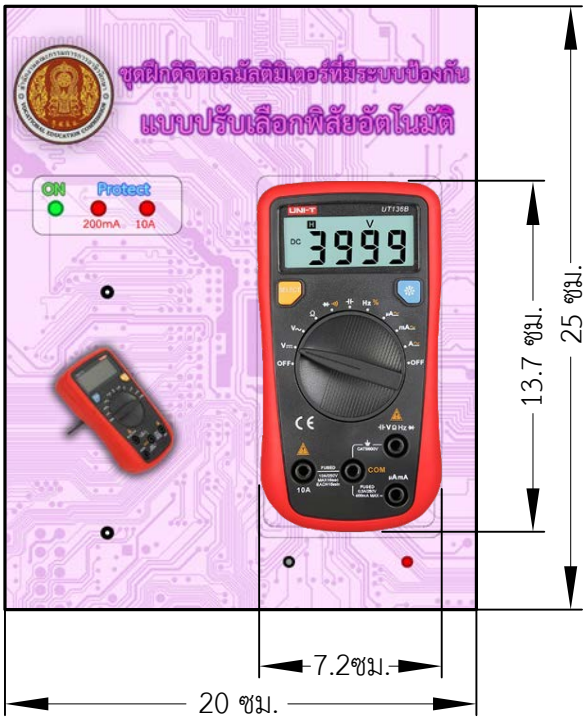
รูปที่ 3.42 หน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน



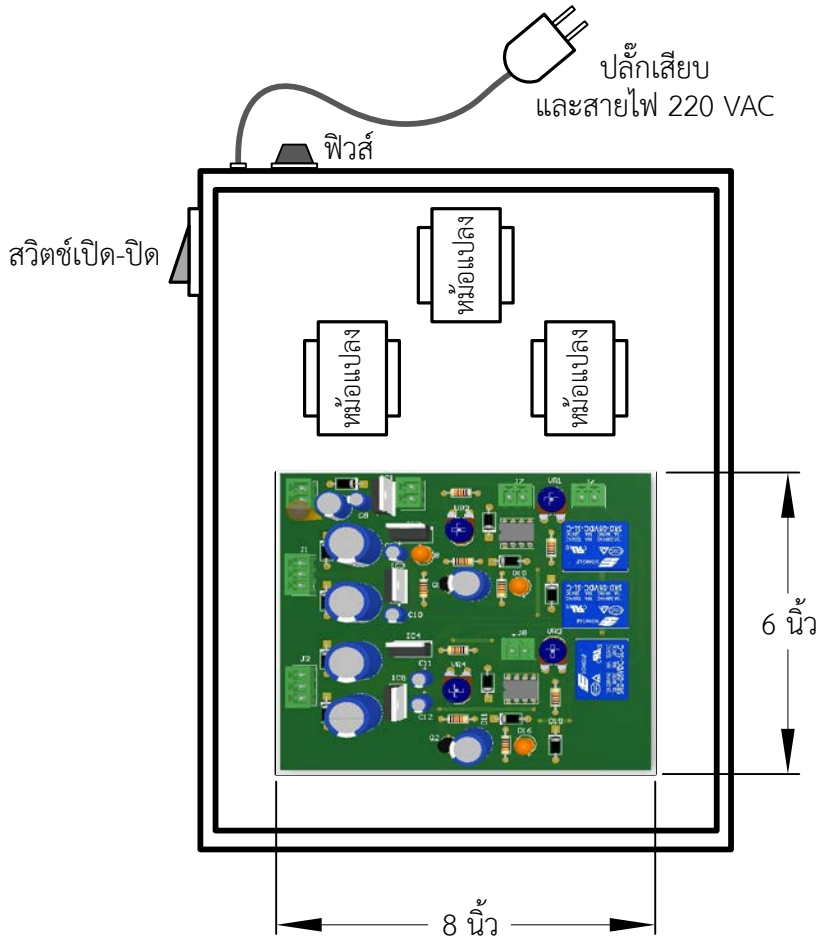
รูปที่ 3.43 โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก



รูปที่ 3.44 การประกบแผงไฟฟ้าพลาสติกเป็นกล่องของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

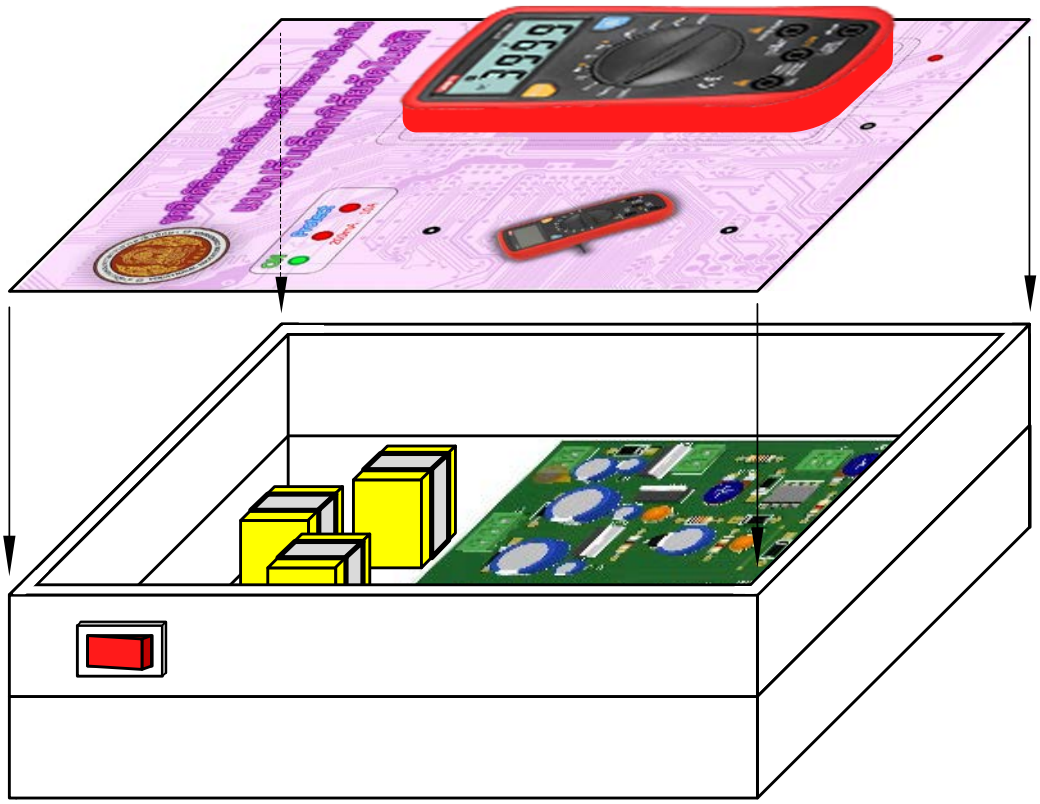


รูปที่ 3.45 การออกแบบด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.46 โครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.46 แสดงโครงสร้างภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ที่ภายในติดตั้งแผงวงจรยึดติดกับกล่องด้านใน และด้านข้างติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยปลั๊กเสียบไฟ 220 VAC, สวิตช์สำหรับเปิดปิดเครื่องและฟิวส์ ทั้งหมดถูกบรรจุลงตามขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกที่เลือกและนำมาประกบเป็นกล่องชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน



รูปที่ 3.47 ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.47 แสดงลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ซึ่งได้ออกแบบไว้ตามโครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติกและนำแผงไฟฟ้าพลาสติกประกบเข้าด้วยกันเป็นชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน และได้แสดงลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.48

รูปที่ 3.48 ลักษณะภายนอกของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 3.49 (ก) แสดงโครงสร้างด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันได้ดังนี้

หมายเลข (1) หลอดแอลอีดีสีเขียวแสดงสถานะ ON เพื่อแสดงการทำงานของวงจร

หมายเลข (2) หลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสถานการณ์ทำงานของระบบป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดกระแส 400 mA

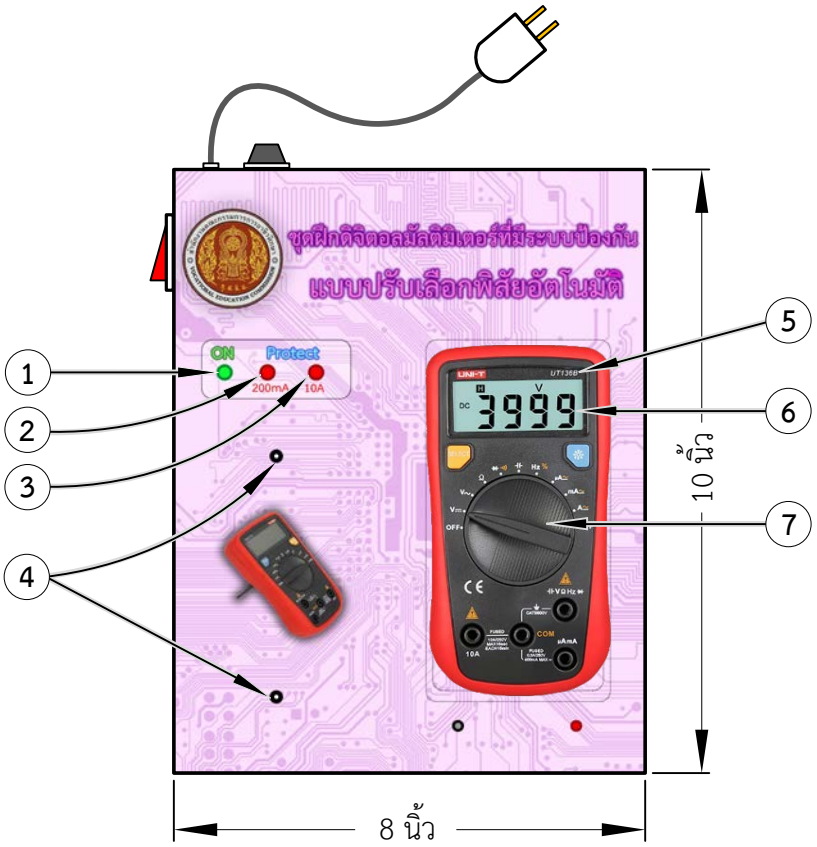
หมายเลข (3) แสดงแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะของระบบป้องกันฟิวส์พิสัย 10 A ทำงาน

หมายเลข (4) แสดงแถบผ้าตีนตุ๊กแกเพื่อเก็บสายวัดของมัลติมิเตอร์

หมายเลข (5) แสดงตัวมัลติมิเตอร์เป็นยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT136B

หมายเลข (6) แสดงหน้าจอแอลซีดีของมัลติมิเตอร์

หมายเลข (7) แสดงปุ่มปรับเลือกพิสัยการวัด



(ก) ด้านหน้าของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

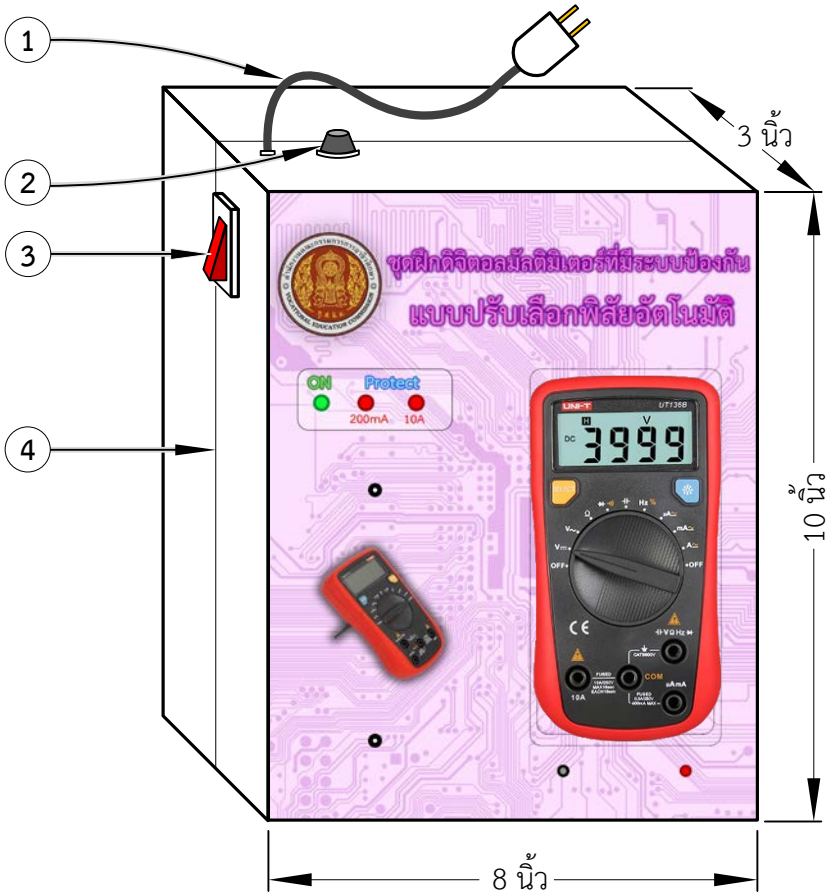
จากรูปที่ 3.49 (ข) แสดงโครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันได้ดังนี้

หมายเลข (1) แสดงปลั๊กเสียบไฟเอซี

หมายเลข (2) ตำแหน่งกระบอกฟิวส์

หมายเลข (3) แสดงสวิตช์ ปิด-เปิด การทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

หมายเลข (4) เป็นโครงสร้างของชุดฝึกเป็นชุดติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 8×10×1.5 นิ้ว โดยนำด้านล่างของชุดทั้ง 2 ชุดนำมาประกบกันเป็น 2 ชั้น



(ข) ด้านข้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

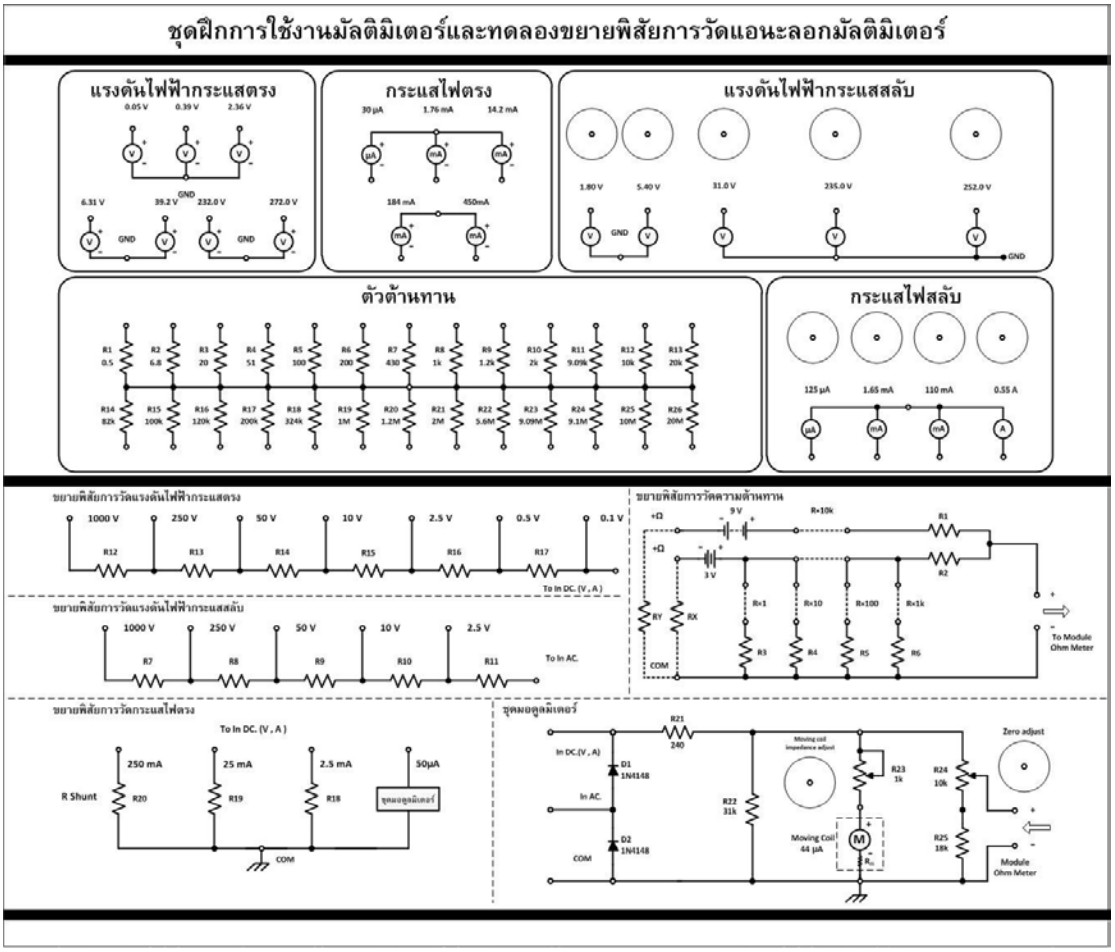
รูปที่ 3.49 โครงสร้างของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.49 แสดงโครงสร้างเป็นชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกันฟิวส์ภายใน ซึ่งได้ออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในการปฏิบัติงาน ซึ่งมีหลอดแอลอีดีแสดงสถานะให้ทราบเมื่อมีกระแสไหลผ่านฟิวส์เกินค่าที่กำหนด ระบบป้องกันฟิวส์จะทำงานเพื่อไม่ให้ฟิวส์เกิดความเสียหาย และมีสวิตช์ ปิด-เปิด แหล่งจ่ายไฟให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ มิเตอร์จึงจะสามารถใช้งานได้

4. การออกแบบสร้างชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

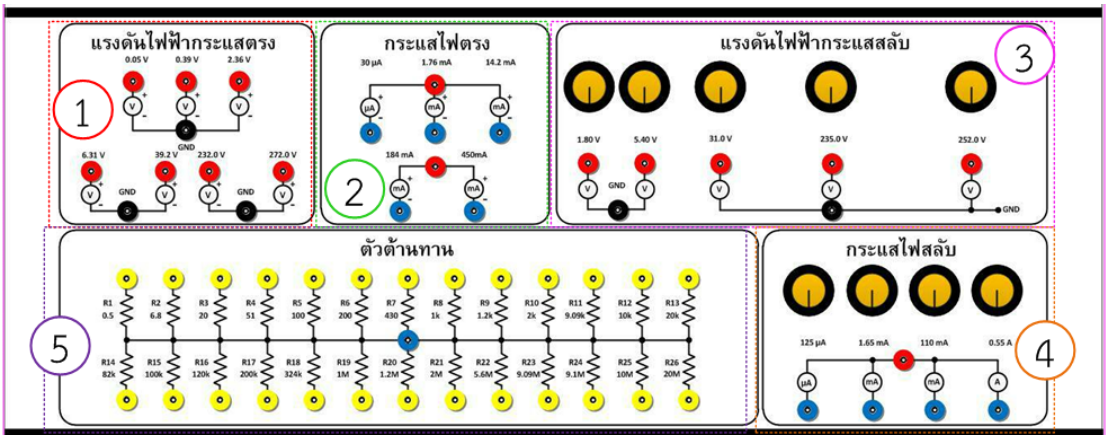
หลักการและเหตุผลของการจัดรูปแบบการวางอุปกรณ์และวงจร จุดต่อแรงดันอ้างอิง, กระแสอ้างอิง ปุ่มปรับต่าง ๆ และการขยายพิสัยการวัดทุกพิสัยของแอนะลอกมัลติมิเตอร์เป็นการออกแบบในรูปแบบของมัลติมิเตอร์ที่ใช้งานจริงทั่วไป โดยใช้ขดลวดเคลื่อนที่และสเกลของเครื่องจริงมาใช้เท่านั้นแต่อุปกรณ์อื่น ๆ มาจากการออกแบบสร้างชุดฝึกใหม่ทั้งหมด โดยเน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจการใช้งานมัลติมิเตอร์และออกแบบขยายพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าชุดฝึกที่สร้างขึ้นมีความสมบูรณ์ เหมาะสมในระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งมีรายละเอียดในการออกแบบ ดังนี้

4.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.50 แบบร่างหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ

จากรูปที่ 3.50 แสดงแบบร่างหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นจุดวัดแรงดันอ้างอิงและกระแสอ้างอิงของไฟตรงและไฟสลับ สำหรับฝึกใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและชนิดดิจิตอล และส่วนที่สามารถทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.51 หน้าปัดส่วนที่เป็นจุดวัดอ้างอิงของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ

จากรูปที่ 3.51 แสดงหน้าปัดส่วนที่เป็นจุดวัดอ้างอิงของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ประกอบด้วยจุดวัดแรงดันและกระแสบอ้างอิงและจุดวัดตัวต้านทานเป็นการรวมแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงและกระแสอ้างอิงไว้ในชุดเดียวกันสามารถใช้เป็นจุดวัดอ้างอิงได้ทั้งของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ซึ่งเหตุผลในการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

หมายเลข 1 ตำแหน่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0.05V, 0.39V, 2.36V, 6.31V, 39.2V, 232V, 272V และเหตุผลของการกำหนดค่าแรงดันดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยวัดมัลติมิเตอร์ทุกชนิด

รายการ	**แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิง**							**หน่วย**
ค่าที่กำหนด	.05	.39	2.36	6.31	39.2	232.0	272.0	V
พิสัยวัดแอนะลอก มัลติมิเตอร์	0.1	0.5	2.5	10	50	250	1000	V
	50	78	94.4	63.1	78.4	92.8	27.2	ร้อยละ 25-95
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย	200m	2	20	20	200	200	600	V
	50.0 mV	.390	2.36	6.31	39.2	232	272	แสดงผล $\geqq$3 หลัก
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย อัตโนมัติ	400m	4	4	40	40	400	400	V
	50.0 mV	.390	2.36	6.31	39.2	235	272	แสดงผล $\geqq$3 หลัก

จากตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดค่าแรงดันที่ทำให้ผู้เรียนฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ครบทุกพิสัยสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกอยู่ในช่วงแรงดันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ของค่าแรงดันเต็มสเกลถึงค่าแรงดันเกือบเต็มสเกลไม่เกินประมาณร้อยละ 95 ซึ่งพิจารณาได้ว่าการอ่านสเกลมีความละเอียด กรณีมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแสดงผลได้ไม่น้อยกว่า 3 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้องตามคุณสมบัติของมาตรวัดระบบไม่เกิน 4000 หน่วยนับ **หมายเลข 2** ตำแหน่งแหล่งจ่ายกระแสไฟตรง 30μA, 1.76mA, 14.2mA, 184mA, 450mAและเหตุผลของการกำหนดค่ากระแสดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่ากระแสไฟตรงอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด

รายการ	กระแสไฟตรงอ้างอิง						หน่วย
ค่าที่กำหนด	30μ	1.76m	14.2m	184m	450m		A
พิสัยวัดแอนะลอก มัลติมิเตอร์	50μ	2.5m	25m	250m			A
	60	70.4	56.8	73.6			ร้อยละ 25-95
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย	200μ	2m	200m	200m	10		A
	30μ	1.76m	14.2m	184m	450m		แสดงผล $\geqq$2 หลัก
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	400μ	4m	40m	400m	4	10	A
	30μ	1.76m	14.2m	184m	184m	450m	แสดงผล $\geqq$2 หลัก

จากตารางที่ 3.3 แสดงการกำหนดค่ากระแสที่ทำให้ผู้เรียนฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟตรงได้ครบทุกพิสัยสำหรับชนิดแอนะลอกแสดงค่ากระแสในช่วงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ของค่ากระแสเต็มสเกล ถึงค่ากระแสเกือบเต็มสเกลในช่วงไม่เกินร้อยละ 95 กรณีชนิดดิจิตอลสามารถแสดงค่าไม่ต่ำกว่า 2 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้อง

หมายเลข 3 ตำแหน่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1.80V, 5.40V, 31V, 235V, 252V เป็นค่าแรงดันอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด

รายการ	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิง						หน่วย
ค่าที่กำหนด	1.80	5.40	31.0	235	252		V
พิสัยวัดแอนะลอก มัลติมิเตอร์	2.5	10	50	250	1000		V
	72	54	62	94	25.2		ร้อยละ 25-95
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย	2	20	200	600	600		V
	1.80	5.40	31.0	235	252		แสดงผล $\geq$3 หลัก
พิสัยวัดของดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	400m	4	40	40	400	400	V
	180.0	1.80	5.40	31.0	235	252	แสดงผล $\geq$3 หลัก

หมายเลข 4 ตำแหน่งแหล่งจ่ายกระแสไฟสลับ 125μA, 1.65mA, 110mA, 0.55A และเหตุผลของการกำหนดค่ากระแสดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การกำหนดค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทุกแบบ

รายการ	กระแสไฟสลับอ้างอิง						หน่วย
ค่าที่กำหนด	125μ	1.65m	110m	0.55			A
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย	200μ	2m	200m	10			A
	125μ	1.65m	110m	0.55			แสดงผล $\geq$2 หลัก
พิสัยวัดดิจิตอล มัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ	400μ	4m	40m	400m	4	10	A
	125μ	1.65m	1.65m	110m	110m	0.55	แสดงผล $\geq$2 หลัก

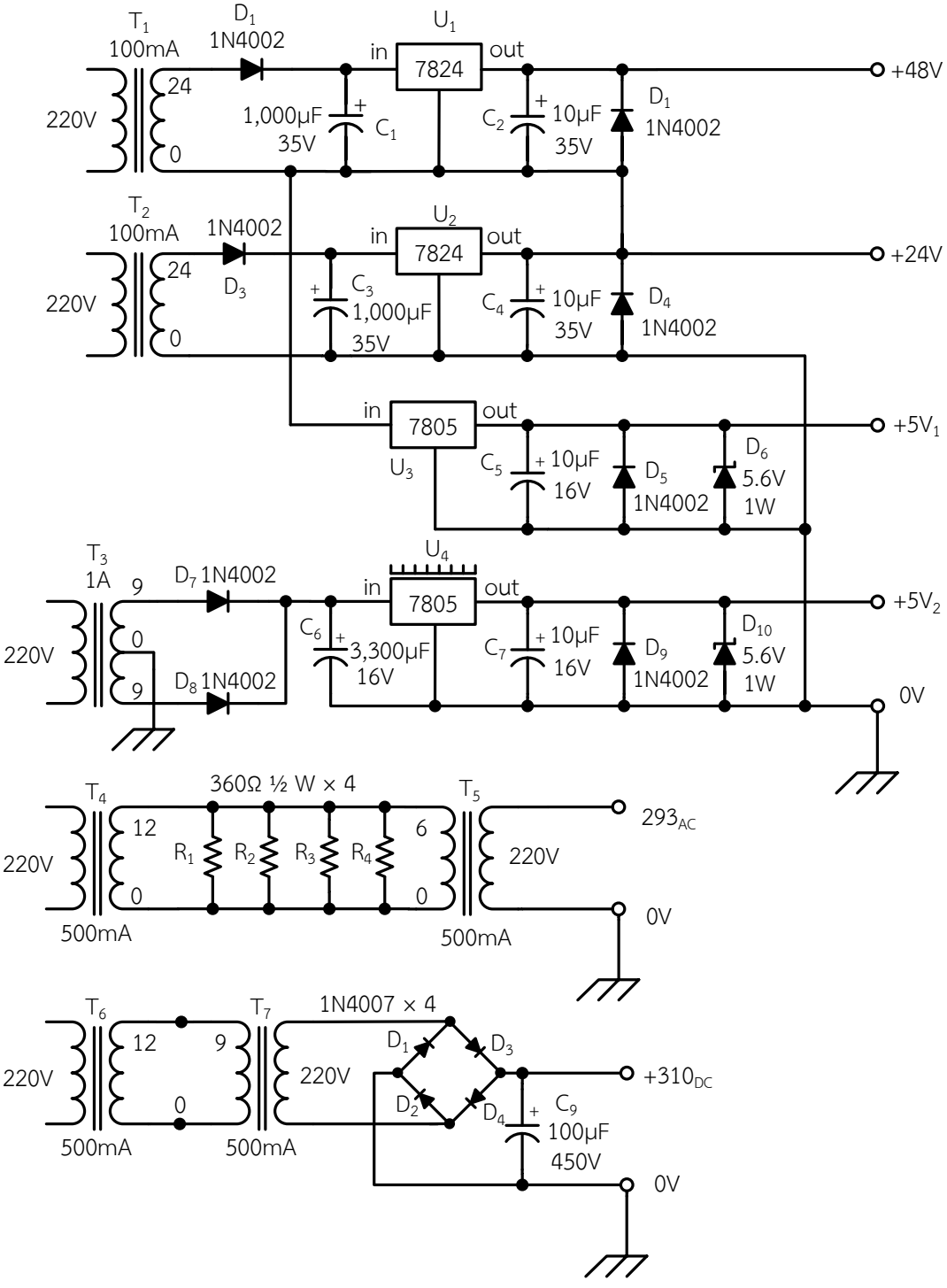
จากตารางที่ 3.5 แสดงการกำหนดค่ากระแสไฟสลับที่ทำให้ผู้เรียนฝึกการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟสลับได้ครบทุกพิสัยและสามารถแสดงค่าไม่ต่ำกว่า 2 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้อง

หมายเลข 5 ตำแหน่งตัวต้านทานอ้างอิง 1W±1%0.5Ω, 6.8Ω, 20Ω, 51Ω, 100Ω, 200Ω, 430Ω, 1kΩ, 1.2kΩ, 2kΩ, 9.09kΩ, 10kΩ, 20kΩ, 82kΩ, 100kΩ, 120kΩ, 200kΩ, 324kΩ, 1MΩ, 1.2MΩ, 2MΩ, 5.6MΩ, 9.09MΩ, 9.1MΩ, 10MΩ, 20MΩเป็นตัวต้านทานอ้างอิงที่ครอบคลุมพิสัยการวัดทุกพิสัยของมัลติมิเตอร์ทุกชนิด

4.2 การออกแบบวงจรภายในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 3.52 แสดงชุดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในชุดอ้างอิง ซึ่งจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +48V, +24V, $+5V_1$, $+5V_2$, $+310V_{DC}$ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีหม้อแปลง 2 ตัว(ที่มีการจำหน่ายทั่วไป) มาทำการต่อให้เกิดการแยกกราวด์ไฟสูงออกจากการวัดเพื่อเพิ่มแรงดันจาก 220V ให้เป็น $293V_{AC}$ และมีการต่อตัวต้านทาน 360 Ω 0.5W4 ตัว เป็นโหลดเพื่อปรับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ

<u>หมายเหตุ</u> : การออกแบบหม้อแปลงเน้นใช้อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป จึงใช้หม้อแปลงหลายขนาดและหลายตัว กรณีเมื่อต้องการจัดทำจำนวนมากสามารถสั่งโรงงานผลิตเป็นหม้อแปลงตัวเดียวจะทำให้กะทัดรัดและลดต้นทุนการผลิตได้



รูปที่ 3.52 แสดงชุดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายในชุดอ้างอิง

4.3 หลักการกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้เป็นค่าแรงดันทดสอบสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและชนิดดิจิตอล

1) เพื่อทำให้สามารถใช้มัลติมิเตอร์เพื่อทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ทุกพิสัย สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกอยู่ในช่วงแรงดันไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 25 ของค่าแรงดันเต็มสเกลถึงค่าแรงดันเกือบเต็มสเกลไม่เกินประมาณร้อยละ 95 พิจารณาได้ว่าการอ่านสเกลมีความละเอียดเพียงพอ สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแสดงผลได้ไม่น้อยกว่า 3 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้องตามคุณสมบัติของมาตรวัดระบบไม่เกิน 4000 หน่วยนับ ผู้เรียนได้ฝึกใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ครบทุกพิสัย

2) การวัดแรงดันขณะไม่มีโหลด หมายถึงการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีค่าความต้านทานอินพุต 40 MΩ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่นำมาเป็นเครื่องมือวัดที่กำหนดค่าแรงดันอ้างอิง ต้องมีคุณสมบัติที่ดีกว่าตัวเครื่อง มัลติมิเตอร์ที่นำมาใช้ทำเป็นชุดฝึกและผ่านการทดสอบเทียบความเที่ยงตรง จากเครื่องมือวัดสอบเทียบเครื่องมือวัดในช่วงเวลาที่กำหนด

3) การวัดค่าแรงดันโดยใช้มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกจะมีผลต่อแรงดันอ้างอิงที่ออกแบบ เนื่องจากมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกจะอาศัยพลังงานจากจุดที่จะทำการวัดมาขับเคลื่อนขดลวดเคลื่อนที่ เพื่อทำให้สามารถทราบค่าแรงดันที่จุดวัดนี้เสมือนว่ามัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกเป็นโหลดของวงจร โดยโหลดของมาตรวัดพิสัยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปกติจะมีค่า 20 kΩ/V เมื่อถูกนำไปต่อขนานกับจุดวัดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง ทำให้เกิดค่าความต้านทานระหว่างวงจรแรงดันอ้างอิงและอิมพิแดนซ์ของโวลต์มิเตอร์รวมกัน ทำให้ค่าความต้านทานที่จุดวัดลดลงและแรงดันที่จุดวัดจะลดลงด้วย เนื่องจากค่าความต้านทานรวมลดลง ทำให้ค่าแรงดันที่ให้โวลต์มิเตอร์วัดได้ลดลง ต่ำกว่าขณะไม่นำมาตรวัดมาต่อเล็กน้อย กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกมาวัดแรงดันที่จุดวัดจะต้องทำให้แรงดันที่จุดวัดคลาดเคลื่อนไปในทางลบไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากปกติค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแอนะลอกจะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ±3 ซึ่งมีความเหมาะสมจะนำมาใช้เป็นแรงดันอ้างอิงได้ ในกรณีของการนำดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยมาใช้ ซึ่งปกติจะมีค่าความต้านทานอินพุต 10 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าร้อยละ -1 เนื่องจากอิมพิแดนซ์ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดปรับเลือกพิสัยมีค่าสูงกว่าอิมพิแดนซ์ของโวลต์มิเตอร์แบบแอนะลอกเมื่อนำไปวัดแรงดันในวงจรเอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูงจะเกิดความคลาดเคลื่อนในลักษณะที่วัดค่าได้ต่ำกว่ามาตรวัดชนิดแอนะลอก จึงไม่ต้องพิจารณาผลขณะต่อโหลดที่เกิดจากการนำดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปวัดค่าแรงดันอ้างอิง กรณีของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ จะไม่พิจารณาความคลาดเคลื่อนของอิมพีแดนซ์ เนื่องจากใช้มิเตอร์ที่มีอิมพีแดนซ์ 40 MΩ มาใช้วัด

พิจารณาว่าไม่เป็นโหลดของวงจร แต่จะพิจารณาเฉพาะความคลาดเคลื่อนจากค่าความเที่ยงตรงของดิจิตอลมิเตอร์แต่ละรุ่นที่เกิดจากการวัดเท่านั้น

4.3.1 จุดประสงค์ของการออกแบบวงจรแรงดันอ้างอิงไฟฟ้ากระแสตรง

1) เพื่อต้องการแรงดันอ้างอิงของไฟฟ้ากระแสตรงที่คงที่ กรณีที่ใช้มาตรวัดแบบแอนะลอกมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ -1 และไม่เกินร้อยละ -0.5 กรณีใช้มาตรวัดแบบดิจิตอล

2) ออกแบบด้วยวงจรที่ประหยัดแต่มีความเที่ยงตรงปานกลาง โดยกำหนดเงื่อนไขการปรับโดยการใช้ทริมเมอร์แบบเกือกม้าชนิด 1 รอบ ซึ่งสามารถปรับได้สะดวก เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐานที่มีจำหน่าย ตัวต้านทานแบบคงที่ใช้ชนิดฟิล์มโลหะ มีความคลาดเคลื่อน ±1%นำมาต่ออนุกรมทำให้การปรับค่าแรงดันมีความละเอียดสูญเสียพลังงานที่ตกคร่อมตัวต้านทานน้อยมาก

3) การออกแบบต้องเลือกใช้ทริมเมอร์ที่มีค่าต่ำ เพื่อให้ทนกำลังงานได้สูงสามารถปรับได้ละเอียดปกติจะเกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิสูง เนื่องจากทำจากสารที่เป็นคาร์บอน การกำหนดตัวต้านทานที่แบ่งแรงดันให้มีค่ามากสุด ซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบคงที่ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์จากการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิค่อนข้างต่ำเมื่อถูกนำมาออกแบบใช้งานในลักษณะนี้จะมีผลทำให้ทริมเมอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำลงมาก

4) แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงจะถูกควบคุมด้วยไอซีคงค่าแรงดันแบบ 3 ขา กรณีแหล่งกำเนิดแรงดันไฟตรงที่สูงมาก ออกแบบโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวควบคุมแรงดันให้คงที่จะช่วยให้ประหยัดได้มากกว่า

4.3.2 เงื่อนไขและรายละเอียดที่เกิดขึ้นหลังการออกแบบ

1) กำหนดให้ทริมเมอร์อยู่บริเวณกึ่งกลางตามค่าแรงดันอ้างอิงที่ต้องการออกแบบ มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ±10 คือ ขณะตั้งค่าโปรแกรมค่า set อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการปรับค่าไม่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่เกิดขึ้น

2) ค่าของการปรับช่วงแกว่งของแรงดันอยู่ระหว่างร้อยละ ±3 ถึง ±30 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานรวมกับช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าจะไม่เกินความสามารถในการปรับค่าทริมเมอร์ ร้อยละ ±50 ในกรณีนี้จะมีค่าสูงสุด คือ ±28 คือ ร้อยละ 56 ของค่าความต้านทานตัวทริมเมอร์ ดังนั้นความสามารถในการแกว่งตัวสูงไม่ใช่ค่าความผิดพลาดของแรงดัน โดยค่าการแกว่งตัวของแรงดันที่วัดได้อยู่ในขอบเขตความต้องการของแรงดันที่สามารถปรับค่าได้อย่างสะดวกในทุกกรณี การแกว่งตัวของค่าแรงดันอยู่ในช่วงแคบ เช่น ±3 มีผลต่อการปรับได้ละเอียด เนื่องจากเปลี่ยนแปลงน้อยไม่เกินจากที่ต้องการได้มาก การแกว่งตัวของแรงดันอยู่ในช่วงกว้าง เช่น ±30 ปรับค่าได้หยาบกว่า เพราะเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าค่าที่ต้องการค่อนข้างมาก แต่ค่า ±30 หมายถึง ปรับได้ ร้อยละ 60 ของค่าตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ จากร้อยละ 100 ซึ่งเผื่อความผิดพลาด ร้อยละ 40 ดังนั้น การกำหนดค่าของการปรับทำให้เกิดช่วงการแกว่งตัวของแรงดันตั้งแต่ ±3 ถึง ±30 ไม่ได้มีผลเสียต่อการ

คลาดเคลื่อนของค่าแรงดันที่ต้องการ สามารถปรับค่าแรงดันได้สะดวกในทุกค่า เพราะตัวต้านทานแบ่งแรงดันอนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ทั้งข้างบวกและข้างลบ เป็นการเพิ่มความละเอียดในการปรับค่าได้ค่อนข้างมาก

<u>หมายเหตุ</u> : ขอบเขตของการออกแบบไม่ใช่ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง จึงไม่ได้หมายถึงการออกแบบที่มีความผิดพลาดสูงเกินมาตรฐานงานวิจัย ที่ต้องไม่เกินร้อยละ ±5 ดังนั้น ขอบเขตของการออกแบบจึงสามารถกำหนดได้มากน้อยตามความเหมาะสมต่อการใช้งาน

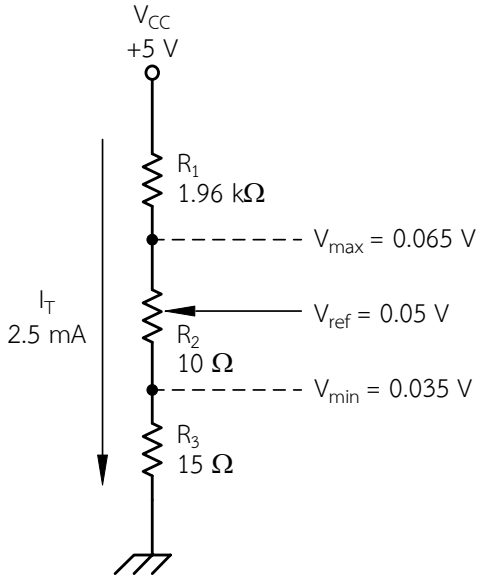
4.3.3 การออกแบบแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 0.1 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 mV

1.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 0.05 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด $\Delta V = \pm 30\%$ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.56 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.3 x 0.05 V = 0.015 V

V_{max} = 0.05 V + 0.015 V = 0.065 V

V_{min} = 0.05 V - 0.015 V = 0.035 V



รูปที่ 3.53 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 0.05 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2และ R_3เพื่อหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 10 Ω ก่อนคำนวณหาค่าอื่นเนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไป

เมื่อ I_mคือ กระแสที่ไหลผ่านมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขณะวัดค่าจากแรงดันอ้างอิงที่ต้องการวัด โดยนำค่าความต้านทานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์มาพิจารณาผลที่เกิดขึ้นเมื่อทำการวัด

R_m คือ ค่าความต้านทานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ซึ่งหาจากความไวของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย DCV

$$R_m = (20\text{k}\Omega/\text{V}) \times 0.1\ \text{V} = 2\ \text{k}\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{0.05\ \text{V}}{2\ \text{k}\Omega} = 25\ \mu\text{A}$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 25\ \mu\text{A} = 2.5\ \text{mA}$$

1.2)หาค่าความต้านทาน R_1และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{5\ \text{V} - 0.065\ \text{V}}{2.5\ \text{mA}}$$

$\therefore R_1$ = 1.9 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 1.96 kΩ 1% 1/4 W

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{0.035\ \text{V}}{2.5\ \text{mA}}$$

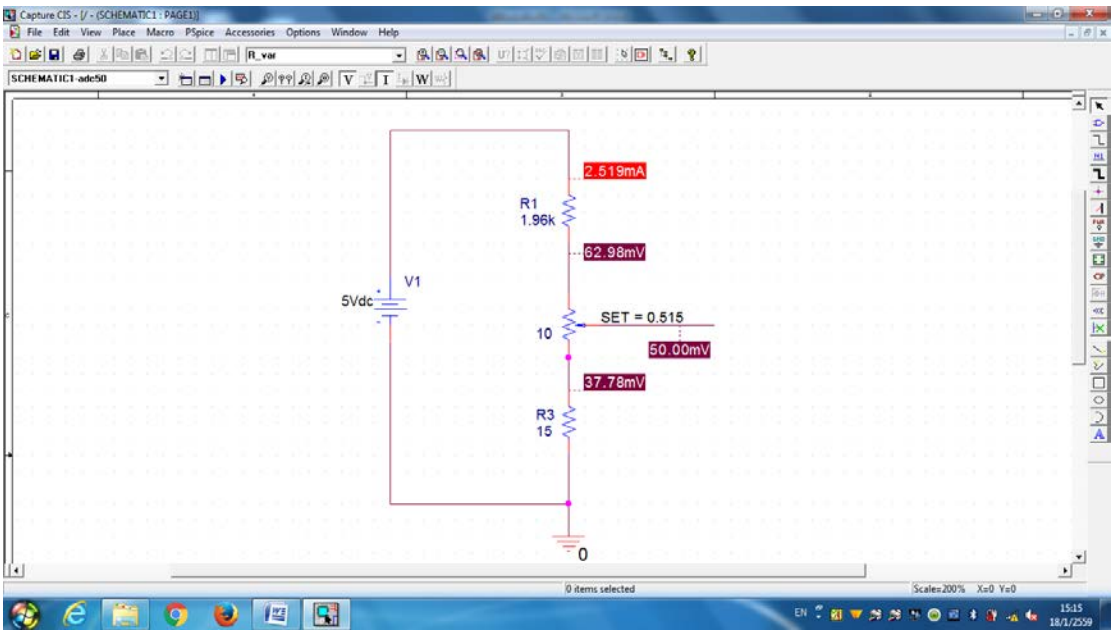
$\therefore$ R_3 = 14 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 15 Ω 1% 1/4 W

1.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 0.05 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.53

จากรูปที่ 3.54 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.515 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 0.05 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุด คือ 62.98 mV แรงดันต่ำสุด คือ 37.78 mV และ I_T =2.519mA การแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ

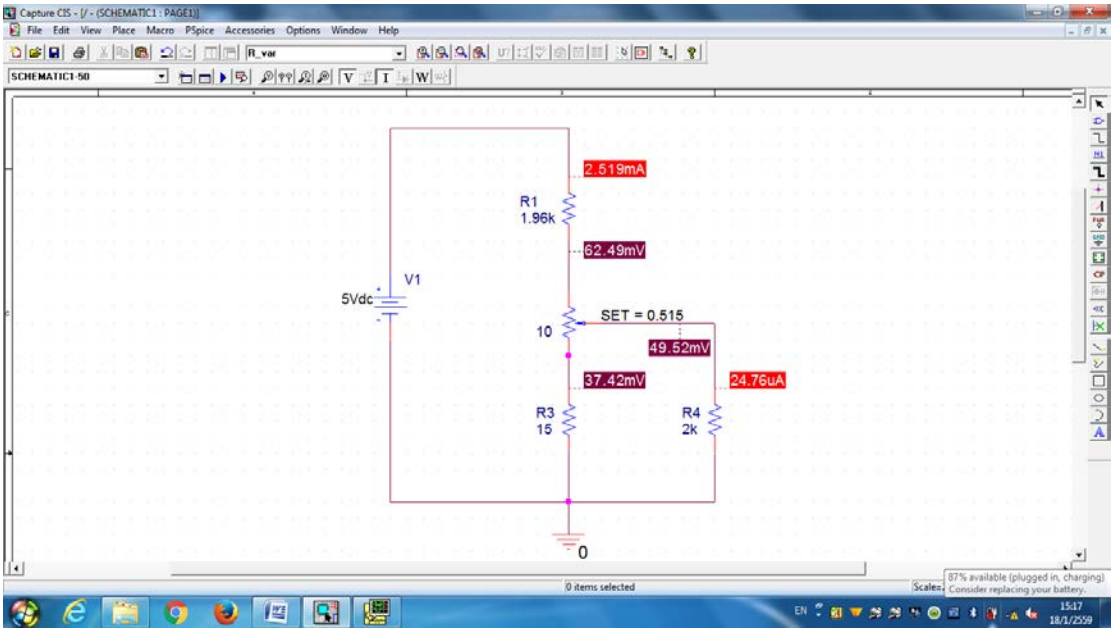
$\frac{62.98\ \text{mV} - 50\ \text{mV}}{50\ \text{mV}} \times 100$ = 25.96 และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ

$\frac{37.78\ \text{mV} - 50\ \text{mV}}{50\ \text{mV}} \times 100$ = -24.44



รูปที่ 3.54 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.55 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 49.52 mV กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 24.76 µA และ I_T =2.519mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_m ประมาณ 102 เท่า ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง



รูปที่ 3.55 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.05 V ในสภาวะมีโหลด

1.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 30 ดังรูปที่ 3.54 ได้ผลตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 0.05 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
จำลองสถานการณ์	25.96	-24.44
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 30 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

1.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิง จากการออกแบบกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด คลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังแสดงในรูปที่ 3.54 และ 3.55

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{49.52\,\text{mV} - 50\,\text{mV}}{50\,\text{mV}} \times 100$ = -0.96

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.96 ตามสมมติฐานการออกแบบข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

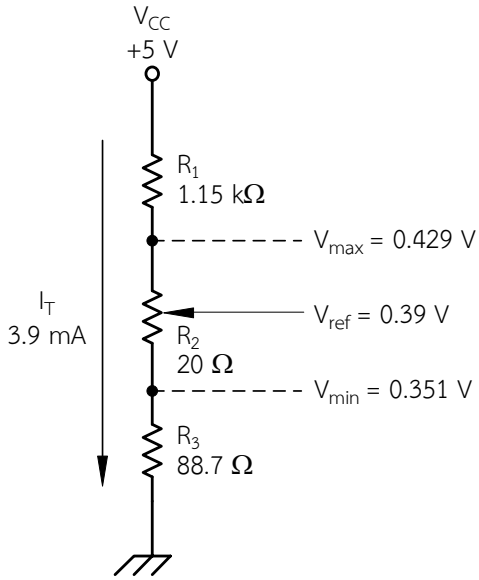
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 0.1 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 mV แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 0.05 Vเลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 =1.96 kΩ 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 10 Ω และ R_3= 15 Ω 1% 1/4 W

2) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 0.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 V

2.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 0.39 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV = ±10% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.56 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.1 x 0.39 V = 0.039 V

V_{max} = 0.39 V + 0.039 V = 0.429 V

V_{min} = 0.39 V - 0.039 V = 0.351 V



รูปที่ 3.56 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 0.39 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2 และ R_3 เพื่อหาค่า I_m จากนั้น หาค่า I_T ซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้เกิดแรงดันคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลดกำหนดค่า R_2 = 20 Ω เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไป

$$R_m = (20k\Omega/V) \times 0.5\ V = 10\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{0.39\ V}{10\ k\Omega} = 39\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 39\ \mu A = 3.9\ mA$$

2.2) หาค่าความต้านทาน R_1 และ R_3

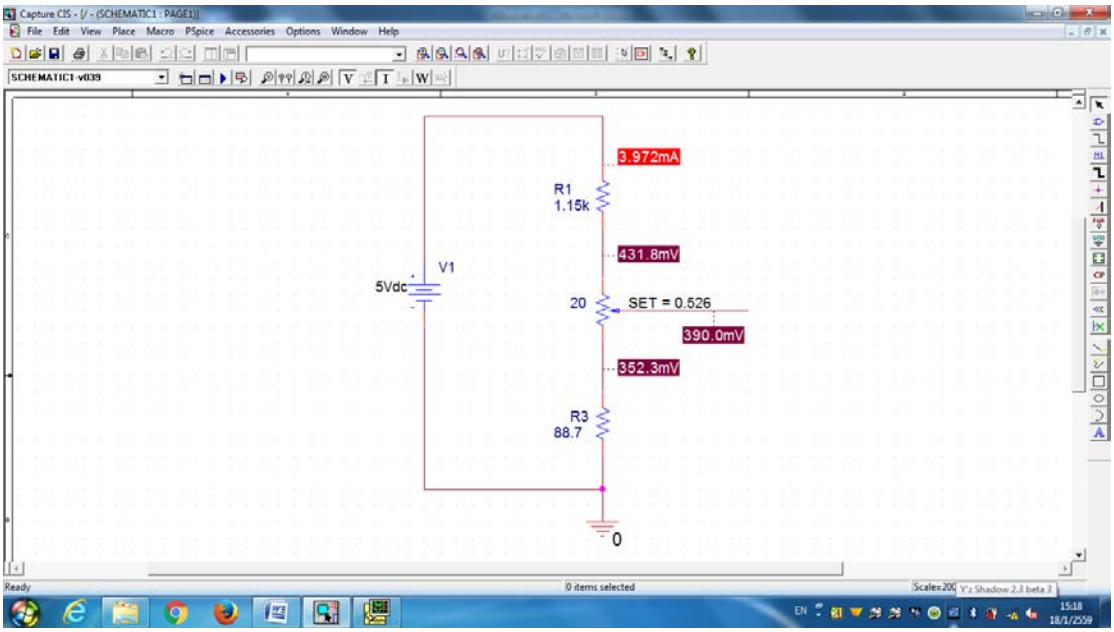
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{5\ V - 0.429\ V}{3.9\ mA}$$

$\therefore R_1$ = 1.17 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 1.15 kΩ 1% 1/4 W

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{0.351\ V}{3.9\ mA}$$

$\therefore$ R_3 = 90 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 88.7 Ω 1% 1/4 W

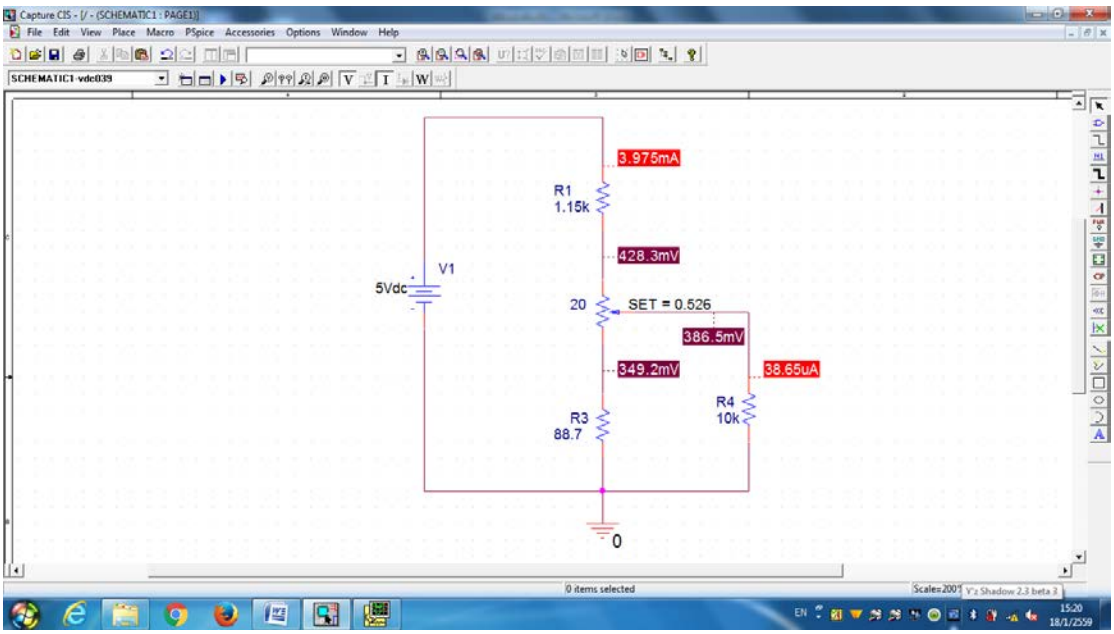
2.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 0.39 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.57 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.57 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.526 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 0.39 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 0.4318 V แรงดันต่ำสุดมีค่า 0.3523 V และ I_T =3.972mA การแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ $\frac{0.4318\text{ V} - 0.39\text{ V}}{0.39\text{ V}} \times 100 = 10.71$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{0.3523\text{ V} - 0.39\text{ V}}{0.39\text{ V}} \times 100 = -9.66$

จากรูปที่ 3.58 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 0.3865 V กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 38.65 μA และ I_T =3.975mA ซึ่งค่า I_T มีค่ามากกว่า I_m เท่ากับ 102 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง



รูปที่ 3.58 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 0.39 V ในสภาวะมีโหลด

2.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด คิดเป็นร้อยละ 10 ดังรูปที่ 3.57 ได้ผลตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 0.39 V

ขอบเขตการการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	10	-10
จำลองสถานการณ์	10.71	-9.66
ร้อยละ	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 10 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

2.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 แสดงผลดังรูปที่ 3.57 และ 3.58

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{0.3865\ \text{V} - 0.39\ \text{V}}{0.39\ \text{V}} \times 100$ = -0.89

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.89 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

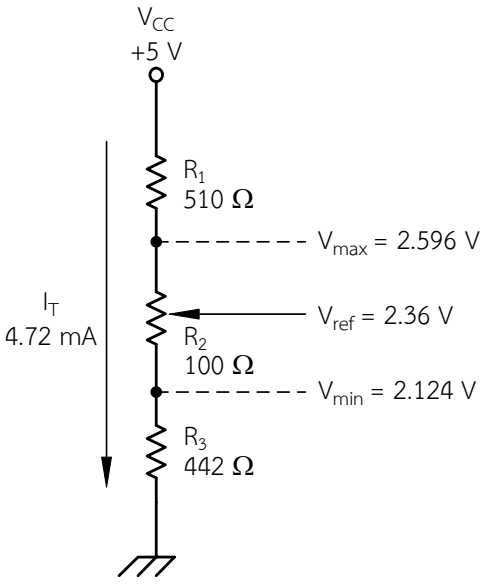
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 0.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 V แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 0.39 V เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 =1.15 kΩ 1% 1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2 = 20 Ω และ R_3 = 88.7 Ω 1% 1/4 W

3) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 2.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V

3.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} = 2.36 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด $\Delta V = \pm 10\%$ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.59 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.1 × 2.36 V = 0.236 V

V_{max} = 2.36 V + 0.236 V = 2.596 V

V_{min} = 2.36 V - 0.236 V = 2.124 V



รูปที่ 3.59 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 2.36 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2 และ R_3 เพื่อหาค่า I_mจากนั้นหาค่า I_T ซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 100 Ω เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไป

$$R_m = (20k\Omega/V) \times 2.5\ V = 50\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{0.39\ V}{50\ k\Omega} = 47.2\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 47.2\ \mu A = 4.72\ mA$$

3.2)หาค่าความต้านทาน R_1และ R_3

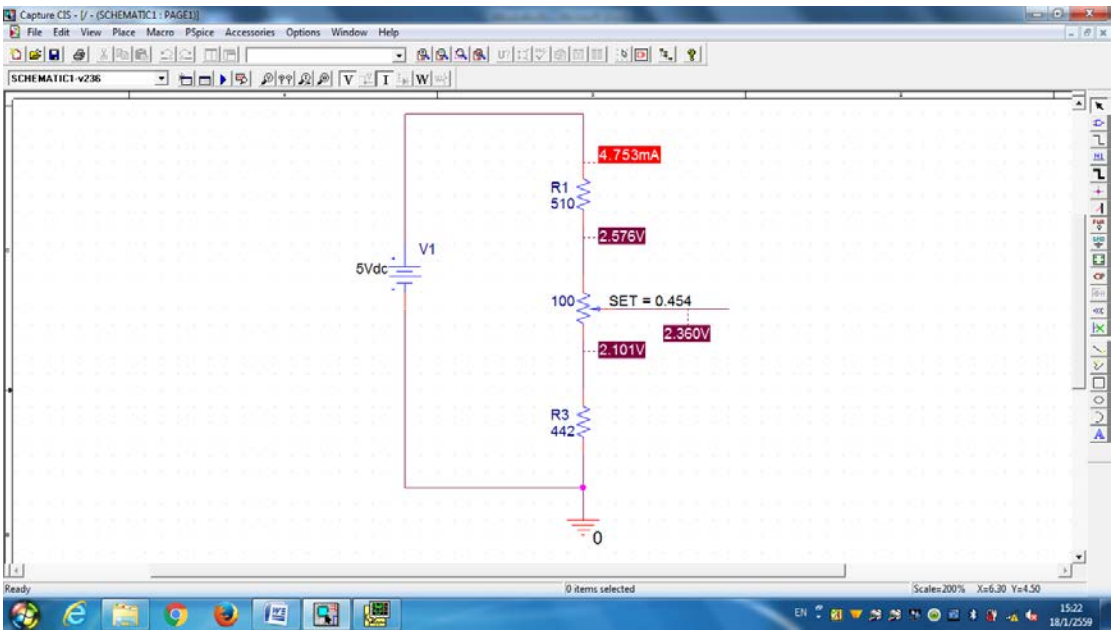
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{5\ V - 2.596\ V}{4.72\ mA}$$

$\therefore R_1$ = 509.32 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 510 Ω 1% 1/4 W

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{2.124\ V}{4.72\ mA}$$

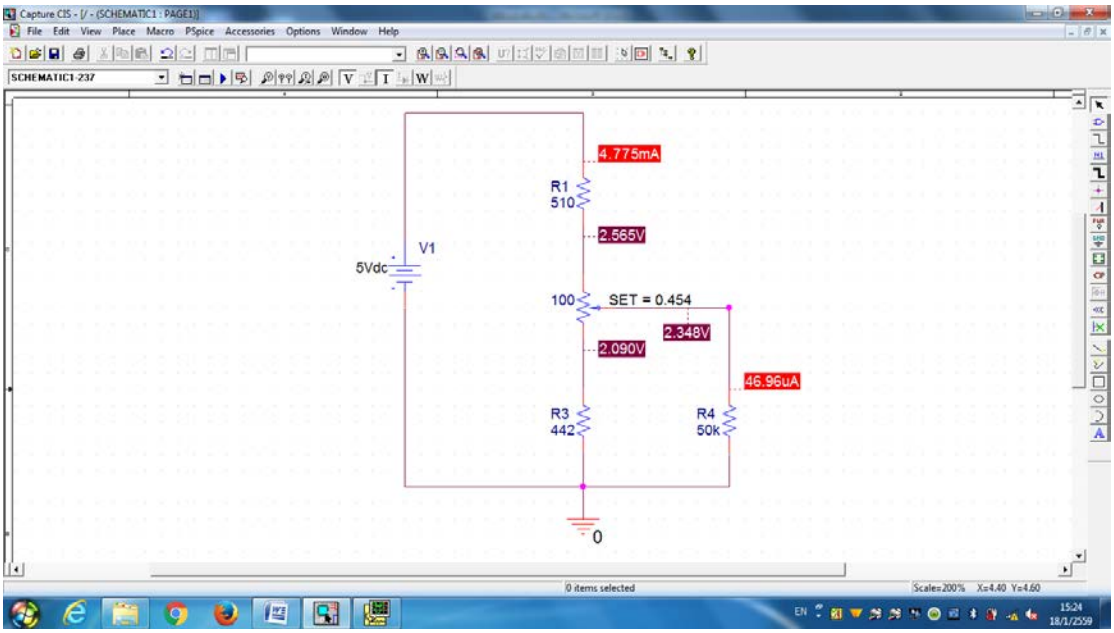
$\therefore$ R_3 = 450 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 442 Ω 1% 1/4 W

3.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 2.36 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.60 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.60 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.454 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 2.36 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 2.576 V แรงดันต่ำสุดมีค่า 2.101 V และ I_T =4.753mA การแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ $\frac{2.576\,\text{V} - 2.36\,\text{V}}{2.36\,\text{V}} \times 100 = 9.15$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{2.101\,\text{V} - 2.36\,\text{V}}{2.36\,\text{V}} \times 100 = -10.97$



รูปที่ 3.61 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.61 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 2.36 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 2.348 V กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 46.96 μA และ I_T =4.775mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_m ประมาณ 102 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

3.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 3.60 ได้ผลตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 2.36 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	10	-10
จำลองสถานการณ์	9.15	-10.97
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

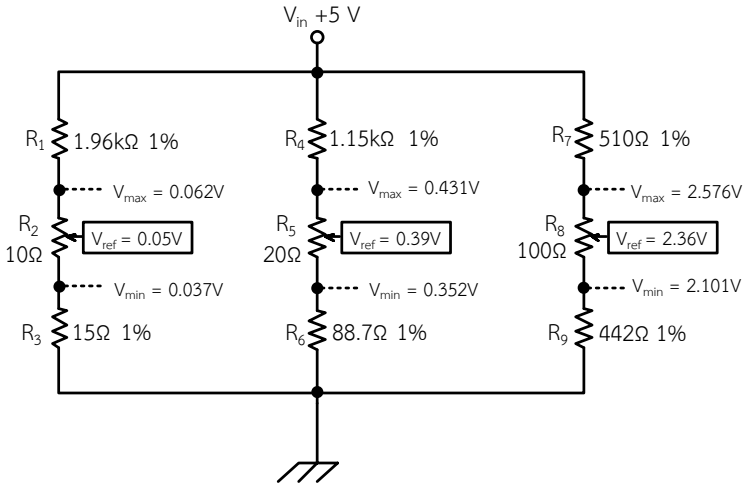
จากตารางที่ 3.8 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 10 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

3.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังแสดงในรูปที่ 3.60 และ 3.61

$$\text{คิดเป็น ร้อยละ } \frac{2.348\ \text{V} - 2.36\ \text{V}}{2.36\ \text{V}} \times 100 = -0.51$$

ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนมีค่าร้อยละ -0.51 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 2.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 2.36 Vเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 510 Ω 1% 1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 100 Ω และ R_3= 442 Ω 1% 1/4 W



รูปที่ 3.62 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V_1

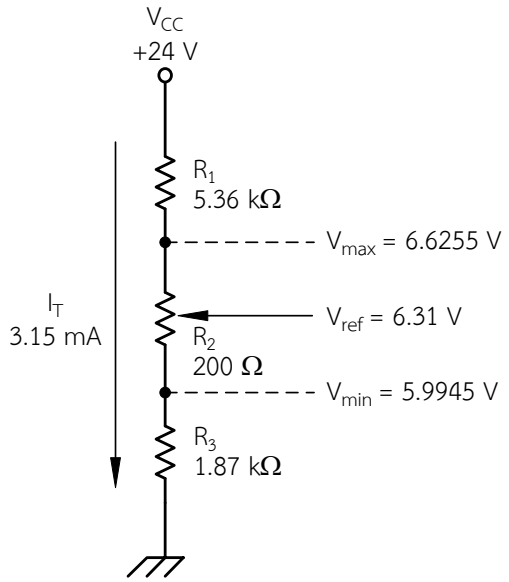
จากรูปที่ 3.62 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{in}+5V_1มาจากชุดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายในชุดอ้างอิงจากรูปที่ 3.52เพื่อมาแบ่งให้เกิดแรงดันค่าต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น 0.05V, 0.39V และ 2.36V

4) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 10 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V

4.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 6.31 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด $\Delta V = \pm 5\%$ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.63การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2} = 0.05 \times 6.31\ V = 0.3155\ V$

$V_{max} = 6.31\ V + 0.3155\ V = 6.6255\ V$

$V_{min} = 6.31\ V - 0.3155\ V = 5.9945\ V$



รูปที่ 3.63 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 6.31 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2และ R_3เพื่อหาค่า I_Tที่กำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้เกิดแรงดันคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 200 Ω เนื่องจากเป็นค่าที่มีจำหน่ายทั่วไป

$$R_m = (20k\Omega/V) \times 10\ V = 200\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{6.31\,V}{200\,k\Omega} = 31.55\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 31.55\ \mu A = 3.155\ mA$$

4.2)หาค่าความต้านทาน R_1และ R_3

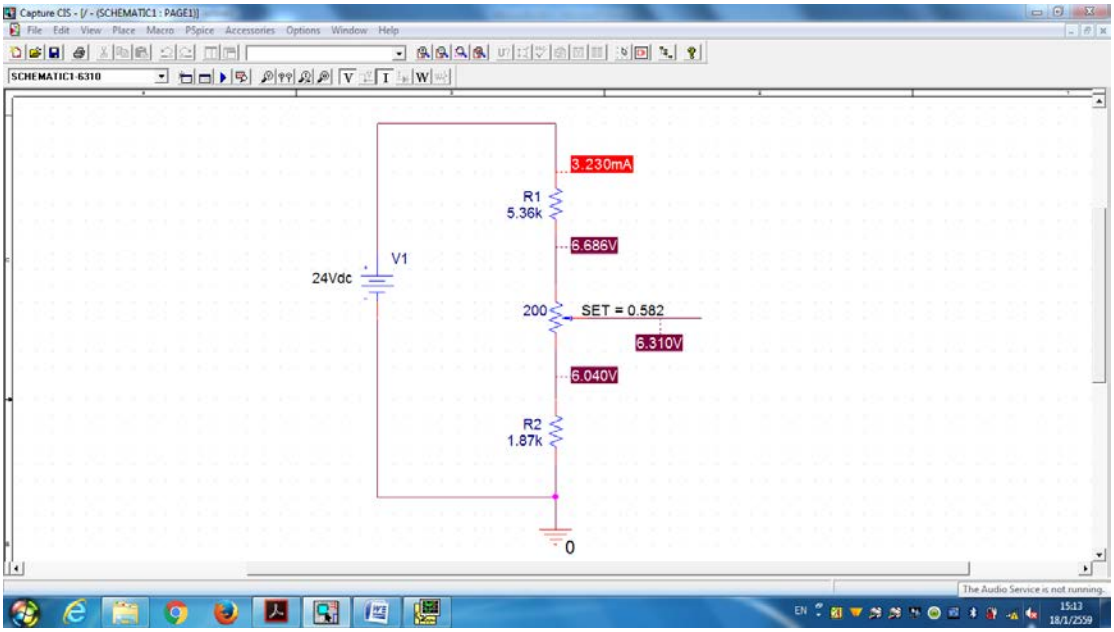
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{24\,V - 6.6255\,V}{3.155\,mA}$$

$\therefore R_1 = 5.5\ k\Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 5.36 kΩ 1% 1/4 W

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{5.9945\,V}{3.155\,mA}$$

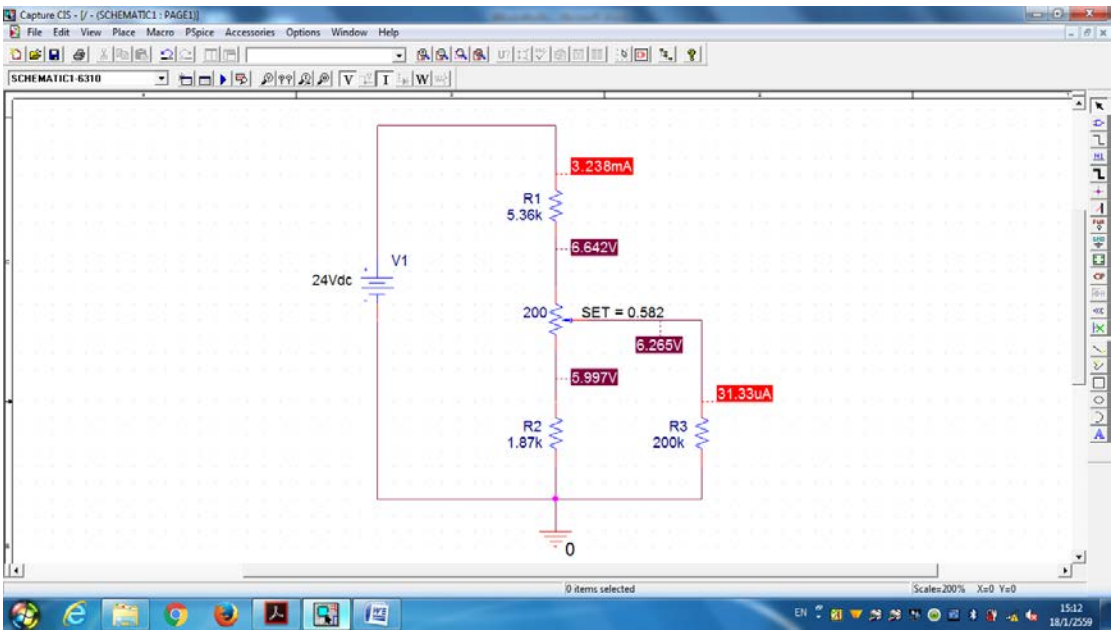
$\therefore$ $R_3 = 1.9\ k\Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 1.87 kΩ 1% 1/4 W

4.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 6.31 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.63



รูปที่ 3.64 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.64 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.582 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 6.31 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 6.686 V แรงดันต่ำสุดมีค่า 6.04 V และ I_T =3.23mA การแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ $\frac{6.686\,V - 6.31\,V}{6.31\,V} \times 100$ = 5.95 และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{6.04\,V - 6.31\,V}{6.31\,V} \times 100$ = -4.27



รูปที่ 3.65 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.65 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 6.31 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 6.265 V กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 31.33 µA และ I_T =3.238mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_m ประมาณ 103 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

4.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 5 ดังรูปที่ 3.64 ได้ผลตามตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 6.31 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	5	-5
จำลองสถานการณ์	5.95	-4.27
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 5 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

4.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 แสดงผลดังรูปที่ 3.64 และ 3.65

$$\text{คิดเป็น ร้อยละ } \frac{6.265\,\text{V} - 6.31\,\text{V}}{6.31\,\text{V}} \times 100 = -0.71$$

ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนมีค่าร้อยละ -0.71 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

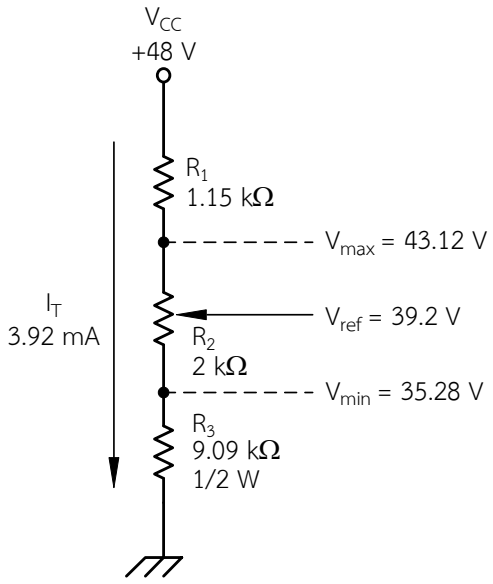
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 10 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V แรงดันอ้างอิงV_{ref}= 6.31 Vเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 5.36 kΩ 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 200 Ω และ R_3= 1.87 kΩ 1% 1/4 W

5) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 50 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 V

5.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 39.2 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV= ±10% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.66 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.1 × 39.2 V = 3.92 V

V_{max} = 39.2 V + 3.92 V = 43.12 V

V_{min} = 39.2 V – 3.92 V = 35.28 V



รูปที่ 3.66 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 39.2 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2 และ R_3 เพื่อหาค่า I_mจากนั้นหาค่า I_Tซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 2 kΩ เนื่องจากเป็นค่าที่มีจำหน่ายทั่วไป

$$R_m = (20\text{k}\Omega/\text{V}) \times 50\ \text{V} = 1\ \text{M}\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{39.2\ \text{V}}{1\ \text{M}\Omega} = 39.2\ \mu\text{A}$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 39.2\ \mu\text{A} = 3.92\ \text{mA}$$

5.2) หาค่าความต้านทาน R_1และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{48\ \text{V} - 43.12\ \text{V}}{3.92\ \text{mA}}$$

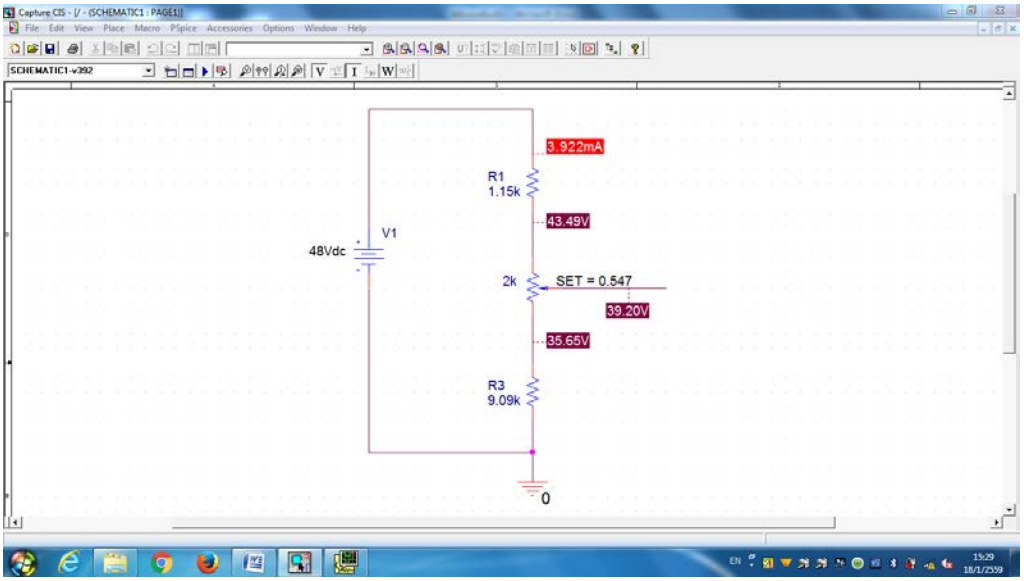
$\therefore R_1$ = 1.24 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 1.15 kΩ 1% 1/4 W

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{35.28\ \text{V}}{3.92\ \text{mA}} = 9\ \text{k}\Omega$$

$$P_{R3} = I_T^2 R_3 = (3.92\ \text{mA})^2 \times 9\ \text{k}\Omega = 138.29\ \text{mW}$$

$\therefore P_{R3}$ = 138.29 mW × 4 = 553.16 mW เลือกค่ามาตรฐาน 9.09 kΩ 1% 1/2 W

5.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 39.2 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.66

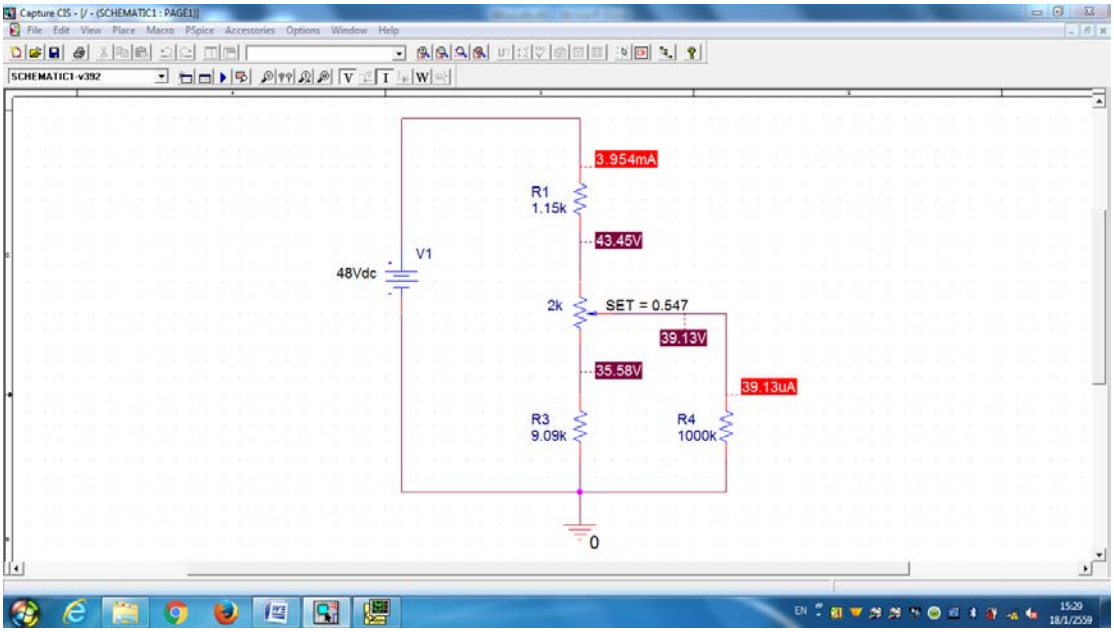


รูปที่ 3.67 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.67 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.547 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 39.2 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 43.49 V แรงดันต่ำสุด มีค่า 35.65 V และ I_T =3.922mA การแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ

$$\frac{43.49\ \text{V} - 39.2\ \text{V}}{39.2\ \text{V}} \times 100 = 10.94$$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ

$$\frac{35.65\ \text{V} - 39.2\ \text{V}}{39.2\ \text{V}} \times 100 = -9.06$$



รูปที่ 3.68 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.68 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 39.2 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 39.13 V กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 39.13 μA และ I_T =3.954mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_m ประมาณ 101 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

5.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 3.67 ได้ผลตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 39.2 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	10	-10
จำลองสถานการณ์	10.94	-9.06
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

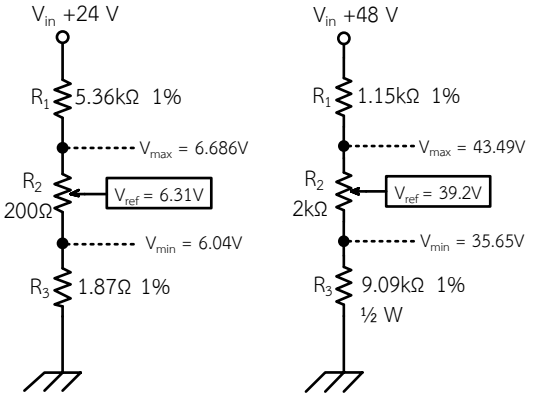
จากตารางที่ 3.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 10 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

5.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ผิดพลาดไม่เกิน ร้อยละ -1 แสดงผลดังรูปที่ 3.67 และ 3.68

$$\text{คิดเป็น ร้อยละ } \frac{39.13\text{ V} - 39.2\text{ V}}{39.2\text{ V}} \times 100 = -0.18$$

ผลการวิเคราะห์ผลความคลาดเคลื่อนมีค่าร้อยละ -0.18 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 50 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 V แรงดันอ้างอิงV_{ref}= 39.2 V เลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 1.15 kΩ 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 2 kΩ และ R_3= 9.09 kΩ 1% 1/2 W



(ก) (ข)

รูปที่ 3.69 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +24V และ +48V

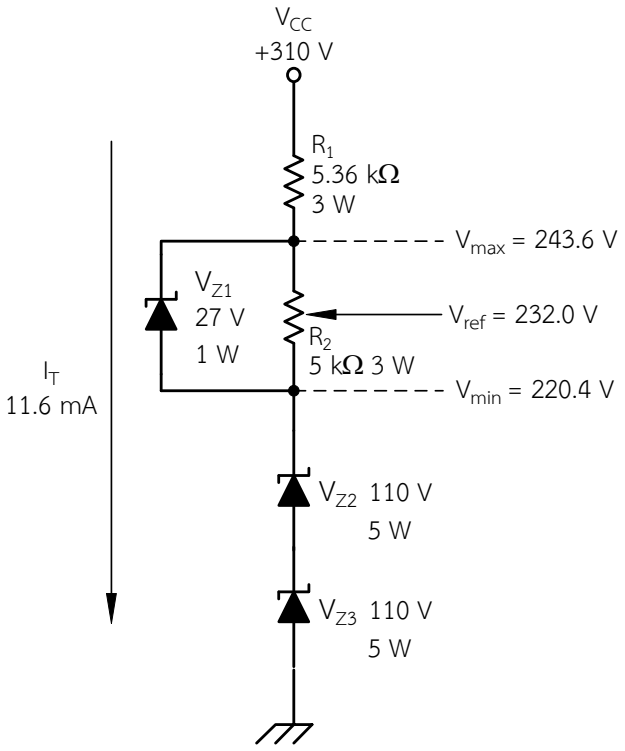
จากรูปที่ 3.69 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{in} +24V จากรูปที่ 3.52 มาแบ่งแรงดันให้เกิดแรงดันอ้างอิงตามที่ต้องการที่ V_{ref} = 6.31V ตามรูปที่ 3.69(ก) และ รูปที่ 3.69(ข) ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{in} +48V จากรูปที่ 3.52 มาแบ่งแรงดันให้เกิดแรงดันอ้างอิงที่ V_{ref} = 39.2V

6) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 250 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V

6.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 232.0 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV= ±5% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.70 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.05 x 232.0 V = 11.6 V

V_{max} = 232.0 V + 11.6 V = 243.6 V

V_{min} = 232.0 V – 11.6 V = 220.4 V



รูปที่ 3.70 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 232.0 V

ซีเนอร์ไดโอด V_{Z1} = 27 V

$$PV_{Z1} = \frac{V_{Z1}^2}{R_2} = \frac{(27\ V)^2}{5\ k\Omega} = 145.8\ mW$$

$\therefore$ PV_{Z1} =145.8 mW×5 = 729 mW

เลือกซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5139A มีค่า V_Z = 27 V 1 W

ซีเนอร์ไดโอด V_{Z2}และ V_{Z3} = 110 V

$PV_{Z2-3} = I_T \times V_Z$ = 11.6 mA ×110 V = 1.276 W

$\therefore$ PV_{Z2-3} =1.276 W×4 = 5.104 W

เลือกซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5157A มีค่า V_Z = 110 V 5 W

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2เพื่อหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_T ซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 5 kΩ เนื่องจากเป็นค่าที่มีจำหน่ายทั่วไป

R_m = (20kΩ/V)×250 V = 5 MΩ

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{232.0\ V}{5\ M\Omega} = 46.4\ \mu A$$

$I_T \geq 250 I_m$ = 250×46.4 μA = 11.6 mA

6.2)หาค่าความต้านทาน R_1

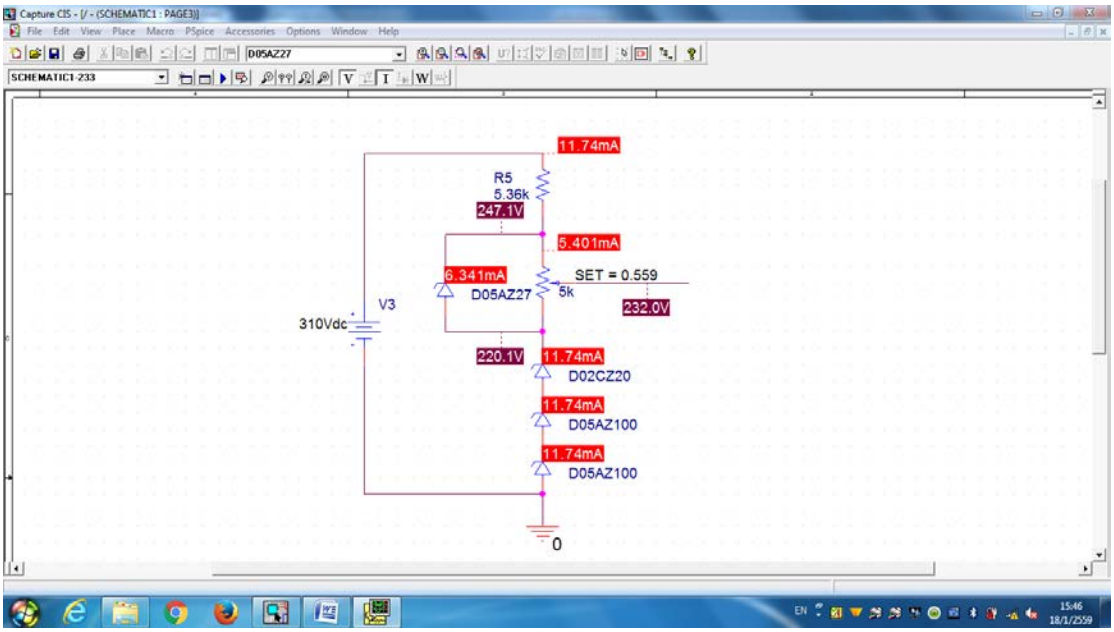
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{310\ V - 243.6\ V}{11.6\ mA} = 5.7\ k\Omega$$

$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (11.6\ mA)^2 \times 5.36\ k\Omega = 721.24\ mW$

$\therefore P_{R1}$ = 721.24 mW×4 = 2.88 W

เลือกค่ามาตรฐาน 5.36 kΩ 1% 3 W

6.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 232.0 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.70



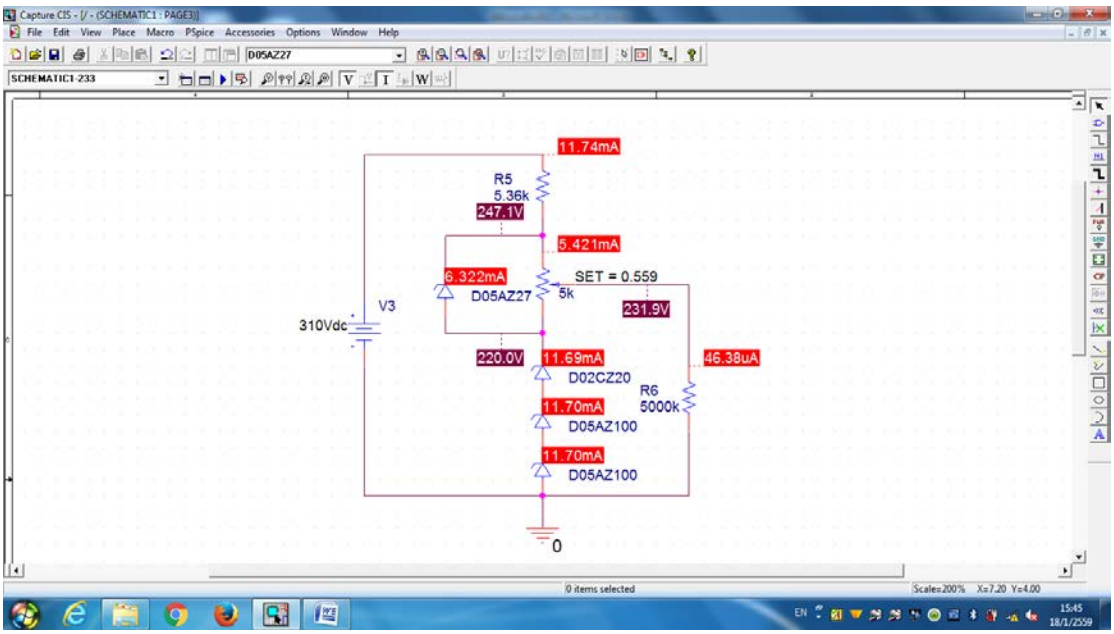
รูปที่ 3.71 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.71 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.559 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 232.0 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 247.1 V แรงดันต่ำสุด มีค่า 220.1 V และ I_T =11.74mAการแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ

$$\frac{247.1\,\text{V} - 232.0\,\text{V}}{232.0\,\text{V}} \times 100 = 6.50$$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ

$$\frac{220.1\,\text{V} - 232.0\,\text{V}}{232.0\,\text{V}} \times 100 = -5.13$$

จากรูปที่ 3.72 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 231.9 Vกระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก คือ I_m= 46.38 μA และ I_T =11.74mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_mประมาณ 253 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง



รูปที่ 3.72 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 232.0 V ในสภาวะมีโหลด

6.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 5 ดังรูปที่ 3.71 ได้ผลตามตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 232.0 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	5	-5
จำลองสถานการณ์	6.50	-5.13
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 5 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

6.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 แสดงผลดังรูปที่ 3.71 และ 3.72

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{231.9\text{ V} - 232.0\text{ V}}{232.0\text{ V}} \times 100 = -0.043$

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.043 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 250 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 232.0 V เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 5.36 kΩ 1% 3 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2 = 5 kΩ 3 Wซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5139A มีค่า V_Z = 27 V 1 W และซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5157A มีค่า V_Z = 110 V 5 W

7) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 1000 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V

7.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 272.0 V ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV= ±5% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.73 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.05 ×272.0 V = 13.6 V

V_{max} = 272.0 V + 13.6 V = 285.6 V

V_{min} = 272.0 V– 13.6 V = 258.4 V

ซีเนอร์ไดโอด V_{Z1} = 24 V

$$PV_{Z1} = \frac{V_{Z1}^2}{R_2} = \frac{(24\text{ V})^2}{5\text{ k}\Omega} = 115.2\text{ mW}$$

$\therefore$ PV_{Z1} =115.2 mW×5 = 576 mW

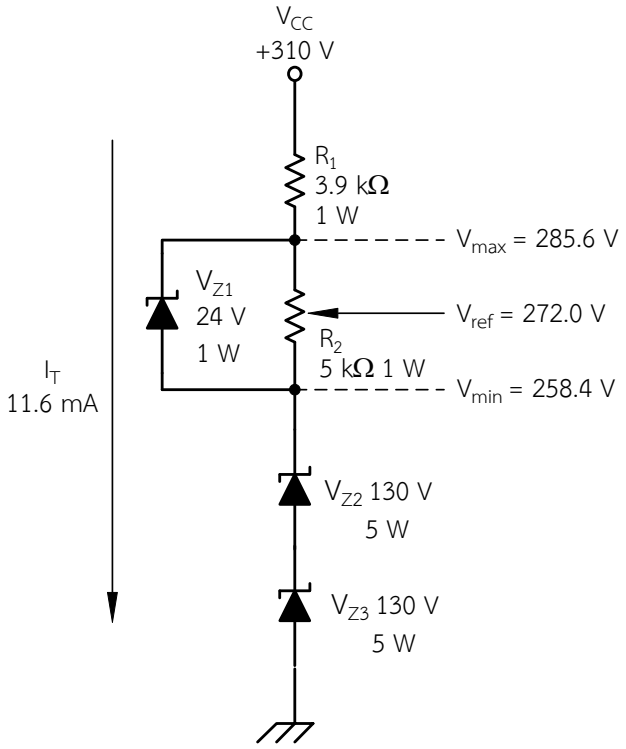
เลือกซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5137A มีค่า V_Z = 24 V 1 W

ซีเนอร์ไดโอด V_{Z2} และ V_{Z3} = 130 V

$PV_{Z2\text{-}3} = I_T \times V_Z$ = 11.6 mA × 130 V = 1.508 W

$\therefore$ $PV_{Z2\text{-}3}$ =1.508 W×3 = 4.524 W

เลือกซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5159A มีค่า V_Z = 130 V 5 W



รูปที่ 3.73 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 272.0 V

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของ R_2 เพื่อหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_T ซึ่งกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิง ไม่เกินร้อยละ -1 เพราะหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด กำหนดค่า R_2 = 5 kΩ เนื่องจากเป็นค่าที่มีจำหน่ายทั่วไป

$$R_m = (20\text{k}\Omega/\text{V}) \times 1000\ \text{V} = 20\ \text{M}\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{232.0\ \text{V}}{20\ \text{M}\Omega} = 13.6\ \mu\text{A}$$

$$I_T \geq 480 I_m = 480 \times 13.6\ \mu\text{A} = 6.528\ \text{mA}$$

7.2) หาค่าความต้านทาน R_1

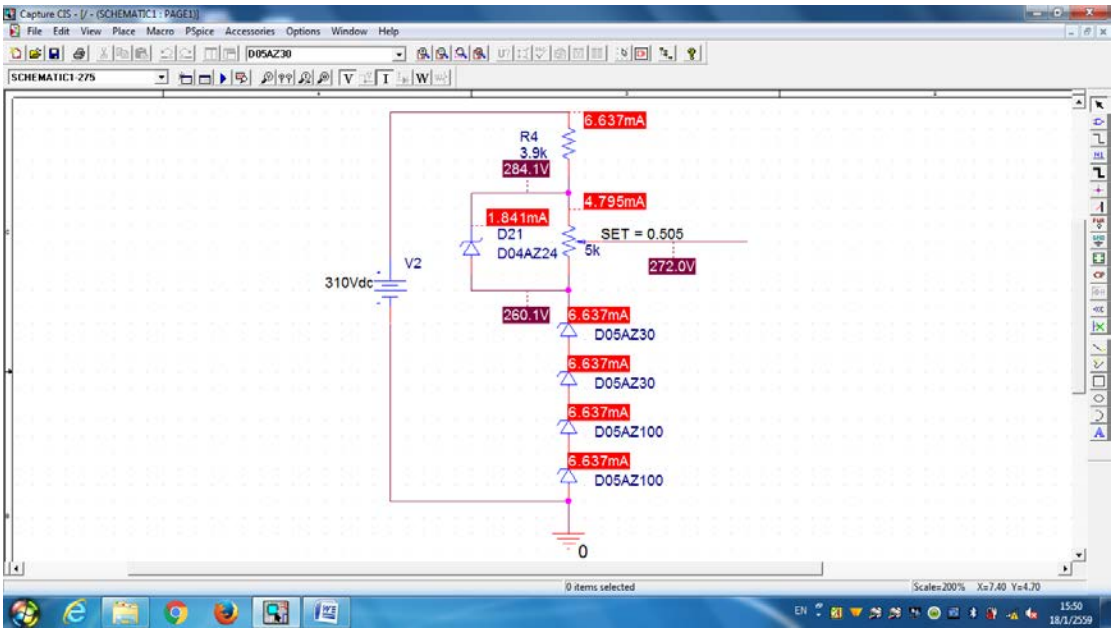
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{max}}{I_T} = \frac{310\ \text{V} - 285.6\ \text{V}}{6.528\ \text{mA}} = 3.737\ \text{k}\Omega$$

$$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (6.528\ \text{mA})^2 \times 3.9\ \text{k}\Omega = 166.19\ \text{mW}$$

$$\therefore P_{R1} = 166.19\ \text{mW} \times 4 = 664\ \text{mW}$$

เลือกค่ามาตรฐาน 3.9 kΩ 1% 1 W

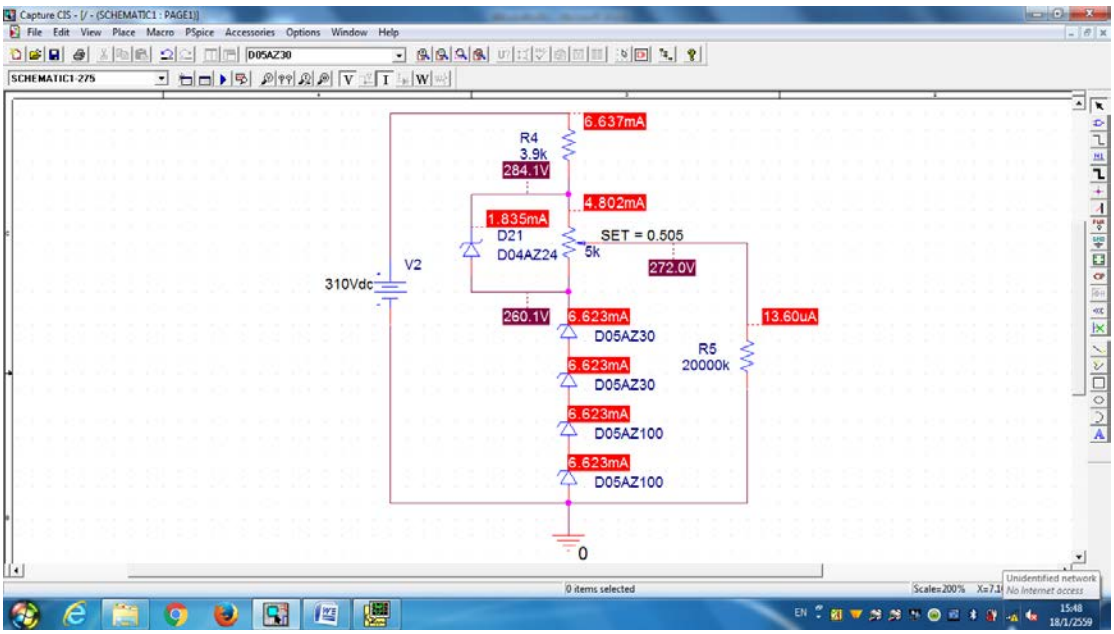
7.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 272.0 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.73



รูปที่ 3.74 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.74 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.505 เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิง 272.0 V ผลที่ได้ คือ แรงดันสูงสุดมีค่า 284.1 V แรงดันต่ำสุด มีค่า 260.1 V และ I_T =6.637mAการแกว่งของแรงดันด้านบวกมีค่า ร้อยละ $\frac{284.1\,\text{V} - 272.0\,\text{V}}{272.0\,\text{V}} \times 100$ = 4.44 และการแกว่งของแรงดันด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{260.1\,\text{V} - 272.0\,\text{V}}{272.0\,\text{V}} \times 100$ = -4.375

จากรูปที่ 3.75 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะมีโหลด แรงดันอ้างอิงมีค่าคงเดิม คือ 272.0 V กระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก I_m= 13.60 μA และ I_T =6.637mA ซึ่งค่า I_Tมีค่ามากกว่า I_mประมาณ 488 เท่า เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง



รูปที่ 3.75 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 272.0 V ในสภาวะมีโหลด

7.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 5 จากรูปที่ 3.74 ได้ผลตามตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 272.0 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	5	-5
จำลองสถานการณ์	4.44	-4.375
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

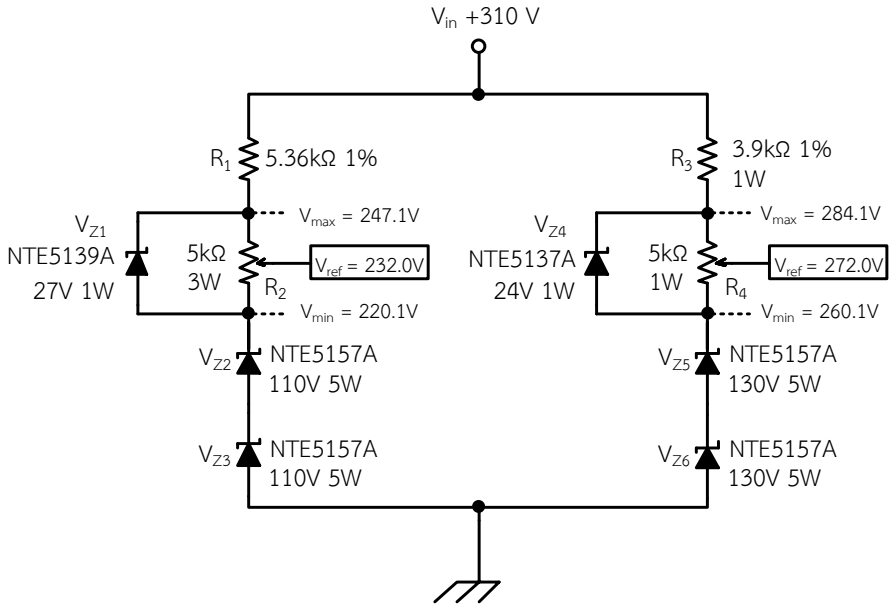
จากตารางที่ 3.12 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 5 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

7.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 แสดงผลดังรูปที่ 3.74 และ 3.75

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{272.0\ \text{V} - 272.0\ \text{V}}{272.0\ \text{V}} \times 100 = 0$

ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนค่าแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 1000 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 272.0 V เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 3.9 kΩ 1% 1 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2 = 5 kΩ 1 W ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5137A มีค่า V_Z = 24 V 1 W ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ NTE5141A มีค่า V_Z = 30 V 5 W และซีเนอร์ไดโอดเบอร์ NTE5159A มีค่า V_Z = 130 V 5 W



รูปที่ 3.76 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +310V

จากรูปที่ 3.76 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงโดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{in}+310V_{DC} จากรูปที่ 3.76 มาใช้แบ่งแรงดันตามความต้องการที่ 232V และ 272V

4.4 หลักการกำหนดค่ากระแสอ้างอิงกระแสไฟตรงเพื่อใช้เป็นค่ากระแสทดสอบสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและชนิดดิจิตอลมิเตอร์

1) เพื่อทำให้สามารถใช้มิเตอร์ วัดค่ากระแสได้ครบทุกพิสัย สำหรับชนิดแอนะลอก แสดงค่ากระแสในช่วงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ของค่ากระแสเต็มสเกล ถึงค่ากระแสเกือบเต็มสเกลในช่วงไม่เกินร้อยละ 95 กรณีชนิดดิจิตอล สามารถแสดงค่าไม่ต่ำกว่า 2 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้อง ผู้เรียนได้ฝึกการใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟตรงได้ครบทุกพิสัย

2) การออกแบบวงจรไม่นำแรงดันตกคร่อมขั้ววัดกระแส (Voltage burden) และค่าความต้านทานของแอมป์มิเตอร์มาพิจารณา ซึ่งโดยปกติค่าความต้านทานภายในของแอมป์มิเตอร์จะมีผลทำให้ค่ากระแสที่วัดได้ต่ำกว่าค่ากระแสในขณะไม่ต่อแอมป์มิเตอร์อนุกรมกับวงจรเล็กน้อย เพราะแอมป์มิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับโหลดจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานของโหลดให้มากขึ้นเล็กน้อยกล่าวคือ เป็นการนำแอมป์มิเตอร์ในอุดมคติมาวัดทดสอบในการสร้างวงจรอ้างอิงไฟฟ้ากระแสตรง

4.4.1 จุดประสงค์ของการออกแบบวงจรจ่ายกระแสไฟตรงอ้างอิง

1) เพื่อต้องการกระแสไฟตรงอ้างอิงที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ±1.2 ตามค่าความคลาดเคลื่อนของมัลติมิเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิง

2) ออกแบบด้วยวงจรที่ประหยัดและสามารถตรวจสอบการออกแบบด้วยโปรแกรมการจำลองสถานการณ์แต่มีความเที่ยงตรงตามเงื่อนไขข้อ 1 ปรับค่ากระแสด้วยทริมเมอร์แบบเกือกม้า ชนิด 1 รอบ ซึ่งสามารถปรับได้สะดวกเลือกใช้ตัวต้านทานที่มีจำหน่าย เป็นตัวต้านทานคงที่ชนิดฟิล์มโลหะคลาดเคลื่อน ±1%

3) การออกแบบต้องเลือกใช้ทริมเมอร์ที่มีค่าต่ำ เพื่อให้ทนกำลังงานได้สูง ปรับค่าได้ละเอียดเกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำ แม้จะใช้สารคาร์บอนซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิค่อนข้างสูง โดยกำหนดตัวต้านทานที่จะนำมาต่ออนุกรมกับทริมเมอร์ให้มีค่ามากสุด ซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบคงที่

4) ต้นกำเนิดแหล่งจ่ายแรงดันที่จะถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสจะถูกควบคุมด้วยไอซีคงค่าแรงดันแบบ 3 ขา

5) กรณีการออกแบบวงจรจ่ายกระแสสูง ตัวทริมเมอร์ไม่สามารถทนกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับทริมเมอร์เองได้ จึงออกแบบโดยใช้วงจรที่มีทรานซิสเตอร์ช่วยขยายกระแสเป็นตัวรับภาระโหลด ซึ่งคล้ายกับการออกแบบวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายคลาสเอ ในกรณีนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการขยายสัญญาณความถี่เป็นเพียงการขยายกระแสไฟตรงเท่านั้น โดยการไบแอสจะมีการต่อ R_E เพื่อทำให้เสถียรภาพของวงจรขยายดีขึ้น คือ ให้ค่ากระแสโหลดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากค่า V_{BE} ของทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิน้อยมาก ความหมายของวงจรจ่ายกระแสโดยใช้ ทริมเมอร์ คือการควบคุมกระแสเบสของวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ควบคุม

กระแสที่ไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์อีกครั้ง โดยทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวขับโหลดแทนวงจร ทริมเมอร์ที่ใช้ขับโหลดกรณีวงจรจ่ายกระแสต่ำ ๆ

4.4.2 เงื่อนไขและรายละเอียดที่เกิดขึ้นหลังจากการออกแบบ

1) กำหนดให้ทริมเมอร์อยู่กึ่งกลางตามค่ากระแสอ้างอิงที่กำหนด ขณะตั้งค่าโปรแกรม set อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6

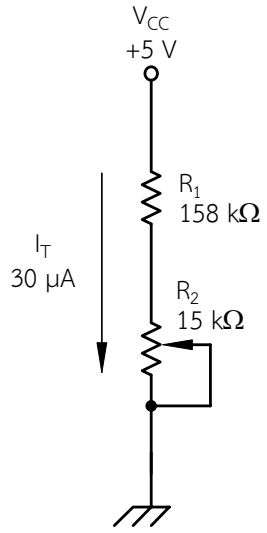
2) การปรับแต่งค่าของกระแสหลังจากการจำลองสถานการณ์เพื่อให้สามารถปรับทริมเมอร์ให้เกิดการแกว่งของค่ากระแสอยู่ระหว่าง ร้อยละ ±3 ถึง ±30 ซึ่งเป็นขอบเขตของการออกแบบเบื้องต้น การกำหนดขอบเขตที่กว้างเพื่อให้สอดคล้องกับค่าตัวต้านทานที่มีจำหน่าย โดยเฉพาะตัวทริมเมอร์ไม่มีค่าให้เลือกได้หลากหลายเหมือนตัวต้านทานแบบคงที่

4.4.3 การออกแบบกระแสอ้างอิงของกระแสไฟตรง

1) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 50 μA และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 μA

1.1)กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสอ้างอิงI_{ref} = 30.0 μA เนื่องจากตัวต้านทาน R_Tเป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่าเท่ากับ 30 μA เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ ตามวงจรรูปที่ 3.77

$$R_T = \frac{V_{CC}}{I_{ref}} = \frac{5\ V}{30\ \mu A} = 166.6\ k\Omega$$



รูปที่ 3.77 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 30.0 μA

1.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแสอ้างอิง ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±5% ตามวงจรรูปที่ 3.77 เพื่อหาค่า R_2ดังนี้

$$R_2 = \%\Delta I \times R_T$$

$$= (0.05 \times 2) \times 166\ k\Omega$$

$$\therefore\ R_2 = 16.66\ k\Omega \qquad \text{เลือกค่ามาตรฐาน } 15\ k\Omega$$

หาค่า R_1จาก $\qquad R_1 = R_T - \left(\frac{R_2}{2}\right)$

$$= 166.6\ k\Omega - \left(\frac{15\,k\Omega}{2}\right)$$

$$\therefore\ R_1 = 158.5\ k\Omega \qquad \text{เลือกค่ามาตรฐาน } 158\ k\Omega$$

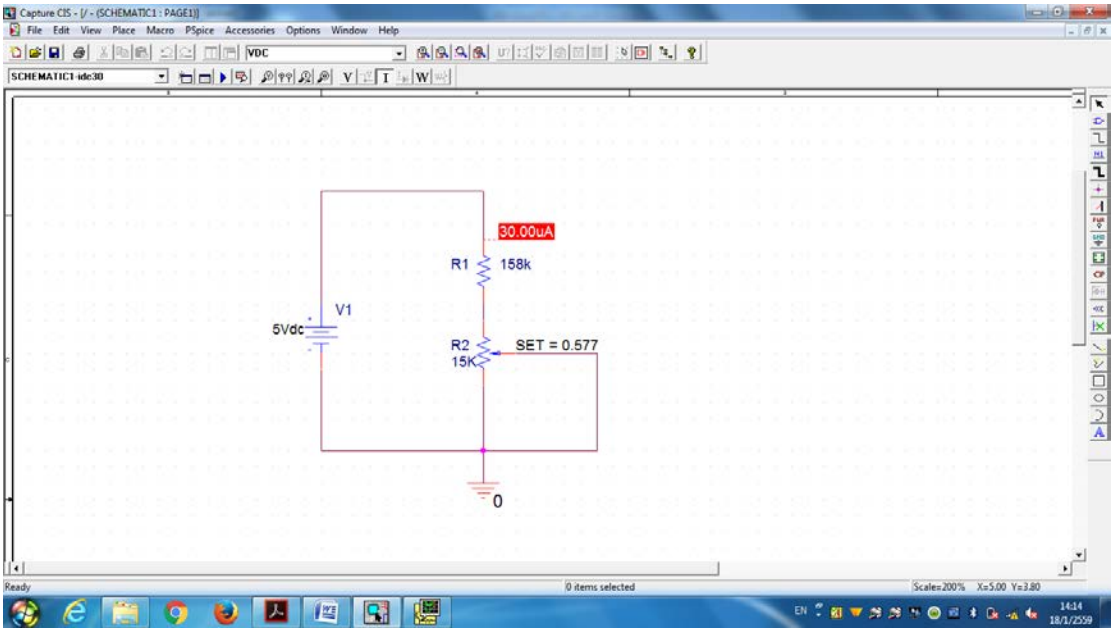
$$I_{max} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1}\right) = \left(\frac{5\,V}{158\,k\Omega}\right) = 31.64\ \mu A$$

$$I_{min} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1 + R_2}\right) = \left(\frac{5\,V}{158\,k\Omega + 15k\Omega}\right) = 28.90\ \mu A$$

$$\Delta I = 31.64\ \mu A - 28.90\ \mu A = 2.74\ \mu A$$

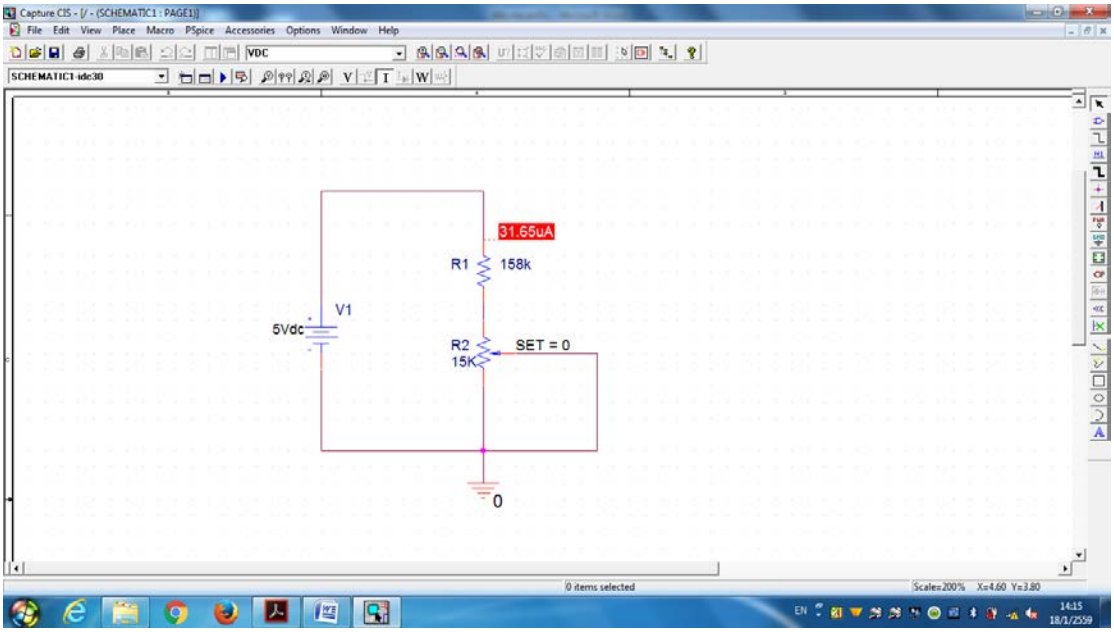
$$\pm\Delta I = \left(\frac{2.74\,\mu A}{2}\right) = 1.37\ \mu A$$

1.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบกระแสอ้างอิง พิสัย 50 μA โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.77



รูปที่ 3.78 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref}= 30.0 μA

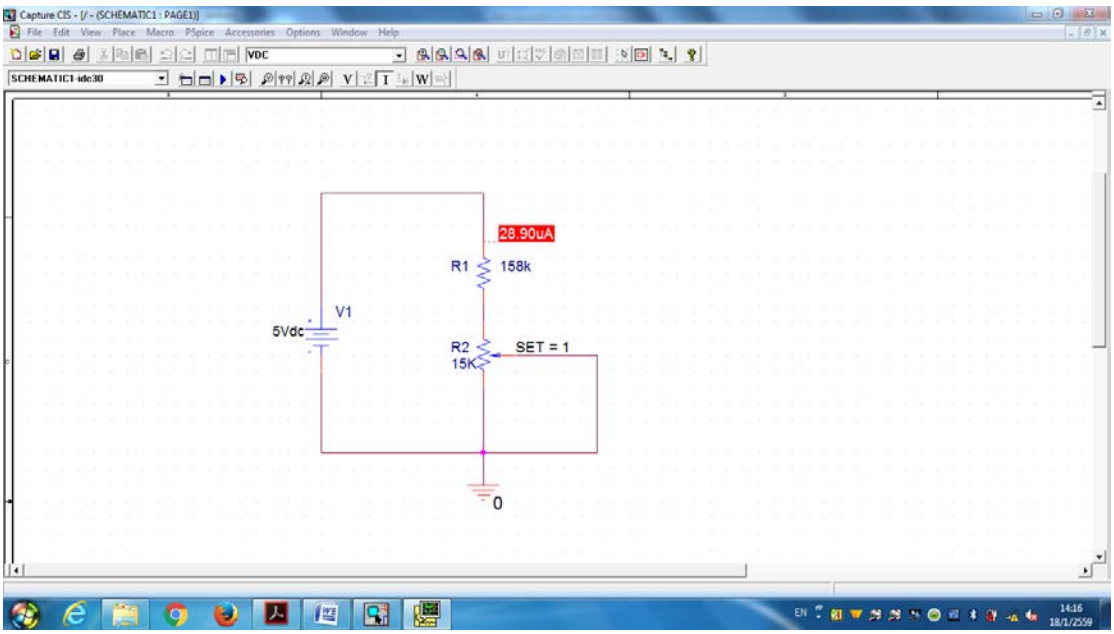
จากรูปที่ 3.78 แสดงผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 30.0 μA เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 158 kΩ 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 15 kΩ และต้องปรับค่า set = 0.577 เพื่อให้ได้ค่ากระแสอ้างอิง 30.0 μA



รูปที่ 3.79 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max}

จากรูปที่ 3.79 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 30.0 μA ต้องปรับค่า set = 0 ซึ่งได้ค่า I_{max}=31.65 μA การแกว่งของกระแสด้านบวกมีค่าร้อยละ $\frac{31.65\,\mu A - 30\,\mu A}{30\,\mu A} \times 100 = 5.5$

จากรูปที่ 3.80 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 30.0 μA ต้องปรับค่า set = 1 ซึ่งได้ค่า I_{min}=28.90 μA การแกว่งของกระแสด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{28.90\,\mu A - 30\,\mu A}{30\,\mu A} \times 100 = -3.66$



รูปที่ 3.80 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min}

1.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสด้านบวกและด้านลบ ตามรูปที่ 3.78-3.80 ผลที่ได้อยู่ในขอบเขตการออกแบบ ดังตารางที่ 3.16 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

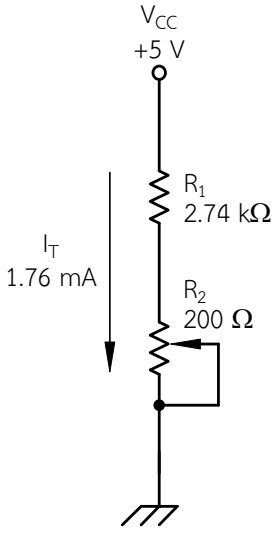
ตารางที่ 3.13 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 30.0 μA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	5	-5
จำลองสถานการณ์	5.5	-3.66
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

2) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 2.5 mA และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 mA

2.1)กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสอ้างอิงI_{ref} = 1.76 mA เนื่องจากตัวต้านทาน R_Tเป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่า 1.76 mA เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ ตามวงจรรูปที่ 3.81

$$R_T = \frac{V_{CC}}{I_{ref}} = \frac{5\,V}{1.76\,mA} = 2.84\ k\Omega$$



รูปที่ 3.81 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 1.76mA

2.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่า กระแสอ้างอิง ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±5% ตามวงจรรูปที่ 3.81เพื่อหาค่า R_2ดังนี้

$R_2 = \%\Delta I \times R_T$

$= (0.05 \times 2) \times 2.84\ k\Omega$

$\therefore\ R_2 = 284\ \Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 200 Ω

หาค่า R_1จาก $R_1 = R_T - \left(\frac{R_2}{2}\right)$

$= 2.84\ k\Omega - \left(\frac{200\,\Omega}{2}\right)$

$\therefore\ R_1 = 2.74\ k\Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 2.74 kΩ

$$I_{max} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1}\right) = \left(\frac{5\,V}{2.74\,k\Omega}\right) = 1.824\ mA$$

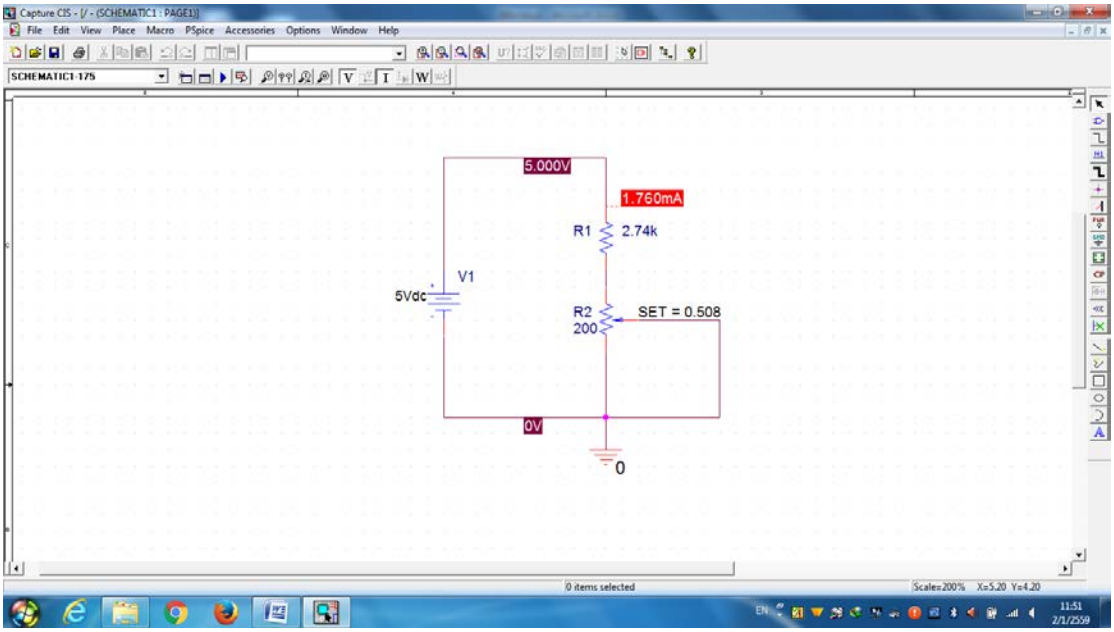
$$I_{min} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1 + R_2}\right) = \left(\frac{5\,V}{2.74\,k\Omega + 200\Omega}\right) = 1.70\ mA$$

$\Delta I = 1.824\ mA - 1.70\ mA = 0.124\ mA$

$$\%\Delta I = \left(\frac{100\,\Omega \times 0.124\,mA}{1.76\,mA}\right) = 7.08$$

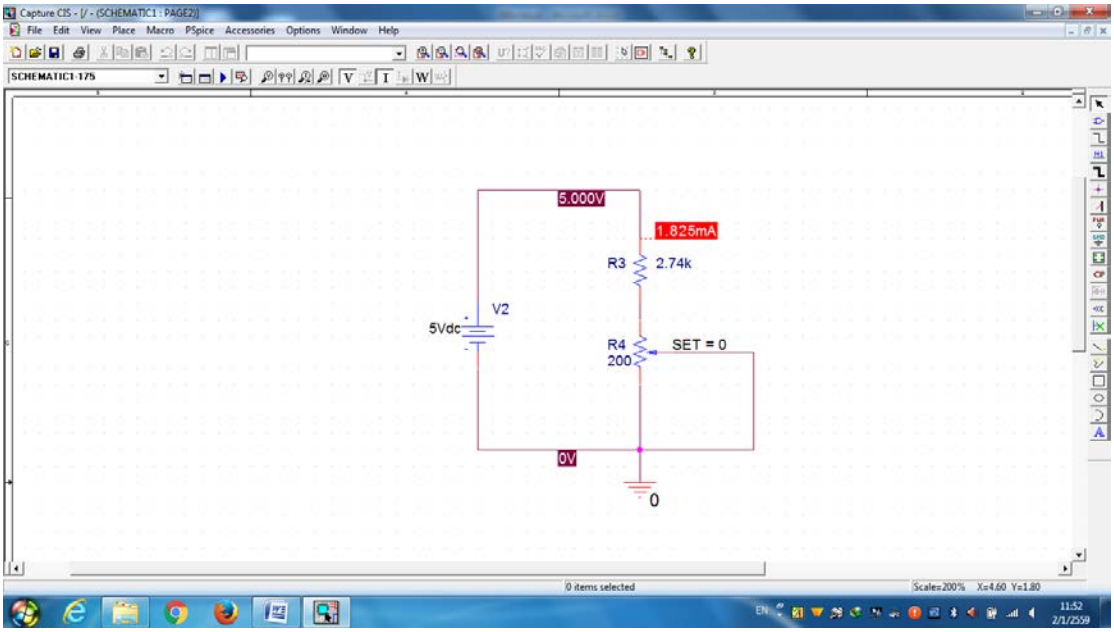
$$\pm\Delta I = \left(\frac{7.08\,mA}{2}\right) = 3.54\ mA$$

2.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบกระแสอ้างอิง พิสัย 2.5 mA โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.81



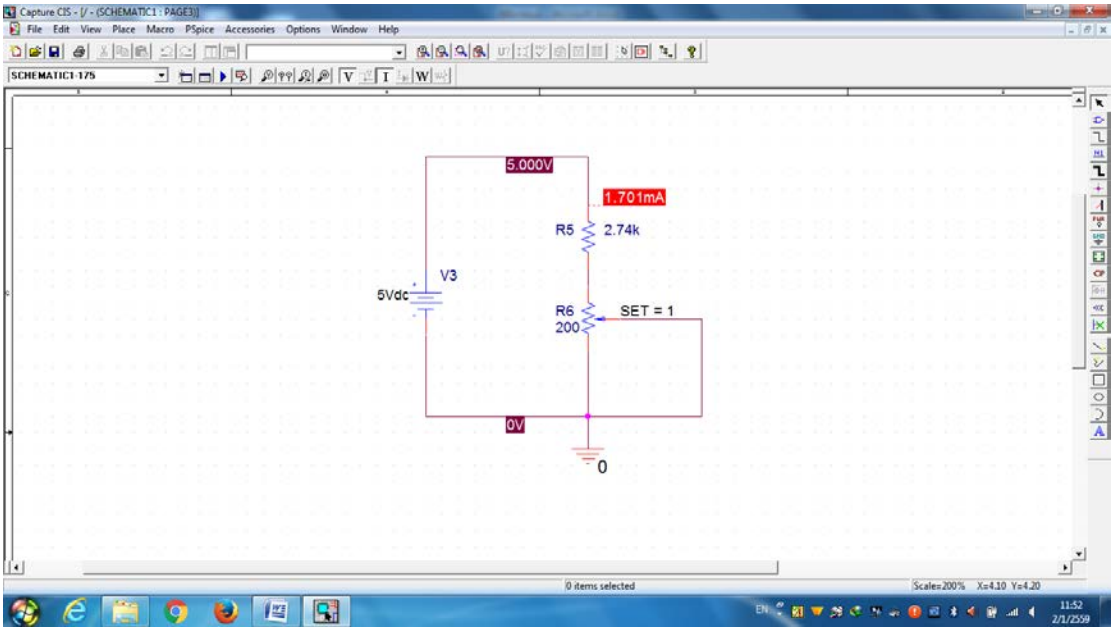
รูปที่ 3.82 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref}= 1.76mA

จากรูปที่ 3.82 แสดงผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 1.76mA เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 =2.74 kΩ 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 200 Ω และต้องปรับค่า set = 0.508 เพื่อให้ได้ค่ากระแสอ้างอิง 1.76mA



รูปที่ 3.83 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max}

จากรูปที่ 3.83 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 1.76mA ต้องปรับค่า set = 0 ซึ่งได้ค่า I_{max}=1.825mA การแกว่งของกระแสด้านบวกมีค่าร้อยละ $\frac{1.825\,\text{mA} - 1.76\text{mA}}{1.76\,\text{mA}} \times 100 = 3.69$



รูปที่ 3.84 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min}

จากรูปที่ 3.84 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 1.76mA ต้องปรับค่า set = 1 ซึ่งได้ค่า I_{min}=1.701 mA การแกว่งของกระแสด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{1.701\,\text{mA} - 1.76\text{mA}}{1.76\,\text{mA}} \times 100 = -3.35$

2.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสด้านบวกและด้านลบ ตามรูปที่ 3.82-3.84ผลที่ได้อยู่ในขอบเขตการออกแบบ ดังตารางที่ 3.17 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

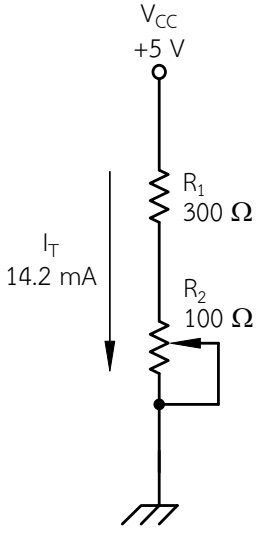
ตารางที่ 3.14 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 1.76 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	5	-5
จำลองสถานการณ์	3.69	-3.35
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

3) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 25 mA และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 mA

3.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสอ้างอิง I_{ref} = 14.2 mA เนื่องจากตัวต้านทาน R_Tเป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่าเท่ากับ14.2 mA เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ ตามวงจรรูปที่ 3.85

$$R_T = \frac{V_{CC}}{I_{ref}} = \frac{5\,V}{14.2\,mA} = 352\ \Omega$$



รูปที่ 3.85 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 14.2 mA

3.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแสอ้างอิง ให้แกว่งได้ประมาณ $\Delta I = \pm 15\%$ ตามวงจรรูปที่ 3.85 เพื่อหาค่า R_2 ดังนี้

$$R_2 = \%\Delta I \times R_T$$

$$= (0.15 \times 2) \times 352\ k\Omega$$

$\therefore$ R_2 = 105.6 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 100 Ω

หาค่า R_1จาก $R_1 = R_T - \left(\frac{R_2}{2}\right)$

$$= 352\ \Omega - \left(\frac{100\,\Omega}{2}\right)$$

$\therefore$ R_1 = 302 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 300 Ω

$$I_{max} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1}\right) = \left(\frac{5\,V}{300\,\Omega}\right) = 16.66\ mA$$

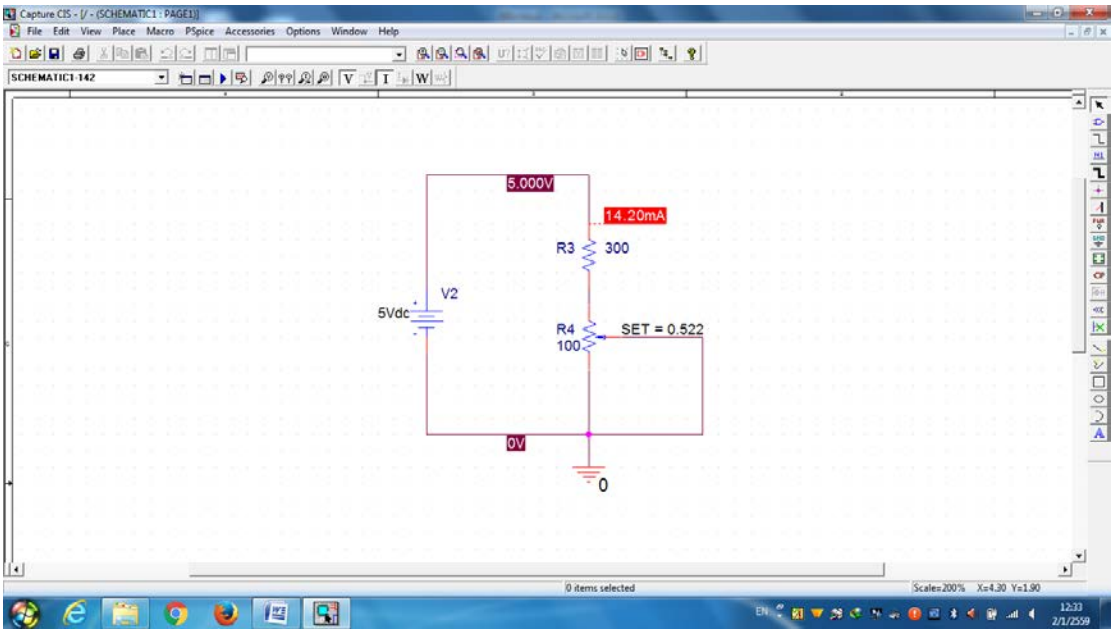
$$I_{min} = \left(\frac{V_{CC}}{R_1 + R_2}\right) = \left(\frac{5\ V}{300\ \Omega + 100\Omega}\right) = 12.5\ mA$$

$$\Delta I = 16.66\ mA - 12.5\ mA = 4.16\ mA$$

$$\%\Delta I = \left(\frac{50\ \Omega \times 4.16\ mA}{14.2\ mA}\right) = 14.64$$

$$\pm\Delta I = \left(\frac{14.64\ mA}{2}\right) = 7.32\ mA$$

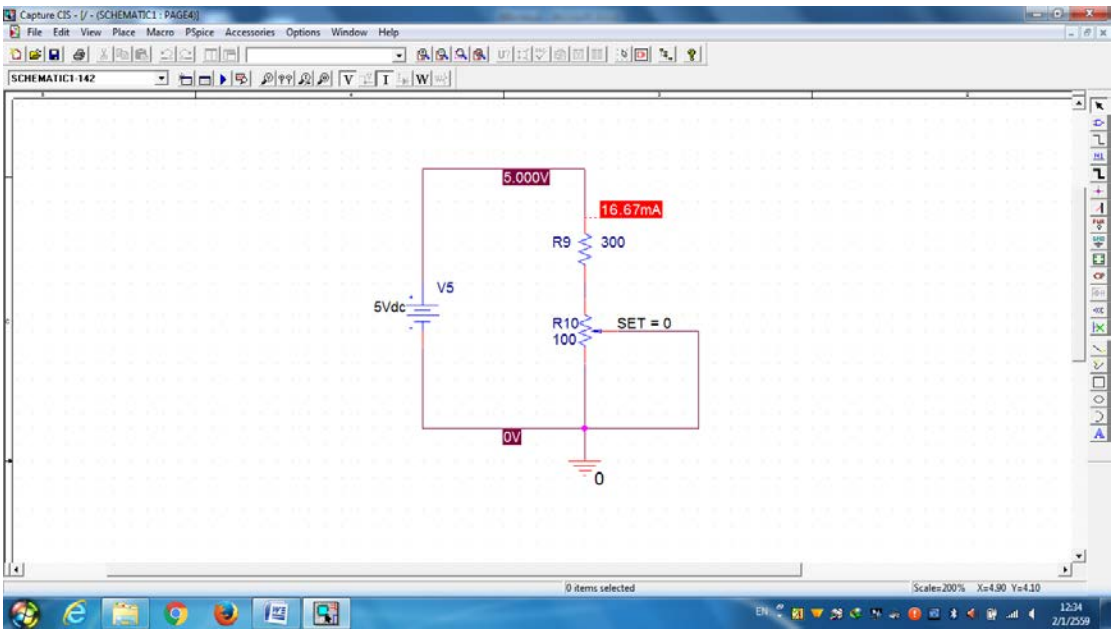
3.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบกระแสอ้างอิง พิสัย 25 mA โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.85



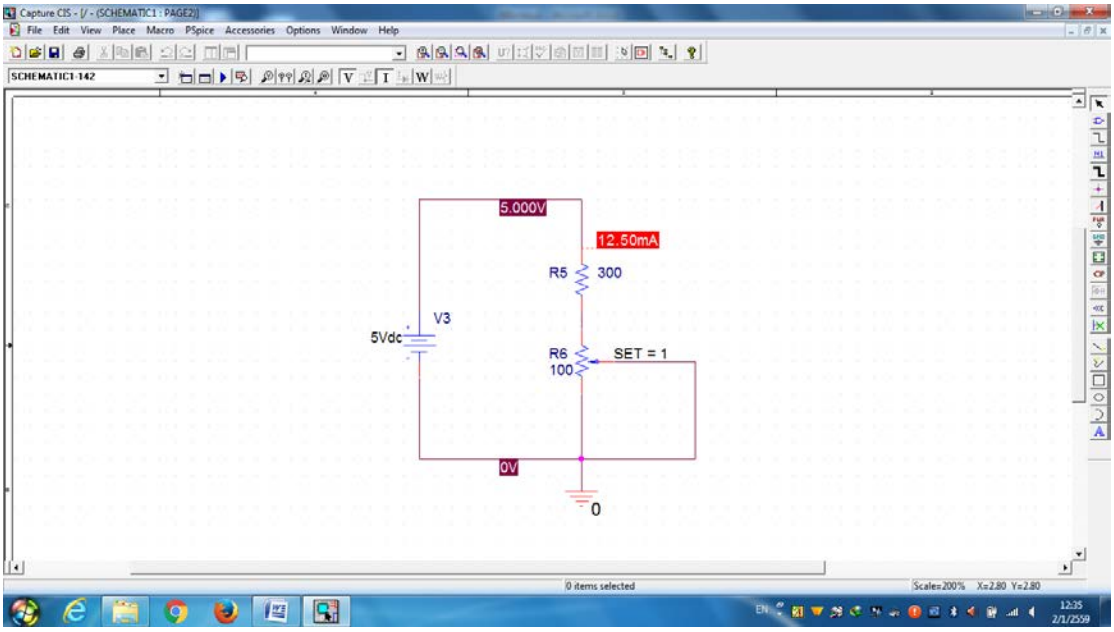
รูปที่ 3.86 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref}= 14.2 mA

จากรูปที่ 3.86 แสดงผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 14.2 mA เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 300 Ω 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 100 Ω และต้องปรับค่า set = 0.522 เพื่อให้ได้ค่ากระแสอ้างอิง 14.2 mA

จากรูปที่ 3.87 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่าI_{max}จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 14.2mA ต้องปรับค่า set = 0 ซึ่งได้ค่า I_{max}=16.67mA การแกว่งของกระแสด้านบวกมีค่าร้อยละ $\frac{16.67\ mA - 14.2mA}{14.2\ mA} \times 100$= 17.39



รูปที่ 3.87 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max}



รูปที่ 3.88 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min}

จากรูปที่ 3.88 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 1.76mA ต้องปรับค่า set = 1 ซึ่งได้ค่า I_{min}=12.50 mA การแกว่งของกระแสด้านลบมีค่า ร้อยละ $\frac{12.50\,\text{mA} - 14.2\text{mA}}{14.2\,\text{mA}} \times 100 = -11.97$

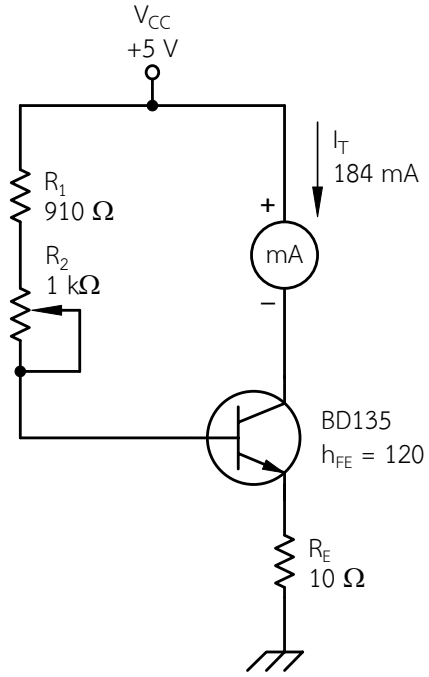
3.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสด้านบวกและด้านลบ ตามรูปที่ 3.86-3.88 ผลที่ได้อยู่ในขอบเขตการออกแบบ ดังตารางที่ 3.15 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ตารางที่ 3.15 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 14.2 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	15	-15
จำลองสถานการณ์	17.39	-11.97
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

4) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 250 mA และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 mA

4.1 กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสอ้างอิง I_{ref} = 184.0 mA เนื่องจากตัวต้านทาน R_T เป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่า 184.0 mA เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ ตามวงจรรูปที่ 3.89



รูปที่ 3.89 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 184 mA

4.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแสอ้างอิง ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±20% ตามวงจรรูปที่ 3.89 การแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.2 x 184 mA = 36.8 mA เพื่อหาค่า R_2ดังนี้

I_{max} = 184 mA + 36.8 mA = 220.8 mA

I_{min} = 184 mA – 36.8 mA = 147.2 mA

ที่ $I_{C\,(max)}$ = 220.8 mA

$$I_{B(max)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{220.8\text{mA}}{120} = 1.84\text{ mA}$$

$$R_E = \frac{V_{CC}}{I_{C(max)}} = \frac{5\text{ V}}{220.8\text{ mA}} = 22.64\ \Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 10 Ω

$P_{RE} = I_T^2 R_E = (184\text{ mA})^2 \times 10\ \Omega = 338.56$ mW

∴ P_{RE} = 338.56 mW×3 = 1.01 W เลือกค่ามาตรฐาน 10 Ω1% 1 W

หมายเหตุ: R_E ควรเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ประมาณกึ่งกลางเส้นโหลดกระแสตรง

จาก $$I_{B(max)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + (R_E \times h_{FE})}$$

$$1.84\text{ mA} = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{V}}{R_1 + (10\,\Omega \times 120)}$$

$$R_1 + 1200 = \frac{4.3\text{ V}}{1.84\text{ mA}}$$

R_1 = 2336 – 1200

∴ R_1 = 1.136 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 910 Ω 1% 1/4 W

$I_{C\,(min)} = I_{min}$ = 147.2 mA

$$I_{B(min)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{147.2\text{ mA}}{120} = 1.22\text{ mA}$$

เมื่อ $$I_{B(min)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_2 + R_1 + (R_E \times h_{FE})}$$

$$1.22\text{ mA} = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{V}}{R_2 + 910\Omega + (10\,\Omega \times 120)}$$

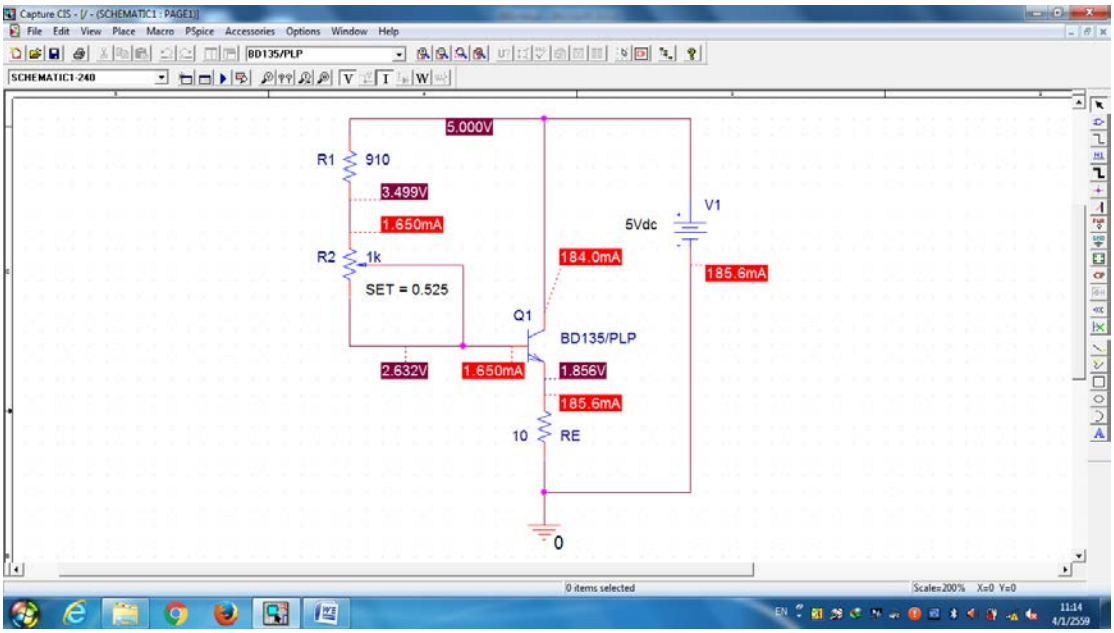
$$R_2 + 2110 = \frac{4.3\text{ V}}{1.22\text{ mA}}$$

R_2 = 3524 – 2110

∴ R_2 = 1.414 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 1 kΩ

หมายเหตุ: ควรเลือกค่า R_2 ให้ต่ำกว่าค่าที่คำนวณ เนื่องจากกรณีนี้ได้กำหนดการแกว่งตัวของค่ากระแสที่ค่าสูงสุด ±20%

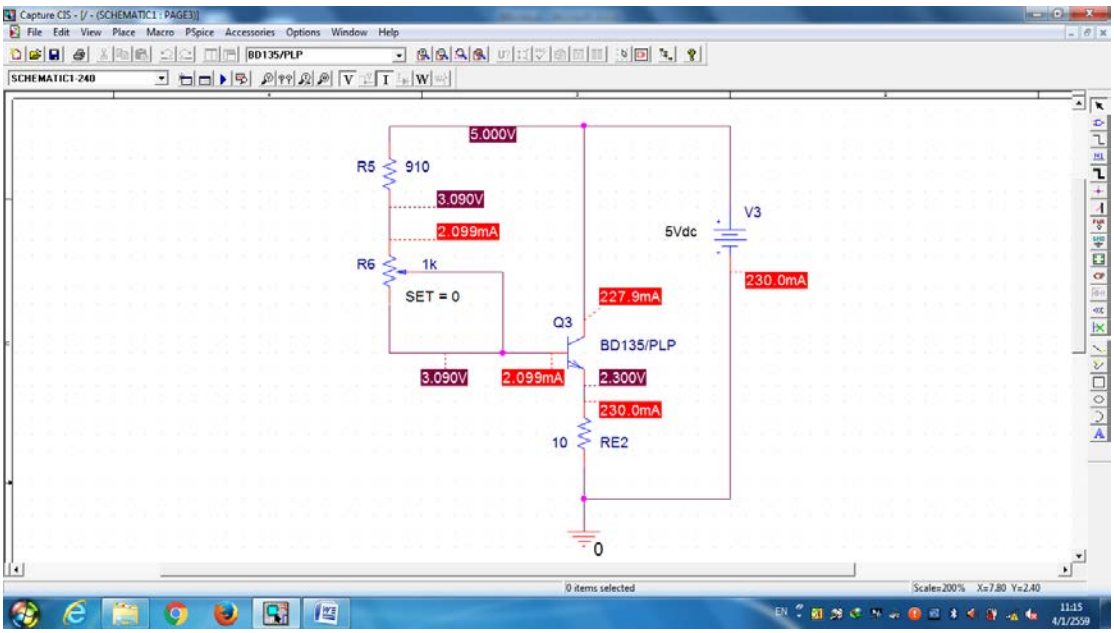
4.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบกระแสอ้างอิง พิสัย 250 mA โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.89



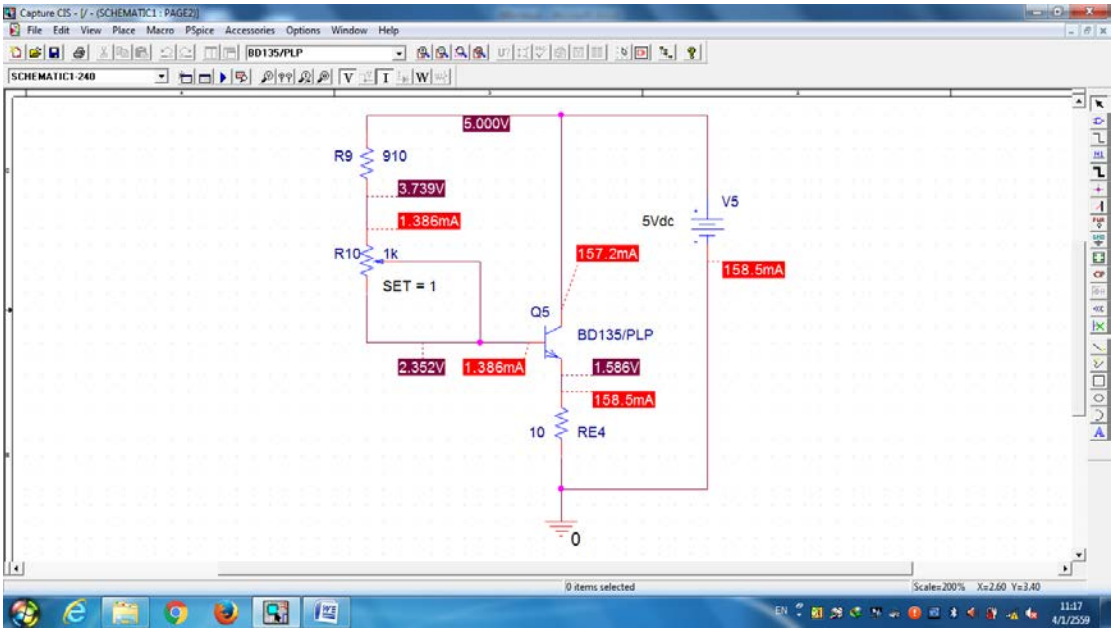
รูปที่ 3.90 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref}= 184.0mA

จากรูปที่ 3.90 แสดงผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 184.0mA เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 910 Ω 1% 1/4 Wตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 1 kΩR_E= 10 Ω1% 1 W ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD135 และต้องปรับค่า set = 0.525 เพื่อให้ได้ค่ากระแสอ้างอิง 184.0mA

จากรูปที่ 3.91 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 184.0mA ต้องปรับค่า set = 0 ซึ่งได้ค่า I_{max}=227.9mA การแกว่งของกระแสด้านบวกมีค่าร้อยละ $\frac{227.9\,\text{mA} - 184.0\text{mA}}{184.0\,\text{mA}} \times 100 = 23.85$



รูปที่ 3.91 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max}



รูปที่ 3.92 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min}

จากรูปที่ 3.92 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 184.0mA ต้องปรับค่า set = 1 ซึ่งได้ค่า I_{min}=157.2 mA การแกว่งของกระแสด้านลบมีค่า ร้อยละ

$$\frac{157.2\,\text{mA} - 184.0\text{mA}}{184.0\,\text{mA}} \times 100 = -14.56$$

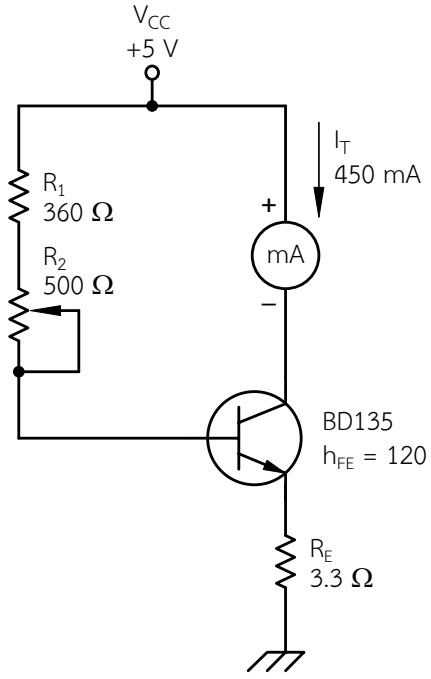
4.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสด้านบวกและด้านลบ ตามรูปที่ 3.90-3.92 ผลที่ได้อยู่ในขอบเขตการออกแบบ ดังตารางที่ 3.16 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ตารางที่ 3.16 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 184.0 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	20	-20
จำลองสถานการณ์	23.85	-14.56
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

5) สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 10 Aและดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ พิสัย 10 A

5.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสอ้างอิง I_{ref} = 450.0 mA เนื่องจากตัวต้านทาน R_T เป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่าเท่ากับ 450.0 mA เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ ตามวงจรรูปที่ 3.93



รูปที่ 3.93 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างกระแสอ้างอิง 450.0 mA

5.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแสอ้างอิง ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±30% ตามวงจรรูปที่ 3.93 การแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.3 ×450 mA = 135 mA เพื่อหาค่า R_2 ดังนี้

I_{max} = 450 mA + 135mA = 585 mA

I_{min} = 450 mA – 135mA = 135 mA

ที่$I_{C\,(max)}$ = 585 mA

$$I_{B(max)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{585\,mA}{120} = 4.875\ mA$$

$$R_E = \frac{V_{CC}}{I_{C(max)}} = \frac{5\,V}{585\,mA} = 8.54\ \Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 3.3 Ω

$P_{RE} = I_T^2 R_E = (450\ mA)^2 \times 3.3\ \Omega = 668.25\ mW$

∴ P_{RE} = 668.25 mW×3 = 2 W เลือกค่ามาตรฐาน 3.3 Ω1% 2 W

หมายเหตุ: R_E ควรเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ประมาณกึ่งกลางเส้นโหลดกระแสตรง

จาก $I_{B(max)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$$4.875\ mA = \frac{5\,V - 0.7V}{R_1 + (3.3\,\Omega \times 120)}$$

$$R_1 + 396 = \frac{4.3\,V}{4.875\,mA}$$

R_1 = 882 – 396

∴ R_1 = 486 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 360 Ω 1% 1/4 W

$I_{C\,(min)} = I_{min}$ = 315 mA

$$I_{B(min)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{315\,mA}{120} = 2.625\ mA$$

เมื่อ $I_{B(min)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_2 + R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$$2.625\ mA = \frac{5\,V - 0.7V}{R_2 + 360\Omega + (3.3\,\Omega \times 120)}$$

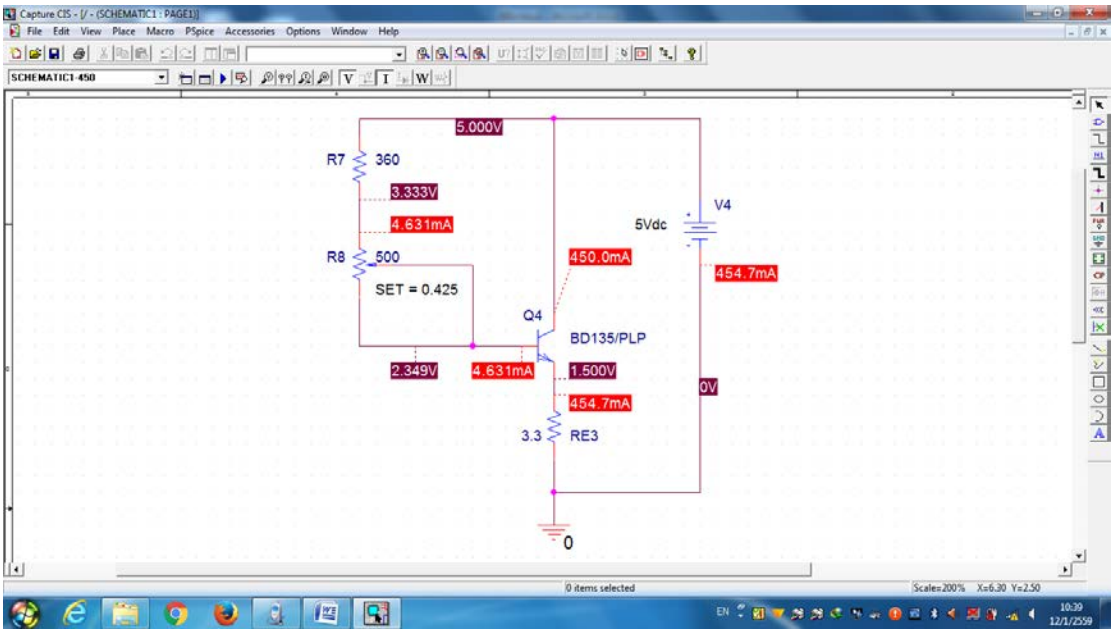
$$R_2 + 756 = \frac{4.3\,V}{2.625\,mA}$$

R_2 = 1638 – 756

∴ R_2 = 882 Ω เลือกค่ามาตรฐาน 500 Ω

หมายเหตุ: ควรเลือกค่า R_2 ให้ต่ำกว่าค่าที่คำนวณ เนื่องจากกรณีนี้ได้กำหนดการแกว่งตัวของค่ากระแสที่ค่าสูงสุด = ±30%

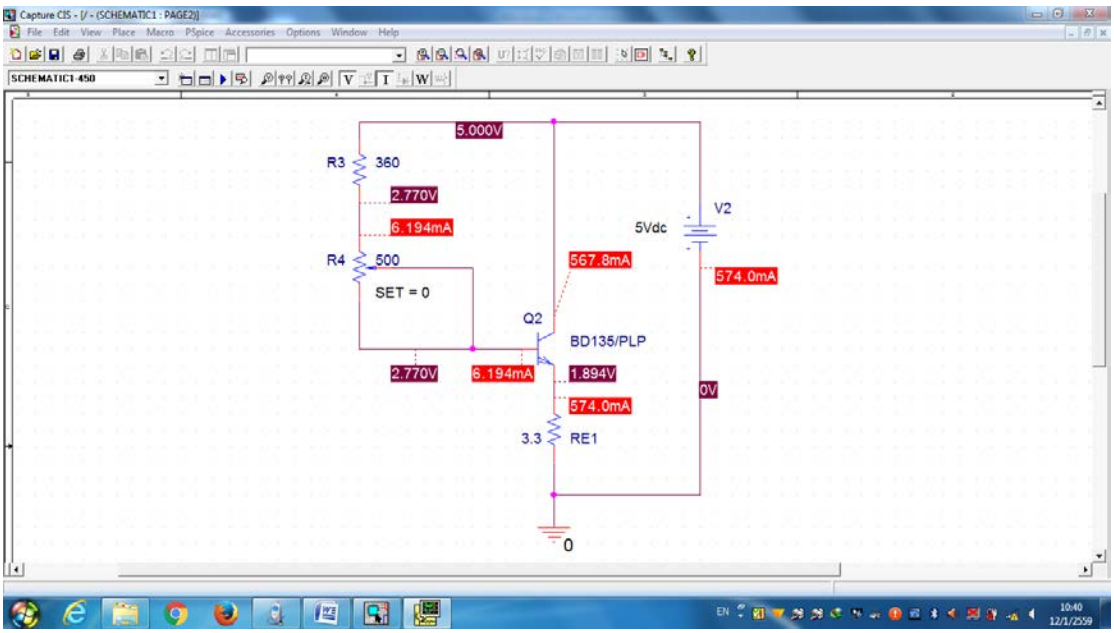
5.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบกระแสอ้างอิง พิสัย 10 A สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยและพิสัย 10 A สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.93



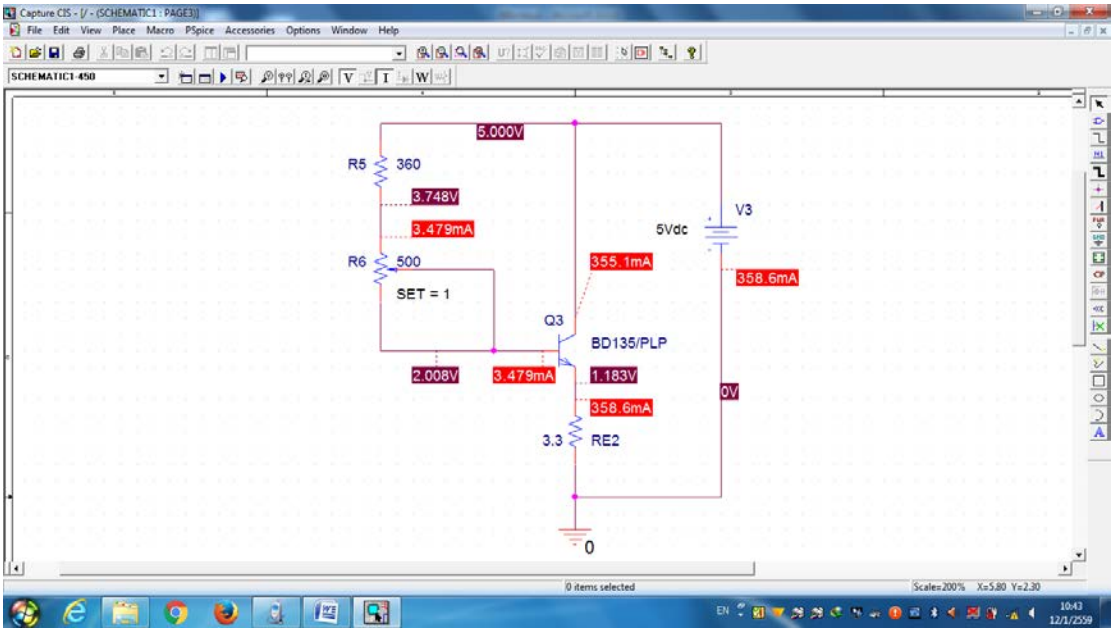
รูปที่ 3.94 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{ref}= 450.0mA

จากรูปที่ 3.94แสดงผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 450.0mA เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 360 Ω 1% 1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 500 ΩR_E= 3.3 Ω1% 2 W ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD135 ต้องปรับค่า set = 0.425 เพื่อให้ได้ค่ากระแสอ้างอิง 450.0mA

จากรูปที่ 3.95แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 450.0mA ต้องปรับค่า set = 0 ซึ่งได้ค่า I_{max}=567.8mA การแกว่งของกระแสด้านบวกมีค่า ร้อยละ $\frac{567.8\,\text{mA} - 450.0\text{mA}}{450.0\,\text{mA}} \times 100$= 26.17



รูปที่ 3.95 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{max}



รูปที่ 3.96 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min}

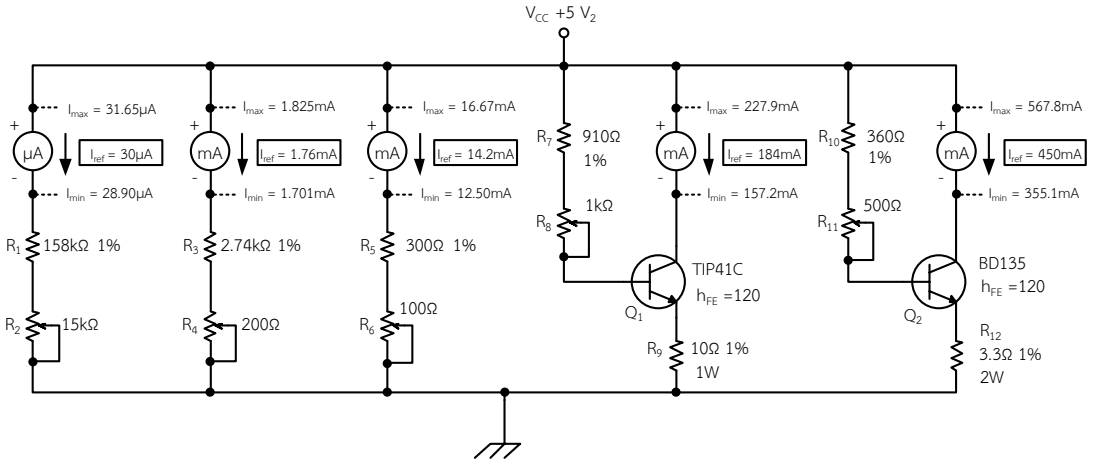
จากรูปที่ 3.96 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{min} จากการออกแบบกระแสอ้างอิง 450.0mA ต้องปรับค่า set = 1 ซึ่งได้ค่า I_{min}=355.1 mA การแกว่งของกระแสด้านลบมีค่า ร้อยละ

$$\frac{355.1\,\text{mA} - 450.0\text{mA}}{450.0\,\text{mA}} \times 100 = -21.08$$

5.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสด้านบวกและด้านลบ ตามรูปที่ 3.95-3.97 ผลที่ได้อยู่ในขอบเขตการออกแบบ ดังตารางที่ 3.17 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ตารางที่ 3.17 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสอ้างอิง 450.0 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±3 ถึง ±30	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
จำลองสถานการณ์	26.17	-21.08
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต



รูปที่ 3.97 ชุดวงจรแบ่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรง $+5V_2$

จากรูปที่ 3.97 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{in}+$5V_2$ จากรูปที่ 3.52 นำมาแบ่งกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ คือ 30μA, 1.76 mA, 14.2mA โดยใช้หลักการกำจัดกระแสของตัวต้านทาน อีกส่วนหนึ่งคือ 184mA และ 450mA ซึ่งเป็นกระแสที่สูงต้องอาศัยทรานซิสเตอร์เป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสแทน เพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

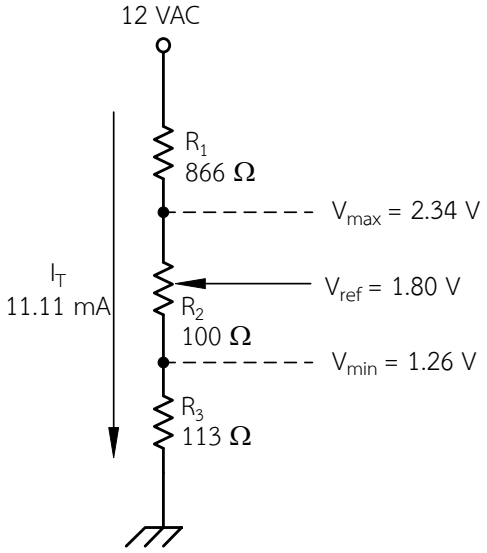
4.5 การออกแบบแรงดันอ้างอิงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

1) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 2.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 V

1.1)กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 1.8 VAC ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV = ±30% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.97 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.3 x 1.8 V = 0.54 V

V_{max} = 1.8 V + 0.54 V = 2.34 V

V_{min} = 1.8 V - 0.54 V = 1.26 V



รูปที่ 3.98 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 1.80 VAC

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) สามารถหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tโดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิงไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด

เมื่อ I_mคือ กระแสที่ไหลผ่านมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หาค่าจากแรงดันอ้างอิงที่ต้องการวัดต่อค่าความต้านทานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์

R_m คือ ความต้านทานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์หาจากความไวของแอนะลอกมัลติมิเตอร์

พิสัย ACV คูณกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ต้องการวัด

$$R_m = (9k\Omega/V) \times 1.80\ V = 16.2\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{1.80\ V}{16.2\ k\Omega} = 0.11\ mA$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 0.11\ mA = 11.11\ mA$$

1.2)หาค่าความต้านทาน R_1,R_2และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{ac} - V_{max}}{I_T} = \frac{12\ V - 2.34\ V}{11.11\,mA} = 869.48\ \Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 866 Ω 1% 1/4 W

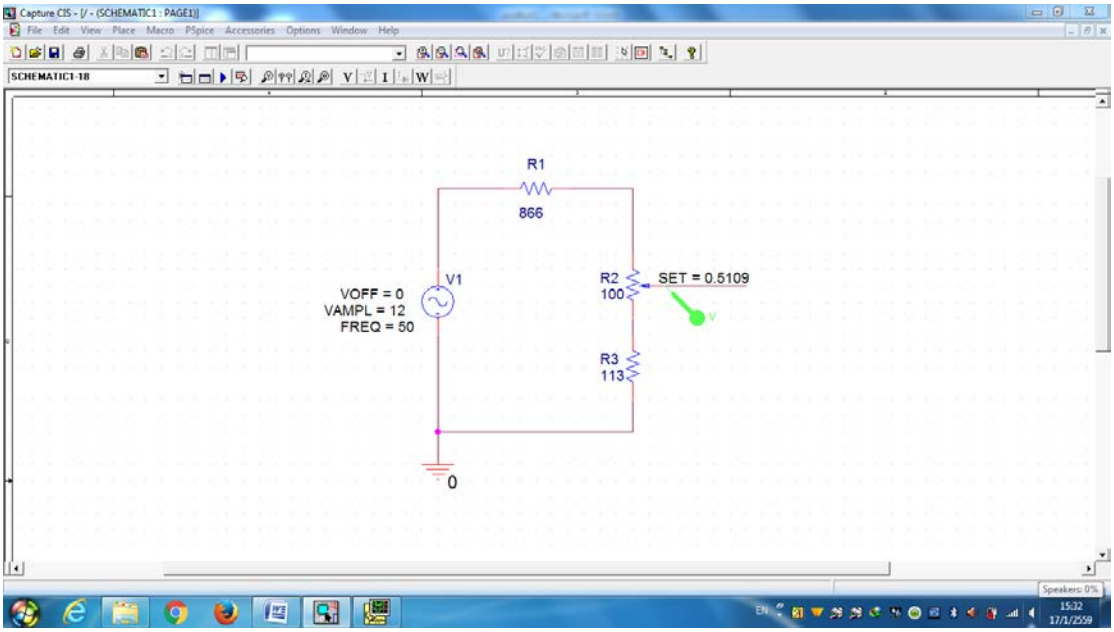
$$R_2 = \frac{\Delta V}{I_T} = \frac{V_{max} - V_{min}}{I_T} = \frac{2.34\ V - 1.26\ V}{11.11\,mA} = 97.20\ \Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 100 Ω

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{1.26\ V}{11.11\,mA} = 113.41\ \Omega$$

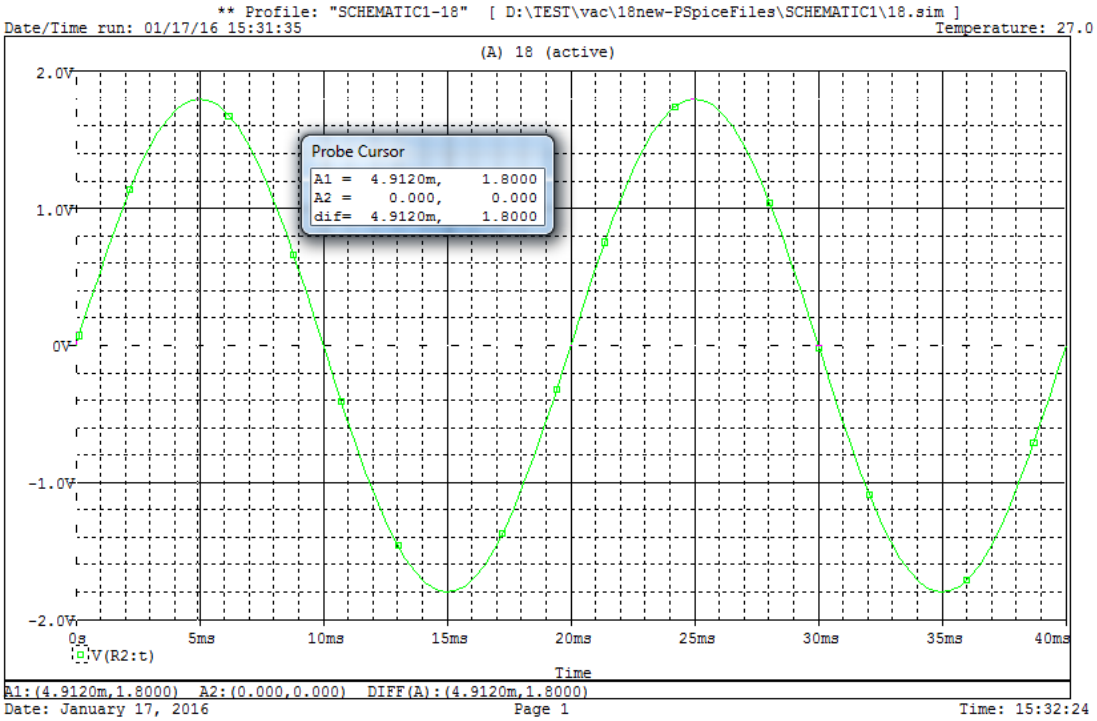
เลือกค่ามาตรฐาน 113 Ω 1% 1/4 W

1.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 1.80 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.98

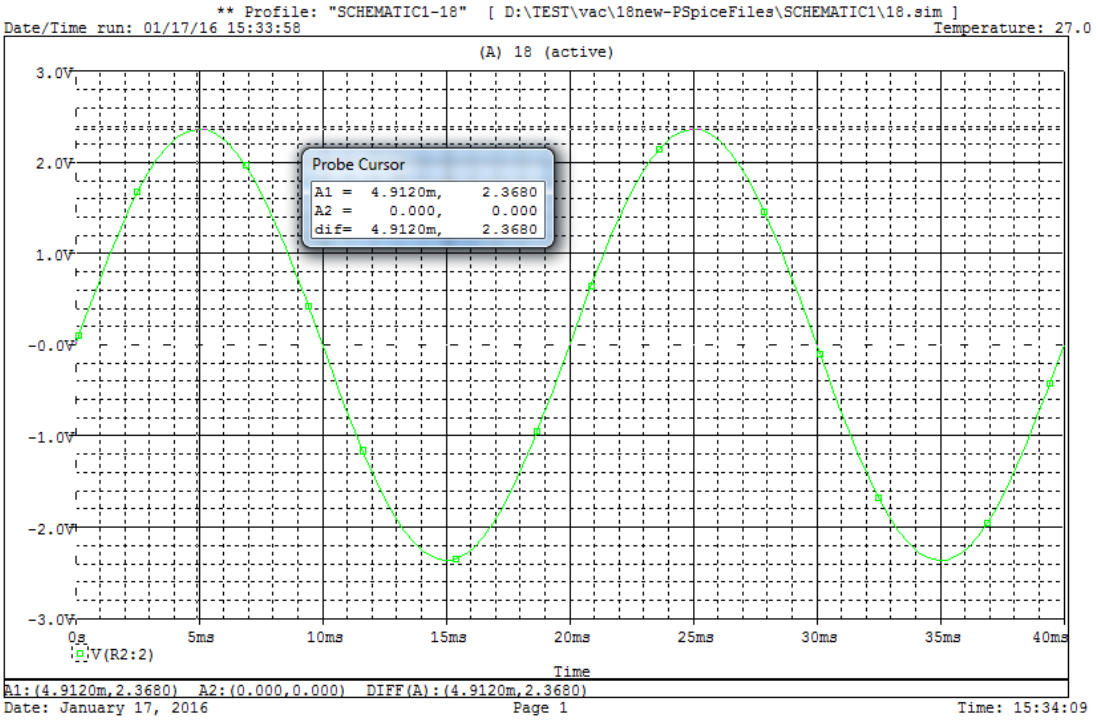


รูปที่ 3.99 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะไม่มีโหลด

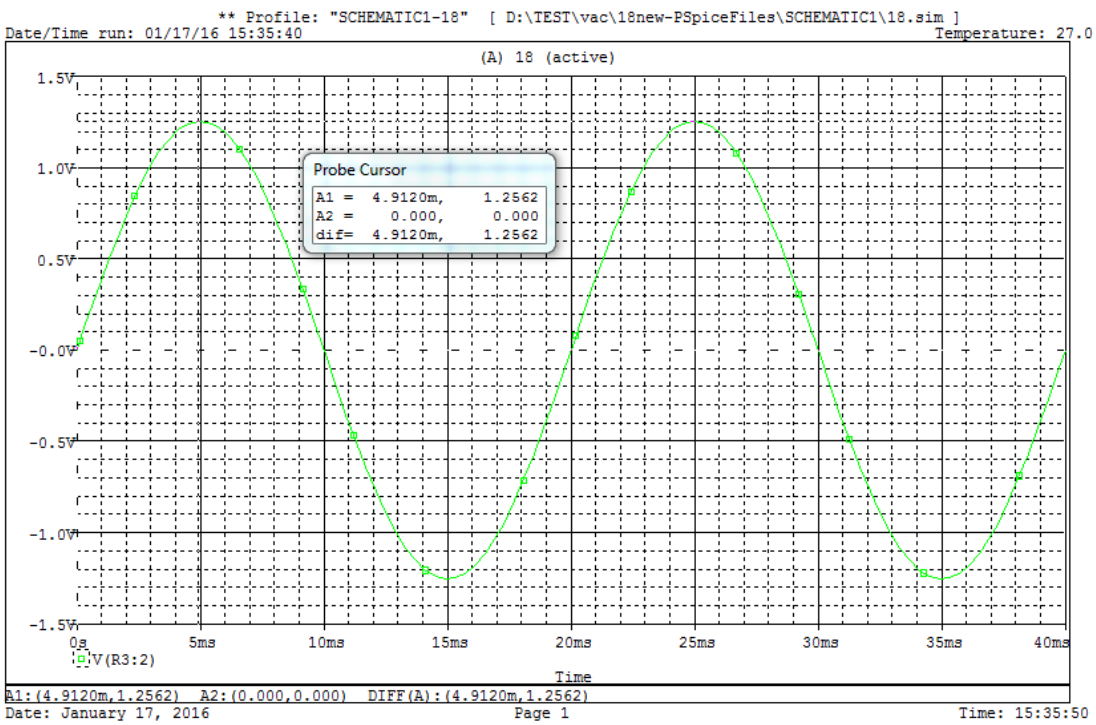
จากรูปที่ 3.99 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.5109 เพื่อให้ได้แรงดันอ้างอิง 1.80 V ตามรูปที่ 3.100จากรูปที่ 3.101 ผลจากการจำลองได้ค่าแรงดันสูงสุดมีค่า 2.36 V และจากรูปที่ 3.102 ผลจากการจำลองได้ค่าแรงดันต่ำสุดมีค่า 1.2562 V การปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ได้ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{2.36\text{ V} - 1.80\text{V}}{1.80\text{ V}} \times 100$ = 31.11 และการแกว่งของแรงดันด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{1.2562\text{ V} - 1.80\text{V}}{1.80\text{ V}} \times 100$ = -30.20



รูปที่ 3.100 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะไม่มีโหลด

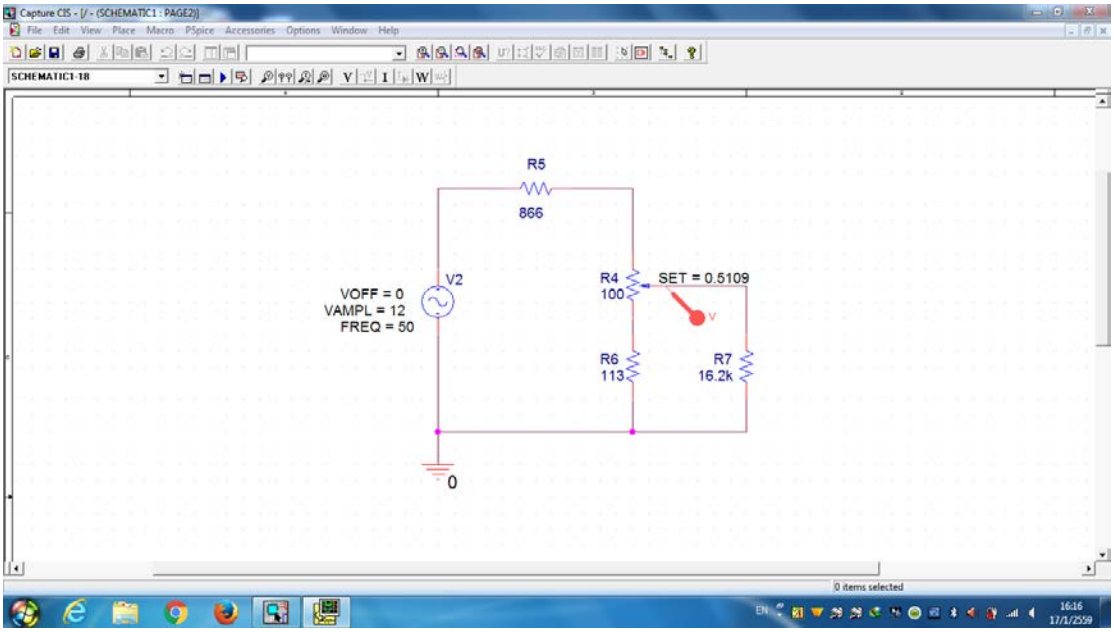


รูปที่ 3.101 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 2.368 V



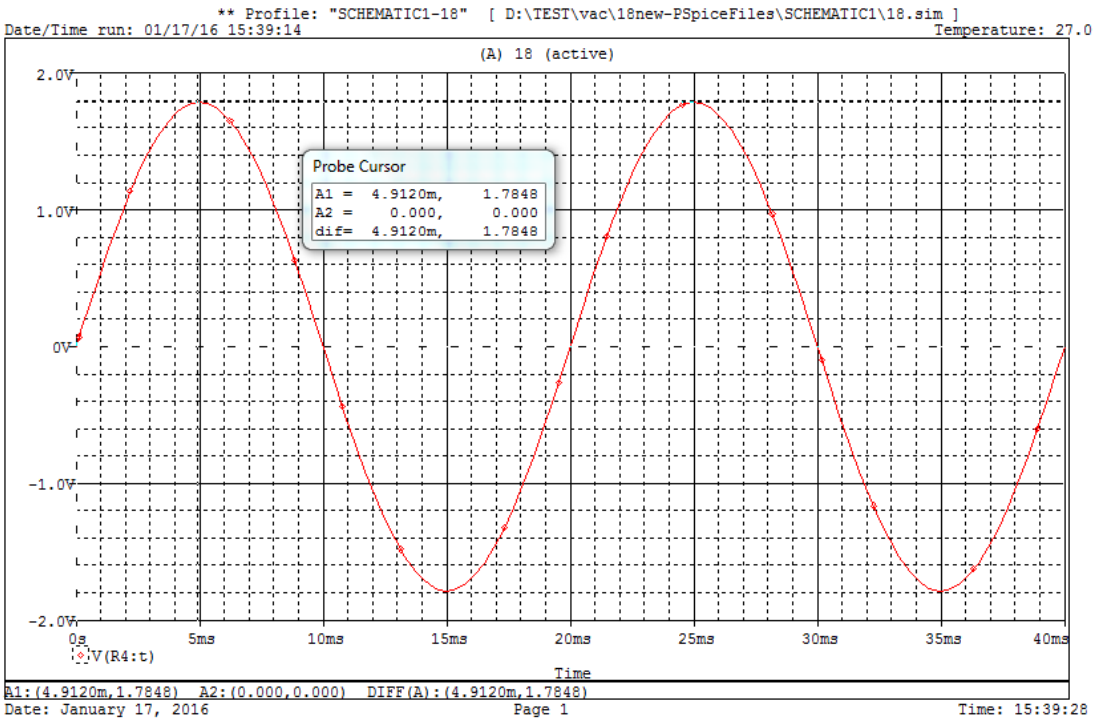
รูปที่ 3.102 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 1.2562 V

การต่อโหลด R_m เข้าในวงจรดังรูปที่ 3.103 เพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลด ซึ่งจะต้องมีค่าแรงดันต่ำกว่าขณะไม่มีโหลดไม่เกิน ร้อยละ -1 จากการจำลองตามรูปที่ 3.103 ทำให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลดมีค่า 1.7848 V แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 3.104



รูปที่ 3.103 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.103 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะมีโหลด ผลที่ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 1.7848 V ตามรูปที่ 3.104 และแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดความคลาดเคลื่อนคิดเป็น ร้อยละ $\frac{1.7848\,\text{V} - 1.80\text{V}}{1.80\,\text{V}} \times 100 = -0.84$



รูปที่ 3.104 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 1.80 V ในสภาวะมีโหลด

1.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 30 ดังรูปที่ 3.99 ได้ผลตามตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 1.80 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
จำลองสถานการณ์	31.11	-30.20
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.18 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 30 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

1.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด คลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังรูปที่ 3.99 และ 3.103

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{1.7848\ \text{V} - 1.80\text{V}}{1.80\ \text{V}} \times 100$ = -0.84

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.84 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

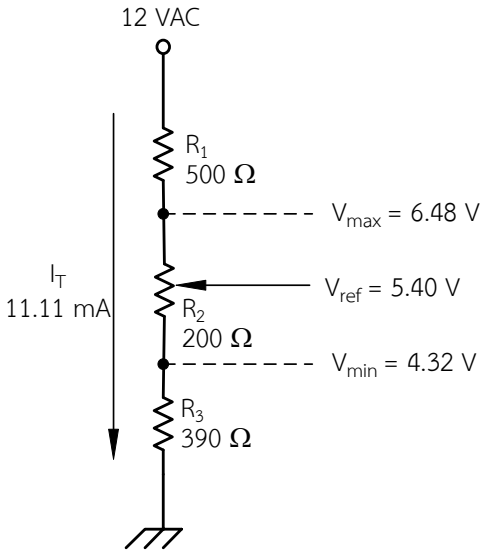
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 2.5 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 V ที่แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 1.80 V เลือกใช้ค่ามาตรฐาน R_1 = 866 Ω 1% 1/4 W ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_2= 100 Ω และ R_3= 113 Ω 1% 1/4 W

2) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 10 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V

2.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 5.4 VAC ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV = ±20% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.105 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.2 x 5.4 V = 1.08 V

V_{max} = 5.4 V + 1.08 V = 6.48 V

V_{min} = 5.4 V - 1.08 V = 4.32 V



รูปที่ 3.105 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 5.40 VAC

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) สามารถหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tโดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิงไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด

$$R_m = (9\ k\Omega/V) \times 5.40\ V = 48.6\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{5.40\ V}{48.6\ k\Omega} = 0.111\ mA$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 0.11\ mA = 11.11\ mA$$

2.2)หาค่าความต้านทาน R_1,R_2และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{aC} - V_{max}}{I_T} = \frac{12\ V - 6.48\ V}{11.11\ mA} = 496.84\ \Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 500 Ω

$$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (11.11\ mA)^2 \times 500\ \Omega = 61.7\ mW$$

$$\therefore P_{R1} = 61.7\ mW \times 4 = 246.8\ mW$$

เลือกค่ามาตรฐาน 500 Ω 1% 1/4 W

$$R_2 = \frac{\Delta V}{I_T} = \frac{V_{max} - V_{min}}{I_T} = \frac{6.48\ V - 4.32\ V}{11.11\ mA} = 194.41\ \Omega$$

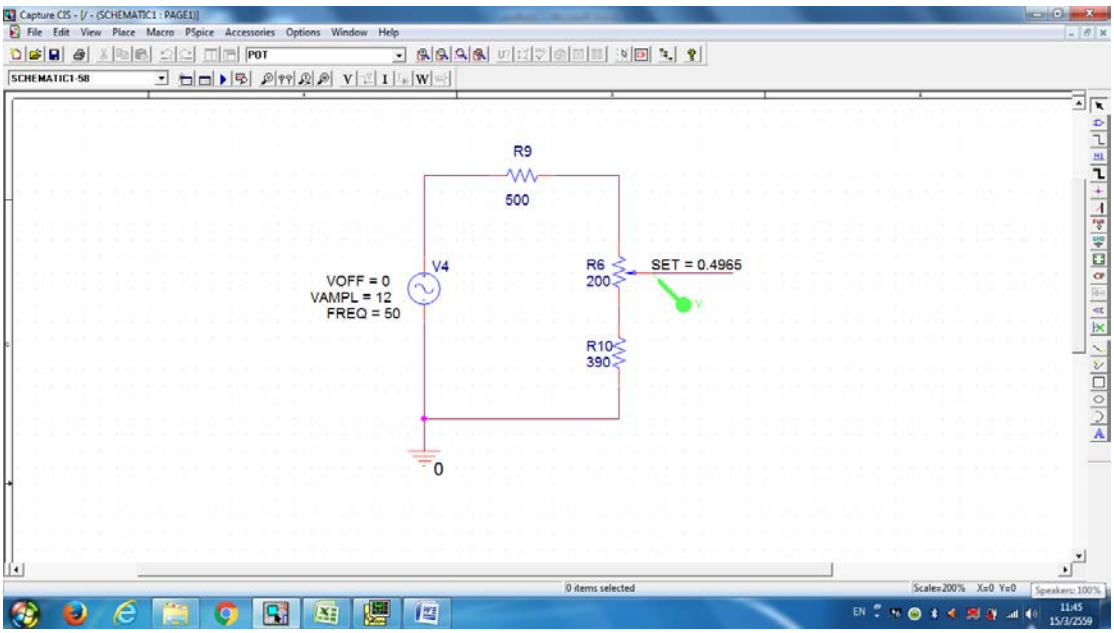
เลือกค่ามาตรฐาน 200 Ω

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{4.32\ V}{11.11\ mA} = 389\ \Omega$$

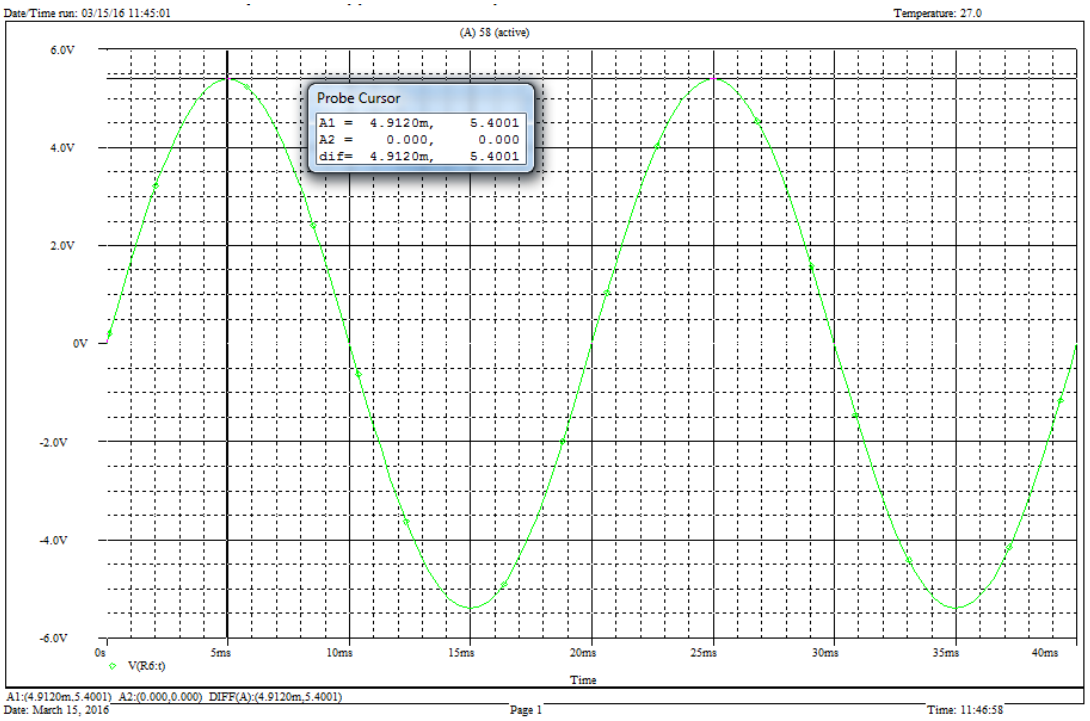
เลือกค่ามาตรฐาน 390 Ω 1% 1/4 W

2.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 5.40 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.105

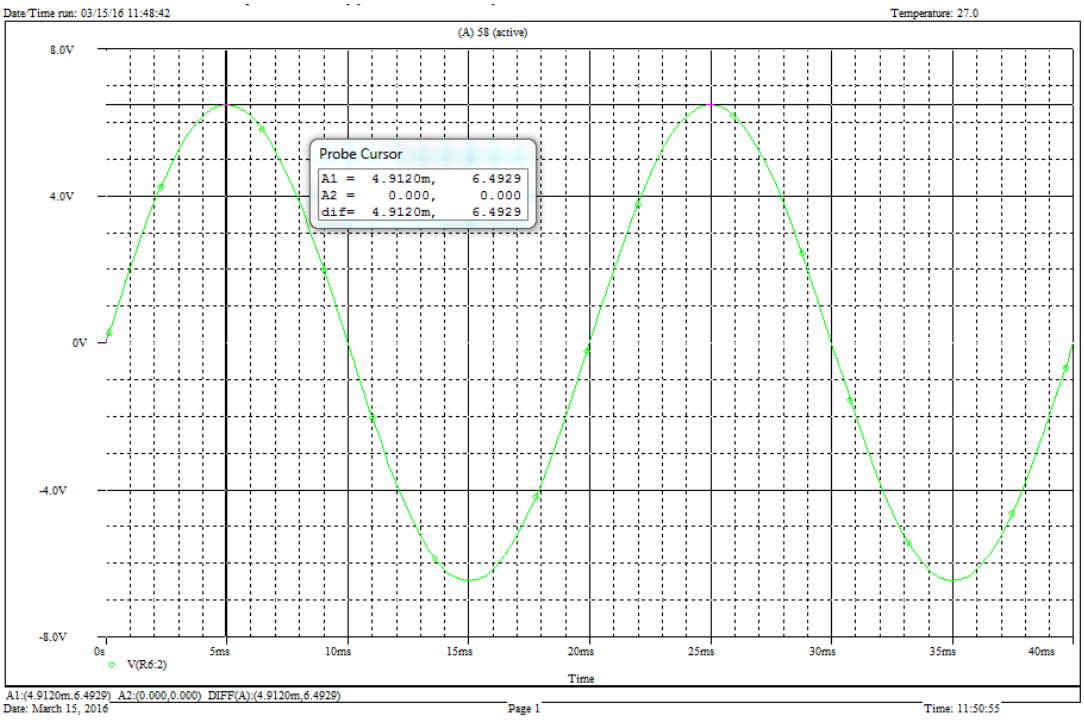
จากรูปที่ 3.106 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.4965 เพื่อให้ได้แรงดันอ้างอิง 5.40 V ตามรูปที่ 3.107 จากรูปที่ 3.108 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันสูงสุดมีค่า 6.4929 V และจากรูปที่ 3.109 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันต่ำสุดมีค่า 4.2919 V การปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิงได้ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{6.4929\ V - 5.40 V}{5.40\ V} \times 100 = 20.23$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{4.2919\ V - 5.40 V}{5.40\ V} \times 100 = -20.52$



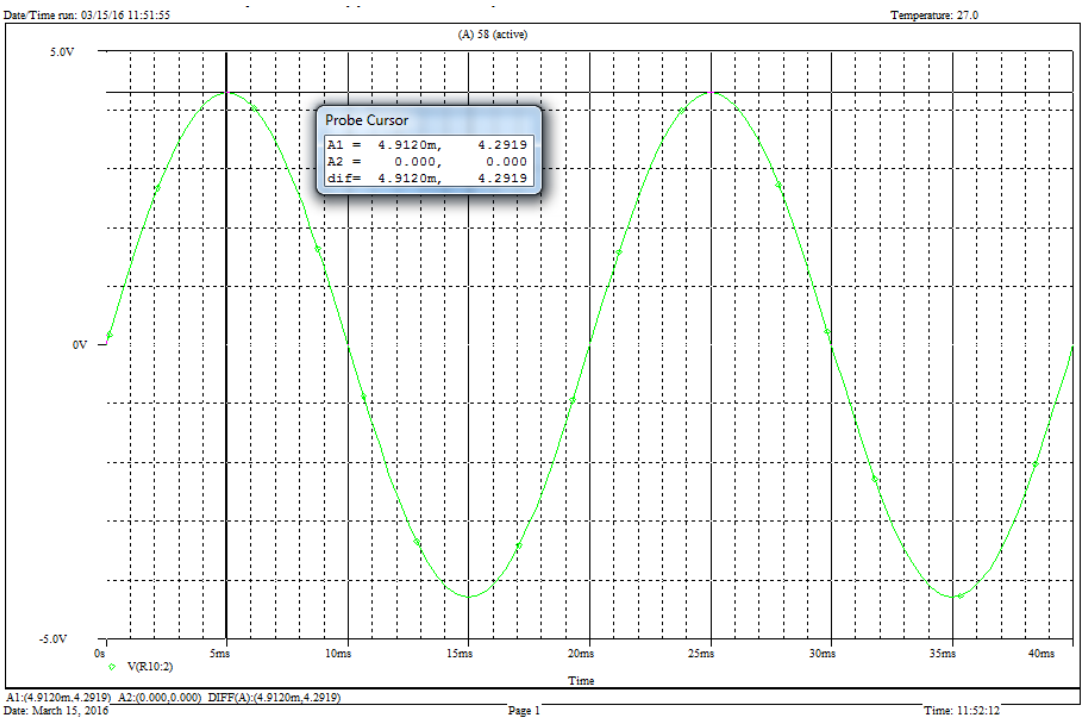
รูปที่ 3.106 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะไม่มีโหลด



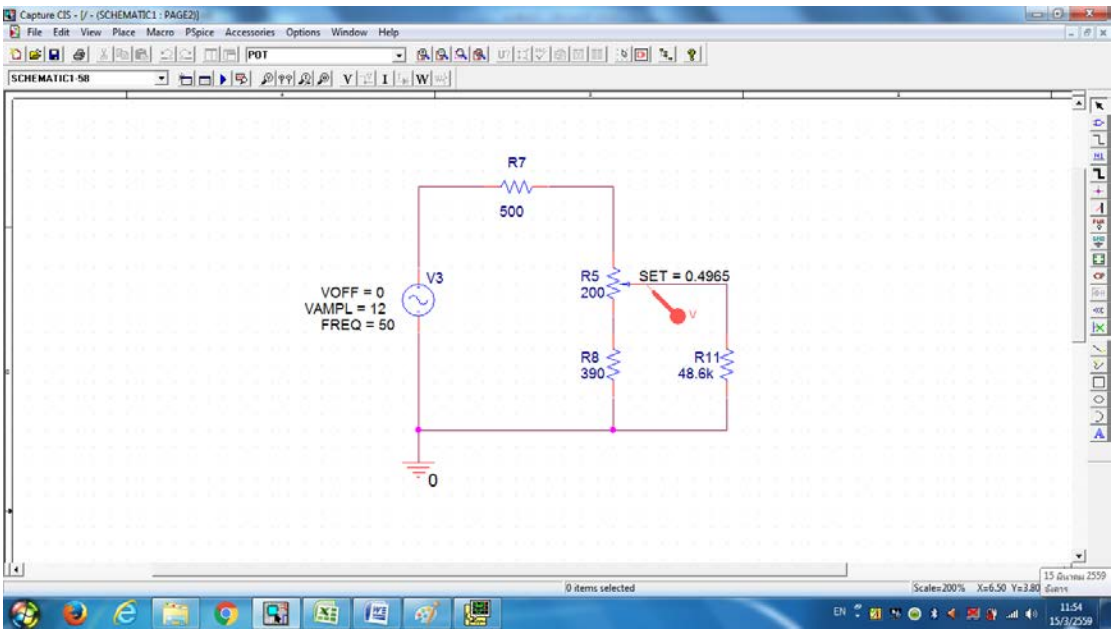
รูปที่ 3.107 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะไม่มีโหลด



รูปที่ 3.108 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 6.4929 V

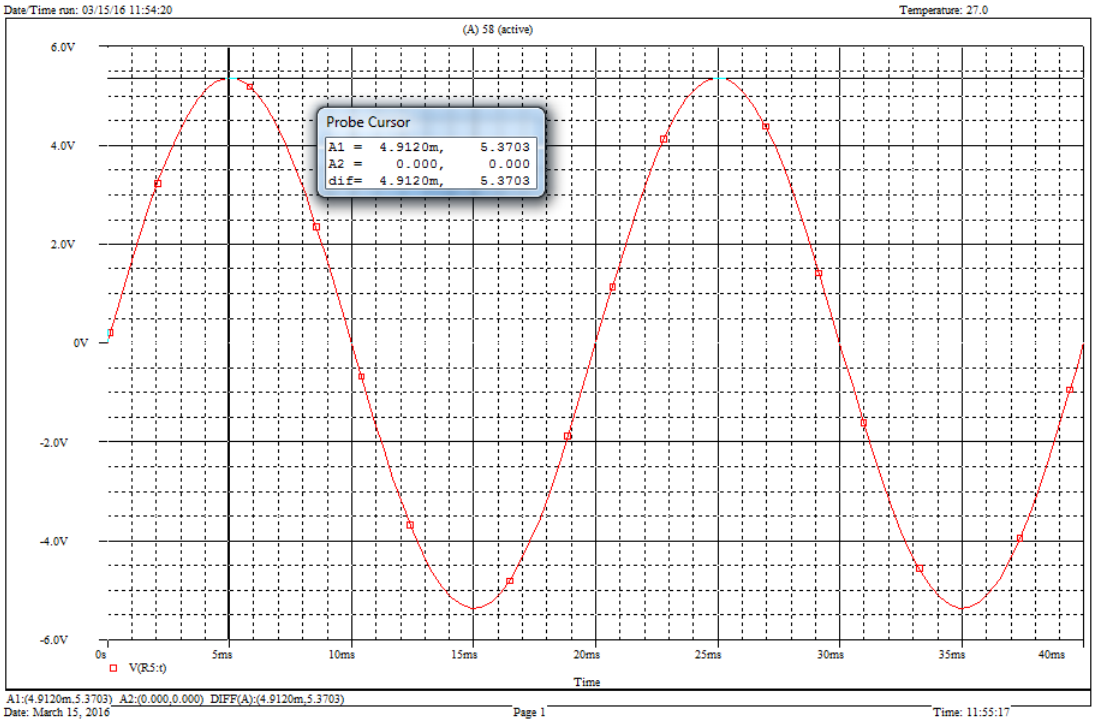


รูปที่ 3.109 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 4.2919 V



รูปที่ 3.110 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.110 ทำการต่อโหลด R_mเข้าในวงจร เพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลด ซึ่งจะต้องมีค่าแรงดันต่ำกว่าขณะไม่มีโหลดไม่เกิน ร้อยละ -1 ผลการจำลองทำให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลดมีค่า 5.3703 V ตามรูปที่ 3.111



รูปที่ 3.111 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.110-3.111 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 5.40 V ในสภาวะมีโหลดผลที่ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 5.3703 V แรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดความคลาดเคลื่อนคิดเป็น ร้อยละ $\frac{5.3703\,\text{V} - 5.40\text{V}}{5.40\,\text{V}} \times 100 = -0.55$

2.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 20 ดังรูปที่ 3.106 ได้ผลตามตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 5.40 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	20	-20
จำลองสถานการณ์	20.23	-20.52
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

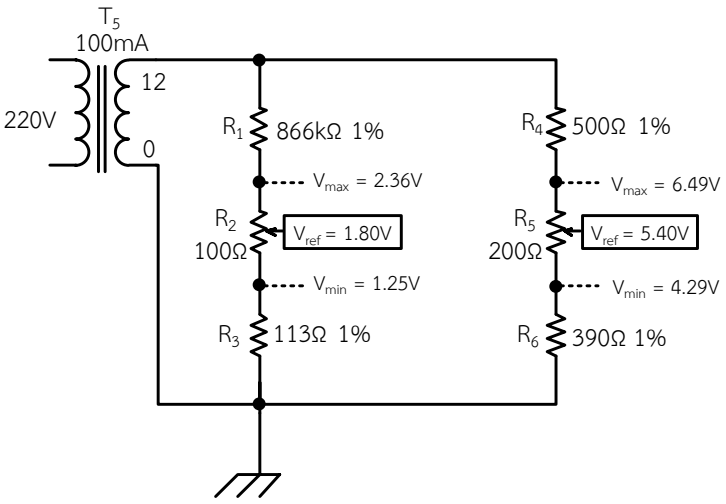
จากตารางที่ 3.19 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 20 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

2.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิง กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังรูปที่ 3.106 และ 3.110

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{5.3703\,\text{V} - 5.40\text{V}}{5.40\,\text{V}} \times 100 = -0.55$

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.55 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 10 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 20 V ที่แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 5.40 V เลือกใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน R_1 = 500 Ω 1% 1/4 W ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_2= 200 Ω และ R_3= 390 Ω 1% 1/4 W



รูปที่ 3.112 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $12V_{AC}$

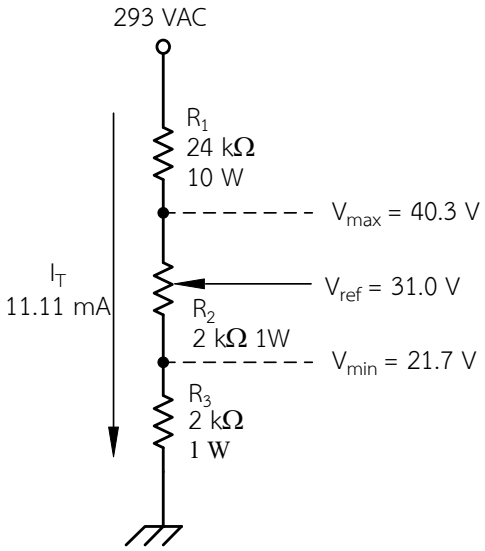
จากรูปที่ 3.112 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงโดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $V_{in}12V_{AC}$ จากหม้อแปลง 12V โดยตรงมาใช้แบ่งแรงดันตามความต้องการที่ $1.80V_{AC}$ และ $5.40V_{AC}$

3) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก พิสัย 50 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 V

3.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 31.0 VAC ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด $\Delta V = \pm 30\%$ เพื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.113 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.3 x 31 V = 9.3 V

V_{max} = 31 V + 9.3 V = 40.3 V

V_{min} = 31 V - 9.3 V = 21.7 V



รูปที่ 3.113 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 31.0 VAC

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) สามารถหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tโดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิงไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด

$$R_m = (9\ k\Omega/V) \times 31.0\ V = 279\ k\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{31.0\ V}{279\ k\Omega} = 111.11\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 0.11\ mA = 11.11\ mA$$

3.2)หาค่าความต้านทาน R_1,R_2และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{aC} - V_{max}}{I_T} = \frac{293\ V - 40.3\ V}{11.11\ mA} = 22.74\ k\Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 24 kΩ

$$R_2 = \frac{\Delta V}{I_T} = \frac{V_{max} - V_{min}}{I_T} = \frac{40.3\ V - 21.7\ V}{11.11\ mA} = 1.674\ k\Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 2 kΩ

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{21.7\ V}{11.11\ mA} = 1.953\ k\Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 2 kΩ

หาค่า I_Tใหม่โดยคำนวณจากค่าความต้านทานมาตรฐานเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า R_1,R_2 และR_3

$$I_T = \frac{V_{ac}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{293\,V}{24\,k\Omega + 2\,k\Omega + 2\,k\Omega} = 10.46\ mA$$

$$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (10.46\ mA)^2 \times 24\ k\Omega = 2.62\ W$$

$\therefore P_{R1} = 2.62\ W \times 4 = 10.48\ W$ เลือกค่ามาตรฐาน R_1 = 24 kΩ 1% 10 W

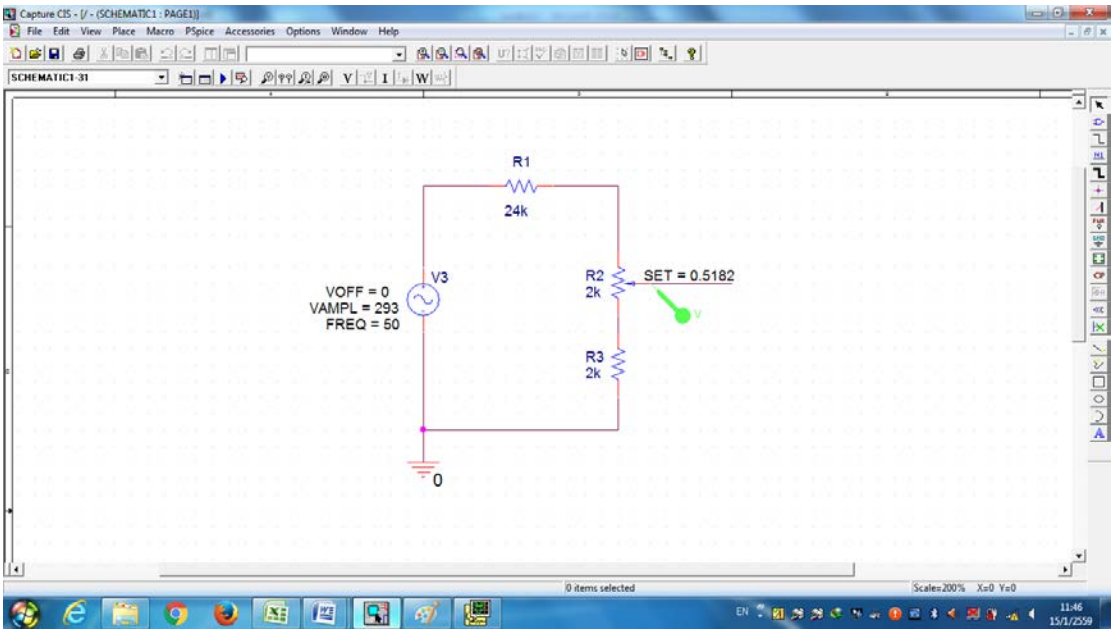
$$P_{R2} = I_T^2 R_2 = (10.46\ mA)^2 \times 2\ k\Omega = 218.82\ mW$$

$\therefore P_{R2} = 218.82\ mW \times 4 = 875.28\ mW$ เลือกค่ามาตรฐาน R_2 = 2 kΩ 1 W

$$P_{R3} = I_T^2 R_3 = (10.46\ mA)^2 \times 2\ k\Omega = 218.82\ mW$$

$\therefore P_{R3} = 218.82\ mW \times 4 = 875.28\ mW$ เลือกค่ามาตรฐาน 2 kΩ 1% 1 W

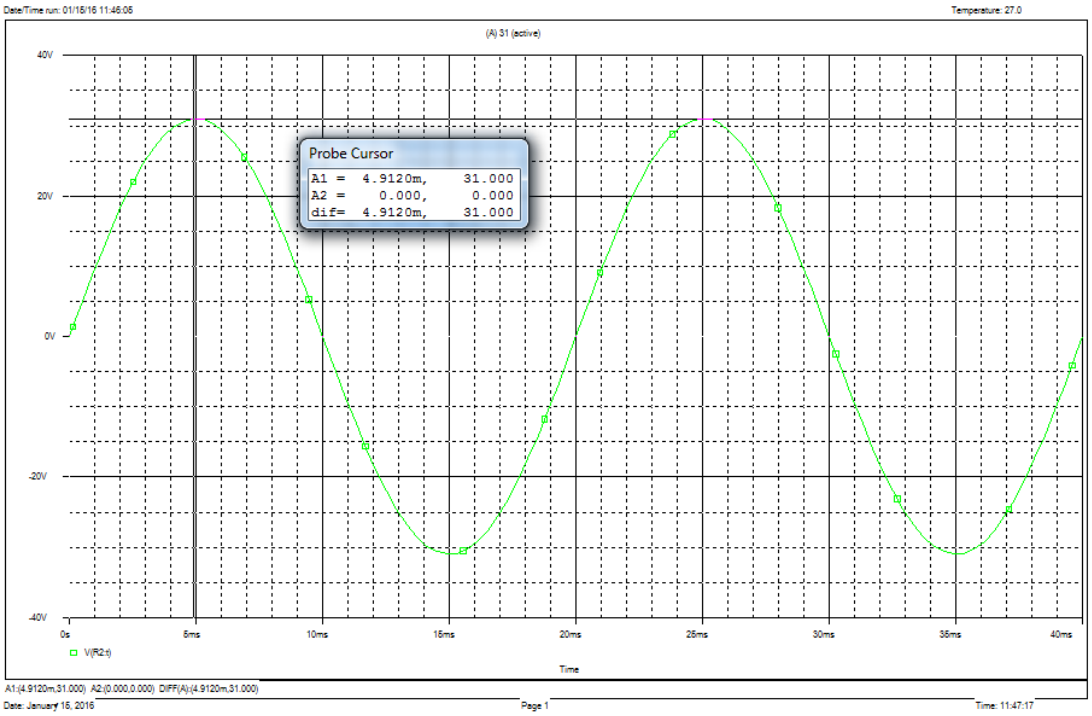
3.3)การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 31.0 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.113



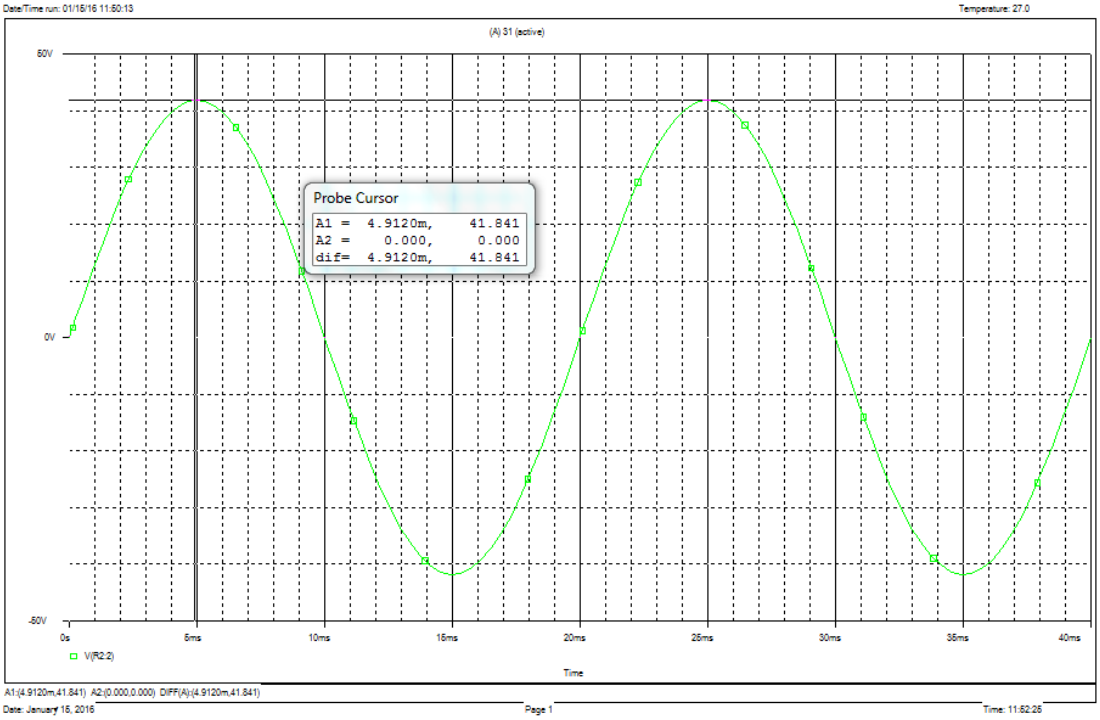
รูปที่ 3.114 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

จากรูปที่ 3.114 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.5182 เพื่อให้ได้แรงดันอ้างอิง 31.0 V ตามรูปที่ 3.115 จากรูปที่ 3.116 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันสูงสุดมีค่า 41.841 V และจากรูปที่ 3.117 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันต่ำสุดมีค่า 20.921 V การปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิงได้ค่าการแกว่งของแรงดัน

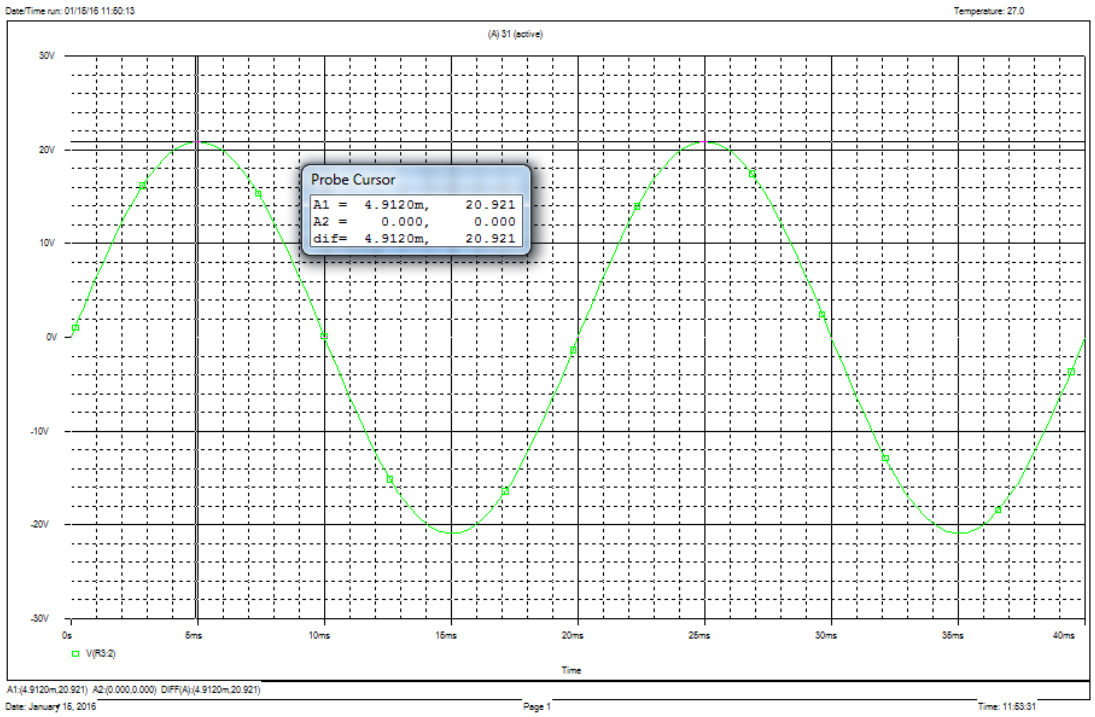
ด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{41.841\,\text{V} - 31.0\text{V}}{31.0\,\text{V}} \times 100 = 34.97$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{20.921\,\text{V} - 31.0\text{V}}{31.0\,\text{V}} \times 100 = -32.51$



รูปที่ 3.115 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

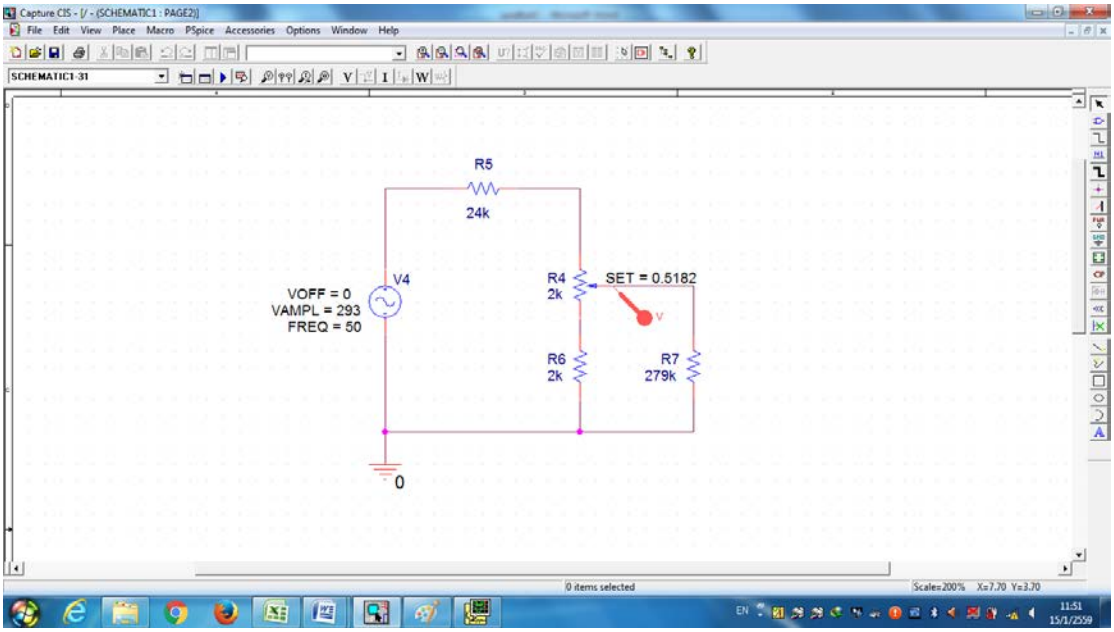


รูปที่ 3.116 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 41.841 V



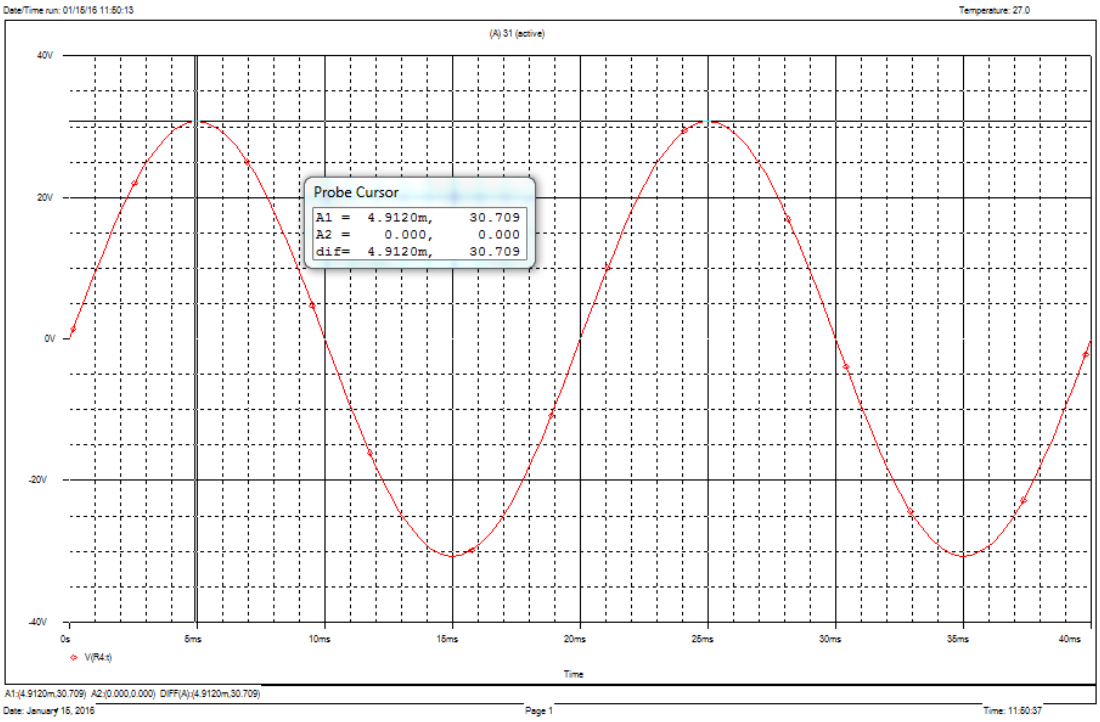
รูปที่ 3.117 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 20.921 V

การต่อโหลด R_m เข้าในวงจรดังรูปที่ 3.118 เพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลด ซึ่งจะต้องมีค่าแรงดันต่ำกว่าขณะไม่มีโหลดไม่เกินร้อยละ -1 จากการจำลองตามรูปที่ 3.118 ทำให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลดมีค่า 30.709 V แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 3.119



รูปที่ 3.118 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.118 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะมีโหลด ผลที่ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 30.709 V ตามรูปที่ 3.119 และแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด มีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็น ร้อยละ $\frac{30.709\,\text{V} - 31.0\text{V}}{31.0\,\text{V}} \times 100 = -0.93$



รูปที่ 3.119 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 31.0 V ในสภาวะมีโหลด

3.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 30 ดังรูปที่ 3.114 ได้ผลตามตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 31.0 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
จำลองสถานการณ์	34.97	-32.51
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 30 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

3.5) วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด คลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังรูปที่ 3.115 และ 3.119

$$\text{คิดเป็น ร้อยละ } \frac{30.709\,\text{V} - 31.0\text{V}}{31.0\,\text{V}} \times 100 = -0.93$$

ผลการวิเคราะห์ผลมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.93 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

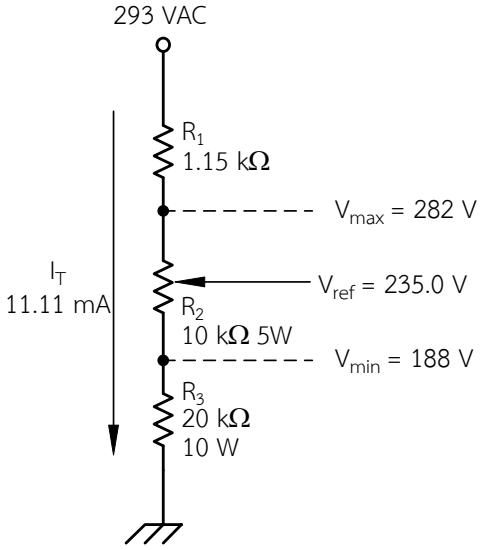
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 50 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 V ที่แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 31.0 V เลือกใช้ค่ามาตรฐาน R_1 = 24 kΩ 1% 10 W ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_2= 2 kΩ1 W และ R_3= 2 kΩ 1% 1 W

4) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 250 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V

4.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 235.0 VAC ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ΔV = ±20% เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.120 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.2 x 235 V = 47 V

V_{max} = 235 V + 47V = 282 V

V_{min} = 235 V - 47V = 188 V



รูปที่ 3.120 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 235.0 VAC

ข้อ 2กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) สามารถหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tโดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิงไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด

$$R_m = (9\ k\Omega/V) \times 235.0\ V = 2.115\ M\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{235.0\ V}{2.115\ M\Omega} = 111.11\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 0.11\ mA = 11.11\ mA$$

4.2)หาค่าความต้านทาน R_1,R_2และ R_3

$$R_1 = \frac{V_{aC} - V_{max}}{I_T} = \frac{293\ V - 282\ V}{11.11\ mA} = 990\ \Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 1.15 kΩ

$$R_2 = \frac{\Delta V}{I_T} = \frac{V_{max} - V_{min}}{I_T} = \frac{282\ V - 188\ V}{11.11\ mA} = 8.46\ k\Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 10 kΩ

$$R_3 = \frac{V_{min}}{I_T} = \frac{188\ V}{11.11\ mA} = 16.92\ k\Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 20 kΩ

หาค่า I_Tใหม่โดยคำนวณจากค่าความต้านทานมาตรฐานเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า R_1,R_2 และR_3

$$I_T = \frac{V_{aC}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{293\ V}{1.15\ k\Omega + 10\ k\Omega + 20\ k\Omega} = 9.406\ mA$$

$$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (9.406\ mA)^2 \times 1.15\ k\Omega = 101.74\ mW$$

เลือกค่ามาตรฐาน R_1 = 1.15 kΩ 1% 1/4 W

$$P_{R2} = I_T^2 R_2 = (9.406\ mA)^2 \times 10\ k\Omega = 884.72\ mW$$

$$\therefore P_{R2} = 884.72\ mW \times 5 = 4.42\ W$$

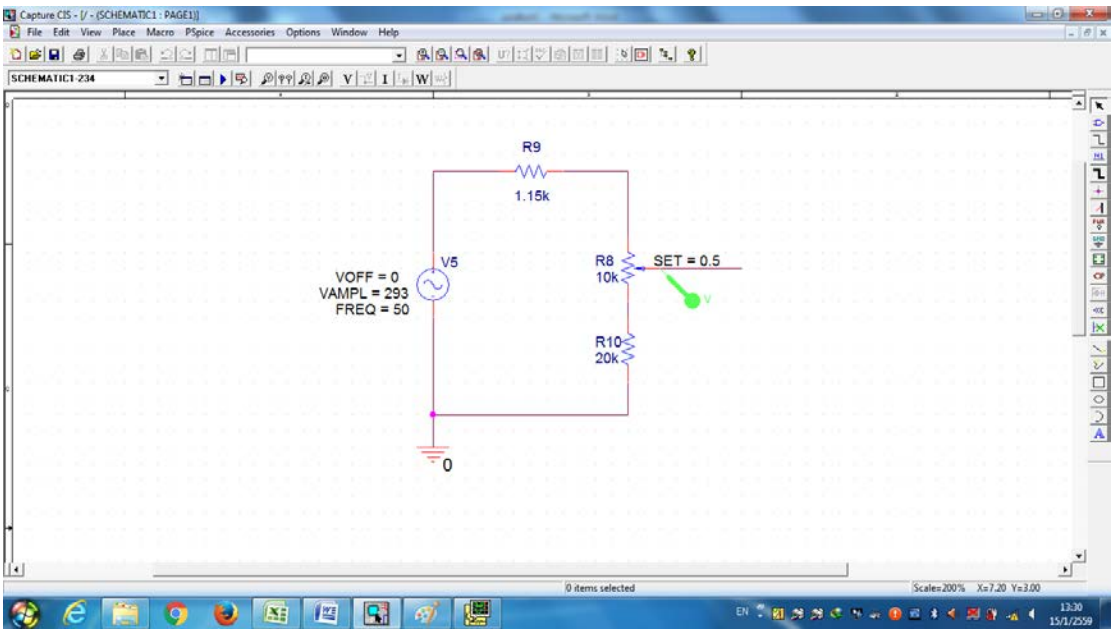
เลือกค่ามาตรฐาน R_2 = 10 kΩ 5 W

$$P_{R3} = I_T^2 R_3 = (9.406\ mA)^2 \times 20\ k\Omega = 1.77\ W$$

$$\therefore P_{R3} = 1.77\ W \times 5 = 8.85\ W$$

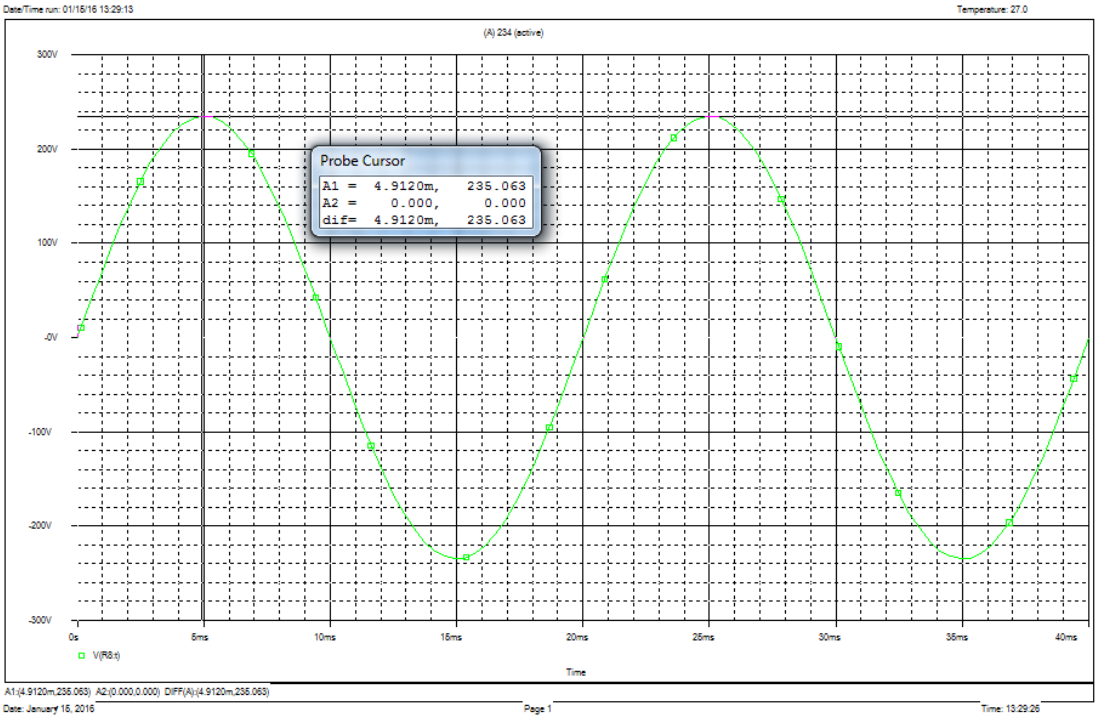
เลือกค่ามาตรฐาน R_3 =20 kΩ 1% 10 W

4.3)การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 235.0 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.120

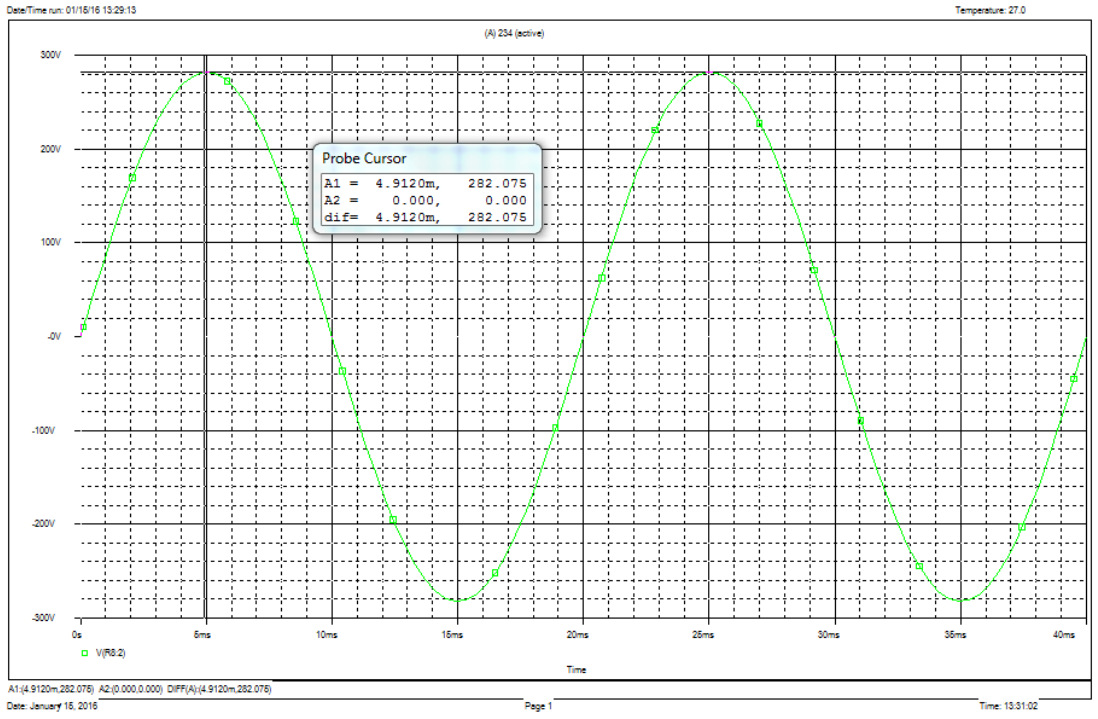


รูปที่ 3.121 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

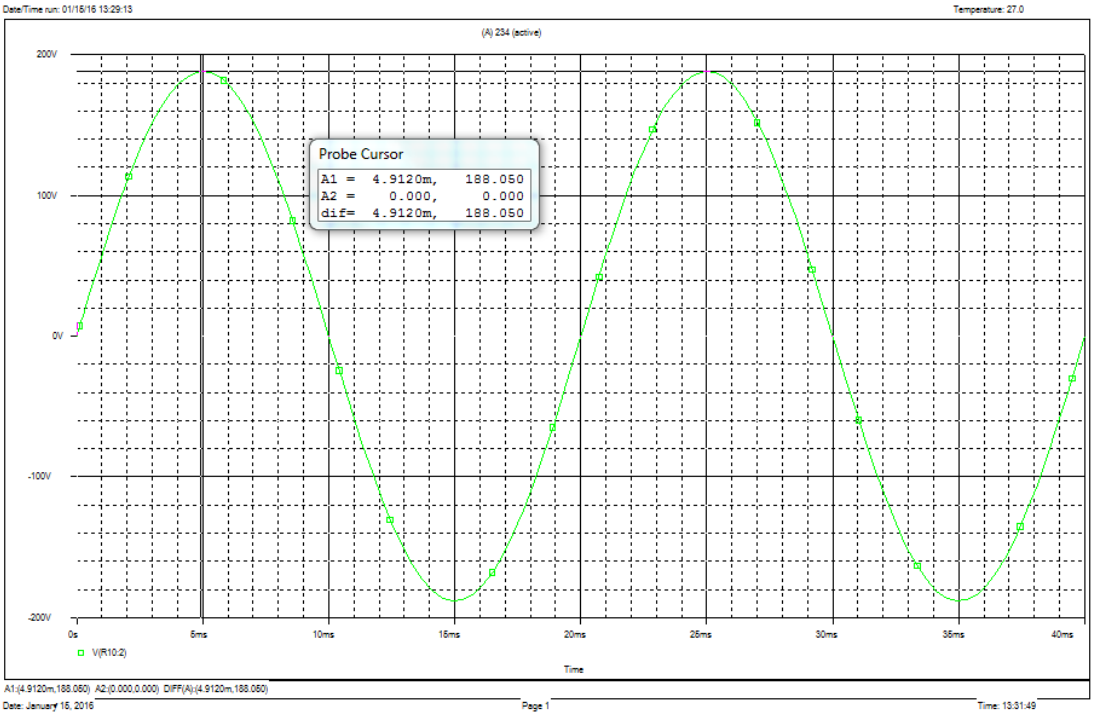
จากรูปที่ 3.121 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.5 เพื่อให้ได้แรงดันอ้างอิง 235.0 V ตามรูปที่ 3.122 จากรูปที่ 3.123 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันสูงสุดมีค่า 282.075 V และจากรูปที่ 3.124 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันต่ำสุดมีค่า 188.05 V การปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ได้ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{282.075\,\text{V} - 235.0\text{V}}{235.0\,\text{V}} \times 100 = 20.03$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบ คิดเป็น ร้อยละ $\frac{188.05\,\text{V} - 235.0\text{V}}{235.0\,\text{V}} \times 100 = -19.97$



รูปที่ 3.122 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

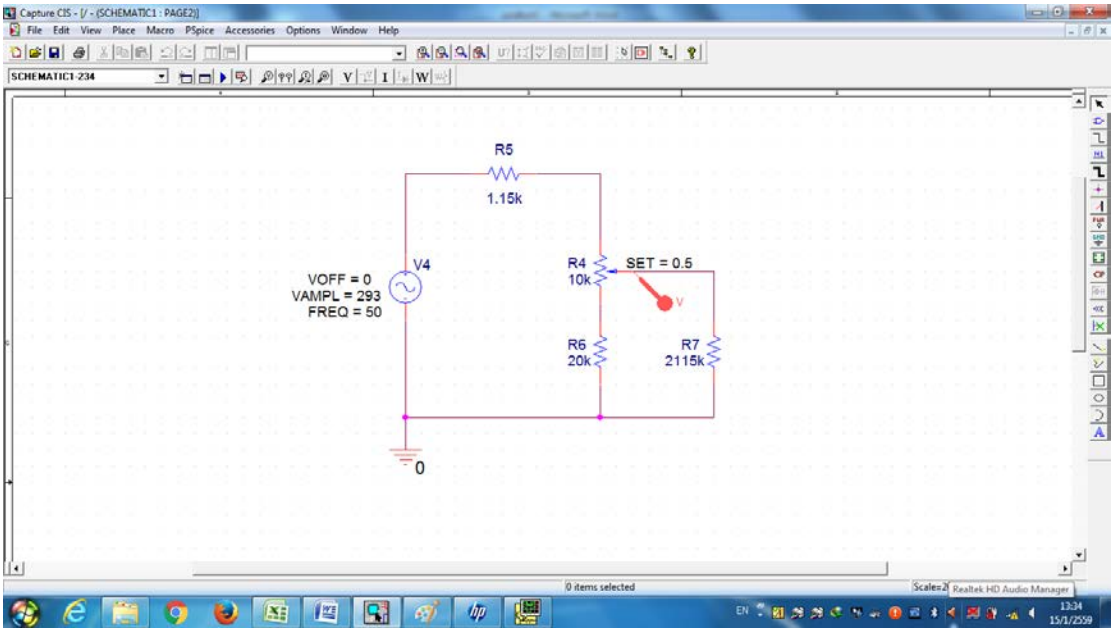


รูปที่ 3.123 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 282.075 V

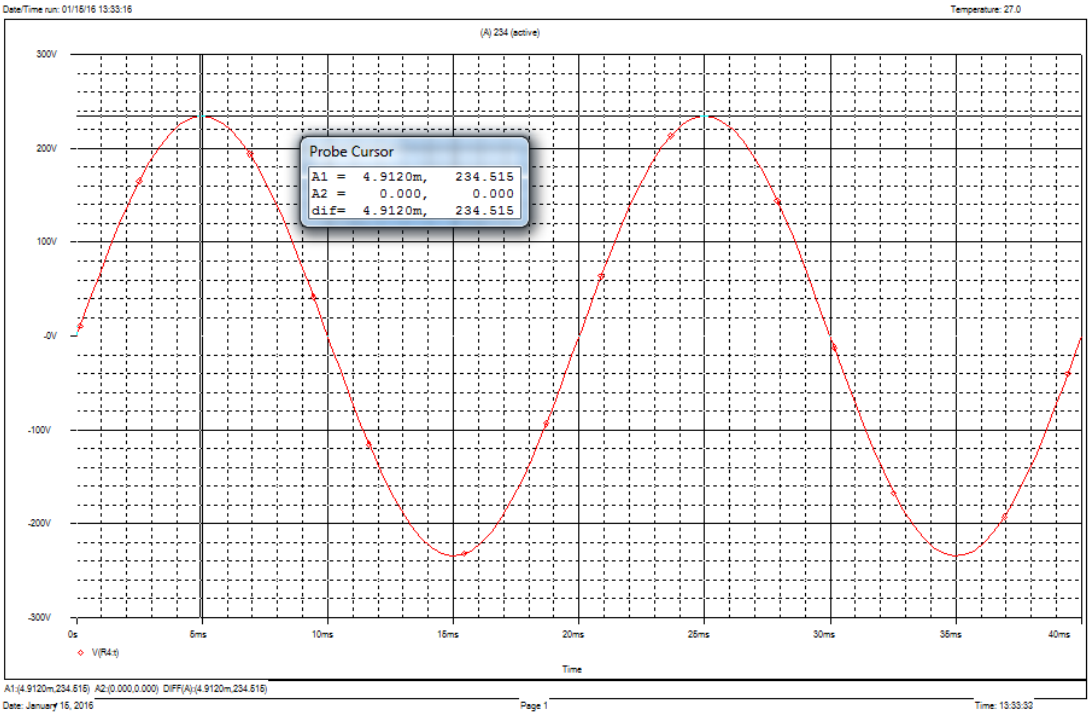


รูปที่ 3.124 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 188.05 V

การต่อโหลด R_m เข้าในวงจรดังรูปที่ 3.125 เพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลด ซึ่งจะต้องมีค่าแรงดันต่ำกว่าขณะไม่มีโหลดไม่เกิน ร้อยละ -1 จากการจำลองตามรูปที่ 3.125 ทำให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลดมีค่า 234.515 V แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 3.126



รูปที่ 3.125 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะมีโหลด



รูปที่ 3.126 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.126 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 235.0 V ในสภาวะมีโหลดผลที่ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 234.515 V แรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดความคลาดเคลื่อนคิดเป็น ร้อยละ $\frac{234.515\,\text{V} - 235.0\text{V}}{235.0\,\text{V}} \times 100 = -0.20$

4.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 20 ดังรูปที่ 3.120 ได้ผลตามตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 235.0 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	20	-20
จำลองสถานการณ์	20.03	-19.97
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

จากตารางที่ 3.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 20 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

4.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1 ดังรูปที่ 3.122 และ 3.126

คิดเป็น ร้อยละ $\frac{234.515\,\text{V} - 235.0\text{V}}{235.0\,\text{V}} \times 100 = -0.20$

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.20 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

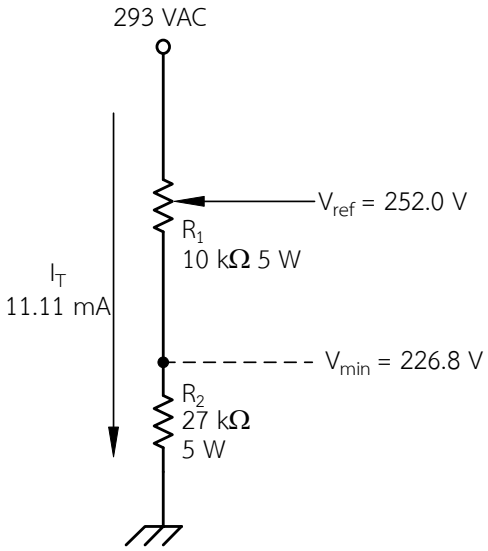
ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 250 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V ที่แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 235.0 V เลือกใช้ค่ามาตรฐาน R_1 =1.15 kΩ 1% 1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2= 10 kΩ5 W และ R_3= 20 kΩ 1%10 W

5) สำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 1000 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V

5.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref}= 252.0 VAC ข้อ 1 กำหนดสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด $\Delta V = \pm 10\%$ เมื่อปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิง ตามวงจรรูปที่ 3.127 การแกว่งของแรงดันด้านเดียว คือ $\frac{\Delta V}{2}$ = 0.1 x 252 V = 25.2 V

V_{max} = 252 V + 25.2 V = 277.2 V

V_{min} = 252 V - 25.2 V = 226.8 V



รูปที่ 3.127 วงจรที่ได้จากการออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิง 252.0 VAC

ข้อ 2 กำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -1

การหาค่ากระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอก ซึ่งเป็นโหลดของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) สามารถหาค่า I_m จากนั้นหาค่า I_Tโดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า I_m ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันอ้างอิงไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากหลักการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันจะพิจารณาขณะไม่มีโหลด

$$R_m = (9\ k\Omega/V) \times 252.0\ V = 2.268\ M\Omega$$

$$I_m = \frac{V_{ref}}{R_m} = \frac{252.0\ V}{2.268\ M\Omega} = 111.11\ \mu A$$

$$I_T \geq 100 I_m = 100 \times 0.11\ mA = 11.11\ mA$$

5.2) หาค่าความต้านทาน R_1 และ R_2

$$R_1 = \frac{V_{ac} - V_{ref}}{I_T} = \frac{293\ V - 252\ V}{11.11\ mA} = 3.69\ k\Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 10 kΩ

เลือกค่าความต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_1 = 10 kΩ (เลือกค่าความต้านทานสูงกว่าที่คำนวณได้ค่อนข้างมาก เพื่อให้เกิดการแกว่งของแรงดันเพียงพอต่อการใช้งานจริง)

$$R_2 = \frac{V_{ac} - V_{R1}}{I_T} = \frac{293\ V - 111.1\ V}{11.11\ mA} = 16.37\ k\Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน 27 kΩ

หาค่า I_Tใหม่ โดยคำนวณจากค่าความต้านทานมาตรฐาน เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า R_1 และ R_2

$$I_T = \frac{V_{ac}}{R_1 + R_2} = \frac{293\ V}{10\ k\Omega + 27\ k\Omega} = 7.91\ mA$$

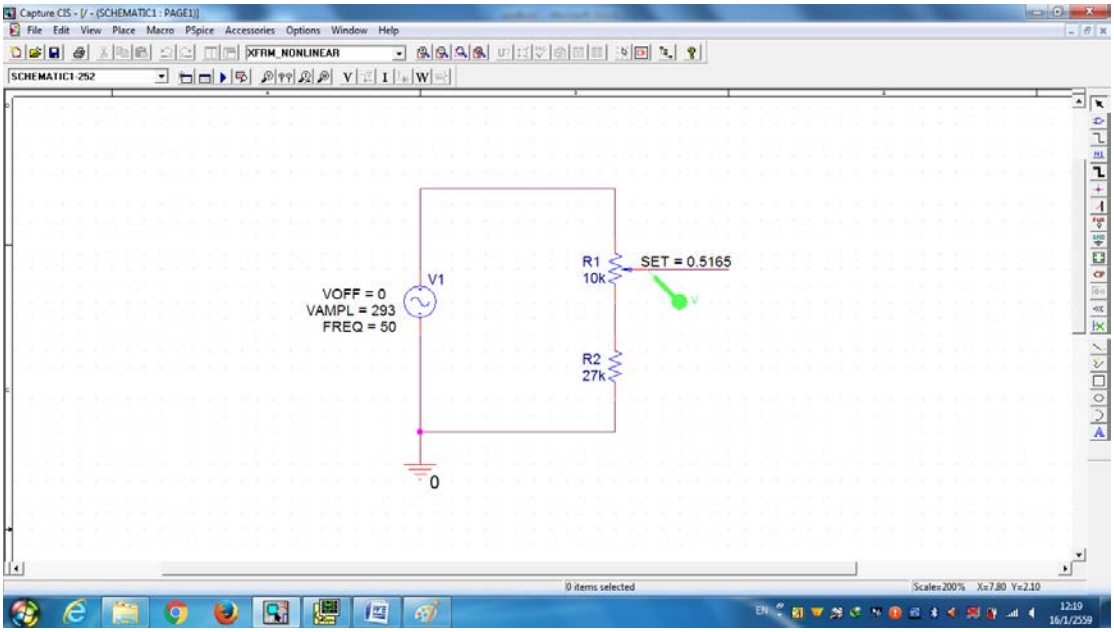
$$P_{R1} = I_T^2 R_1 = (7.91\ mA)^2 \times 10\ k\Omega = 0.62\ W$$

$\therefore P_{R1} = 0.62\ W \times 5 = 3.12\ W$ เลือกค่ามาตรฐาน $R_1 = 10\ k\Omega$ 5 W

$$P_{R2} = I_T^2 R_2 = (7.91\ mA)^2 \times 27\ k\Omega = 1.68\ W$$

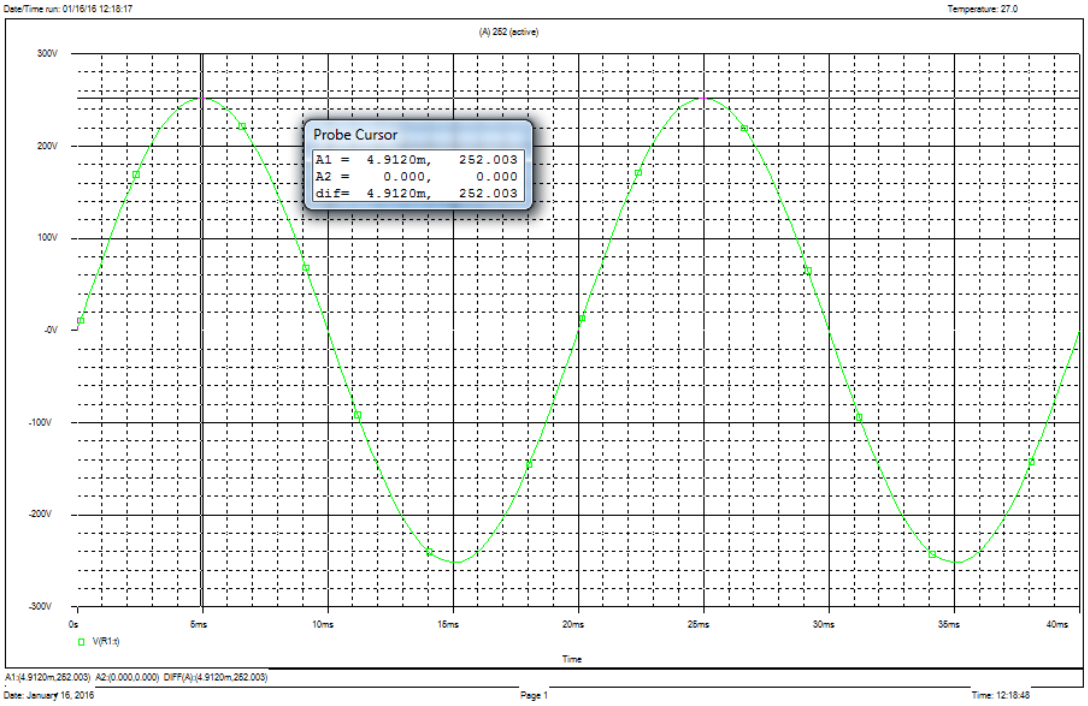
$\therefore P_{R2} = 1.68\ W \times 3 = 5.04\ W$ เลือกค่ามาตรฐาน $R_2 = 27\ k\Omega$ 1% 5 W

5.3) การจำลองสถานการณ์การออกแบบแรงดันอ้างอิง 252.0 V โดยใช้โปรแกรม ORCAD จากวงจรรูปที่ 3.127

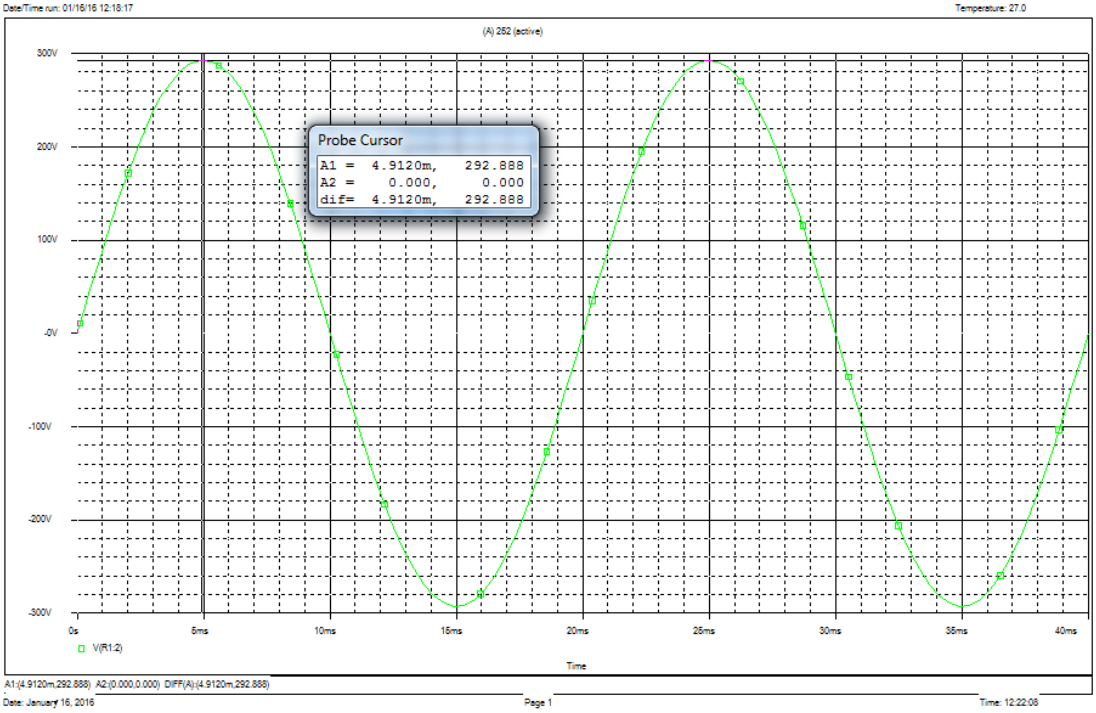


รูปที่ 3.128 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด

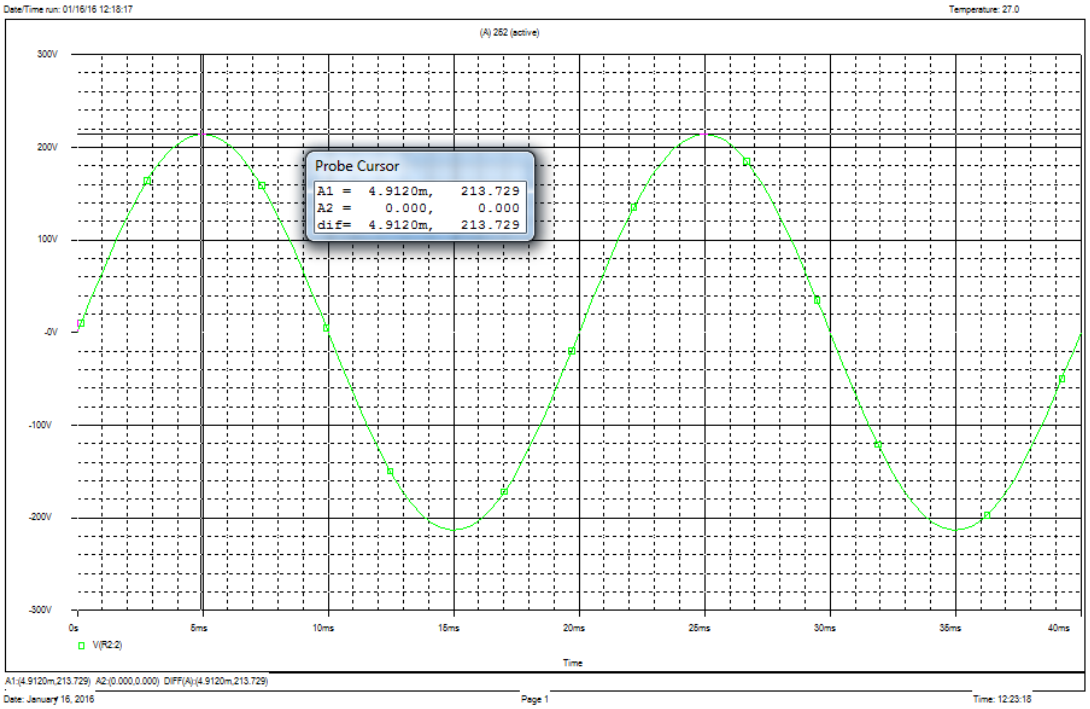
จากรูปที่ 3.128 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด ต้องปรับค่า set = 0.5165 เพื่อให้ได้แรงดันอ้างอิง 252.0 V ตามรูปที่ 3.128 จากรูปที่ 3.129 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันสูงสุดมีค่า 292.888 V และจากรูปที่ 3.130 ผลการจำลองได้ค่าแรงดันต่ำสุดมีค่า 213.729 V การปรับทริมเมอร์ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าแรงดันอ้างอิงได้ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{292.888\ V - 252.0V}{252.0\ V} \times 100 = 16.22$ และการแกว่งของแรงดันด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{213.729\ V - 252.0V}{252.0\ V} \times 100 = -15.18$



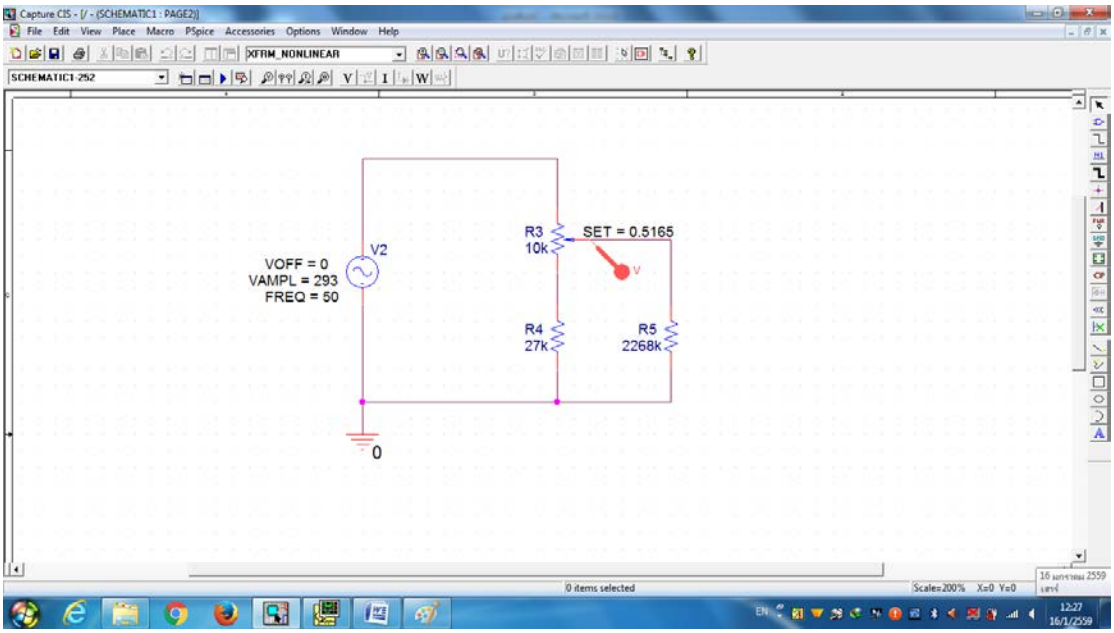
รูปที่ 3.129 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะไม่มีโหลด



รูปที่ 3.130 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{max} = 292.888 V

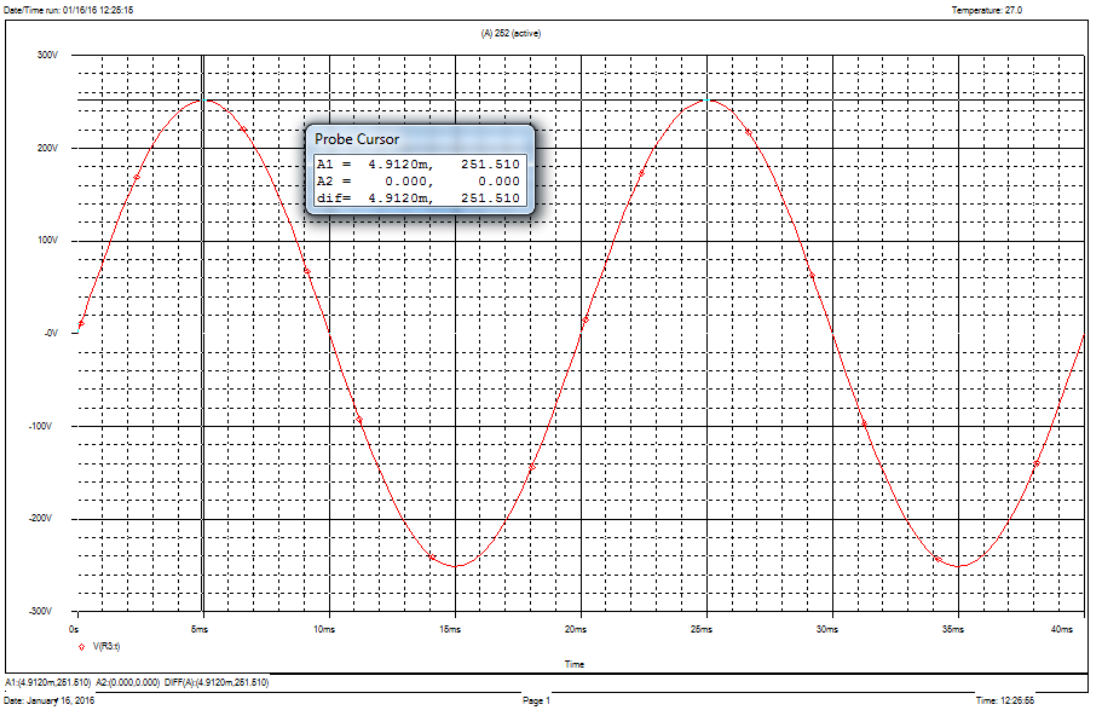


รูปที่ 3.131 แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์ V_{min} = 213.729 V



รูปที่ 3.132 วงจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะมีโหลด

การต่อโหลด R_m เข้าในวงจรดังรูปที่ 3.132 เพื่อหาค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลด ซึ่งจะต้องมีค่าแรงดันต่ำกว่าขณะไม่มีโหลดไม่เกิน ร้อยละ -1 จากการจำลองตามรูปที่ 3.132 ทำให้ได้ค่าแรงดันอ้างอิงขณะมีโหลดมีค่า 251.51 V แสดงผลสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 3.133



รูปที่ 3.133 สัญญาณเอาต์พุตจากการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะมีโหลด

จากรูปที่ 3.133 แสดงผลการจำลองสถานการณ์แรงดันอ้างอิง 252.0 V ในสภาวะมีโหลดผลที่ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าลดลง คือ 251.51 V แรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด เกิดความคลาดเคลื่อนคิดเป็น ร้อยละ $\frac{251.51\,\text{V} - 252.0\text{V}}{252.0\,\text{V}} \times 100 = -0.19$

5.4) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลดคิดเป็น ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 3.128 ได้ผลตามตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบกับผลการจำลองสถานการณ์การแกว่งของแรงดันอ้างอิง 252.0 V

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	10	-10
จำลองสถานการณ์	16.22	-15.18
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

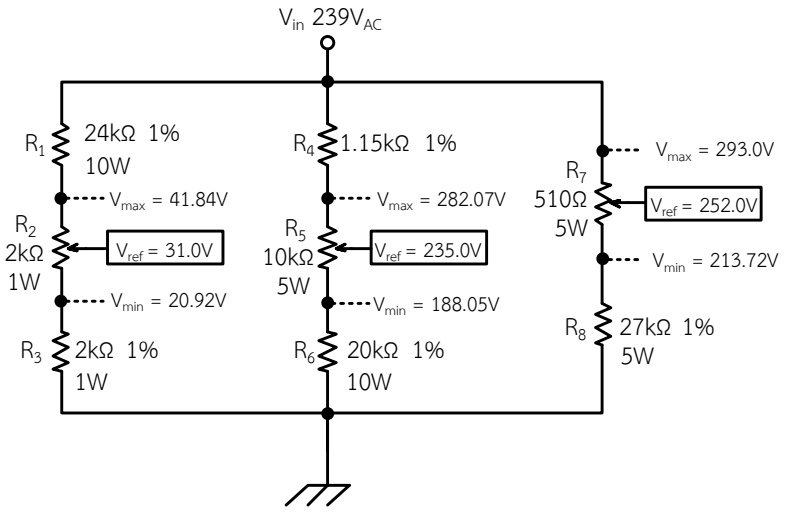
จากตารางที่ 3.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการแกว่งของแรงดันด้านบวกและด้านลบในสภาวะไม่มีโหลด ร้อยละ 10 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

5.5) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน กรณีนำโวลต์มิเตอร์ชนิดแอนะลอกวัดค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดสมมติฐานแรงดันตกคร่อมมิเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ -1 ดังรูปที่ 3.129 และ 3.133

$$\text{คิดเป็น ร้อยละ } \frac{251.51\,\text{V} - 252.0\text{V}}{252.0\,\text{V}} \times 100 = -0.19$$

ผลการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ -0.19 ตามสมมติฐานการออกแบบ ข้อ 2 เป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าการออกแบบถูกต้อง

ดังนั้น การออกแบบค่าแรงดันอ้างอิงสำหรับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัย 1000 V และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 600 V ที่แรงดันอ้างอิง V_{ref}= 252.0 V เลือกใช้ค่าตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_1= 10 kΩ5 W และ R_3= 27 kΩ 1% 5 W



รูปที่ 3.134 ชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 239V_{AC}

จากรูปที่ 3.134 แสดงชุดวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ V_{in}239V_{AC} จากรูปที่ 3.52 เพื่อนำมาแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ตามที่ต้องการคือ 31.0V_{AC}, 235V_{AC} และ 252V_{AC}

4.6 หลักการกำหนดค่ากระแสอ้างอิงของกระแสไฟสลับเพื่อใช้เป็นค่ากระแสทดสอบสำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์

1) เพื่อทำให้สามารถใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่ากระแสสลับได้ครบทุกพิสัย และสามารถแสดงค่าไม่ต่ำกว่า 2 หลัก เพื่อให้เกิดการอ่านค่าได้ละเอียดและถูกต้อง ผู้เรียนได้ฝึกการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟสลับได้ครบทุกพิสัย

2) การออกแบบวงจรไม่นำแรงดันตกคร่อมขั้ววัดกระแส (Voltage burden) และค่าความต้านทานของแอมป์มิเตอร์มาพิจารณา ซึ่งปกติค่าความต้านทานภายในของแอมป์มิเตอร์จะมีผลทำให้ค่ากระแสสลับที่วัดได้ต่ำกว่าค่ากระแสในขณะไม่ต่อแอมป์มิเตอร์อนุกรมกับวงจรอยู่เล็กน้อย เนื่องจากแอมป์มิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับโหลดจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานของโหลดให้มากขึ้น กล่าวคือ เป็นการนำแอมป์มิเตอร์ในอุดมคติมาวัดทดสอบในการสร้างวงจรอ้างอิงไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยตามคุณสมบัติของมัลติมิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวัด

4.6.1 จุดประสงค์ของการออกแบบวงจรจ่ายกระแสไฟสลับอ้างอิง

1) เพื่อต้องการกระแสไฟสลับอ้างอิง ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ±1.2% ตามค่าความคลาดเคลื่อนของมัลติมิเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิง

2) การออกแบบด้วยวงจรที่ประหยัดและสามารถตรวจสอบการออกแบบเบื้องต้นด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์แต่มีความเที่ยงตรงตามเงื่อนไขข้อ 1 เพื่อพิจารณาว่าแหล่งจ่ายไฟไลน์คงที่ การปรับค่ากระแสสลับด้วยตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ชนิด 1 รอบ ซึ่งสามารถปรับได้สะดวกและใช้ตัวต้านทานที่มีจำหน่าย เลือกใช้ตัวต้านทานคงที่ชนิดฟิล์มโลหะที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ±1%

3) การออกแบบต้องเลือกใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่มีค่าต่ำ เพื่อให้ทนกำลังงานได้สูง ปรับค่าได้ละเอียดเกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำ แม้จะใช้สารคาร์บอนซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิค่อนข้างสูง โดยควรกำหนดตัวต้านทานที่จะนำมาต่ออนุกรมกับทริมเมอร์ให้มีค่ามากสุด ซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบคงที่

4) ต้นกำเนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จะถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไม่มีการควบคุมกำหนดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันได้ร้อยละ ±10% ดังนั้นขณะทำการปรับค่ากระแสไฟสลับตัวเลขจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อยอยู่ตลอดเวลา

5) กรณีการออกแบบวงจรจ่ายกระแสสูงตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ไม่สามารถทนกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ จะใช้วงจรที่มีทรานซิสเตอร์ช่วยขยายกระแสเป็นตัวรับโหลด ซึ่งคล้ายกับการออกแบบวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายคลาสเอ แต่ในกรณีนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับการขยายสัญญาณความถี่เป็นเพียงการขยายกระแสไฟสลับเท่านั้น โดยการไบแอสจะมีการต่อ R_E เพื่อทำให้เสถียรภาพของวงจรขยายดีขึ้น คือ ให้ค่ากระแสโหลดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากค่า V_{BE} ของทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิน้อยมาก ความหมายของวงจรจ่ายกระแสโดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้คือ การไปควบคุมกระแสเบสของวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ เพื่อไปควบคุมกระแสคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์อีกครั้ง โดยทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวขับโหลดแทนวงจรตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่ใช้ขับโหลดกรณีวงจรจ่ายกระแสต่ำ ๆ จากนั้นจะมีการแปลงกระแสไฟตรงเป็นกระแสไฟสลับ โดยใช้สูตรการเปลี่ยนพลังงาน$I_{dc} = 1.1\ I_{ac}$

4.6.2 รายละเอียดที่เกิดขึ้นหลังจากการออกแบบ

1) กำหนดให้ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้อยู่กึ่งกลางตามค่าไฟสลับอ้างอิงที่กำหนด ขณะตั้งค่าโปรแกรม set อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6

2) การปรับแต่งค่าของกระแสหลังจากการจำลองสถานการณ์ให้สามารถปรับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ให้เกิดการแกว่งของค่ากระแสอยู่ระหว่าง ร้อยละ ±10 ถึง ±45 ซึ่งเป็นขอบเขตของการออกแบบค่าอ้างอิงไฟกระแสสลับเบื้องต้น การกำหนดขอบเขตที่กว้างเพื่อให้สอดคล้องกับค่าตัวต้านทานที่มีจำหน่าย โดยเฉพาะตัวตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ไม่มีค่าให้เลือกได้หลากหลายเหมือนตัวต้านทานแบบคงที่

4.6.3 การออกแบบกระแสอ้างอิงของกระแสไฟสลับ

1) สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 μA

1.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=125μA เมื่อการถ่ายโอนพลังงานของกระแสสลับต่อกระแสตรงมีอัตราส่วนเป็น I_{ac}/I_{dc}=1.1 ดังนั้น I_{dc} = 125μA /1.1 = 113.6 μA

1.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแส I_{dc} = 113.6 μA ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±30% เนื่องจากพิสัยนี้ต้องการค่า กระแสที่ต่ำมาก จึงใช้วิธีควบคุมกระแสที่ตัวต้านทาน R_E เพียงอย่างเดียวทั้งแบบคงที่และแบบปรับค่าได้ ดังนั้นจึงต่อขาเบสที่ไฟเลี้ยง +5 V โดยตรง เนื่องจากไม่ต้องการควบคุมกระแสที่ขาเบส เพราะอาจทำให้ต้องใช้ทริมเมอร์ที่มีค่าสูงกว่า 2 MΩ ซึ่งไม่มีจำหน่าย

ที่ $I_C = I_{dc}$ =113.6 μA

$$I_{B(mid)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{113.6\,\mu A}{200} = 0.568\ \mu A$$

การแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.3 x 0.568 μA = 0.1704 μA เพื่อหาค่า R_Eดังนี้

$I_{B(max)}$ = 0.568 μA + 0.1704 μA = 0.738 μA

$I_{B(min)}$ = 0.568 μA – 0.1704 μA = 0.397 μA

$$I_{B(min)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{E(max)} \times h_{FE}}.$$

$$0.397\ \mu A = \frac{5\,V - 0.7V}{R_{E(max)} \times 200}$$

$$R_{E(max)} = \frac{4.3\,V}{0.397\,\mu A \times 200}$$

$$R_{E(max)} = \frac{4.3\,V}{79.4\,\mu A} = 54.1\ k\Omega$$

$$I_{B(max)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{E(min)} \times h_{FE}}$$

$$0.738\ \mu A = \frac{5\,V - 0.7V}{R_{E(min)} \times 200}$$

$$R_{E(min)} = \frac{4.3\,V}{0.738\,\mu A \times 200}$$

$$R_{E(min)} = \frac{4.3\,V}{147.6\,\mu A} = 29.1\ k\Omega$$

$R_{E(max)} - R_{E(min)}$ = 54.1 kΩ – 29.1 kΩ = 25 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 20 kB

R_{E1} = 54.1 kΩ + (20 kΩ – 5 kΩ) = 29.1 kΩ

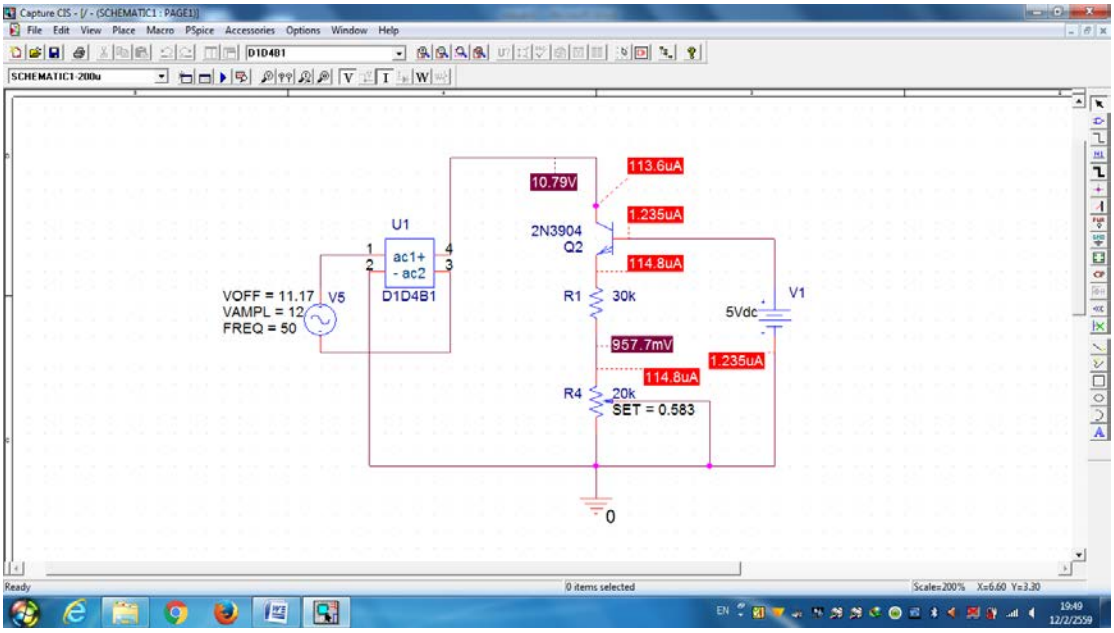
เลือกค่ามาตรฐาน 30 kΩ 1% 1/4 W

R_{E2} = 20 kB

1.3)นำค่าที่ได้จากการออกแบบ จำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม ORCAD เพื่อหาค่าอุปกรณ์มาตรฐาน สำหรับใช้ในการทดลองหากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ac} = 125 μA พิสัย 200 μA

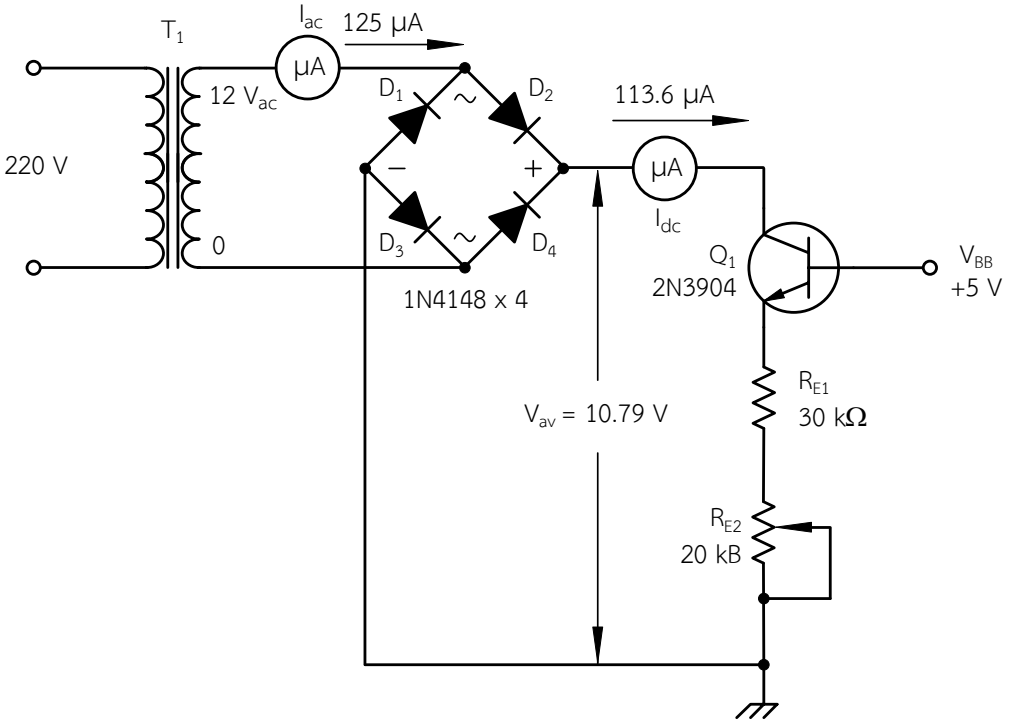
จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 VAC x $\sqrt{2} \times 0.636$ = 10.79 V

ผลการจำลองสถานการณ์ออกแบบกระแสที่ค่า I_{dc} = 113.6 μA ซึ่งได้ค่าอุปกรณ์มาตรฐาน คือ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 ค่าความต้านทาน R_{E1} = 30 kΩ 1% 1/4Wและตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_{E2} = 20 kBโดยปรับให้ได้ค่ากระแส I_{dc} = 113.6 μA และเขียนวงจรทดลองได้ใหม่ดังรูปที่ 3.135



รูปที่ 3.135 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 113.6 μA

ทำการต่อวงจรทดลองอีกครั้งตามรูปที่ 3.136 เพื่อหากระแสไฟสลับอ้างอิงตามต้องการ คือ I_{ref} = 125 μA และวัดค่าแรงดันไฟสลับขณะทดลองมีค่า 228 VAC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.26



รูปที่ 3.136 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=125 µA จาก I_{dc} = 113.6 µA ที่ออกแบบได้

ตารางที่ 3.23 ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด

พิสัย 200 µA I_{ref} =I_{ac} = 125 µA							
ผลการออกแบบและจำลองสถานการณ์							
I_{ac}			I_{dc}			I_{ac}/I_{dc}	
125 µA			113.6 µA			1.1	
เงื่อนไขและผลการทดลอง							
เมื่อ I_{dc} = 113.6 µA		I_{ac}/I_{dc}	เมื่อI_{ac} = 125 µA		I_{ac}/I_{dc}	$I_{ac(max)}$	$I_{ac(min)}$
I_{ac}	127.9 µA	1.12	I_{dc}	111.1 µA	1.12	138.1 µA	80.9 µA

จากตารางที่ 3.23 แสดงผลการทดลองเพื่อหากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 125 µA สำหรับพิสัย 200 µA ได้ผลดังนี้ เงื่อนไขแรกเมื่อปรับค่ากระแส I_{dc} = 113.6 µA ค่ากระแส I_{ac} ที่อ่านได้ คือ 127.9 µA ซึ่งมีค่ามากกว่า 125 µA เนื่องจากทดสอบที่ค่าไฟไลน์ 228 VAC หรือเกิดการเพิ่มค่า +3.6% ซึ่งอยู่ในขอบเขตการควบคุม อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc}มีค่าเท่ากับ 1.12 เงื่อนไขการทดลองถัดไป คือ ทำการปรับค่า I_{ac} = 125 µA ค่ากระแส I_{dc}ที่อ่านได้ คือ 111.1 µA อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc} มีค่าเท่ากับ 1.12 และปรับค่าตัวต้านทาน R_{E2} ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุด ได้ค่ากระแส $I_{ac(max)}$ = 138.1 µA

และค่ากระแส $I_{ac(min)}$ = 80.9 μA ซึ่งเกิดการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{138.1\,\mu A - 125.0\mu A}{125.0\,\mu A} \times 100$ = 10.48 และการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{80.9\,\mu A - 125.0\mu A}{125.0\,\mu A} \times 100$ = -35.28

ตารางที่ 3.24 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 200 μA ที่ค่า I_{ref} = 125 μA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
ผลการทดลอง	10.48	-35.28
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

1.4) การวิเคราะห์ผลจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงที่ต้องการ คือ I_{ref} = 125 μA สำหรับพิสัย 200 μA

จากการออกแบบตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกและด้านลบ นำค่าที่ได้ไปจำลองสถานการณ์ตามรูปที่ 3.135 เพื่อนำผลที่ได้ พิจารณาเลือกค่าอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับใช้ในวงจรทดลองตามรูปที่ 3.136 และผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.26 อยู่ในขอบเขตการออกแบบเป็นค่าที่ยอมรับได้ดังตารางที่ 3.27 แสดงว่าการออกแบบและผลการทดลองถูกต้อง

2) สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 2 mA

2.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=1.65mA เมื่อการถ่ายโอนพลังงานของกระแสสลับต่อกระแสตรงมีอัตราส่วนเป็น I_{ac}/I_{dc} = 1.1 ดังนั้น I_{dc} = 1.65 mA /1.1 = 1.50 mA

2.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ไปที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแส I_{dc} = 1.50 mA ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±30%

ที่ $I_C = I_{dc}$ = 1.5 mA

$$I_{B(mid)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1.5\,mA}{200} = 7.5\ \mu A$$

การแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.3 x 7.5 μA = 2.25 μA เพื่อหาค่า R_Eดังนี้

$I_{B(max)}$ = 7.5 μA + 2.25 μA = 9.75 μA

$I_{B(min)}$ = 7.5 μA − 2.25 μA = 5.25 μA

$$I_{B(min)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{E(max)} \times h_{FE}}$$

$$5.25\ \mu A = \frac{5\,V - 0.7V}{R_{E(max)} \times 200}$$

$$R_{E(max)} = \frac{4.3\,V}{5.25\,\mu A \times 200}$$

$$R_{E(max)} = \frac{4.3\,V}{1.05\,mA} = 4.095\ k\Omega$$

$$I_{B(max)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{E(min)} \times h_{FE}}$$

$$9.75\ \mu A = \frac{5\,V - 0.7V}{R_{E(min)} \times 200}$$

$$R_{E(min)} = \frac{4.3\,V}{9.75\,\mu A \times 200}$$

$$R_{E(min)} = \frac{4.3\,V}{1.95\,mA} = 2.205\ k\Omega$$

$R_{E(max)} - R_{E(min)}$ = 4.095 kΩ − 2.205 kΩ = 1.889 kΩ เลือกค่ามาตรฐาน 2 kB

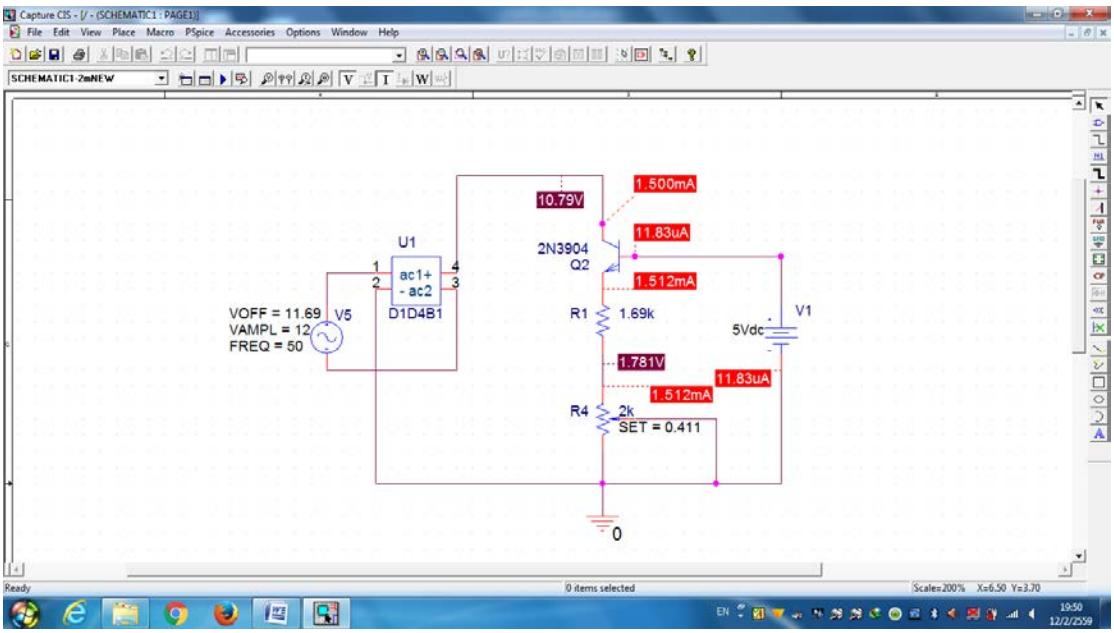
R_{E1} = 2.205 kΩ + (1.889 kΩ − 2 kB) = 2.094 kΩ

เลือกค่ามาตรฐาน 1.69 kΩ 1% 1/4 W

R_{E2} = 2 kB

2.3) นำค่าที่ได้จากการออกแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม ORCAD เพื่อหาค่าอุปกรณ์มาตรฐาน สำหรับใช้ในการทดลองหากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ac} = 1.65 mA พิสัย 2 mA

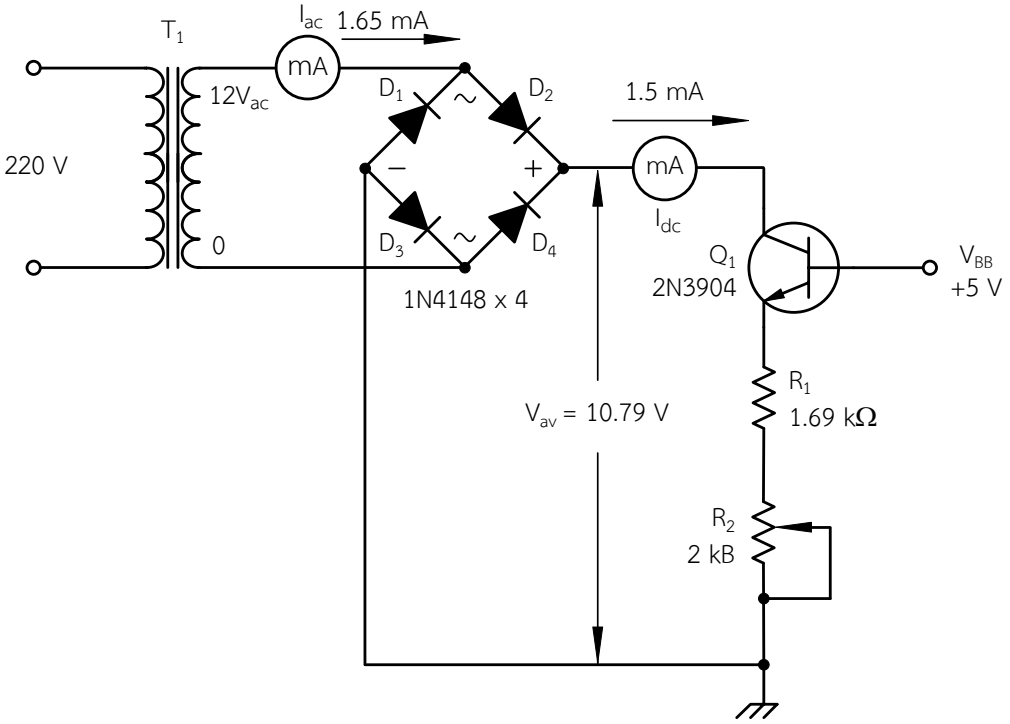
จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 VAC x $\sqrt{2} \times 0.636$ = 10.79 V



รูปที่ 3.137 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 1.50mA

จากรูปที่ 3.137 ผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแส I_{dc} = 1.50mA ซึ่งได้ค่าอุปกรณ์มาตรฐาน คือ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 ค่าความต้านทาน R_{E1} = 1.69 kΩ 1% 1/4 W และตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_{E2} = 2 kB โดยปรับให้ได้ค่ากระแส I_{dc} = 1.50mA เขียนวงจรทดลองใหม่ได้ดังรูปที่ 3.138

จากนั้นทำการต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 3.138 เพื่อหาค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ต้องการ คือ I_{ref} = 1.65 mA และวัดค่าแรงดันไฟสลับขณะทดลองมีค่า 228 VAC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.28



รูปที่ 3.138 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=1.65 mA จาก I_{dc} =1.50 mA ที่ออกแบบได้

ตารางที่ 3.25 ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด

พิสัย 2 mA I_{ref} =I_{ac} = 1.65 mA							
ผลการออกแบบและจำลองสถานการณ์							
I_{ac}		I_{dc}			I_{ac}/I_{dc}		
1.65 mA		1.50 mA			1.1		
เงื่อนไขและผลการทดลอง							
เมื่อ I_{dc} = 1.50 mA		I_{ac}/I_{dc}	เมื่อI_{ac} = 1.65 mA		I_{ac}/I_{dc}	$I_{ac(max)}$	$I_{ac(min)}$
I_{ac}	1.67 mA	1.11	I_{dc}	1.48 mA	1.11	2.31 mA	1.07 mA

จากตารางที่ 3.25 แสดงผลการทดลองเพื่อหากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 1.65 mA สำหรับพิสัย 2 mA ได้ผลดังนี้ เงื่อนไขแรกเมื่อปรับค่า I_{dc} = 1.50 mA ค่ากระแส I_{ac} ที่อ่านได้ คือ 1.67 mA อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc} มีค่าเท่ากับ 1.11 เงื่อนไขการทดลองถัดไปคือปรับค่า I_{ac} = 1.65 mA ค่ากระแส I_{dc}ที่อ่านได้ คือ 1.48 mA อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc} มีค่าเท่ากับ 1.11 และปรับค่าตัวต้านทาน R_{E2} ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุด ค่ากระแส $I_{ac(max)}$ = 2.31 mA และ $I_{ac(min)}$ = 1.07 mA ซึ่งเกิดการแกว่ง

ของกระแสไฟสลับด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{2.31\,\text{mA} - 1.65\text{mA}}{1.65\,\text{mA}} \times 100$ = 40 และการแกว่งของกระแสด้านไฟสลับลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{1.07\,\text{mA} - 1.65\text{mA}}{1.65\,\text{mA}} \times 100$ = -35.15

ตารางที่ 3.26 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 2 mA ที่ค่า I_{ref} = 1.65 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
ผลการทดลอง	40	-35.15
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

1.4) การวิเคราะห์ผลจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 1.65 mA สำหรับพิสัย 2 mA ตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกและด้านลบ นำค่าที่ได้ไปจำลองสถานการณ์ตามรูปที่ 3.137 เพื่อนำผลที่ได้ พิจารณาเลือกค่าอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับใช้ในวงจรทดลองตามรูปที่ 3.138 และผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 3.28อยู่ในขอบเขตการออกแบบ เป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 3.26 แสดงว่าการออกแบบและผลการทดลองถูกต้อง

3) สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย พิสัย 200 mA

3.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref}=110.0mA เมื่อการถ่ายโอนพลังงานของกระแสสลับต่อกระแสตรงมีอัตราส่วนเป็น I_{ac}/I_{dc} = 1.1 ดังนั้น I_{dc} = 110.0 mA /1.1 = 100.0 mA

3.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแส I_{dc} = 100 mA ให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±20% การแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.2 x 100 mA = 20 mA เพื่อหาค่า R_E ดังนี้

I_{max} = 100 mA + 20 mA = 120 mA

I_{min} = 100 mA – 20 mA = 80 mA

ที่ $I_{C\,(max)}$ = 120 mA

$$I_{B(max)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{120\,\text{mA}}{120} = 1\ \text{mA}$$

$$R_E = \frac{V_{BB}}{I_{C(max)}} = \frac{5\,V}{120\,mA} = 41.66\ \Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 2.2 Ω

$P_{RE} = I_T^2 R_E = (100\ mA)^2 \times 2.2\ \Omega = 22\ mW$

$\therefore P_{RE} = 22\ mW \times 5 = 110\ mW$ เลือกค่ามาตรฐาน 2.2 Ω1% 1/4 W

หมายเหตุ: R_E ควรเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์เกือบอิ่มตัว ดังนั้นจึงต้องเลือกค่าต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ที่จุดกึ่งกลางเส้นโหลดกระแสตรงค่อนข้างมาก เพราะตัวต้านทาน R_T เป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่าเท่ากับ 100.0 mA

เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$ จาก $I_{B(max)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$$1\ mA = \frac{5\,V - 0.7V}{R_1 + (2.2\,\Omega \times 120)}$$

$$R_1 + 264 = \frac{4.3\,V}{1\,mA}$$

$$R_1 = 4300 - 264$$

$\therefore\ R_1 = 4.036\ k\Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 3.3 kΩ 1% 1/4 W

$I_{C\,(min)} = I_{min} = 80\ mA$

$$I_{B(min)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{80\,mA}{120} = 0.66\ mA$$

เมื่อ $I_{B(min)} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_2 + R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$$0.66\ mA = \frac{5\,V - 0.7V}{R_2 + 3.3k\Omega + (2.2\,\Omega \times 120)}$$

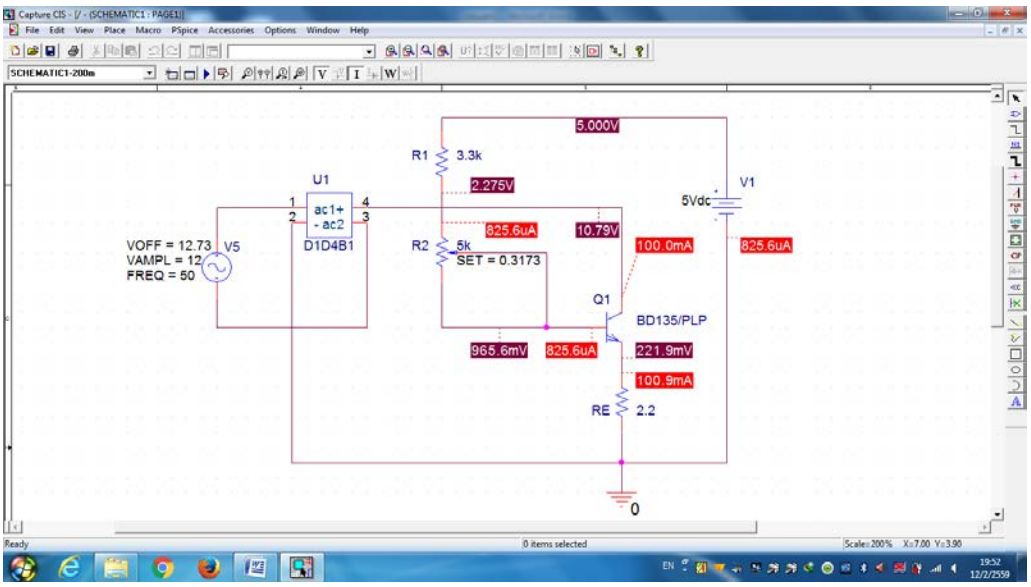
$$R_2 + 3564 = \frac{4.3\,V}{0.66\,mA}$$

$$R_2 = 6515 - 3564$$

$\therefore\ R_2 = 2.951\ k\Omega$ เลือกค่ามาตรฐาน 5 kB

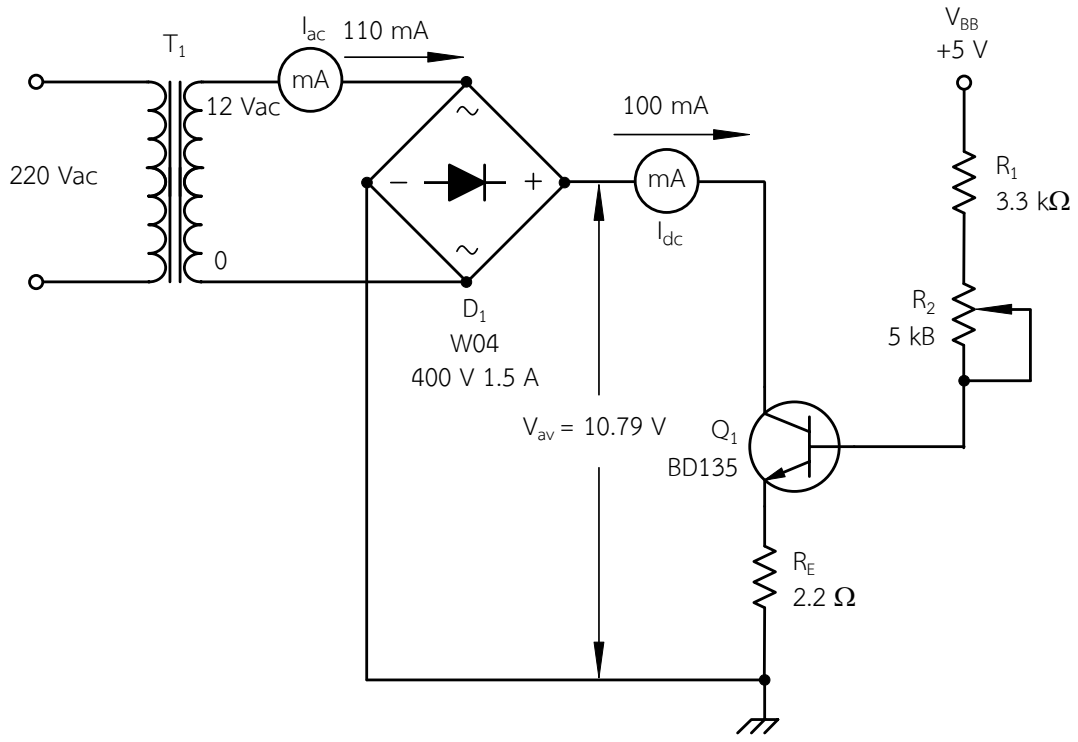
3.3) นำค่าที่ได้จากการออกแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม ORCAD เพื่อหาค่าอุปกรณ์มาตรฐาน สำหรับใช้ในการทดลองหากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ac} = 110 mA พิสัย 200 mA

จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 VAC x $\sqrt{2} \times 0.636$ = 10.79 V



รูปที่ 3.139 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc} = 100.0 mA

จากรูปที่ 3.139 ผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแส I_{dc} = 100mA ซึ่งได้ค่าอุปกรณ์มาตรฐาน คือ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD135 ค่าความต้านทาน R_1 = 3.3 kΩ 1% 1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2 = 5 kBและ R_E = 2.2 Ω 1% 1/4 W โดยปรับค่าตัวต้านทาน R_2ให้ได้ค่ากระแส I_{dc} = 100mA เขียนวงจรทดลองใหม่ได้ดังรูปที่ 3.140



รูปที่ 3.140 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref} =110.0mA จาก I_{dc}=100.0 mA ที่ออกแบบได้

จากนั้นทำการต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 3.140 เพื่อหาค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ต้องการ คือ I_{ref} = 110.0 mA และวัดค่าแรงดันไฟสลับขณะทดลองมีค่า 228 VAC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.27

ตารางที่ 3.27 ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด

พิสัย 200 mA I_{ref} =I_{ac} = 110.0 mA							
ผลการออกแบบและจำลองสถานการณ์							
I_{ac}		I_{dc}		I_{ac}/I_{dc}			
110.0 mA		100.0 mA		1.1			
เงื่อนไขและผลการทดลอง							
เมื่อ I_{dc} = 100 mA		I_{ac}/I_{dc}	เมื่อI_{ac} = 110 mA		I_{ac}/I_{dc}	$I_{ac(max)}$	$I_{ac(min)}$
I_{ac}	111.5 mA	1.11	I_{dc}	98.6 mA	1.11	158.4 mA	73.1 mA

จากตารางที่ 3.27 แสดงผลการทดลองเพื่อหากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 110.0 mA สำหรับพิสัย 200 mA ได้ผลดังนี้ เงื่อนไขแรกเมื่อปรับค่า I_{dc} = 100.0 mA ค่ากระแส I_{ac} ที่อ่านได้ คือ 111.5 mAอัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc}มีค่าเท่ากับ 1.11 และเงื่อนไขการทดลองถัดไป คือ ปรับค่า I_{ac} = 110.0 mA ค่ากระแส I_{dc}ที่อ่านได้ คือ 98.6 mA อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc}มีค่าเท่ากับ 1.11 และปรับค่าตัวต้านทาน R_2 ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุด ค่ากระแส $I_{ac(max)}$ =158.4 mA และ $I_{ac(min)}$ = 73.1 mA ซึ่งเกิดการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{158.4\,\text{mA} - 110.0\text{mA}}{110.0\,\text{mA}} \times 100$ = 44 และการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{73.1\,\text{mA} - 110.0\text{mA}}{110.0\,\text{mA}} \times 100$ = -33.54

ตารางที่ 3.28 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 200 mA ที่ค่า I_{ref} = 110.0 mA

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
ผลการทดลอง	44	-33.54
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

3.4) การวิเคราะห์ผลจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 110.0 mA ของพิสัย 200 mA ตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกและด้านลบ นำค่าที่ได้ไปจำลองสถานการณ์ตามรูปที่ 3.139 เพื่อนำผลที่ได้ พิจารณาเลือกค่าอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับใช้ในวงจรทดลองตามรูปที่ 3.140 และผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 3.30 อยู่ในขอบเขตการออกแบบที่ขยับไปในทางสูงขึ้น เนื่องจากขณะทดลองไฟไลน์เกิน 220 VAC เป็นค่าที่ยอมรับได้ดังตารางที่ 3.28 แสดงว่าการออกแบบและผลการทดลองถูกต้อง

4) สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยพิสัย 10 A และดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกอัตโนมัติ พิสัย 10 A

4.1) กำหนดสมมติฐานการออกแบบที่ค่ากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref} = 0.55 A เมื่อการถ่ายโอนพลังงานของกระแสสลับต่อกระแสตรงมีอัตราส่วนเป็น I_{ac}/I_{dc} = 1.1 ดังนั้น I_{dc} = 0.55 A /1.1 = 0.5 A

4.2) กำหนดสมมติฐานการออกแบบ เมื่อปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ากระแส I_{dc} = 0.50 Aให้แกว่งได้ประมาณ ΔI= ±30% ซึ่งการแกว่งของกระแสด้านเดียว คือ $\frac{\Delta I}{2}$ = 0.3 x 500 mA = 150 mA เพื่อหาค่า R_E ดังนี้

I_{max} = 500 mA + 150 mA = 650 mA

I_{min} = 500 mA – 150 mA = 350 mA

ที่$I_{C\,(max)}$ = 650 mA

$$I_{B(max)} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{650\,mA}{120} = 5.41\ mA$$

$$R_E = \frac{V_{BB}}{I_{C(max)}} = \frac{5\,V}{650\,mA} = 7.69\ \Omega$$ เลือกค่ามาตรฐาน 1 Ω

$P_{RE} = I_T^2 R_E = (500\ mA)^2 \times 1\ \Omega = 500\ mW$

$\therefore\ P_{RE} = 500\ mW \times 4 = 2\ W$

เลือกค่ามาตรฐาน 1 Ω1% 2 W

หมายเหตุ : R_E ควรเลือกค่าความต้านทานมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์เกือบอิ่มตัว เนื่องจากโหลดต้องการกระแสค่อนข้างมาก

เนื่องจากตัวต้านทาน R_T เป็นค่าความต้านทานกึ่งกลางที่ทำให้เกิดค่ากระแสรวมมีค่าเท่ากับ 0.5 A เมื่อ $R_T = R_1 + \frac{R_1}{2}$

จาก $I_{B(max)} = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$5.41\ mA = \dfrac{5\,V - 0.7V}{R_1 + (1\Omega \times 120)}$

$R_1 + 120 = \dfrac{4.3\,V}{5.41\,mA}$

$R_1 = 794 - 120$

$\therefore\ R_1 = 674\ \Omega$

เลือกค่ามาตรฐาน 330 Ω 1% 1/4 W

$I_{C\,(min)} = I_{min} = 350\ mA$

$I_{B(min)} = \dfrac{I_C}{h_{FE}} = \dfrac{350\,mA}{120} = 2.91\ mA$

เมื่อ $I_{B(min)} = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_2 + R_1 + (R_E \times h_{FE})}$

$2.91\ mA = \dfrac{5\,V - 0.7V}{R_2 + 330\Omega + (1\Omega \times 120)}$

$R_2 + 450 = \dfrac{4.3\,V}{2.91\,mA}$

$R_2 = 1477 - 450$

$\therefore\ R_2 = 1.027\ k\Omega$

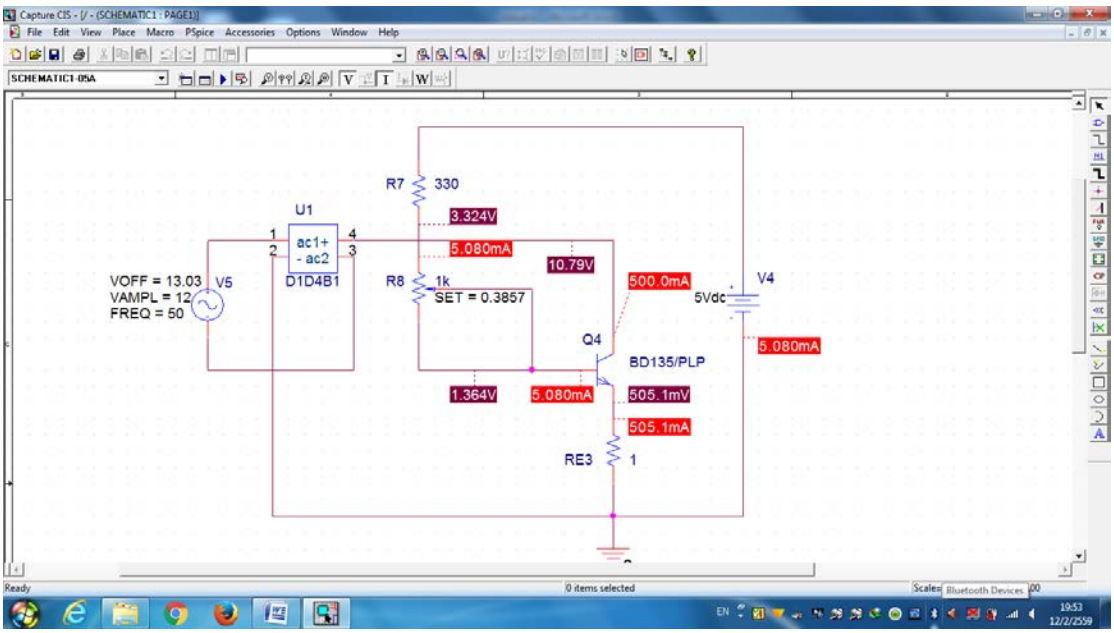
เลือกค่ามาตรฐาน 1 kB

หมายเหตุ : ควรเลือกค่า R_2 ให้ต่ำกว่าค่าที่คำนวณ เนื่องจากกรณีนี้ได้กำหนดการแกว่งตัวของค่ากระแสไว้ที่ค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ ±30%

4.3) นำค่าที่ได้จากการออกแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม ORCAD เพื่อหาค่าอุปกรณ์มาตรฐาน สำหรับใช้ในการทดลองหากระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ac} = 0.55 A พิสัย 10 A

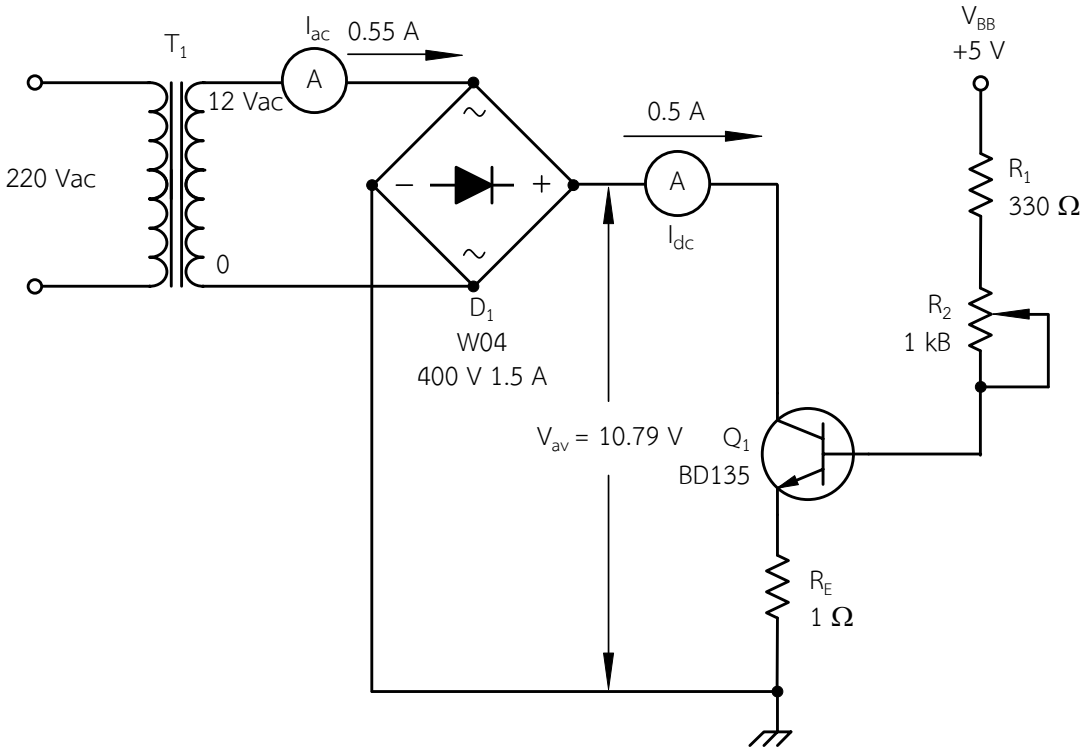
จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 VAC x $\sqrt{2} \times 0.636$ = 10.79 V

จากรูปที่ 3.144 ผลการจำลองสถานการณ์จากการออกแบบกระแส I_{dc} = 0.5 A ซึ่งได้ค่าอุปกรณ์มาตรฐาน คือ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD135 ค่าความต้านทาน R_1 = 330 Ω 1%1/4 W ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_2 = 1 kB และ R_E = 1 Ω 1% 2 W โดยปรับค่าตัวต้านทาน R_2 ให้ได้ค่ากระแส I_{dc} = 0.5 A เขียนวงจรทดลองใหม่ได้ดังรูปที่ 3.142



รูปที่ 3.141 วงจรจากการจำลองสถานการณ์ที่ค่า I_{dc}= 0.5 A

จากนั้นทำการต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 3.142 เพื่อหาค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ต้องการ คือ I_{ref} = 0.55 A และวัดค่าแรงดันไฟสลับขณะทดลองมีค่า 228 VAC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.32



รูปที่ 3.142 วงจรสร้างกระแสไฟสลับอ้างอิง I_{ref} = 0.55 A จาก I_{dc} = 0.50 A ที่ออกแบบได้

ตารางที่ 3.29 ค่าการออกแบบและผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับผลทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด

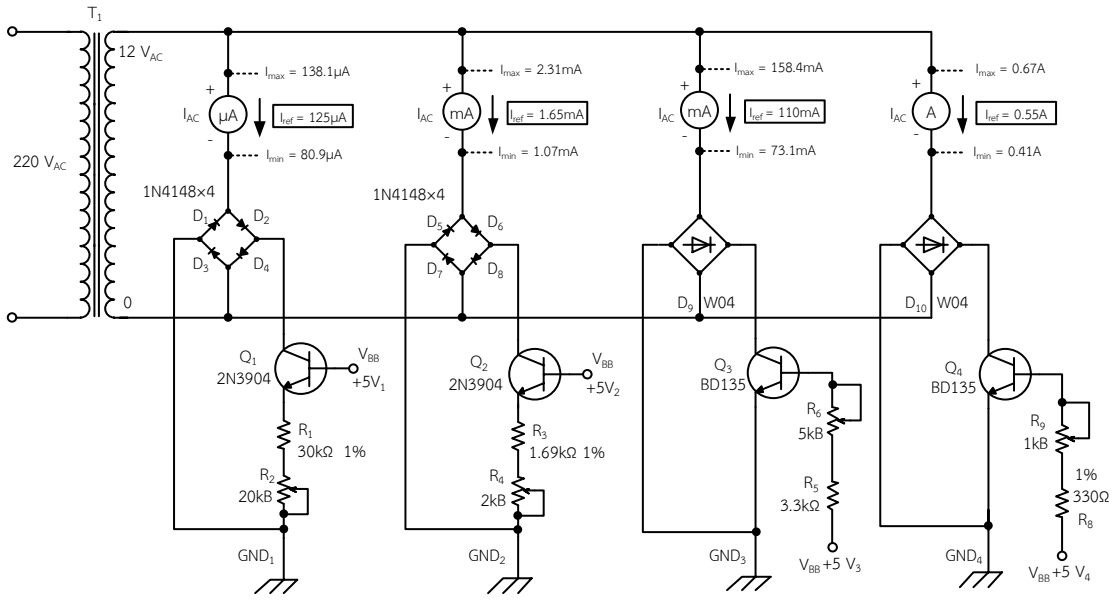
พิสัย 10 A I_{ref} =I_{ac} = 0.55 A							
ผลการออกแบบและจำลองสถานการณ์							
I_{ac}		I_{dc}			I_{ac}/I_{dc}		
0.55 A		0.5 A			1.1		
เงื่อนไขและผลการทดลอง							
เมื่อ I_{dc} = 0.5 A		I_{ac}/I_{dc}	เมื่อI_{ac} = 0.55 A		I_{ac}/I_{dc}	$I_{ac(max)}$	$I_{ac(min)}$
I_{ac}	0.556 A	1.11	I_{dc}	0.495 A	1.11	0.674 A	0.412 A

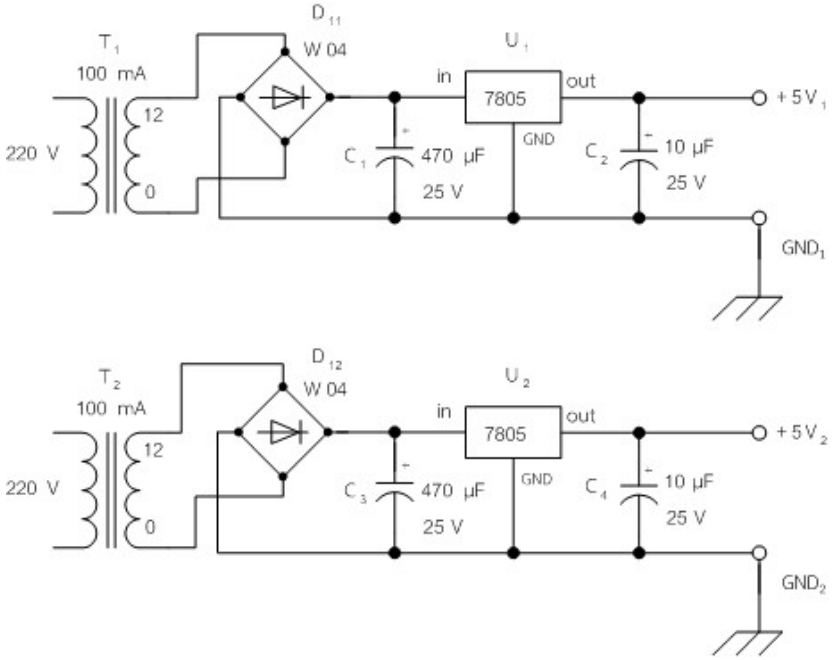
จากตารางที่ 3.29 แสดงผลการทดลองเพื่อหากระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 0.55 A สำหรับพิสัย 10 A ได้ผลดังนี้ เงื่อนไขแรกเมื่อปรับค่า I_{dc}= 0.5 A ค่ากระแส I_{ac} ที่อ่านได้ คือ 0.556 A อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc} มีค่าเท่ากับ 1.11 เงื่อนไขการทดลองถัดไป คือ ปรับค่า I_{ac} = 0.55 A ค่า กระแส I_{dc}ที่อ่านได้ คือ 0.495 A อัตราส่วนของ I_{ac}/I_{dc} มีค่าเท่ากับ 1.11 และปรับค่าตัวต้านทาน R_2 ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุด ได้ค่ากระแส $I_{ac(max)}$ = 0.674 A และ $I_{ac(min)}$ = 0.412 A ซึ่งเกิดการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกคิดเป็น ร้อยละ $\frac{0.674\,\text{A} - 0.55\text{A}}{0.55\,\text{A}} \times 100$ = 22.54 และการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านลบคิดเป็น ร้อยละ $\frac{0.412\,\text{A} - 0.55\text{A}}{0.55\,\text{A}} \times 100$ = -25.09

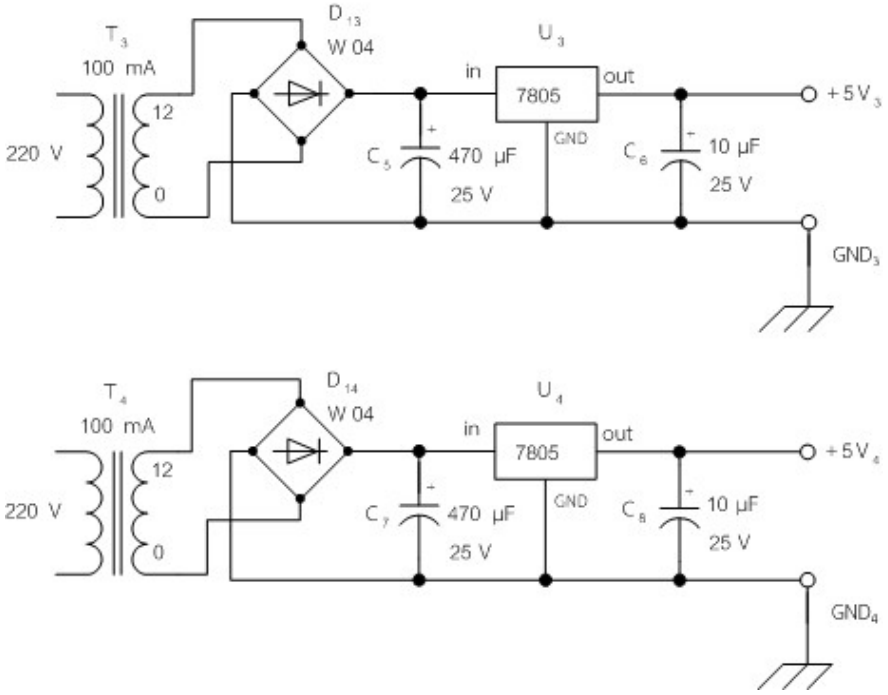
ตารางที่ 3.30 เปรียบเทียบค่าจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงพิสัย 10 A ที่ค่า I_{ref} = 0.55 A

ขอบเขตการออกแบบ ร้อยละ ±10 ถึง ±40	ด้านบวก (ร้อยละ)	ด้านลบ (ร้อยละ)
สมมติฐานการออกแบบ	30	-30
ผลการทดลอง	22.54	-25.09
ผลที่ได้	อยู่ในขอบเขต	อยู่ในขอบเขต

4.4) การวิเคราะห์ผลจากสมมติฐานการออกแบบและการจำลองสถานการณ์กับผลการทดลอง สำหรับกระแสไฟสลับอ้างอิงที่ค่า I_{ref} = 0.55 A สำหรับพิสัย 10 A ตามสมมติฐานการแกว่งของกระแสไฟสลับด้านบวกและด้านลบ นำค่าที่ได้ไปจำลองสถานการณ์ตามรูปที่ 3.141 เพื่อนำผลที่ได้ พิจารณาเลือกค่าอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับใช้ในวงจรทดลองตามรูปที่ 3.142 และผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 3.32 อยู่ในขอบเขตการออกแบบ เป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 3.30 แสดงว่าการออกแบบและผลการทดลองถูกต้อง







รูปที่ 3.143 วงจรสร้างแหล่งจ่ายกระแสไฟสลับ

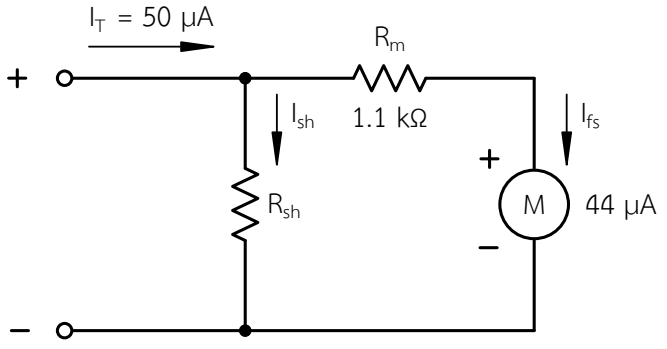
จากรูปที่ 3.143 แสดงวงจรสร้างกระแสไฟสลับค่าต่าง ๆ ที่รับแรงดัน V_{in}จากหม้อแปลง $12V_{AC}$ โดยตรง โดยใช้ไดโอดบริดจ์เพื่อเรียงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแบบเต็มคลื่น แต่จุดวัดจะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมกระแสให้ได้ตามที่ต้องการ โดยจะแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเพื่อให้เกิดความเสถียรในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยใช้ทฤษฎีการส่งผ่านพลังงาน $I_{dc} = 1.1 \times I_{dc}$

4.7 การออกแบบสร้างชุดขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

4.7.1 การออกแบบมอดูลและขยายพิสัยการวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรงแบบชันต์

มาตรวัดกระแสไฟตรงถูกออกแบบเพื่อให้สามารถวัดค่าต่ำๆ เป็นไมโครแอมป์จนถึงค่าหลายร้อยแอมป์ และเพื่อให้สามารถขยายพิสัยการวัดได้หลายพิสัยตามความต้องการ ชุดขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดที่นำมาทำมัลติมิเตอร์ จึงนิยมใช้ค่าประมาณ 44 μA เนื่องจากทำให้พิสัยต่ำสุดในการวัดกระแสอยู่ในช่วง 0-50 μA ซึ่งเป็นค่าพิสัยมาตรฐานเมื่อต้องการขยายพิสัยการวัดของกระแสให้สูงขึ้นจะทำการต่อชันต์หรือนำตัวต้านทานขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เพื่อแบ่งกระแสส่วนที่เกินจากขดลวดเคลื่อนที่จะรับได้ ให้ไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่อขนานนั้นไหลกลับแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งมาตรวัดกระแสที่ดีควรทำให้เกิดการต้านทานการไหลของกระแสน้อยที่สุด ดังนั้นการต่อแอมมิเตอร์เข้ากับวงจรทุกครั้งจะทำให้ค่ากระแสที่อ่านได้ต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย ยกเว้นบริษัทผู้ผลิตจะทำสเกลชดเชยเทียบให้อ่านค่าได้ถูกต้องมากขึ้น แต่ส่วนมากจะปล่อยให้เกิดคลาดเคลื่อนตามกลไกของเครื่องมือวัดหลักการแบ่งสเกลจะให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นครั้งละ 5-10 เท่าจากพิสัยต่ำสุดที่วัดได้ เพื่อให้อ่านค่าได้ละเอียดและใช้จำนวนพิสัยน้อยที่สุด คือ 50 μA, 2.5 mA, 25 mA, 250 mA

ตัวอย่างที่ 1 ขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดมีค่าความต้านทานภายใน (R_m) 1.1 kΩ กระแสเต็มสเกล (I_{fs}) 44 μA จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด (R_{sh}) เพื่อให้มาตรวัดกระแสมีพิสัยการวัดเป็น 50 μA ดังรูปที่ 3.144



รูปที่ 3.144 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 50 μA

กำหนดให้ I_T = ค่ากระแสที่ต้องการขยายพิสัยการวัด
R_m = ค่าความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด
I_{fs} = ค่ากระแสเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด
R_{sh} = ค่าความต้านทานชันต์
I_{sh} = ค่ากระแสไหลผ่านความต้านทานชันต์

จากสูตร $R_{sh} = \frac{I_{fs} \times R_m}{I_T - I_{fs}}$

$$= \frac{(44 \times 10^{-6}) \times (1.1 \times 10^{3})}{(50 \times 10^{-6}) - (44 \times 10^{-6})}$$

$$= 8.066\ k\Omega$$

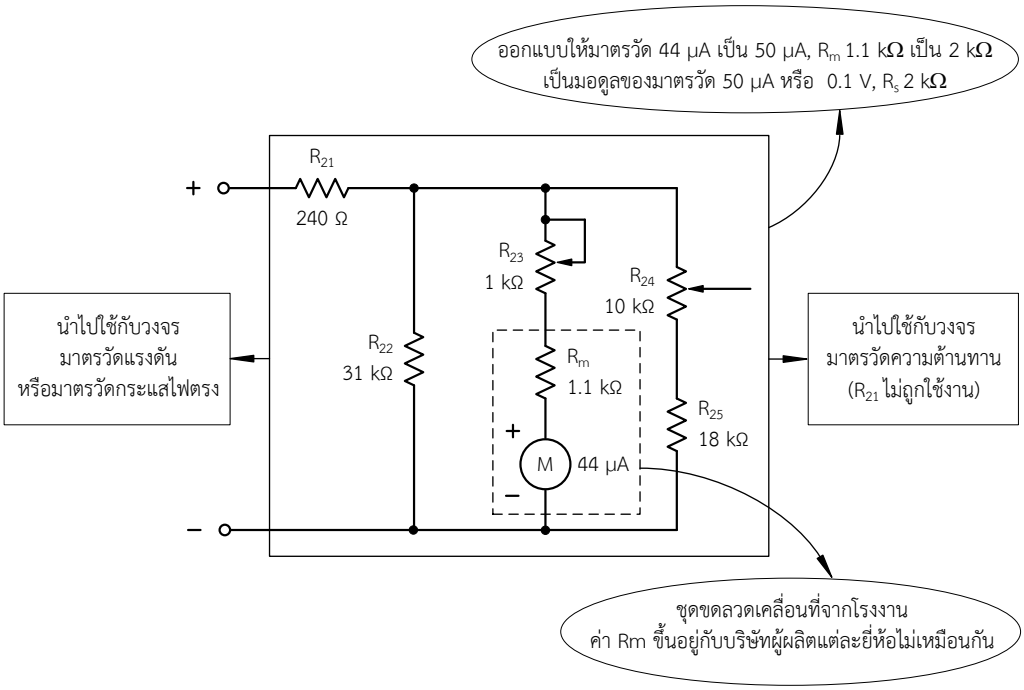
จากตัวอย่างเป็นการออกแบบมาตรวัดกระแส 50 μA จากชุดขดลวดเคลื่อนที่ 44μA, 1.1kΩ แต่ไม่สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรวัดแรงดันและมาตรวัดความต้านทานได้ ดังนั้น การออกแบบต่อไปนี้มีจุดประสงค์ให้ชุดขดลวดเคลื่อนที่สามารถนำมาออกแบบให้เป็นมาตรวัดแรงดัน, กระแส, ความต้านทาน โดยใช้อุปกรณ์ร่วมกันที่เรียกว่ามอดูล

โดยทั่วไปการใช้ขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดมาขยายพิสัยการวัดโดยตรง จะมีความผิดพลาดตามค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานที่นำมาต่อขนาน ซึ่งกรณีการออกแบบทั่วไปจะใช้วิธีการตามตัวอย่างที่ 1 แต่กรณีการออกแบบมัลติมิเตอร์ที่สามารถวัดค่าความต้านทาน, กระแสและแรงดันในตัวเดียวกันจะมีอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถขยายเป็นพิสัยการวัดตัวต้านทานได้ ซึ่งจะต้องมีวงจรปรับให้เข็มชี้ศูนย์ ผลจากการต่อตัวต้านทานค่าต่าง ๆ ทำให้คุณสมบัติขดลวดเคลื่อนที่ 44 μA,R_S = 1.1 kΩ ให้กลายเป็นมาตรวัดกระแส 50 μA, R_S = 2 kΩ ดังวงจรรูปที่ 3.145จากตัวอย่างที่ 2 จะใช้ R_{23} มีค่า 1 kΩ เพื่อให้มีค่าที่มีความยืดหยุ่น กรณีที่ R_S ของขดลวดเคลื่อนที่มีค่าแตกต่างกันตามยี่ห้อของผู้ผลิตหรือจำหน่าย

ตัวอย่างที่ 2 เมื่อให้ขดลวดเคลื่อนที่ 44 μA ของมาตรวัดจากชุดฝึกและตัวต้านทานอื่น ๆ ตามวงจรรูปที่ 3.145 จงคำนวณหาค่า R_T และ I_{fs} เพื่อพิสูจน์ว่าวงจรตามชุดฝึกมีความถูกต้องเมื่อปรับ R_{23} ให้มีค่า 900 Ω จะทำให้วงจรตามรูปที่ 3.145 เป็นมอดูล 50 μA, 2 kΩ

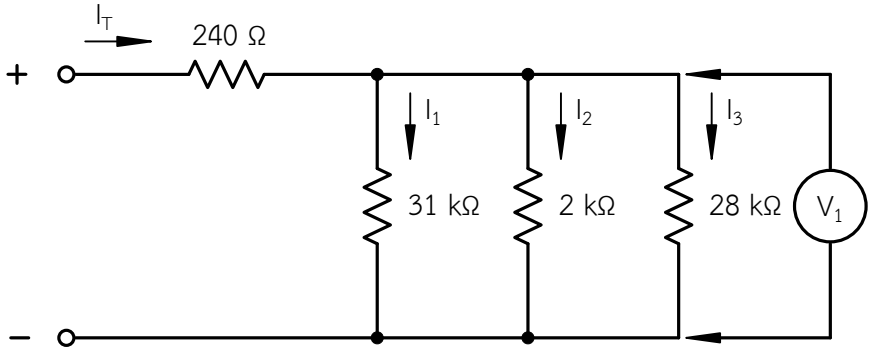
กำหนดให้ R_T= ค่าความต้านทานรวมของวงจร เปรียบเสมือนค่าความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดที่เปลี่ยนพิสัยการวัดเป็น 50 μA

I_{fs}= ค่ากระแสเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดที่เปลี่ยนพิสัยการวัดจากเดิม 44 μA ให้เป็นพิสัยใหม่ 50 μA



รูปที่ 3.145 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 0-50 μA และรูปแบบการนำมอดูลไปใช้งาน

จากรูปที่ 3.145 สามารถเขียนวงจรใหม่ เพื่อให้สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้น ตามรูปที่ 3.146



รูปที่ 3.146 วงจรสมมูลจากวงจรรูปที่ 3.145

จะได้ $R_T = 240\ \Omega + (31\ k\Omega\ //\ 2\ k\Omega\ //\ 28\ k\Omega) = 2\ k\Omega$

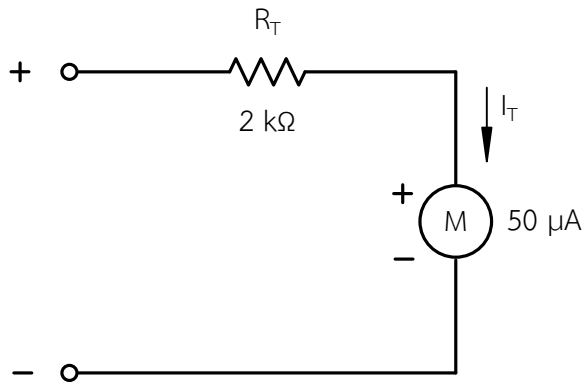
$V_1 = (44 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{3}) = 88\ mV$

$$I_1 = \frac{88 \times 10^{-3}}{31 \times 10^{3}} = 2.84\ \mu A$$

$$I_2 = \frac{88 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{3}} = 44\ \mu A$$

$$I_3 = \frac{88 \times 10^{-3}}{28 \times 10^{3}} = 3.14\ \mu A$$

$\therefore$ $I_T = 2.84\ \mu A + 44\ \mu A + 3.14\ \mu A \cong 50\ \mu A$



รูปที่ 3.147 วงจรสมมูลมาตรวัดกระแสไฟตรง 0-50 μA

จากวงจรรูปที่ 3.147 สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปวงจรที่ง่าย ซึ่งในที่นี้ถือว่าขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดมีค่าความต้านทานภายใน 2 kΩ และมีค่ากระแสเต็มสเกล 50 μA ซึ่งนำไปขยายพิสัยการวัดให้มีค่าพิสัยต่าง ๆ ต่อไปสรุปว่าการออกแบบชุดฝึกแอนะลอกมัลติมิเตอร์มีความถูกต้อง

การออกแบบมาตรวัดกระแสไฟตรง

1. การออกแบบขยายพิสัยการวัดกระแสไฟตรงมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 กำหนดให้มอดูล 50 μA มีค่าความต้านทานภายใน (R_m)2 kΩเพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เมื่อต้องการทำให้มาตรวัดกระแสมีพิสัยการวัดเป็น 50 μA

จากสูตร $$R_{sh} = \frac{I_{fs} \times R_m}{I_T - I_{fs}}$$

$$= \frac{(50 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{3})}{(50 \times 10^{-6}) - (50 \times 10^{-6})}$$

$$= \infty\ \Omega$$

1.2 กำหนดให้มอดูล 50 μA มีค่าความต้านทานภายใน (R_m)2 kΩ เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เมื่อต้องการทำให้มาตรวัดกระแสมีพิสัยการวัดเป็น 2.5 mA

จากสูตร $$R_{sh} = \frac{I_{fs} \times R_m}{I_T - I_{fs}}$$

$$= \frac{(50\times10^{-6})\times(2\times10^{3})}{(2.5\times10^{-3})-(50\times10^{-6})}$$

$=40.81\Omega$

1.3 กำหนดให้มอดูล 50 μA มีค่าความต้านทานภายใน (R_m)2 kΩ เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เมื่อต้องการทำให้มาตรวัดกระแสมีพิสัยการวัดเป็น 25 mA

จากสูตร $R_{sh}=\frac{I_{fs}\times R_m}{I_T - I_{fs}}$

$$= \frac{(50\times10^{-6})\times(2\times10^{3})}{(25\times10^{-3})-(50\times10^{-6})}$$

$=4.008\Omega$

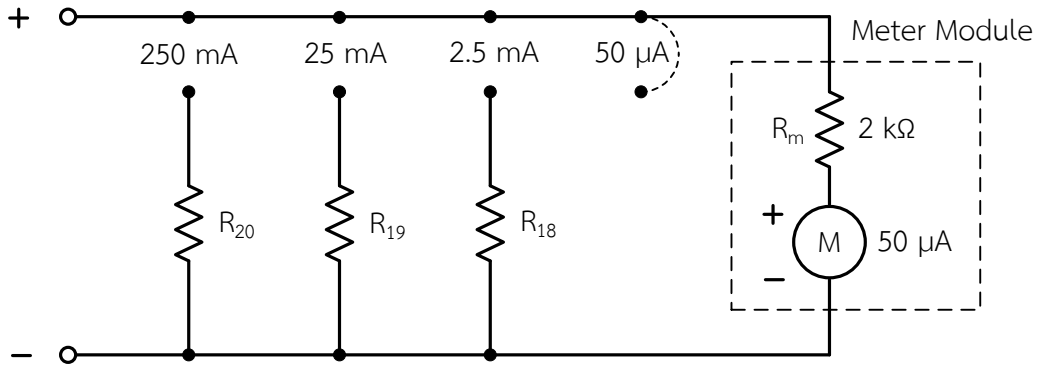
1.4 กำหนดให้มอดูล 50 μA มีค่าความต้านทานภายใน (R_m)2 kΩ เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เมื่อต้องการทำให้มาตรวัดกระแสมีพิสัยการวัดเป็น 250 mA

จากสูตร $R_{sh}=\frac{I_{fs}\times R_m}{I_T - I_{fs}}$

$$= \frac{(50\times10^{-6})\times(2\times10^{3})}{(250\times10^{-3})-(50\times10^{-6})}$$

$= 0.4\Omega$

1.5 จากการคำนวณได้ค่าความต้านทานชันต์ที่นำมาต่อขนานกับชุดมอดูลมิเตอร์ดังนี้



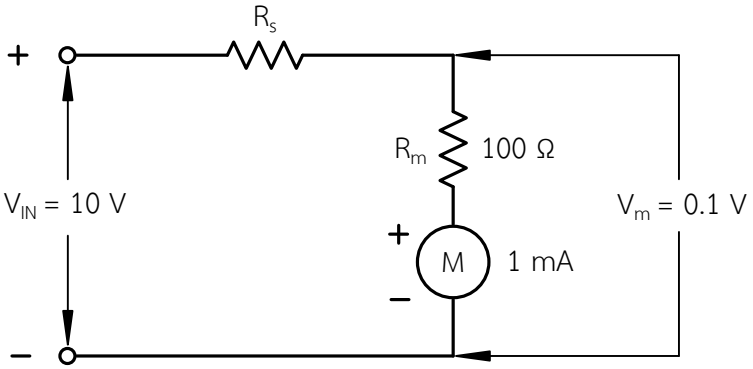
รูปที่ 3.148 วงจรมาตรวัดกระแสไฟตรง 50 μA – 250 mA ที่ออกแบบได้

1.6 ทำการวัดค่าความต้านทานที่ชุดฝึก ฯ เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานที่ออกแบบได้

4.7.2 การออกแบบขยายพิสัยการวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

มาตรวัดแรงดันหรือมาตรวัดกระแสแบบเข็มชี้ มีคุณสมบัติเป็นมาตรวัดทั้งสองอย่างรวมกันอยู่ด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการเลือกคุณสมบัติที่จะนำไปใช้งาน กล่าวคือ เมื่อต้องการจะทำเป็นมาตรวัดแรงดันจะนำตัวต้านทานไปต่ออนุกรมกันกับขดลวดของมาตรวัดจะกลายเป็นมาตรวัดแรงดัน เมื่อต้องการวัดค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟในวงจร จะนำมาตรวัดที่สร้างขึ้นต่อคร่อมกับแหล่งจ่ายไฟนั้นและจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรของมาตรวัดในปริมาณที่เหมาะสมกับสเกลและกระแสจำนวนนี้จะทำให้เข็มของมาตรวัดชี้ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ตามสเกล ซึ่งสัมพันธ์กับแรงดันที่วัด เพราะค่ากระแสจะแปรผันตรงกับแรงดัน ตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรมกับมาตรวัด เรียกว่า ตัวต้านทานขยายพิสัยการวัดของมาตรวัดแรงดัน ทำหน้าที่ลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตของมาตรวัดต่ออยู่ให้เหลือเพียงค่าแรงดันที่จะทำให้เข็มของมาตรวัดชี้เต็มสเกล หลักการแปลงสเกลจะให้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เท่า เพื่อให้ใช้พิสัยการวัดน้อยที่สุดแต่ละเอียด เช่น พิสัยการวัด 0.1, 0.5, 2.5, 10, 50, 250 และ 1000

ตัวอย่างที่3การออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิสัย 10 V จากขดลวดของมาตรวัดที่มีค่ากระแสวงจรที่ออกแบบเต็มสเกล 1 mA ค่าความต้านทานภายใน 100 Ω จากวงจรที่ออกแบบได้ จงหาค่าความไวหรืออัตราส่วนของโอห์มต่อโวลต์และหาค่าความต้านทานอินพุต



รูปที่ 3.149 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10 V

แรงดันตกคร่อมมาตรวัดหาจากคุณสมบัติของการเป็นมาตรวัดกระแส

$$V_m = I_{fs} \times R_m$$

$$= 1\ mA \times 100\ \Omega = 0.1\ V$$

$$R_S = \frac{V_{IN} - V_m}{I_{fs}}$$

$$= \frac{10\ V - 0.1\ V}{1\ mA} = 9.9\ k\Omega$$

ดังนั้น R_S= 9.9 kΩ เป็นค่าความต้านทานที่จะนำมาต่ออนุกรมกับมาตรวัดกระแส 1 mA, 100 Ω หรือมาตรวัดแรงดัน 0.1 V, 100 Ω ในพิสัยการวัด 10 V

ข้อสังเกต พิสัยการวัดที่ต้องการออกแบบจะต้องมีค่าสูงกว่าพิสัยเดิม คือ 0.1 V และจะมีค่าเป็นกี่เท่าขึ้นกับจุดประสงค์ในการใช้งาน

ค่าความไวของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้า (Sensitivity)

$$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{1\ mA} = 1\ k\Omega/V$$

ค่าความไวของมาตรวัดแรงดันสามารถบ่งชี้ถึงความเที่ยงตรงในการวัด ถ้า S_{dc} มีค่าสูง หมายถึง มาตรวัดมีค่าความต้านทานอินพุตสูง จะไม่ไปโหลดแหล่งจ่ายที่ทำการวัดมาก ค่าความคลาดเคลื่อนจึงลดลง ดังนั้น จึงควรเลือกขดลวดของมาตรวัดที่มีค่า I_{fs} ต่ำ ๆ จึงจะทำให้มาตรวัดแรงดันที่ออกแบบมีความเที่ยงตรงสูง

ความต้านทานของมาตรวัดแรงดันที่พิสัยการวัดที่ออกแบบ

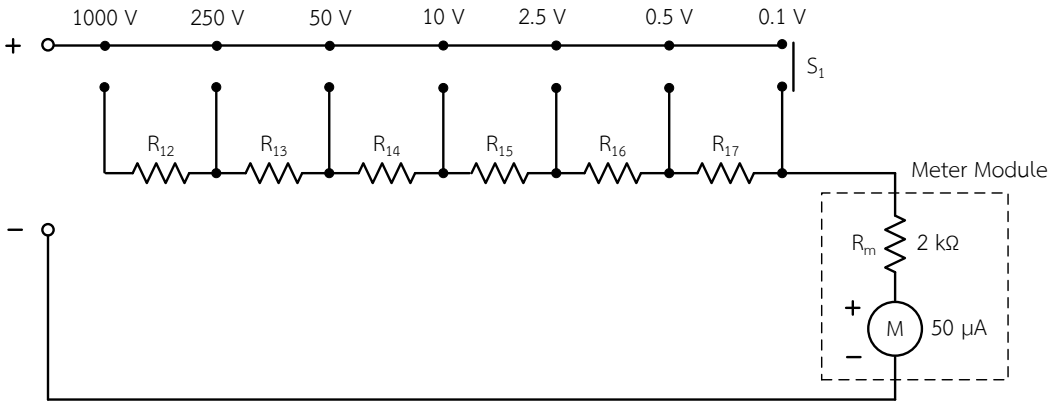
ที่พิสัย 10 V $\quad R_{in} = \frac{V_{IN}}{I_{fs}}$

หรือ $\quad R_{in} = S \times V_{IN} = 1\ k\Omega/V \times 10\ V = 10\ k\Omega$

ซึ่งมีความหมายว่าขณะนำมาตรวัดที่ออกแบบไว้ วัดแรงดันในวงจรต่าง ๆ จะเสมือนการนำตัวต้านทานมีค่า 10 kΩ ไปต่อคร่อมวงจรที่จุดวัดนั้น ๆ ด้วย และอาจมีผลทำให้ค่าความต้านทานที่จุดวัดนั้นเปลี่ยนไปทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้ลดลงต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย โดยเฉพาะเมื่อนำไปวัดในวงจรตัวต้านทานที่มีค่าสูงจะเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่อนข้างสูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นข้อเสียของมาตรวัดชนิดแอนะลอก

การออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1. ออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิสัยเหมือนมัลติมิเตอร์ทั่วไป0.1V, 0.5V, 2.5 V, 10 V, 50 V, 250 V และ 1000 V จากมอดูลของมาตรวัดที่มีความต้านทานภายใน 2 kΩ กระแสเต็มสเกล 50 μA



รูปที่ 3.150 มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0.1 V, 0.5 V, 2.5 V, 10 V, 50 V, 250 V, 1000 V

วิธีทำ ที่พิสัย 0.1 V มีแรงดันตกคร่อม

$V_m = I_{fs} \times R_m$

$= 50\ \mu A \times 2\ k\Omega$

$= 0.1\ V$

จึงไม่มีการต่อตัวต้านทานเพิ่มสามารถใช้เป็นมาตรวัดแรงดันที่มีพิสัย 0.1 V ได้โดยตรง

$$\text{จาก } R_s = \frac{V_{IN} - V_m}{I_{fs}}$$

พิสัย 0.5 V; $R_{17} = \dfrac{0.5\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 8\ k\Omega$

ที่พิสัย 2.5 V; $R_{16}+R_{17} = \dfrac{2.5\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 48\ k\Omega$

$R_{16}+8\ k\Omega = 48\ k\Omega$

$= 48\ k\Omega - 8\ k\Omega$

$R_{16} = 40\ k\Omega$

ที่พิสัย 10 V; $R_{15}+(R_{16}+R_{17}) = \dfrac{10\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 198\ k\Omega$

$R_{15}+(40\ k\Omega+8\ k\Omega) = 198\ k\Omega$

$R_{15} = 198\ k\Omega - (40\ k\Omega+8\ k\Omega)$

$R_{15} = 150\ k\Omega$

ที่พิสัย 50 V; $R_{14}+(R_{15}+R_{16}+R_{17}) = \dfrac{50\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 998\ k\Omega$

$R_{14}+(150\ k\Omega+40\ k\Omega+8\ k\Omega) = 998\ k\Omega$

$R_{14} = 998\ k\Omega - (150\ k\Omega+40\ k\Omega+8\ k\Omega)$

$R_{14} = 800\ k\Omega$

ที่พิสัย 250 V;

$$R_{13}+(R_{14}+R_{15}+R_{16}+R_{17}) = \frac{250\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 4.998\ M\Omega$$

$$R_{13}+(800\ k\Omega+150\ k\Omega+40\ k\Omega+8\ k\Omega) = 4.998\ M\Omega$$

$$R_{13} = 4.998M\Omega–(800\ k\Omega + 150\ k\Omega + 40k\Omega + 8k\Omega)$$

$$R_{13} = 4\ M\Omega$$

ที่พิสัย 1,000 V

$$R_{12}+(R_{13}+R_{14}+R_{15}+R_{16}+R_{17}) = \frac{1000\ V - 0.1\ V}{50 \times 10^{-6}} = 19.998\ M\Omega$$

$$R_{12}+(4\ M\Omega+800\ k\Omega+150\ k\Omega+40\ k\Omega+8\ k\Omega) = 19.998\ M\Omega$$

$$R_{12} = 19.998\ M\Omega+(4\ M\Omega+800\ k\Omega+150\ k\Omega+40\ k\Omega+8\ k\Omega)$$

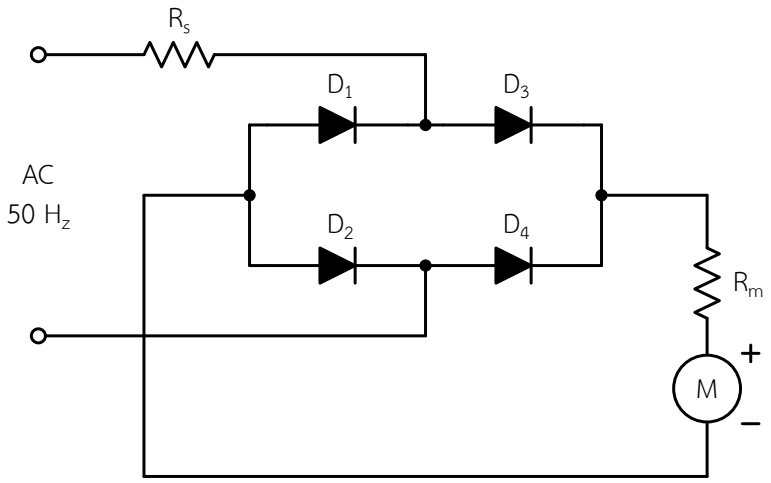
$$R_{12} = 15\ M\Omega$$

4.7.3 การออกแบบขยายพิสัยการวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดที่ใช้กันทั่วไป สามารถใช้ได้เฉพาะกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น กรณีที่จะนำมาใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจำเป็นต้องมีวงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงแรงดันไฟกระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง และผลของวงจรเรียงกระแสทำให้ความไวของมาตรวัดในพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับลดลง เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นระบบไฟฟ้าที่ให้กำลังงานจริงน้อยกว่ากำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

ตัวต้านทาน R_s เป็นค่าความต้านทานเพื่อขยายพิสัยการวัดแรงดันและจำกัดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัด เมื่อมีสัญญาณรูปคลื่นไซน์เข้ามาไดโอดจะสลับกันนำกระแส คือ เมื่อสัญญาณรูปไซน์ช่วงบวกเข้ามา D_3, D_2 จะนำกระแส ถ้าสัญญาณคลื่นไซน์ช่วงลบเข้ามา D_1, D_4 จะนำกระแส ค่ากระแสเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในวงจรเมื่อใช้ไดโอดในอุดมคติคำนวณได้จากสมการดังนี้ คือ



รูปที่ 3.151 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$I_{av} = \frac{0.636\, V_p}{R_s + R_m}$$

$$= \frac{0.636 \times 1.414 \times V_{rms}}{R_s + R_m}$$

$$I_{av} = \frac{0.9\, V_{rms}}{R_s + R_m}$$

$$R_S = \frac{0.9\, V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$$

ตัวอย่างที่ 4 จากวงจรรูปที่ 3.151 กำหนดให้ขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมี R_m = 100 Ω กระแสเต็มสเกล 1 mA จงออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $10V_{rms}$ และคำนวณหาค่าความต้านทานอินพุตของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

วิธีทำ จากสมการ $R_S = \frac{0.9\, V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$

แทนค่า จะได้ $R_S = \frac{0.9 \times 10V}{1 \times 10^{-3}} - 100\ \Omega = 8{,}900\ \Omega$

ค่าความไวของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Sensitivity) คำนวณได้จากอัตราส่วนของความต้านทานรวมกับค่าอาร์เอ็มเอส

$$S_{ac} = \frac{R_s + R_m}{V_{rms}}$$

$$= \frac{8{,}900 + 100}{10}$$

$$= 900\ \Omega/V$$

ค่าความไวของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Sensitivity)

$$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}}$$

$$= \frac{1}{1 \times 10^{-3}} = 1000\ \Omega/V$$

เมื่อนำมาใช้เป็นมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับ จะลดลงร้อยละ10 เหลือเพียง 900 Ω/V เนื่องจากระบบการแปลงพลังงาน $I_{dc} = 1.1\ I_{ac}$หรือ $\frac{S_{dc}}{S_{ac}} = \frac{1000}{900} = 1.1$ มีความหมายว่ามาตรวัดแรงดันไฟกระแสตรงมีความไวกว่ามาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับ 1.1 เท่า

กรณีใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าความไวจะลดลงต่ำกว่าใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ร้อยละ 50 หรือต่ำกว่ามาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เท่ากับ $\frac{S_{dc}}{S_{ac}} = \frac{20\ k\Omega/V}{9\ k\Omega/V} = 2.2$ เท่า แต่มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีจำหน่ายทั่วไปเน้นความประหยัด จึงยังนิยมใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

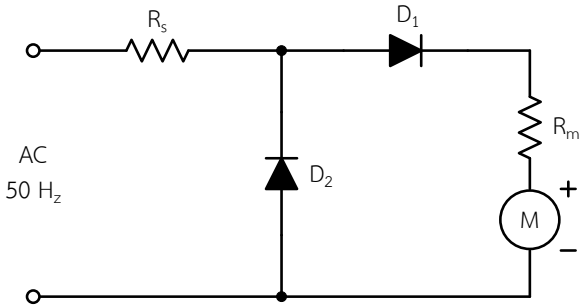
ดังนั้น การหาค่าความต้านทานอินพุตของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

จากสมการ $R_{in} = S \times V_{IN}$

$= 900\ \Omega/V \times 10\ V = 9\ k\Omega$

มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับแบบครึ่งคลื่น มีข้อดีที่ใช้อุปกรณ์น้อย สามารถใช้ได้กับแรงดันอินพุตที่ต่ำ แต่มีข้อเสียที่ความไวและค่าความต้านทานอินพุตต่ำกว่าแบบที่ใช้เต็มคลื่นประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อมีสัญญาณรูปคลื่นไซน์ช่วงบวกเข้ามา D_1จะนำกระแส แต่เมื่อสัญญาณรูปคลื่นไซน์ช่วงลบเข้ามา D_2 จะนำกระแส การเพิ่ม D_2 เข้ามาจะช่วยไม่ให้ D_1 ทำงานในช่วงไบแอสกลับ ซึ่งอาจจะมีกรแสรั่วไหลไปยังขดลวดของมาตรวัดได้ และช่วยป้องกัน D_1ไม่ให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ง่าย กรณีวัดแรงดันค่าสูงแต่ไปตั้งพิสัยต่ำ ค่ากระแสเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในวงจรเมื่อกำหนดให้ไดโอดในอุดมคติคำนวณได้จากสูตรคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 3.152 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับโดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

$$I_{av} = \frac{0.318V_p}{R_s + R_m} = \frac{0.318 \times 1.414 \times V_{rms}}{R_s + R_m}$$

$$= \frac{0.45 \times V_{rms}}{R_S + R_m}$$

$$R_s = \frac{0.45 \times V_{rms}}{I_{av}} - R_m$$

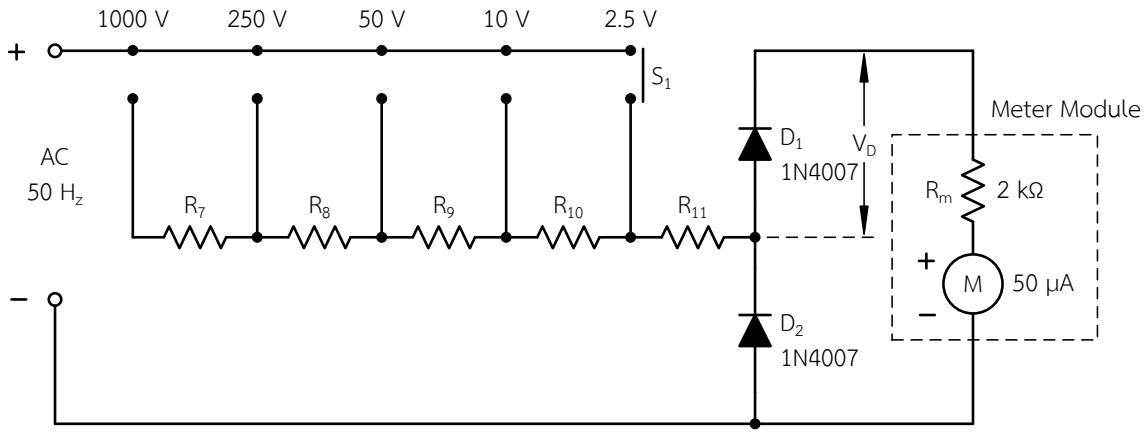
การออกแบบวงจรใช้งานจริงจะนำค่าความต้านทานของไดโอดหรือแรงดันตกคร่อมไดโอดมาประกอบการคำนวณหรืออาจหาวิธีการทำให้ไดโอดทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น การเลือกใช้ไดโอดแบบชอตกี เบอร์ 1N60 ที่มีแรงดันไบแอส 0.2–0.3 V จะทำให้ช่วงพิสัยการวัด 2.5 V, 10 V, มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงกว่าใช้ไดโอดชนิดซิลิกอน เบอร์ 1N4007 ที่มีแรงดันไบแอส 0.5–0.7 V

ปกติแรงดัน V_Dของซิลิคอนไดโอดมีค่าประมาณ 0.7 V แต่ในวงจรที่มีกระแสไหลผ่านน้อยจะมีค่าลดลงตามลำดับ ในการขยายพิสัยการวัดจะเกิดแรงดัน V_D มีค่าประมาณ 0.5 V แต่ถ้าต้องการให้วงจรทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นคล้ายไดโอดในอุดมคติ ให้เปลี่ยนไดโอดเป็นชนิดชอตกี ที่มีค่า V_F ประมาณ 0.2 V ค่าความต้านทานที่คำนวณจะมีค่าสูง อินพุตอิมพีแดนซ์ของมาตรวัดจะสูงขึ้นตาม ในที่นี้จะเป็นการเรียนรู้จากมัลติมิเตอร์มาตรฐาน ชุดฝึก ฯ จึงใช้ซิลิคอนไดโอด

มัลติมิเตอร์บางรุ่นจะไม่ออกแบบพิสัยการวัด 2.5 VAC เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเกิดจากค่าแรงดัน V_F ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้ไดโอดที่มีค่า V_Fต่ำ เบอร์ 1N60 แทนเบอร์ 1N4007

การออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

1. ออกแบบมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับแบบครึ่งคลื่นที่มีพิสัย 2.5 V, 10 V, 50 V, 250 V และ 1000 V จากมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าความต้านทานภายใน 2 kΩ กระแสเต็มสเกล 50 μADC กำหนดให้มีแรงดันตกคร่อมไดโอดเรียงกระแส 0.5 V



รูปที่ 3.153 วงจรมาตรวัดแรงดันไฟกระแสสลับ 0 – 1000 V

จากสูตร $R_s = \frac{0.45 \times V_{rms}}{I_{av}} - R_m$

เมื่อนำแรงดันตกคร่อมไดโอดมาพิจารณา

$$R_s = \frac{0.45 \times V_{rms} - V_D}{I_{av}} - R_m$$

พิสัย 2.5 V ; $R_{11} = \frac{0.45 \times (2.5\ V - 0.5\ V)}{50 \times 10^{-6}} - 2\ k\Omega$

$R_{11} = 16\ k\Omega$

พิสัย 10 V ; $R_{10}+R_{11} = \frac{0.45 \times (10\ V - 0.5\ V)}{50 \times 10^{-6}} - 2\ k\Omega$

$R_{10}+R_{11} = 83.5\ k\Omega$

$R_{10} = 83.5\ k\Omega - R_{11}$

$R_{10} = 83.5\ k\Omega - 16\ k\Omega$

$R_{10} = 67.5\ k\Omega$

พิสัย 50 V ; $R_9+(R_{10}+R_{11}) = \frac{0.45 \times (50\ V - 0.5\ V)}{50 \times 10^{-6}} - 2\ k\Omega$

$= 443.5\ k\Omega$

$R_9 = 443.5\ k\Omega - (R_{10}+R_{11})$

$R_9 = 443.5\ k\Omega - 83.5\ k\Omega$

$R_9 = 360\ k\Omega$

พิสัย 250 V ; $R_8+(R_9+R_{10}+R_{11}) = \frac{0.45 \times (250\ V - 0.5\ V)}{50 \times 10^{-6}} - 2\ k\Omega$

$= 2.2435\ M\Omega$

$R_8 = 2.2435\ M\Omega - 443.5\ k\Omega$

$R_8 = 1.8\ M\Omega$

พิสัย 1000 V ; $R_7+(R_8+R_9+R_{10}+R_{11}) = \frac{0.45 \times (1000\ V - 0.5\ V)}{50 \times 10^{-6}} - 2\ k\Omega$

$= 8.9935\ M\Omega$

$R_7 = 8.9935\ M\Omega - 2.2435\ M\Omega$

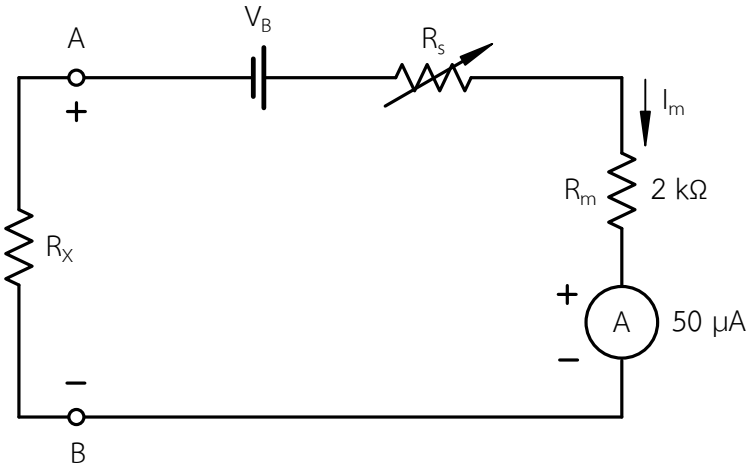
$R_7 = 6.75\ M\Omega$

4.7.4 การออกแบบขยายพิสัยการวัดของมาตรวัดความต้านทาน

วงจรมาตรวัดความต้านทานโดยทั่วไป จะประกอบด้วยมาตรวัดกระแส, ตัวต้านทานชนิดคงที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ และแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับตัวต้านทานผ่านมาตรวัดกระแส เป็นตัวบ่งชี้ค่าความต้านทานที่สัมพันธ์กับค่าของกระแส วงจรมาตรวัดความต้านทานสามารถแบ่งได้ตามการต่อของมาตรวัดกระแสมี 3 แบบ คือ

1. มาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด
2. มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด
3. มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์

1. มาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด



รูปที่ 3.154 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด

ลักษณะของวงจร ตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_X ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ V_B ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_S และมาตรวัดกระแส 50 μA หลักการทำงานของมาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ จะอาศัยตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_Sทำหน้าที่ควบคุมให้เข็มของมาตรวัดชี้เต็มสเกลขณะลัดวงจรขั้ววัดจุด AB โดยคุณสมบัติของวงจรเมื่อ $R_X = R_S + R_m$ เข็มของมาตรวัดจะชี้กึ่งกลางสเกล เมื่อ $R_X = 0\ \Omega$ เข็มของมาตรวัดจะชี้ไปทางขวาสุดของสเกล เมื่อ R_Xมีค่าอนันต์เข็มของมาตรวัดจะชี้ไปทางซ้ายสุดของสเกล เมื่อต้องการสร้างสเกลอ่านค่าความต้านทานจากกระแสที่อ่านได้ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$I_m = \frac{V_B}{R_X + R_S + R_m}$$

ตัวอย่างที่ 5 จากวงจรรูปที่ 3.154 แรงดันจากแบตเตอรี่ 1.5 V ใช้มาตรวัดกระแส 100 μA ค่าความต้านทาน $R_S + R_m = 15\ k\Omega$

ก. คำนวณหากระแสไหลผ่านมาตรวัดเมื่อลัดวงจรขั้ววัด AB

ข. หาค่าความต้านทาน R_X บนสเกลที่ตำแหน่ง 0.25 FSD, 0.5 FSD และ 0.75 FSD

ค. ถ้าแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 1.2 V วัดความต้านทาน $R_X = 15\ k\Omega$ จะอ่านค่าได้เท่าใด

วิธีทำ ก. จาก $I_m = \dfrac{V_B}{R_X + R_S + R_m} = \dfrac{1.5\ V}{0 + 15\ k\Omega} = 100\ \mu A$

ข. ที่ 0.25 FSD $I_m = 0.25 \times 100\ \mu A = 25\ \mu A$

$$R_X = \frac{1.5\ V}{25\ \mu A} - 15\ k\Omega = 45\ k\Omega$$

ที่ 0.5 FSD $I_m = 0.5 \times 100\ \mu A = 50\ \mu A$

$$R_X = \frac{1.5\ V}{50\ \mu A} - 15\ k\Omega = 15\ k\Omega$$

ที่ 0.75 FSD $I_m = 0.75 \times 100\ \mu A = 75\ \mu A$

$$R_X = \frac{1.5\ V}{75\ \mu A} - 15\ k\Omega = 5\ k\Omega$$

ค. จากข้อ ข. ขณะแบตเตอรี่มีค่า 1.5 V เมื่อ $R_X = 15\ k\Omega$, $I_m = 50\ \mu A$

$$\text{เมื่อ } V_B = 1.2\ V, \quad I_m = \frac{1.2\ V}{15\ k\Omega + 15\ k\Omega} = 40\ \mu A$$

ค่าความต้านทานที่อ่านได้เมื่อ $V_B = 1.2\ V$ คือ

$$40 \times 10^{-6} = \frac{1.2\ V}{R_X + 15\ k\Omega}$$

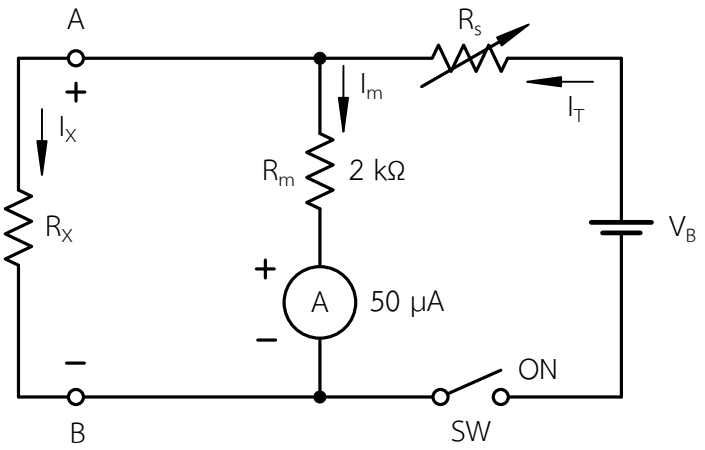
$$R_X = 22.5\ k\Omega$$

ผลที่เกิดขึ้น คือ เมื่อแบตเตอรี่อ่อน กระแสเต็มสเกลจะลดลงค่าความต้านทานเดิมที่อ่านได้ 15 kΩ จะเพิ่มเป็น 22.5 kΩ

สรุป ลักษณะของวงจรที่มีตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อเป็นตัวต้านทานอนุกรมกับมาตรวัดกระแสเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดนั้น เมื่อมีการปรับให้เข็มชี้ค่าตามสเกลมาตรวัดที่แรงดันของ

แบตเตอรี่ค่าหนึ่ง สเกลของมาตรวัดความต้านทานที่สร้างขึ้น จะถูกเจาะจงให้ใช้ตามวงจรนี้เท่านั้น เมื่อแรงดันจากแบตเตอรี่มีค่าลดลงจากการใช้งาน การปรับ R_S เพื่อให้เข็มของมาตรวัดชี้เต็มสเกลใหม่ จะไม่สามารถใช้สเกลเดิมได้ จึงเป็นข้อจำกัดของมาตรวัดความต้านทานแบบต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด ยกเว้นจะสร้างวงจรควบคุมแรงดันให้คงที่จึงจะสามารถแก้ปัญหานี้ได้หรือเพิ่มสเกลการวัดเมื่อแบตเตอรี่มีค่าแรงดันต่าง ๆ ดังนั้น วงจรนี้จึงไม่นิยมที่จะนำมาใช้งานจริงและมีข้อจำกัดในการออกแบบให้วัดได้หลายพิสัย

2. มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด



รูปที่ 3.155 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด

ลักษณะของวงจรมาตรวัดตัวต้านทานแบบขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัดที่ไม่ทราบค่า R_X จะต่อขนานกับมาตรวัดกระแส 50 μA และขนานกับตัวต้านทานปรับค่าได้ R_S ที่ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ V_B หลักการทำงานของมาตรวัดความต้านทานแบบขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด จะอาศัยความต้านทานชนิดปรับค่าได้ R_S ทำหน้าที่ควบคุมให้เข็มของมาตรวัดชี้เต็มสเกล ขณะเปิดวงจรขั้ววัดที่จุด AB โดยคุณสมบัติของวงจร เมื่อ R_X = 0 Ω เข็มของมาตรวัดจะชี้ไปทางซ้ายสุดของสเกล เนื่องจากไม่มีกระแสไหลผ่านมาตรวัด ขณะที่อ่านค่าความต้านทานที่สเกลได้ 0 Ω เมื่อ R_X มีค่าอนันต์ หรือเปิดวงจรที่จุด AB เข็มของมาตรวัดจะชี้ไปทางขวาสุดของสเกล อ่านค่าความต้านทานได้ ∞ Ω เนื่องจากกระแสไหลผ่านมาตรวัดมากและจะสามารถจำกัดกระแสสูงสุดด้วยการปรับ R_S

เมื่อเปิดวงจรที่จุด AB $\quad I_{fs} = \dfrac{V_B}{R_s + R_m}$

เมื่อนำความต้านทานภายนอก R_X มาต่อที่จุด AB กระแสที่ไหลผ่านมาตรวัด I_m คือ

$$I_m = \frac{I_T \times R_X}{R_X + R_m}$$

ตัวอย่างที่ 6 จากวงจรรูปที่ 3.155 ใช้มาตรวัดกระแสขนาด 1 mA ความต้านทานภายใน 1 kΩ แรงดันที่แบตเตอรี่ 3 V จงคำนวณหา

ก. ค่าความต้านทานจำกัดกระแส R_S ที่ทำให้กระแสไหลผ่านมาตรวัดเต็มสเกล

ข. เมื่อวัดค่าความต้านทาน 1 kΩ ให้คำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านมาตรวัด

ค. วงจรถูกออกแบบให้มีพิสัยการวัดเท่าใด

วิธีทำ ก. ค่าความต้านทานจำกัดกระแส R_S ที่ทำให้ไหลผ่านมาตรวัดเต็มสเกล ขณะเปิดวงจรจุด AB

จากสมการ $I_{fs} = \dfrac{V_B}{R_s + R_m}$

$$1\ \text{mA} = \frac{3\ \text{V}}{R_s + 1\,\text{k}\Omega}$$

$$R_S = 2\ \text{k}\Omega$$

ข. กระแสที่ไหลผ่านมาตรวัด เมื่อวัดค่าความต้านทาน 1 kΩ

$$R_T = R_S//(R_m + R_X)$$

$$= 2\ \text{k}\Omega//(1\ \text{k}\Omega + 1\ \text{k}\Omega)$$

$$R_T = 1\ \text{k}\Omega$$

$$I_T = \frac{V_B}{R_T} = \frac{3\ \text{V}}{1\,\text{k}\Omega} = 3\ \text{mA}$$

$$I_m = \frac{I_T \times R_X}{R_X + R_m}$$

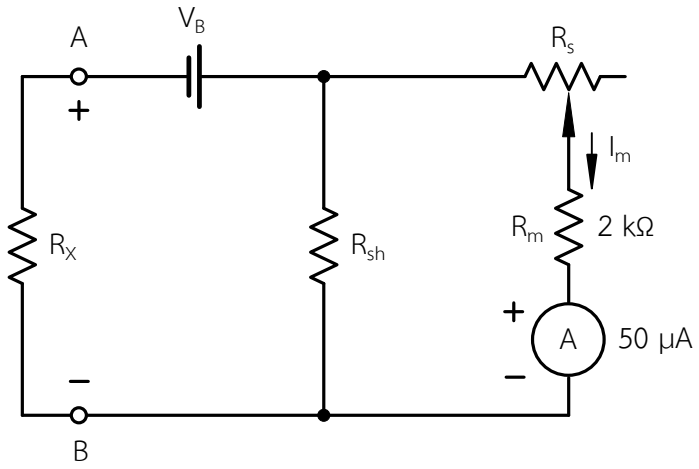
$$= \frac{3\,\text{mA} \times 1\,\text{k}\Omega}{1\,\text{k}\Omega + 1\,\text{k}\Omega}$$

$$= 1.5\ \text{mA}$$

$I_m > 1$ mA แสดงว่าค่าความต้านทานที่ทำการวัดสูงเกินไป ทำให้กระแสไหลผ่านมาตรวัดเกิน 1 mA ซึ่งเกินสเกลหรือพิสัยที่ออกแบบ เนื่องจากวงจรถูกออกแบบให้มีพิสัยการวัดสูงสุด 500 Ω โดยแทนค่าในสมการ $I_m = \dfrac{3\,\text{mA} \times 500\,\Omega}{1\,\text{k}\Omega + 500\,\Omega} = 1$ mA ซึ่งเป็นกระแสเต็มสเกล

สรุป มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด เหมาะที่จะใช้กับพิสัยการวัดค่าความต้านทานต่ำ ๆ เนื่องจากสเกลที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่ามาตรวัดความต้านทานแบบอนุกรม ข้อเสียของมาตรวัดความต้านทานแบบขนานกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด คือ ขณะไม่ได้ใช้งานวงจรมาตรวัดจะต่อคร่อมกับแบตเตอรี่ตลอดเวลาทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานน้อย การแก้ไขจะใช้สวิตช์ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่คือ ใช้แบตเตอรี่เมื่อต้องการวัด ซึ่งไม่สะดวกต่อการใช้งานและมีข้อจำกัดในการออกแบบให้วัดได้หลายพิสัย

3. มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์



รูปที่ 3.156 วงจรมาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์

ลักษณะของวงจรประกอบด้วยตัวต้านทานไม่ทราบค่าต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่และขนานกับ R_{Sh} โดยR_{Sh} ต่อขนานกับมาตรวัดกระแสอนุกรมกับ R_S ซึ่งเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ มาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์ เป็นวงจรอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในมัลติมิเตอร์ทั่วไป หลักการทำงานของมาตรวัดความต้านทานแบบต่อขนานกับตัวต้านทานชันต์จะใช้ตัวต้านทานแบบมาตรฐาน R_{sh} ต่อขนานกับมาตรวัดกระแส ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแบบชนิดปรับค่าได้ R_S สำหรับปรับให้เข็มของมาตรวัดชี้เต็มสเกลเมื่อลัดวงจรอินพุตขั้ว AB ทางด้านอินพุตจะมีแบตเตอรี่จ่ายกระแสผ่านตัวต้านทานมาตรฐาน และจะครบวงจรเมื่อมีการวัดค่าความต้านทาน เมื่อทำการวัดตัวต้านทานซึ่งมีค่าเท่ากับตัวต้านทานมาตรฐาน เข็มของมาตรวัดจะชี้กึ่งกลางสเกล ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้ความเที่ยงตรงสูงสุด เมื่อ R_{sh} มีค่าเท่ากับ R_X เข็มจะชี้ซ้ายมือสุดเมื่อเปิดวงจรหรือ R_X มีค่า ∞ และเข็มชี้ขวามือสุด เมื่อลัดวงจร หรือ R_X= 0 Ω เงื่อนไขนี้ทำให้สเกลการวัดความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นเหมือนวงจรวัดแรงดันและกระแส เนื่องจากมีช่วงการวัดสูงสุดเป็น ∞ Ω แต่จะวัดได้ละเอียดในช่วงกึ่งกลางสเกลเท่านั้น การต่อขั้วแบตเตอรี่กับขั้ววัดของมาตรวัดมีผลต่อขั้วแรงดันที่ปล่อยออกมาจากขั้ววัด ซึ่งมัลติมิเตอร์ของญี่ปุ่นนิยมใช้ขั้วบวกของสายวัดมีศักย์เป็นไฟลบปล่อยออกมา เนื่องจากพิจารณาจากวงจรขณะวัดตัวต้านทาน ต้องทำให้มาตรวัดได้รับศักย์บวก มิฉะนั้นจะบ่ายเบนสลับทิศทาง ส่วนวงจรโอห์มมิเตอร์ของอเมริกาจะให้ศักย์บวกจากขั้วบวกของมาตรวัด ซึ่งจะต้องสลับขั้วมาตรวัด

วงจรมาตรวัดความต้านทานส่วนมากจะมีตัวปรับให้เข็มชี้ตำแหน่งศูนย์ (Zero Adjust) เพื่อทำให้เข็มของมาตรวัดสามารถชี้ตำแหน่งมากกว่าหรือน้อยกว่า 0 Ω ได้ เมื่อขั้วอินพุตลัดวงจรความ

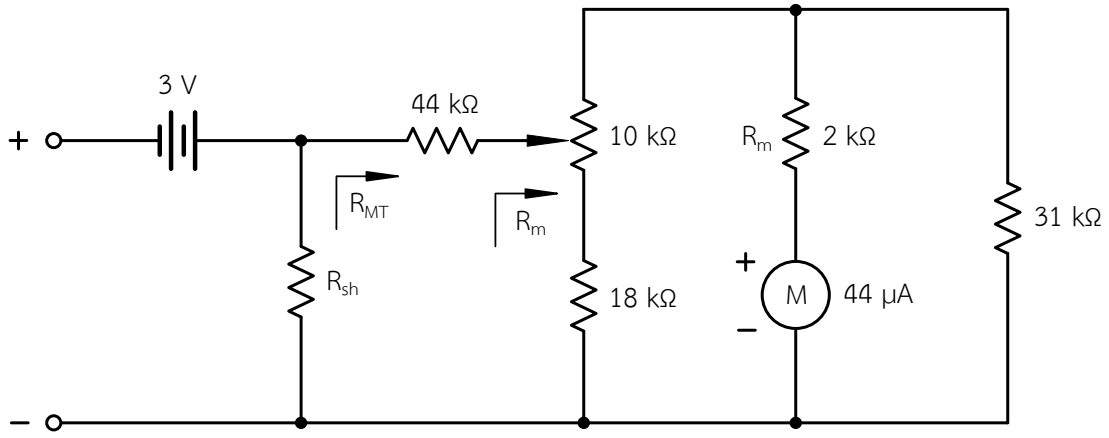
จำเป็นของตัวปรับสู่ตำแหน่งศูนย์รวมทั้งสาเหตุจากค่าแรงดันของแบตเตอรี่ค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากการใช้งานเพื่อให้สอดคล้องกับพิสัยการวัดที่มีวงจรแตกต่างกัน การปรับค่าความต้านทานของตัวปรับสู่ตำแหน่งศูนย์นี้ มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานรวมของวงจรมาตรวัดและตัวต้านทานมาตรฐาน R_{sh} ดังนั้น ผู้ผลิตมัลติมิเตอร์แต่ละยี่ห้อจึงหาเทคนิควิธีการต่าง ๆ ที่จะออกแบบให้เกิดผลกระทบต่อค่าความต้านทานรวมน้อยที่สุดและคำนึงถึงการใช้สเกลร่วมกันในทุกพิสัยของการวัดเช่น เลือกใช้ตามวงจรรูปที่ 3.157

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบมาตรวัดความต้านทานหลายพิสัย

1. ค่าความต้านทานมาตรฐานจะทำให้เข็มชี้กึ่งกลางสเกล เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานภายนอกR_Xซึ่งมีค่าเท่ากับความต้านทานมาตรฐานค่าความต้านทานมาตรฐาน หมายถึง $R_{sh}//R_{MT}$
2. ค่าความต้านทานมาตรฐานในพิสัยที่สูงกว่าจะต้องมีค่า 10 เท่าตามค่าของพิสัยถัดไป
3. ค่าของกระแสที่ไหลผ่านมาตรวัดในแต่ละพิสัย เมื่อใช้วัดค่าความต้านทาน R_X ที่มีค่าเท่ากับตัวต้านทานมาตรฐานจะต้องใกล้เคียงกัน และเข็มจะชี้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางสเกลทุกพิสัย

การออกแบบมาตรวัดความต้านทาน

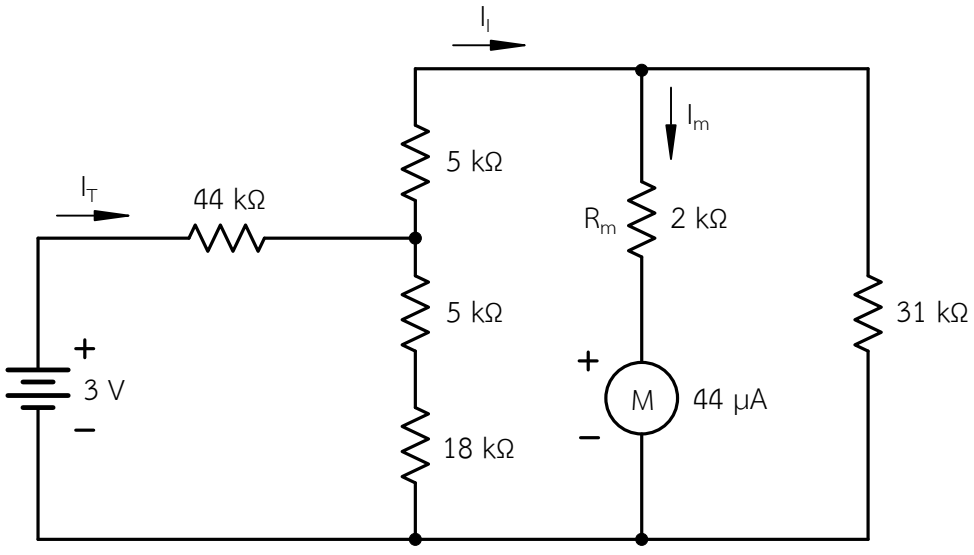
ลักษณะวงจรตามรูปที่ 3.156 เปรียบเทียบกับวงจรตามรูปที่ 3.157 คือ ตำแหน่งอิมพีแดนซ์ที่มองจาก R_{MT} เมื่อคำนวณทั้งหมดจะเปรียบเสมือนเป็นมาตรวัดกระแส 50 μA, R_m1.76 kΩ คำนวณจาก 2 kΩ– 240 Ω= 1.76 kΩ ซึ่งเป็นมอดูลเดิมของ 50 μA จากเดิมใช้มาตรวัดกระแส 44 μA, R_m 1.1 kΩ ในการออกแบบ ซึ่งเทคนิคการต่อตัวต้านทาน 10 kΩ ที่เป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ในลักษณะนี้ไม่ทำให้ R_mของมาตรวัดเปลี่ยนไป ดังนั้น การปรับเพื่อชดเชยกระแสเนื่องจากแบตเตอรี่อ่อน จึงไม่มีผลต่อการอ่านค่าความต้านทานในแต่ละพิสัย โดยหากยังสามารถปรับให้เข็มชี้ศูนย์ได้ มาตรวัดโอห์มมิเตอร์จะมีความเที่ยงตรงตลอด ตัวต้านทาน 44 kΩ ถูกต่ออนุกรมให้การชดเชยกระแสในการปรับให้เข็มชี้ศูนย์ขณะแบตเตอรี่อ่อนมีความเหมาะสม แต่ค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจาก R_{MT} จะมีค่า 45.76 kΩ ซึ่งลักษณะตามรูปที่ 3.157 จึงเหมาะกับการสร้างพิสัยใดพิสัยหนึ่งเท่านั้น แต่วงจรตามรูปที่ 3.157 สามารถใช้ได้กับหลายพิสัย จึงเป็นสาเหตุที่ไม่นำมาตรวัดกระแส 50 μA มาทำเป็นมาตรวัดความต้านทาน โดยตรงต้องใช้มาตรวัดที่ไวกว่า คือ 44 μA แล้วต่อตัวต้านทาน 44 kΩ เพื่อลดความไวลง ซึ่งตัวต้านทานที่ต่อเพิ่มเติม สามารถปรับชดเชยให้เข็มชี้ 0 Ω ในวงจรวัดตัวต้านทานได้ โดยผลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวต้านทานปรับค่าได้ทำให้ค่า R_{MT} เปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย



รูปที่ 3.157 วงจรมาตรวัดความต้านทาน พิสัยการวัด ×1 ถึง ×1k

จากรูปที่ 3.157 คำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านมาตรวัดเมื่อลัดอินพุตของวงจรขณะตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่กึ่งกลางและค่ากระแสชดเชย เมื่อตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่ตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาสุด, ตำแหน่งตามเข็มนาฬิกาสุด

ขณะขั้วอินพุตลัดวงจร R_{sh} ไม่มีผลต่อกระแสที่ไหลผ่านมาตรวัด เนื่องจากต่อขนานกับแบตเตอรี่ จึงไม่นำมาใช้ในการคำนวณ เมื่อตัวต้านทานปรับค่าได้ ถูกปรับไว้ที่กึ่งกลางสามารถเขียนวงจรใหม่ได้ตามวงจรรูปที่ 3.158



รูปที่ 3.158 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทานเมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้กึ่งกลางสเกล

จากการวิเคราะห์วงจรได้

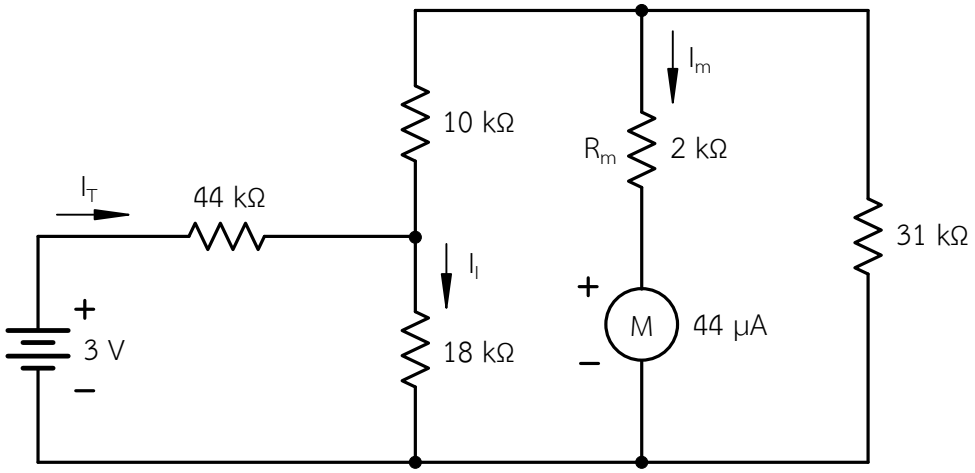
$$I_T = \frac{3\ V}{44\,k\Omega + 23\,k\Omega // \left[5\,k\Omega + (2\,k\Omega // 31 k\Omega)\right]} = \frac{3\ V}{44\,k\Omega + (5.28\,k\Omega)} = 60.86\ \mu A$$

$$I_I = \frac{I_T \times 23\,k\Omega}{6.87\,k\Omega + 23\,k\Omega} = \frac{60.86\,\mu A \times 23\,k\Omega}{29.87\,k\Omega} = 46.86\ \mu A$$

$$I_m = \frac{I_I \times 31\,k\Omega}{2\,k\Omega + 31\,k\Omega} \frac{46.86\,\mu A \times 31\,k\Omega}{33\,k\Omega} = 44.02\ \mu A$$

ดังนั้น เมื่อตัวต้านทานถูกปรับไว้ที่กึ่งกลางสเกลค่ากระแส $I_m \approx$ 44 μA เท่ากับค่ากระแสสูงสุดของมาตรวัด

เมื่อตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่ตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาสุด



รูปที่ 3.159 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทาน เมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าต่ำสุดในทิศทวนเข็มนาฬิกา

จากการวิเคราะห์วงจรได้

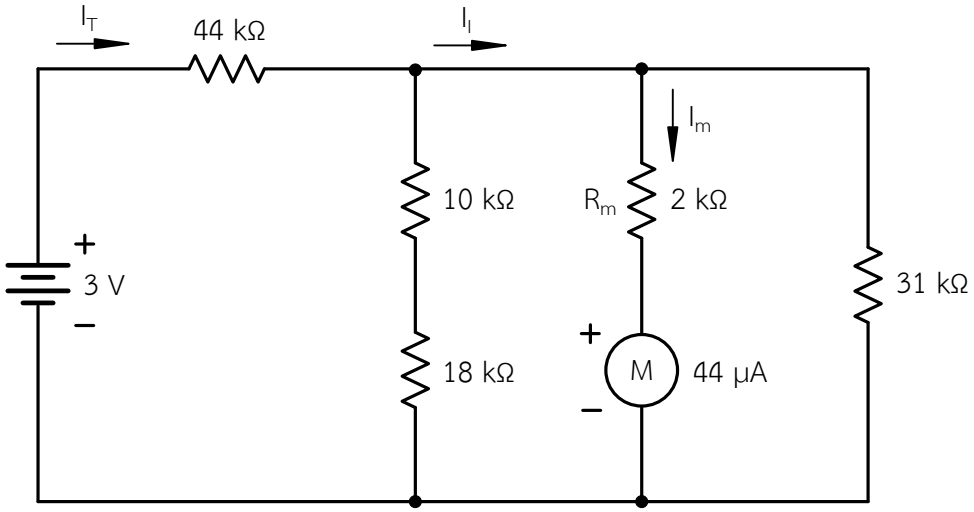
$$I_T = \frac{3\ V}{44\,k\Omega + 18\,k\Omega // \left[10\,k\Omega + (2\,k\Omega // 31 k\Omega)\right]} = \frac{3V}{44\,k\Omega + (7.15\,k\Omega)} = 58.65\ \mu A$$

$$I_I = \frac{I_T \times 18\,k\Omega}{11.87\,k\Omega + 18\,k\Omega} = \frac{58.65\,\mu A \times 18\,k\Omega}{11.87\,k\Omega + 18\,k\Omega} = 35.34\ \mu A$$

$$I_m = \frac{I_I \times 31\,k\Omega}{2\,k\Omega + 31\,k\Omega} = \frac{35.34\,\mu A \times 31\,k\Omega}{33\,k\Omega} = 33.19\ \mu A$$

ดังนั้น เมื่อตัวต้านทานถูกปรับไว้ให้มีค่าต่ำสุด คือ $I_m <$ 44 μA จะเกิดการชดเชยด้านลบเท่ากับ 44 μA– 33.19 μA= 10.81 μA ปรับเพื่อให้เข็มชี้ต่ำกว่า 0 Ω ได้

เมื่อตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่ตำแหน่งตามเข็มนาฬิกาสุด



รูปที่ 3.160 วงจรสมมูลของมาตรวัดความต้านทานเมื่อปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าสูงสุดในทิศตามเข็มนาฬิกา

จากการวิเคราะห์วงจรได้

$$I_T = \frac{3\ \text{V}}{44\,\text{k}\Omega + \left[28\,\text{k}\Omega // (2\,\text{k}\Omega // 31\,\text{k}\Omega)\right]} = \frac{3\ \text{V}}{44\,\text{k}\Omega + (1.76\,\text{k}\Omega)} = 65.55\ \mu\text{A}$$

$$I_I = \frac{I_T \times 28\,\text{k}\Omega}{28\,\text{k}\Omega + 1.76\,\text{k}\Omega} = \frac{65.55\,\mu\text{A} \times 28\,\text{k}\Omega}{29.76\,\text{k}\Omega} = 61.67\ \mu\text{A}$$

$$I_m = \frac{I_I \times 31\,\text{k}\Omega}{2\,\text{k}\Omega + 31\,\text{k}\Omega} = \frac{61.67\,\mu\text{A} \times 31\,\text{k}\Omega}{33\,\text{k}\Omega} = 57.93\ \mu\text{A}$$

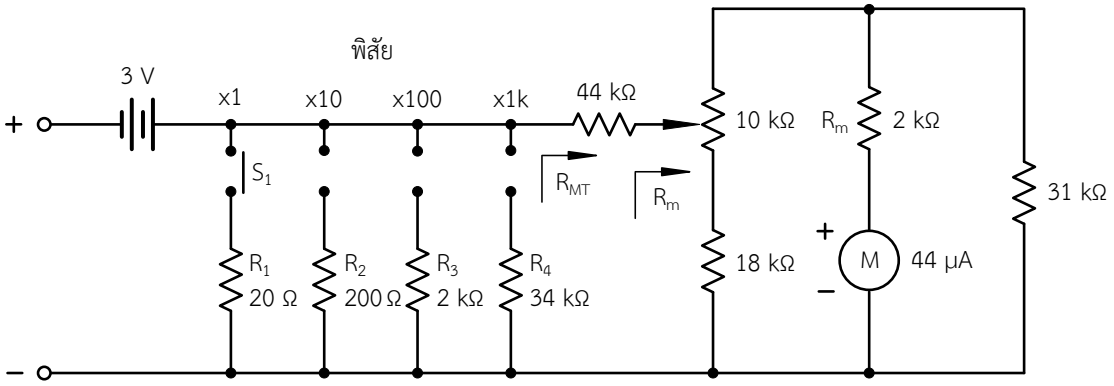
ดังนั้น เมื่อตัวต้านทานถูกปรับไว้ให้มีค่าสูงสุดจะเกิดการชดเชยด้านบวก 57.93 μA–44 μA= 13.93 μA ปรับเพื่อให้เข็มชี้มากกว่า 0 Ω ได้

ข้อสังเกต กระแสชดเชยด้านบวกและด้านลบควรมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแบตเตอรี่ขณะใช้งานจริงจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 3 V เล็กน้อย จึงควรชดเชยด้านบวกให้มากกว่าด้านลบ

สรุปเพิ่มเติม เมื่อมีการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสุดและตามเข็มนาฬิกาสุด ค่าความต้านทานรวมของวงจรมาตรวัด R_m จากการคำนวณตามรูปที่ 3.158, 3.159, 3.160 จะเปลี่ยนไปจากปกติที่ตำแหน่งกึ่งกลาง คือ ปกติ 5.28 kΩ เป็น 7.15 kΩ และ 1.76 kΩ แต่เมื่อนำตัวต้านทาน 44 kΩ มารวมค่าความต้านทานรวมของวงจรมาตรวัดค่า R_{MT} จะเปลี่ยนไปจากปกติ คือ 49.28 kΩ เป็น 51.15 kΩ และ 45.76 kΩ หรือคลาดเคลื่อน ร้อยละ [(45.76 kΩ – 44 kΩ) /44 kΩ] × 100 = +4 และร้อยละ [(45.76 kΩ – 49.28 kΩ)/49.28 kΩ]×100 = –7.14 เมื่อนำไปขนานกับ R_{sh} ซึ่งมีค่าน้อยกว่า R_{MT} ค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลงอีก รวมทั้งการปรับชดเชยในทาง

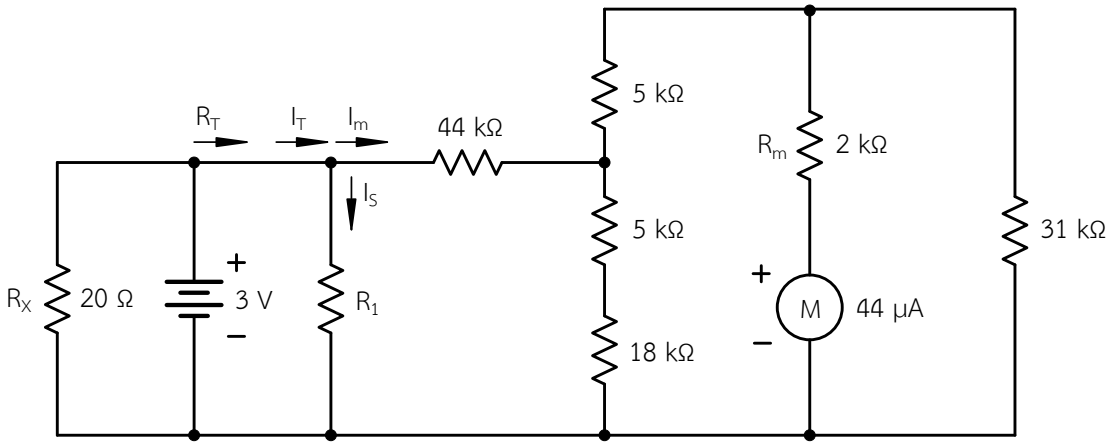
ปฏิบัติ เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันปกติจะปรับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนจากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จึงพิจารณาได้ว่ามีผลน้อยมาก

จากรูปวงจรที่ 3.160 ตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่กึ่งกลางจงคำนวณหาค่าความต้านทาน R_1,R_2, R_3, R_4 เพื่อนำมาใช้เป็นตัวต้านทานชันต์และกระแสขณะลัดวงจรในพิสัย R×1, R×10, Rx100, R×1k ตามลำดับ



รูปที่ 3.161 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่สมบูรณ์

การออกแบบวงจรขยายพิสัย R×1



รูปที่ 3.162 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัยวัด R×1 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล

จากรูปที่ 3.162 หาค่า R_1 เพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_Xอยู่ที่กึ่งกลางสเกลที่กำหนด คือ 20 Ω เนื่องจาก R_{MT} = 44 k Ω + 5.28 k Ω = 49.28 kΩ

$$R_T = 20\ \Omega = \frac{R_1 \times 49.28\,k\Omega}{R_1 + 49.28\,k\Omega}$$

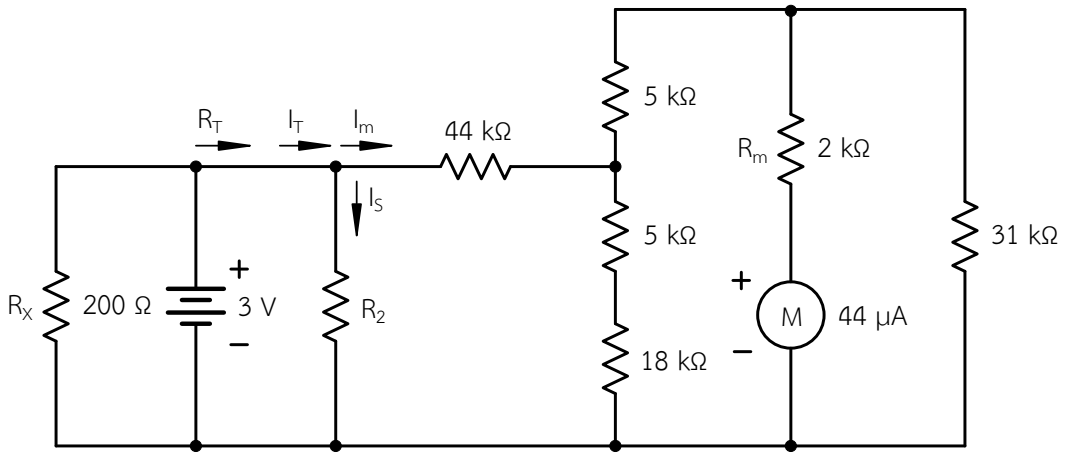
$$R_1 + 49.28\ k\Omega = 2.464R_1$$

$$= \frac{49.28\,k\Omega}{2.464\,k\Omega}$$

$$\therefore R_1 = 20\ \Omega$$

ซึ่งในมิเตอร์ทั่วไปจะใช้ 18 Ω เพื่อแก้ปัญหาแบตเตอรี่อ่อน แต่ในชุดฝึก ฯ ที่พัฒนาขึ้นยังคงใช้ 20 Ω เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องแบตเตอรี่อ่อน ขณะลัดวงจร $I_S = \frac{3\ V}{20\,\Omega} = 0.15\ A = 150\ mA$ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของโอห์มมิเตอร์พิสัย R×1 จากคู่มือการใช้งาน

การออกแบบวงจรขยายพิสัย R×10



รูปที่ 3.163 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×10 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล

จากรูปที่ 3.163 หาค่า R_2 เพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_Xอยู่ที่กึ่งกลางสเกลที่กำหนด คือ 200 Ω

$$R_T = 200\ \Omega = \frac{R_2 \times 49.28\,k\Omega}{R_2 + 49.28\,k\Omega}$$

$$R_2 + 49.28\ k\Omega = 246.4R_2$$

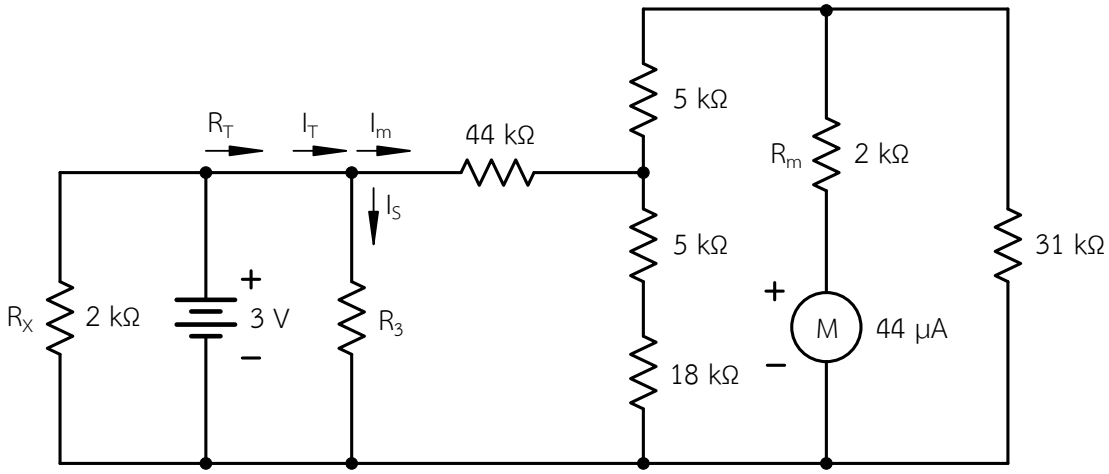
$$246.4R_2 - R_2 = 49.28\ k\Omega$$

$$= \frac{49.28\,k\Omega}{246.4\,\Omega}$$

$$\therefore R_2 = 200\ \Omega$$

ในมิเตอร์ทั่วไปจะใช้ 200Ω ขณะลัดวงจร $I_S = \frac{3\ V}{200\,\Omega} = 15\ mA$ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของโอห์มมิเตอร์พิสัย R×10

การออกแบบวงจรขยายพิสัย R×100



รูปที่ 3.164 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×100 ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล

จากรูปที่ 3.164 หาค่า R_3เพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_Xอยู่ที่กึ่งกลางสเกลที่กำหนด คือ 2 kΩ

$$R_T = 2\ k\Omega = \frac{R_3 \times 49.28\,k\Omega}{R_3 + 49.28\,k\Omega}$$

$$R_3 + 49.28\ k\Omega = 24.64R_3$$

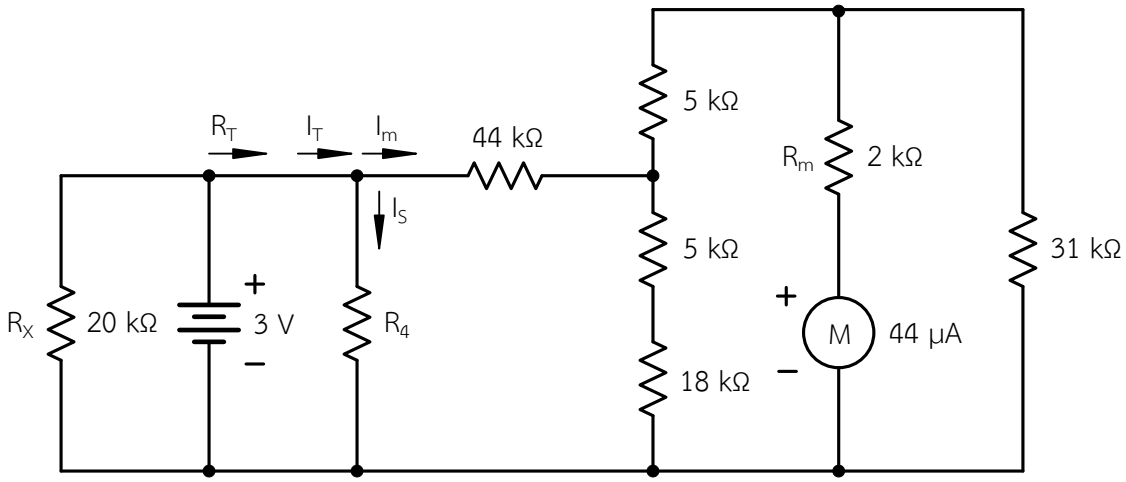
$$24.64R_3 - R_3 = 49.28\ k\Omega$$

$$= \frac{49.28\,k\Omega}{23.64\,\Omega}$$

$$\therefore\ R_3 = 2.08\ k\Omega$$

ในมิเตอร์ทั่วไปจะใช้ 2kΩ ขณะลัดวงจร $I_S = \frac{3\ V}{2\,k\Omega} = 1.5$ mA ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของโอห์มมิเตอร์พิสัย R×100

การออกแบบวงจรขยายพิสัย R×1k



รูปที่ 3.165 วงจรมาตรวัดความต้านทานที่พิสัย R×1k ขณะวัด R_X ให้เข็มชี้กลางสเกล

จากรูปที่ 3.165 หาค่า R_4 เพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_Xอยู่ที่กึ่งกลางสเกลที่กำหนด คือ 20 kΩ

$$R_T = 2\ k\Omega = \frac{R_4 \times 49.28\,k\Omega}{R_4 + 49.28\,k\Omega}$$

$$R_4 + 49.28\ k\Omega = 2.464R_4$$

$$2.464R_4 - R_4 = 49.28\ k\Omega$$

$$= \frac{49.28\,k\Omega}{1.464\,\Omega}$$

$$\therefore\ R_4 = 33.75\ k\Omega$$

ในมิเตอร์ทั่วไปจะใช้ 34kΩ ขณะลัดวงจร $I_S = \frac{3\ V}{20\,k\Omega} = 150\ \mu A$ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของโอห์มมิเตอร์พิสัย R×1k

ซึ่งวงจรตามรูปที่ 3.165 ไม่สามารถเพิ่มพิสัยการวัดในพิสัย R×10k ได้ เนื่องจากขณะลัดวงจรจ่ายกระแสสูงสุด $I_S = \frac{3\ V}{200\,k\Omega} = 15\ \mu A$ ไม่ทำให้เข็มชี้เต็มสเกลได้ ซึ่งปกติไม่ควรต่ำกว่า 60 μA

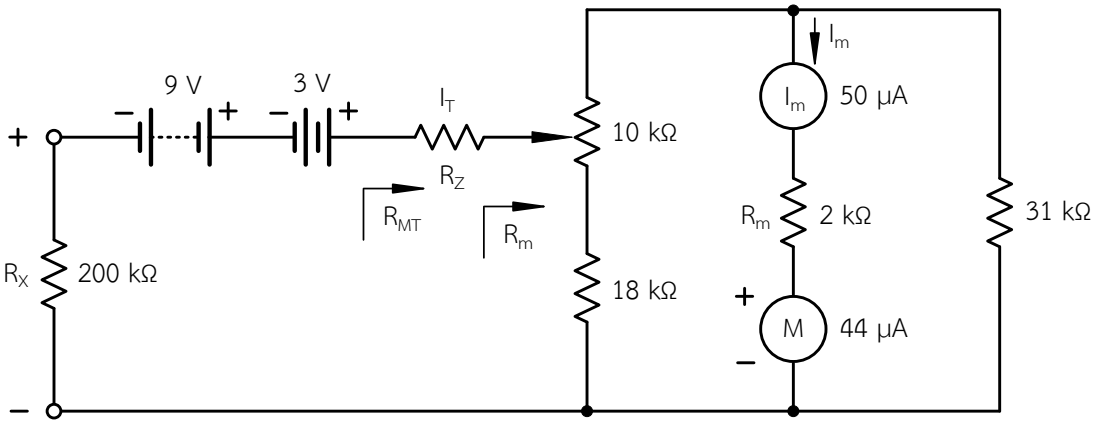
การออกแบบวงจรขยายพิสัย Rx10k

ข้อแตกต่างของวงจรรูปที่ 3.157 เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรรูปที่ 3.166 คือ เปลี่ยนค่าความต้านทาน 44 kΩ ให้เป็น 195 kΩ เนื่องจากวงจรตามรูปที่ 3.166 ใช้แรงดัน 12 V ต่างจากวงจรรูปที่ 3.167 ที่ใช้แรงดัน 3 V จึงต้องลดค่ากระแสลงให้สอดคล้องกับการปรับกระแสชดเชย เนื่องจากแบตเตอรี่อ่อน

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรตามรูปที่ 3.166 ทำให้ทราบว่าสามารถเปลี่ยนพิสัย R×10k ให้เป็น R×100k ได้ โดยเพิ่มแบตเตอรี่ 9 V อีก 1 ก้อน ทำให้แหล่งจ่ายแรงดันรวมเป็น 21 V แล้วเพิ่มตัวต้านทาน 195 kΩ ให้สูงขึ้นเหมาะสมกับพิสัย แต่บริษัทผู้ผลิตไม่เพิ่มคุณสมบัติในการวัด เนื่องจากต้องการลดต้นทุนการผลิต จึงนิยมทำตามในรูปแบบเดียวกันมาจำหน่าย ทั้งที่พิสัย R×100k มีความจำเป็นในการใช้งานเช่นเดียวกับพิสัยอื่น

ในการออกแบบจะคำนวณหาค่าความต้านทานรวม R_Zขณะวัดความต้านทาน 200 kΩ โดยตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกปรับไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางและค่า R_{MT} ตามวงจรรูปที่ 3.166

จากการวิเคราะห์วงจรตามรูปที่ 3.158ขณะปรับตัวต้านทานที่ทำให้เข็มชี้ศูนย์อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางและต่ออินพุตลัดวงจรคำนวณ I_T ซึ่งเป็นกระแสสูงสุดได้ประมาณ 60 μA ดังนั้น เมื่อทำการวัดตัวต้านทาน 200 kΩ ซึ่งเป็น R_X ในพิสัย R×10k กระแสควรไหลผ่านวงจรมาตรวัดลดลงครึ่งหนึ่งคงเหลือ 30 μA



รูปที่ 3.166 วงจรมาตรวัดความต้านทานพิสัย R×10k

จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 3.166 ได้

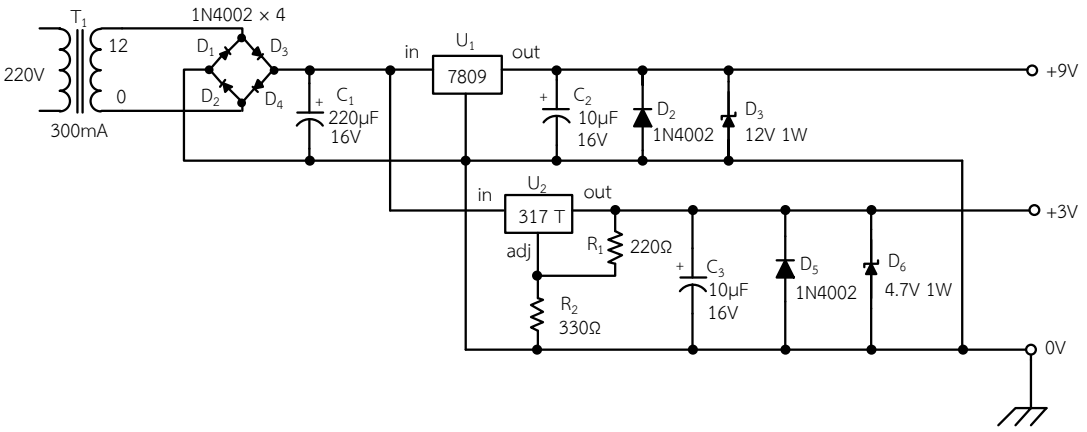
$$I_{sh} = \frac{V_B}{200\,k\Omega + R_z + R_m}$$

$$30\ \mu A = \frac{12\ V}{200\,k\Omega + R_Z + 5.28\,k\Omega}$$

$$R_Z = 194.7\ k\Omega \quad \text{เลือกใช้ } 195\ k\Omega$$

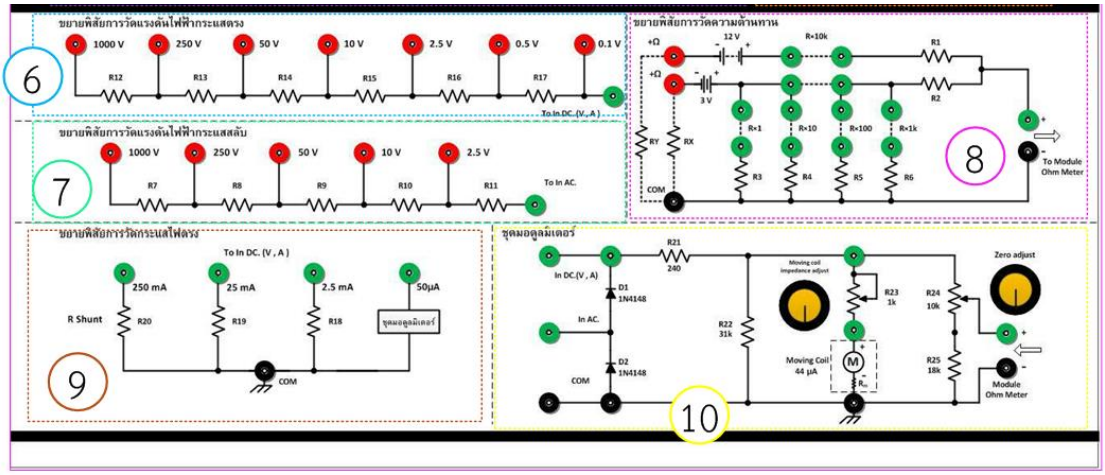
$$R_{MT} = 195\ k\Omega + 5.28\ k\Omega = 200.28\ k\Omega$$

ซึ่งค่า R_{MT} = 200.28 kΩ มีค่าประมาณ 10 เท่าของพิสัย R×1k



รูปที่ 3.167 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันให้กับชุดขยายพิสัยการวัดแอนะลอกพิสัยวัดความต้านทาน

จากรูปที่ 3.167 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดขยายพิสัยการวัดแอนะลอกพิสัยวัดความต้านทานขนาด 9V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดขยายพิสัยวัดโอห์มมิเตอร์ ×10k และแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3V เป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดขยายพิสัยวัดโอห์มมิเตอร์ ×1 ถึง ×1k



รูปที่ 3.168 วงจรและหน้าปัดของชุดขยายพิสัยการวัดแบบแอนะลอก

จากรูปที่ 3.168 แสดงวงจรและหน้าปัดของชุดขยายพิสัยวัดแอนะลอก ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังนี้

หมายเลข 6 ตำแหน่งชุดขยายพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1,000V, 250V, 50V, 10V, 2.5V, 0.5V, 0.1V

หมายเลข 7 ตำแหน่งชุดขยายพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระสลับ 1,000V, 250V, 50V, 10V, 2.5V

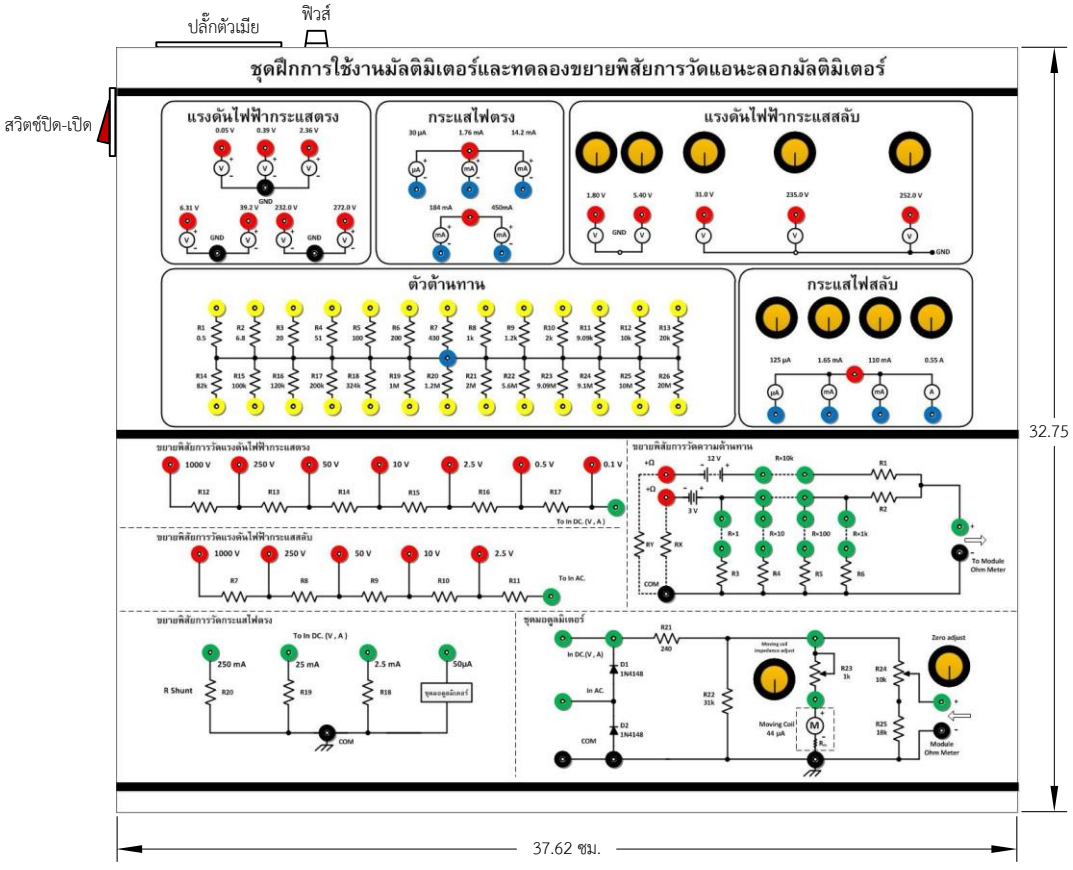
หมายเลข 8 ตำแหน่งชุดขยายพิสัยการวัดความต้านทาน R×1, R×10, R×100, R×1k

หมายเลข 9 ตำแหน่งชุดขยายพิสัยการวัดกระแสไฟตรง 250mA, 25mA, 2.5mA, 50μA

หมายเลข 10 ตำแหน่งชุดมอดูลมิเตอร์

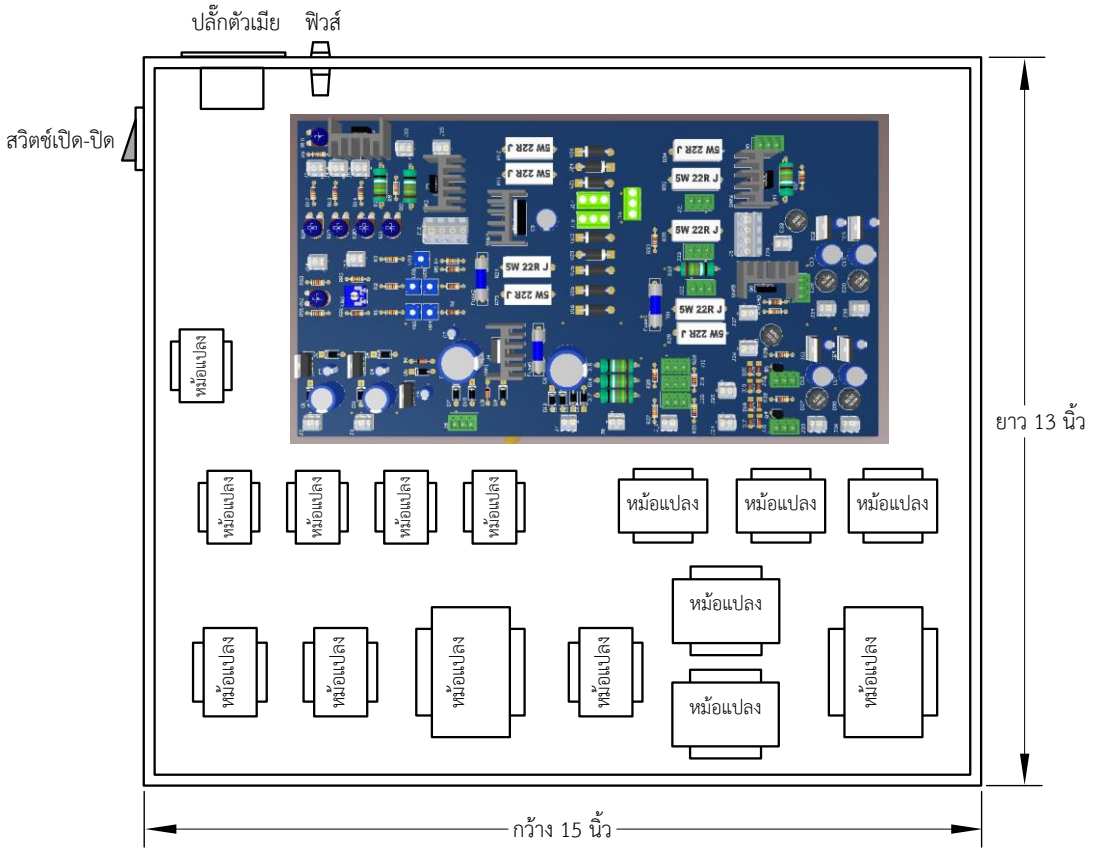
4.8 การออกแบบโครงสร้างและหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

ได้แสดงรายละเอียดตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

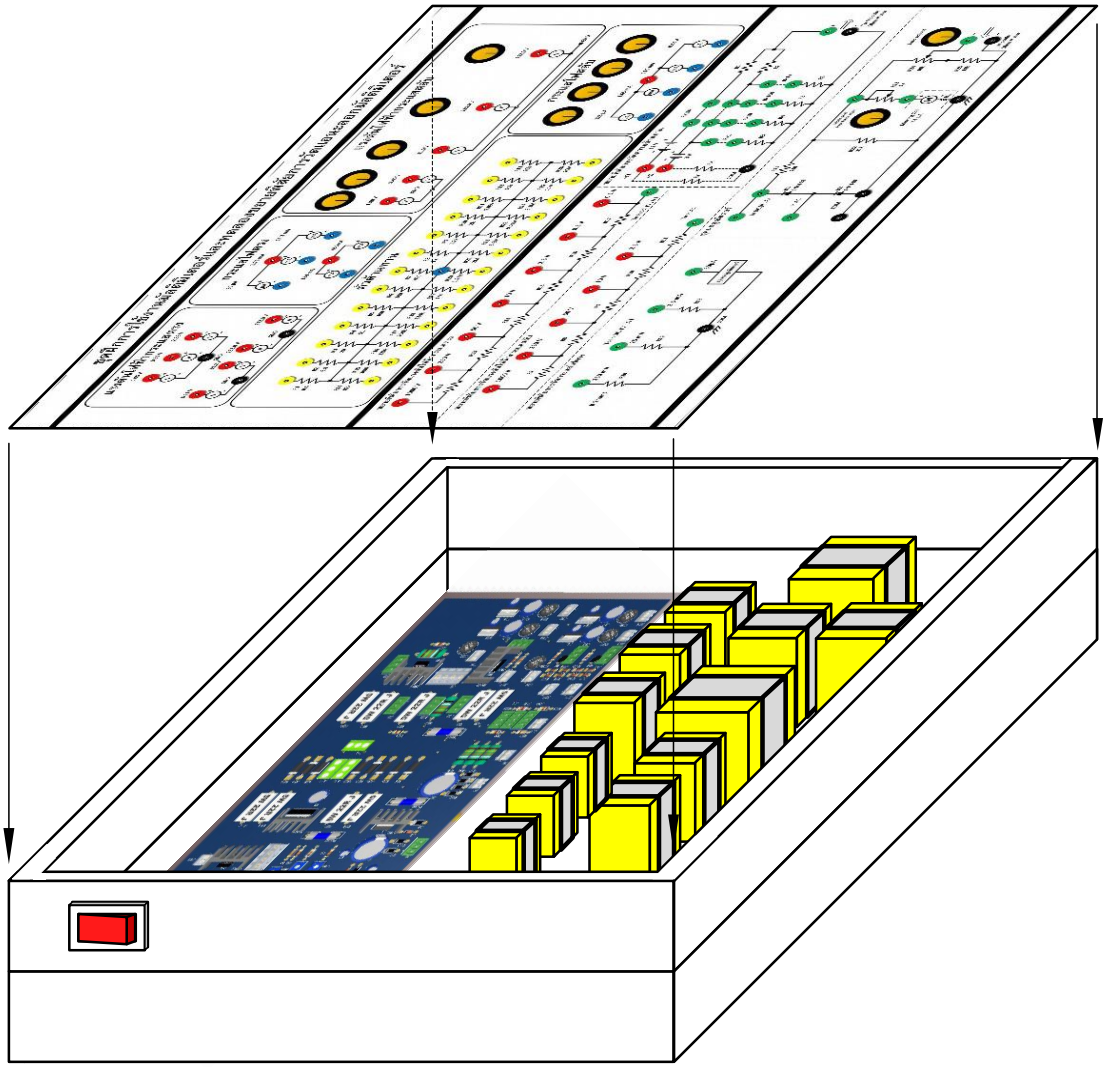


รูปที่ 3.169 หน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

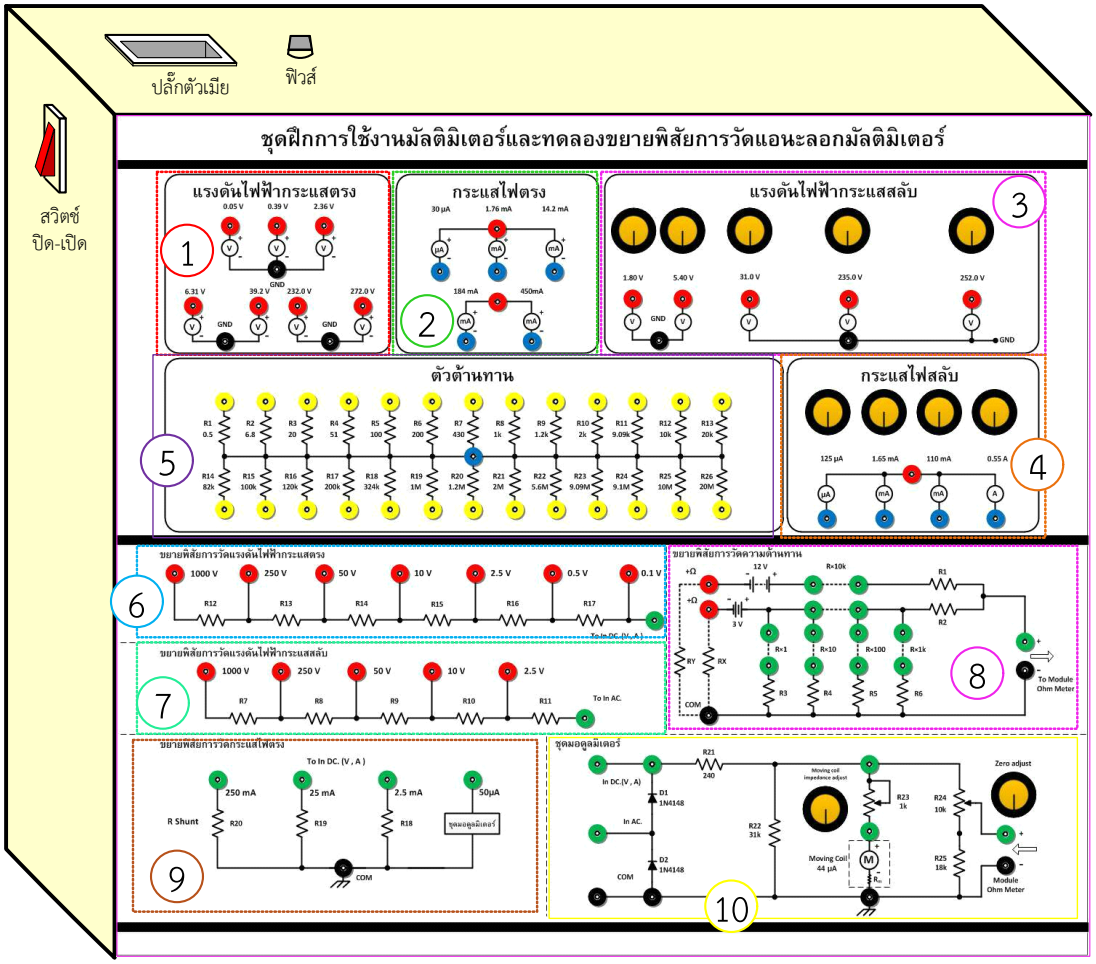
รูปที่ 3.170 โครงสร้างและขนาดมาตรฐานของแผงไฟฟ้าพลาสติก



รูปที่ 3.171 โครงสร้างภายในของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.172 ลักษณะด้านข้างและการติดตั้งหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.173 วงจรและหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 3.173 แสดงวงจรและหน้าปัดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังนี้

หมายเลข 1 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0.05V, 0.39V, 2.36V, 6.31V, 39.2V, 232V, 272V

หมายเลข 2 แสดงแหล่งจ่ายกระแสไฟตรง 30μA, 1.76mA, 14.2mA, 184mA, 450mA

หมายเลข 3 แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1.80V, 5.40V, 31V, 235V, 252V

หมายเลข 4 แสดงแหล่งจ่ายกระแสไฟสลับ 125μA, 1.65mA, 110mA, 0.55A

หมายเลข 5 แสดงตัวต้านทานอ้างอิง 1W±1%0.5Ω, 6.8Ω, 20Ω, 51Ω, 100Ω, 200Ω, 430Ω, 1kΩ, 1.2kΩ, 2kΩ, 9.09kΩ, 10kΩ, 20kΩ, 82kΩ, 100kΩ, 120kΩ, 200kΩ, 324kΩ, 1MΩ, 1.2MΩ, 2MΩ, 5.6MΩ, 9.09MΩ, 9.1MΩ, 10MΩ, 20MΩ

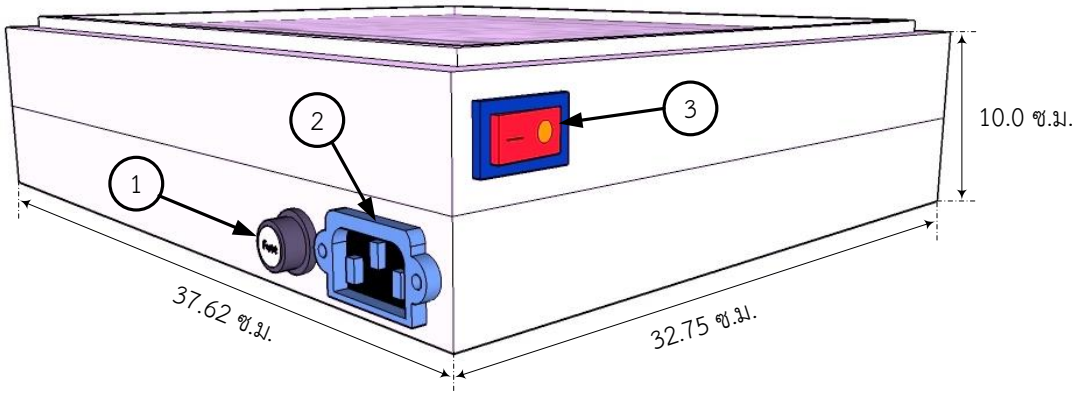
หมายเลข 6 แสดงชุดขยายพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1,000V, 250V, 50V, 10V, 2.5V, 0.5V, 0.1V

หมายเลข 7 แสดงชุดขยายพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระสลับ 1,000V, 250V, 50V, 10V, 2.5V

หมายเลข 8 แสดงชุดขยายพิสัยการวัดความต้านทาน R×1, R×10, R×100, R×1k

หมายเลข 9 แสดงชุดขยายพิสัยการวัดกระแสไฟตรง 250mA, 25mA, 2.5mA, 50μA

หมายเลข 10 แสดงชุดมอดูลมิเตอร์



รูปที่ 3.174 โครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 3.174 แสดงโครงสร้างด้านข้างของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ชุดฝึก ฯ มีขนาดกว้าง 32.75 ซ.ม.× ยาว 37.62 ซ.ม. × สูง 10.0 ซ.ม. ซึ่งออกแบบตามโครงสร้างของแผงไฟฟ้าพลาสติก ขนาด 13×15×2 นิ้ว นำมาประกบกัน 2 ชั้นซึ่งสามารถอธิบายได้ตามหมายเลขดังต่อไปนี้

หมายเลข 1ตำแหน่งฟิวส์กระบอกสั้นป้องกันกระแสเกินขนาด 0.5A

หมายเลข 2 ตำแหน่งเต้าเสียบไฟเอซีอินพุต 220 V – 235V

หมายเลข 3 ตำแหน่งของสวิตช์ปิดเปิดของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์สามารถแสดงรูปที่สมบูรณ์ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสม และหลากหลายกับการใช้งานในห้องปฏิบัติงานได้

5. ขั้นตอนการพัฒนาชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อนำตัวต้านทานเพียงอย่างเดียวมาประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น คือ เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานและมีค่ากระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เฟสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่เกิดขึ้น ไม่มีความแตกต่างกัน คือ มุมเวกเตอร์ระหว่างกระแสและแรงดันเป็น 0°

เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวมาประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดค่าอิมพีแดนซ์ต่อไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีเฟสเกิดขึ้นล้าหลังแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำอยู่ 90° เมื่อตัวเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติจะใช้อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดมุมต่ำกว่า 90° ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ -4 เนื่องจากมีค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงจากขดลวดเล็กน้อย

เมื่อต่อตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะเกิดค่าอิมพีแดนซ์ต่อไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นประจุ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีเฟสเกิดขึ้นนำหน้าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุอยู่ 90° เมื่อตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัวเก็บประจุในอุดมคติ ในทางปฏิบัติสามารถใช้อุปกรณ์ที่ทำให้มุมมีค่าเกือบ 90° มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ -1 เนื่องจากโครงสร้างทำได้ง่ายกว่าตัวเหนี่ยวนำแต่ต้องใช้ตัวเก็บประจุที่ใช้กับไฟกระแสสลับความถี่ต่ำ 50-60 Hz เท่านั้น

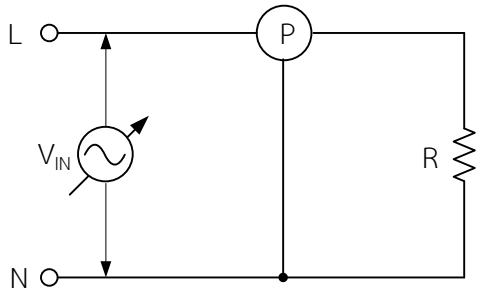
เมื่อนำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำและต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้กระแสที่ไหลและมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสลดลงต่ำกว่า 90° ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรม ถ้าค่าความต้านทานมากจะทำให้มุมเข้าใกล้ 0° โดยกระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ คือ $V_R = IR$ และ $V_L = IjX_L$ ตามลำดับ

เมื่อนำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุและต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลและมุมต่างเฟสระหว่างระหว่างกระแสและแรงดันลดลงต่ำกว่า 90° ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรม ถ้าค่าความต้านทานมากจะทำให้มุมเข้าใกล้ 0° โดยกระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ คือ $V_R = IR$ และ $V_C = I(-jX_C)$ ตามลำดับ

จากหลักการดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทราบค่าตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่มีความเหมาะสม สำหรับการทดลองการใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน หมายถึง มาตรวัดที่นำไปทดลองในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้า สำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์หลักการทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลในทางปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

5.1 ลำดับขั้นการทดลองปฏิบัติการสำหรับพิจารณาเลือกค่าความต้านทาน

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.175



รูปที่ 3.175 วงจรตัวต้านทานในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์

2. ปรับตัวปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด โดยหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด

3. กดสวิตช์ออนของมาตรวัดกำลัง

4. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปที่ค่าแรงดัน 20.0 V แล้วกดปุ่ม HOLD ถ้าค่าตัวเลขที่ปรากฏบนจอไม่แสดงค่า 20.0 V ให้กดปุ่ม HOLD อีกครั้งเพื่อเป็นการยกเลิกแล้วปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับใหม่ เพื่อให้ตัวเลขปรากฏบนจอ 20.0 V เมื่อเครื่องแสดงค่า 20.0V แล้วให้รีบกดปุ่ม HOLD ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ จนได้ตัวเลขปรากฏบนจอตามต้องการ

ตารางที่ 3.31 ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.174

V_{IN} (V)	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	PF	R= $\frac{V}{I}$ (Ω)	θ (DEGREE)		ความคลาดเคลื่อนของมุม(%)
							ทดลอง	ทฤษฎี	
20.0	0.04	0.8	0	0.8	-	500	-	0	0
40.0	0.04	1.60	0	2.67	1.00	1000	0	0	0
60.0	0.06	3.60	0	5.14	1.00	1000	0	0	0
80.0	0.08	6.40	0	8.00	1.00	1000	0	0	0
100.0	0.10	10.00	0	11.11	1.00	1000	0	0	0
120.0	0.12	14.40	0	14.40	1.00	1000	0	0	0
140.0	0.14	19.60	0	19.60	1.00	1000	0	0	0
160.0	0.16	25.60	0	25.60	1.00	1000	0	0	0
180.0	0.18	32.40	0	32.40	1.00	1000	0	0	0

ตารางที่ 3.31 (ต่อ)

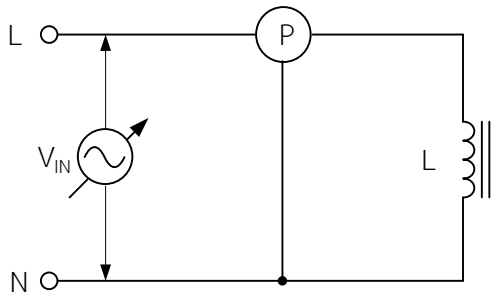
V_{IN} (V)	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	PF	$R=\frac{V}{I}$ (Ω)	θ (DEGREE)		ความคลาดเคลื่อนของมุม(%)
							ทดลอง	ทฤษฎี	
200.0	0.20	40.00	0	40.00	1.00	1000	0	0	0
220.0	0.22	48.40	0	48.40	1.00	1000	0	0	0

จากผลการทดลองตามตารางที่ 3.31 วงจรตัวต้านทานในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ปรากฏว่า เมื่อแรงดัน V_{IN} มากขึ้นกระแสไฟฟ้า I และกำลังงานไฟฟ้า P จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการคำนวณย้อนกลับจากสูตร P = VI ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดทำการวัดได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±0.1 W ส่วนค่ากำลังจินตภาพ Q มีค่าเป็น 0 VAR ค่า PF มีค่า 1.00 และค่า θ จากการทดลองและจากทฤษฎี มีค่า 0° โดยมีความคลาดเคลื่อนของมุมที่ 0% ในทุกช่วงแรงดันของ V_{IN} แสดงว่าการทดลองวงจรตัวต้านทานในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว โดยค่าความต้านทานต่ำสุดที่ได้ทดลอง คือ 500 Ω ผลปรากฏว่าค่า PF ยังไม่มีค่าเป็น 1.00 จึงเพิ่มค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรเป็น 1kΩ±5% ซึ่งในภาพรวมถือว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวต้านทานในอุดมคติ จึงพิจารณาค่าความต้านทาน 1kΩ 200 W มาติดตั้งในชุดฝึก เนื่องจากค่ากำลังสูงสุด คือ P = 48.40 W ซึ่งควรเลือกค่ากำลังมากกว่าเป็น 4-5 เท่า เพื่อใช้กับไฟสลับ 220VAC

5.2 ลำดับขั้นการทดลองปฏิบัติการสำหรับพิจารณาเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำ

คุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำที่จัดสร้างมาเป็นพิเศษ เพื่อนำมาใช้ทดลองในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ จึงจะสามารถนำมาใช้ทดลองได้

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.176



รูปที่ 3.176 วงจรตัวเหนี่ยวนำในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์

2. ปรับตัวปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด โดยหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด

3. กดสวิตช์ออนของมาตรวัดกำลัง

4. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปที่ค่าแรงดัน 20.0 V แล้วกดปุ่ม HOLD ถ้าค่าตัวเลขที่ปรากฏบนจอไม่แสดงค่า 20.0 V ให้กดปุ่ม HOLD อีกครั้งเพื่อเป็นการยกเลิกแล้วปรับค่าแรงดันไฟกระแสสลับใหม่ เพื่อให้ตัวเลขปรากฏบนจอ 20.0 V เมื่อเครื่องแสดงค่า 20.0V แล้วให้รีบกดปุ่ม HOLD ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ จนได้ตัวเลขปรากฏบนจอตามต้องการ

ตารางที่ 3.32 ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.176

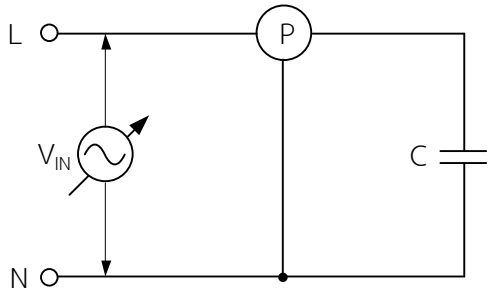
V_{IN} (V)	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	PF	$X_L = \frac{V}{I}$ (Ω)	$L = \frac{X_L}{2\pi f}$ (mH)	θ (DEGREE)		ความคลาดเคลื่อนของมุม(%)
								ทดลอง	ทฤษฎี	
100.0	1.294	11.1	128.9	129.4	0.09	77.2	246	84.8	90	-5.77
110.0	1.432	12.9	157.0	157.5	0.08	76.8	245	85.4	90	-5.11
120.0	1.573	14.5	188.2	188.8	0.08	76.2	243	85.4	90	-5.11
130.0	1.719	16.7	222.9	223.5	0.07	75.6	241	85.9	90	-4.55
140.0	1.866	18.4	260.6	261.2	0.07	75.0	239	85.9	90	-4.55
150.0	2.01	20.7	301.3	302.0	0.07	74.6	238	85.9	90	-4.55
160.0	2.16	22.8	344.4	345.1	0.07	74.0	236	85.9	90	-4.55
170.0	2.31	24.6	391.4	392.2	0.06	73.5	234	86.5	90	-3.88
180.0	2.46	27.2	442.1	443.0	0.06	73.1	233	86.5	90	-3.88
190.0	2.61	29.8	494.4	495.3	0.06	72.7	232	86.5	90	-3.88
200.0	2.76	32.6	549.9	550.8	0.06	72.4	231	86.5	90	-3.88
210.0	2.91	35.9	610.7	611.8	0.06	72.1	230	86.5	90	-3.88
220.0	3.06	39.3	673.0	674.1	0.06	71.8	229	86.5	90	-3.88

จากผลการทดลองตามตารางที่ 3.32 เป็นคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำที่จัดสร้างมาเป็นพิเศษเพื่อนำมาใช้ทดลองในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ จึงจะสามารถนำมาใช้ทดลองที่จะให้ผลเป็นไปตามทฤษฎีได้ จากการสังเกตข้อมูลของการทดลอง $S = VI$, $Q \cong S$, ค่า PF ต่ำสุดคือ 0.06 สูงสุดคือ 0.09 ค่อนข้างคงที่ ค่า X_L หาได้จาก $\frac{V}{I}$ มีค่าอยู่ในช่วง 71.8 Ω - 77.2 Ω ค่า L ได้จากสูตร $\frac{X_L}{2\pi f}$ มีค่าอยู่ในช่วง 229 mH – 246 mH โดยที่ค่า

X_L หรือค่า L เป็นตัวบ่งชี้ว่าตัวเหนี่ยวนำมีเสถียรภาพหรือไม่ คือ ไม่แปรผันตามหรือแปรผกผันตามแรงดัน จะมีค่าเพิ่ม – ลด สลับกัน แสดงว่าค่อนข้างมีเสถียรภาพ กรณีของมุมต่ำสุด 84.8° จะเป็นกรณีที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าต่ำ ถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นมุมจะสูงขึ้นเป็น 86.5° โดยมุมจะเข้าใกล้ 90° ตามทฤษฎี ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของมุมสูงสุด คือ – 3.88% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ โดยสรุปจากข้อมูลผลการทดลองตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีคุณสมบัติเข้าใกล้ตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ ซึ่งพิจารณาค่าตัวเหนี่ยวนำมาติดตั้งในชุดฝึก ที่ค่าการกินกระแส 3 – 5 A เพื่อใช้กับไฟสลับ 220VAC

5.3 ลำดับขั้นการทดลองปฏิบัติการสำหรับพิจารณาเลือกค่าตัวเก็บประจุ

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.177



รูปที่ 3.177 วงจรตัวเก็บประจุในไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์

2. ปรับตัวปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด โดยหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด

3. กดสวิตช์ออนของมาตรวัดกำลัง

4. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปที่ค่าแรงดัน 20.0 V แล้วกดปุ่ม HOLD ถ้าค่าตัวเลขที่ปรากฏบนจอไม่แสดงค่า 20.0 V ให้กดปุ่ม HOLD อีกครั้งเพื่อเป็นการยกเลิกแล้วปรับค่าแรงดันไฟกระแสสลับใหม่ เพื่อให้ตัวเลขปรากฏบนจอ 20.0 V เมื่อเครื่องแสดงค่า 20.0V แล้วให้รีบกดปุ่ม HOLD ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ จนได้ตัวเลขปรากฏบนจอตามต้องการ

ตารางที่ 3.33 ผลการทดลองและการคำนวณ จากวงจรรูปที่ 3.177

V_{IN} (V)	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	PF	$X_C = \frac{V}{I}$ (Ω)	$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$ (μF)	θ (DEGREE)		ความคลาดเคลื่อน (%)
								ทดลอง	ทฤษฎี	
20.0	0.317	0.1	-6.3	6.3	0.02	63.09	50.45	88.85	90	-1.27
40.0	0.634	0.3	-25.3	25.3	0.01	63.09	50.45	89.43	90	-0.63
60.0	0.955	0.7	-57.3	57.3	0.01	62.83	50.66	89.43	90	-0.63

ตารางที่ 3.33 (ต่อ)

V_{IN} (V)	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	PF	$X_C = \frac{V}{I}$ (Ω)	$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$ (μF)	θ (DEGREE)		ความคลาดเคลื่อนคิดเป็น (%)
								ทดลอง	ทฤษฎี	
80.0	1.271	1.2	-101.7	101.7	0.01	62.94	50.57	89.43	90	-0.63
100.0	1.594	1.9	-159.4	159.4	0.01	62.74	50.73	89.43	90	-0.63
120.0	1.911	2.9	-229.3	229.3	0.01	62.79	50.69	89.43	90	-0.63
140.0	2.23	3.8	-311.8	311.8	0.01	62.78	50.70	89.43	90	-0.63
160.0	2.55	5.1	-407.7	407.7	0.01	62.75	50.73	89.43	90	-0.63
180.0	2.87	6.9	-515.9	515.9	0.01	62.72	50.75	89.43	90	-0.63
200.0	3.18	8.6	-636.1	636.1	0.01	62.89	50.61	89.43	90	-0.63
220.0	3.50	8.8	-769.0	769.0	0.01	62.86	50.64	89.43	90	-0.63
240.0	3.81	11.8	-917.8	914.8	0.01	62.99	50.53	89.43	90	-0.63

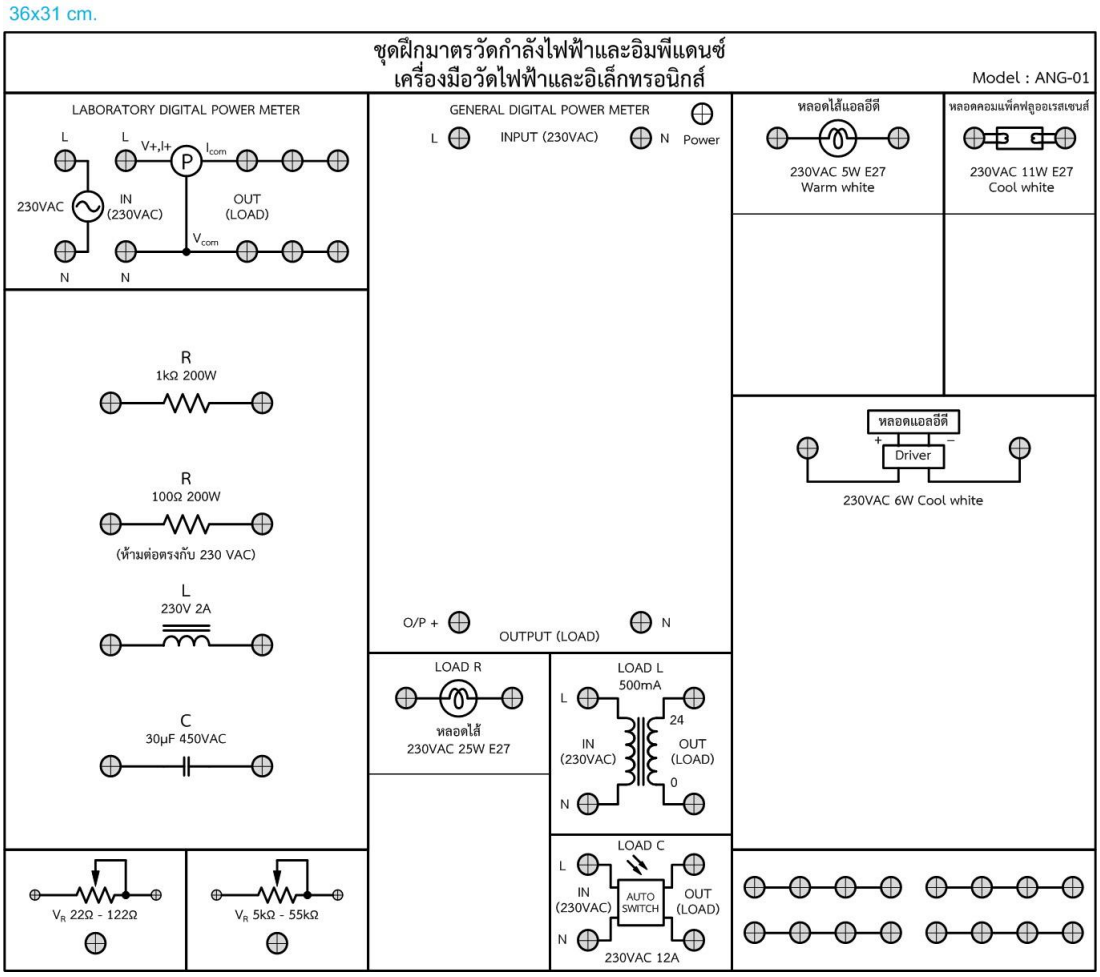
จากผลการทดลองตามตารางที่ 3.33 ตัวเก็บประจุในอุดมคติค่า P = 0 W , Q = S = V_{IN} × I , PF = 0.00 , θ = 90° โดยธรรมชาติของตัวเก็บประจุแล้วจะมีค่า R , L , C อยู่ในตัวจึงทำให้มุม θ จะต่ำกว่า 90° เล็กน้อย เมื่อค่า L มีค่าน้อยมากไปหักล้างกับค่า C แต่ค่า R ภายในของตัวเก็บประจุแม้มีค่าน้อยแต่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติค่อนข้างมาก สังเกตจากค่า P ซึ่งเป็นพลังงานสูญเสีย = 11.8 W ที่ V_{IN} = 240.0 V แต่เมื่อนำมาเทียบค่า Q ของตัวเก็บประจุ -917.8 VAR มีค่าเพียงร้อยละ 1 แต่มีผลทำให้ค่า PF มีค่ามากกว่า 0 กลายเป็น 0.01 เมื่อเทียบกับค่ามุมจะได้ 89.43° ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนจากตัวเก็บประจุในอุดมคติเพียง ร้อยละ -0.63 ซึ่งถือว่าน้อยมาก ส่วนค่า X_C ที่ได้จาก $\frac{V_{IN}}{I}$ นั้นค่าไม่คงที่ แต่ค่ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ เนื่องจาก C เกิดความร้อนภายในคุณสมบัติโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันอินพุตที่ป้อน และอุณหภูมิให้ตัวเก็บประจุในภาพรวมถือว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวเก็บประจุในอุดมคติ ส่วนค่า P ที่เกิดจากความต้านทานภายในของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำประมาณร้อยละ 1 ของค่า Q และ S ซึ่งจากการทดลองสามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่า ไม่เกิน 50 μF มาติดตั้งในชุดฝึกได้

มาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบใช้งานทั่วไป ถูกออกแบบและพัฒนามาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เน้นให้สามารถทดสอบคุณสมบัติและเปรียบเทียบอุปกรณ์ไฟฟ้า, เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานทั่วไป ข้อดี คือ เพื่อให้ทราบข้อมูลการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือการใช้พลังงานมากหรือน้อย ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่ากระแสไฟฟ้าต่อเดือน

เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อช่วยตัดสินใจได้ว่าจำเป็นหรือควรเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้น ๆ ต่อไปอีกหรือไม่ ทั้งนี้ ควรคำนึงถึงประสิทธิภาพและความทนทานในการนำไปใช้งานในระยะยาว เปรียบเทียบกับราคามีความคุ้มทุนหรือประหยัดเพิ่มขึ้น เมื่อต้องเปลี่ยนเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือระบบการใช้เครื่องจักรต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนระบบไฟฟ้าจากหลอดฟลูออร์เรสเซนต์หรือระบบอิเล็กทรอนิกส์บาลลาสมาเป็นระบบแอลอีดี เป็นต้น ข้อด้อยของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป คือ จะไม่สามารถอ่านค่ากำลังจินตภาพ (Q : VAR) ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงภาพรวมของวงจรว่าเป็น R+L หรือ R+C เนื่องจากไม่มีเครื่องหมาย คือ จะไม่ทราบว่าเฟสของกระแสนำหน้าหรือล้าหลังแรงดัน แต่โดยทั่วไปคุณสมบัติของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านจะเป็นโหลด R+L ทำให้การออกแบบมาตรวัดกำลังแบบทั่วไปจึงไม่จำเป็นต้องให้รู้ว่าเป็นโหลด R+C เพราะมีอุปกรณ์เพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นโหลด R+C เนื่องจากคุณสมบัติของค่าโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุมีน้อยมาก และอีกประการหนึ่ง คือ การนำไปใช้งานไม่เกิดเงื่อนไขการวัดเฉพาะตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงอุปกรณ์ในอุดมคติ ซึ่งมาตรวัดกำลังนี้ไม่สามารถวัดได้ ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงไม่มีการวัดและทดลองโหลดในอุดมคติดังกล่าว แต่เน้นการใช้งานเพื่อวัดและทดสอบค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโหลดที่ใช้ในบ้านทั่ว ๆ ไปเท่านั้น

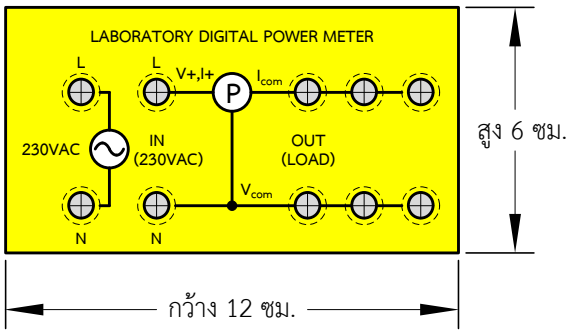
สรุปว่ามาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป ไม่สามารถนำมาใช้แทนมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้ เนื่องจากขีดจำกัดในการวัดที่ไม่สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ครบถ้วน ทำให้ไม่นิยมนำข้อมูลจากมาตรวัดกำลังแบบทั่วไปมาวิเคราะห์ผลในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเปรียบเทียบผลในทางทฤษฎีกับทางปฏิบัติ เพราะอาจทำให้สับสนและเกิดความไม่เข้าใจอย่างถูกต้อง แต่จุดประสงค์ของการออกแบบการทดลองครั้งนี้ คือ เป็นการเรียนรู้การใช้งานเพื่อให้เกิดทักษะในการใช้มาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสบการณ์ตรงต่อผู้เรียนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ในโอกาสต่อไป

5.6 การออกแบบโครงสร้างของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

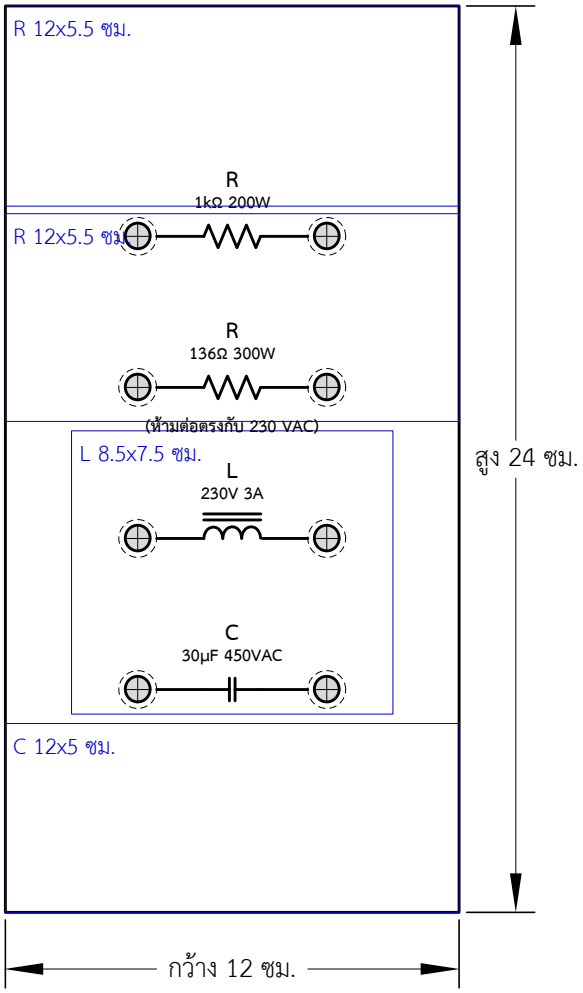


รูปที่ 3.178 การออกแบบหน้าปัดของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

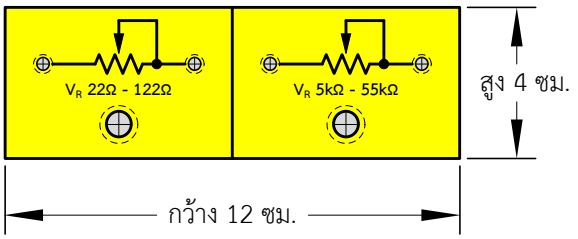
จากรูปที่ 3.178 แสดงร่างหน้าปัดของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับวัดและทดสอบด้วยมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานและแบบทั่วไปดังนี้



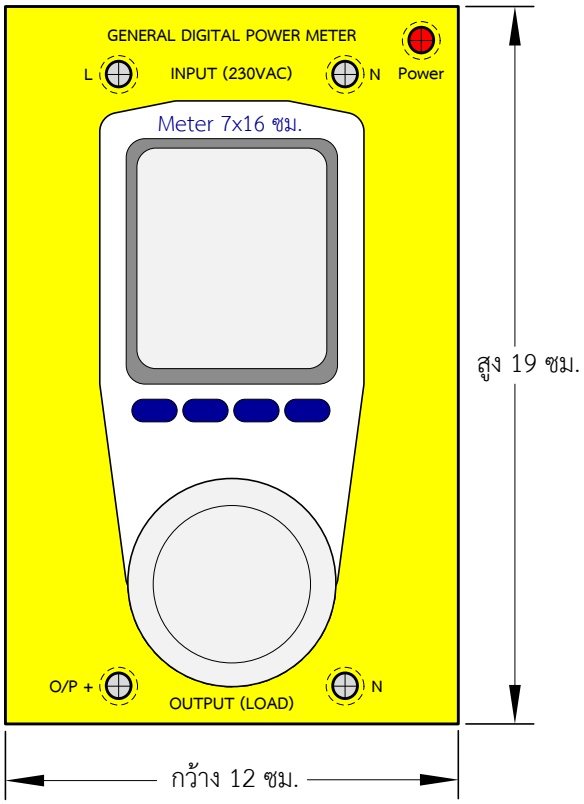
รูปที่ 3.179 จุดต่อมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน



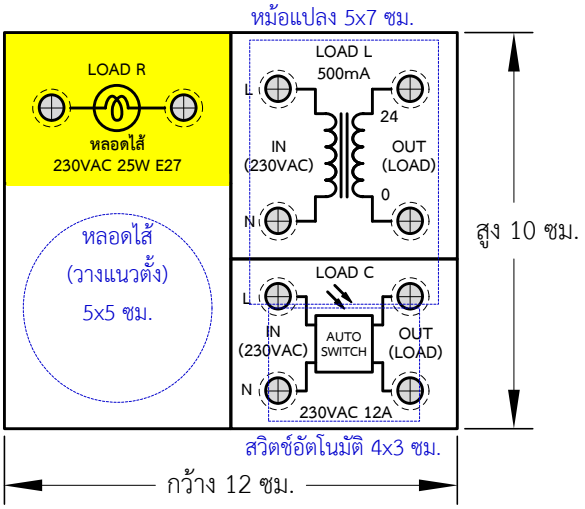
รูปที่ 3.180 จุดวัดและทดสอบอุปกรณ์ R-L-C



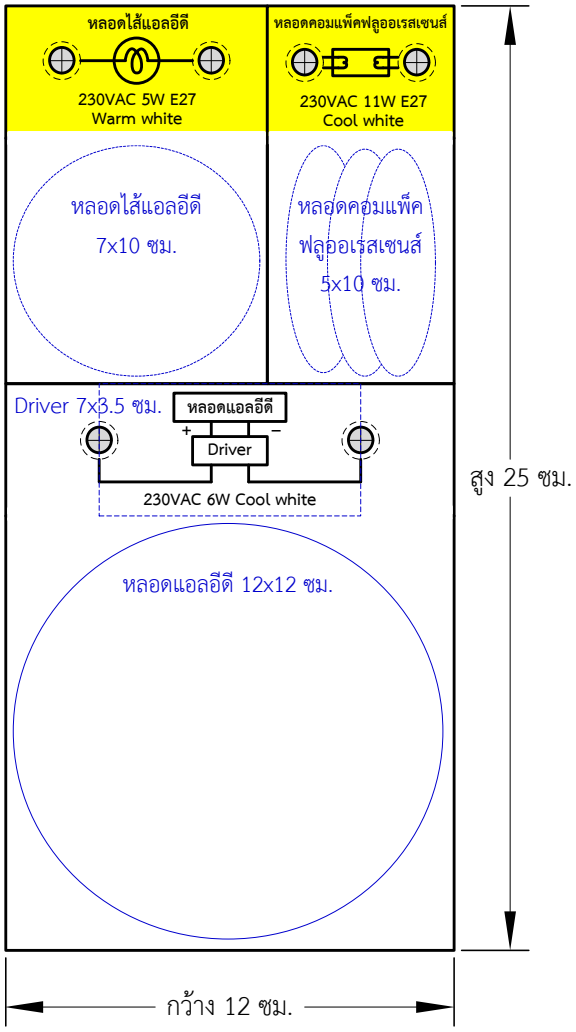
รูปที่ 3.181 จุดต่อตัวต้านทานปรับค่าได้



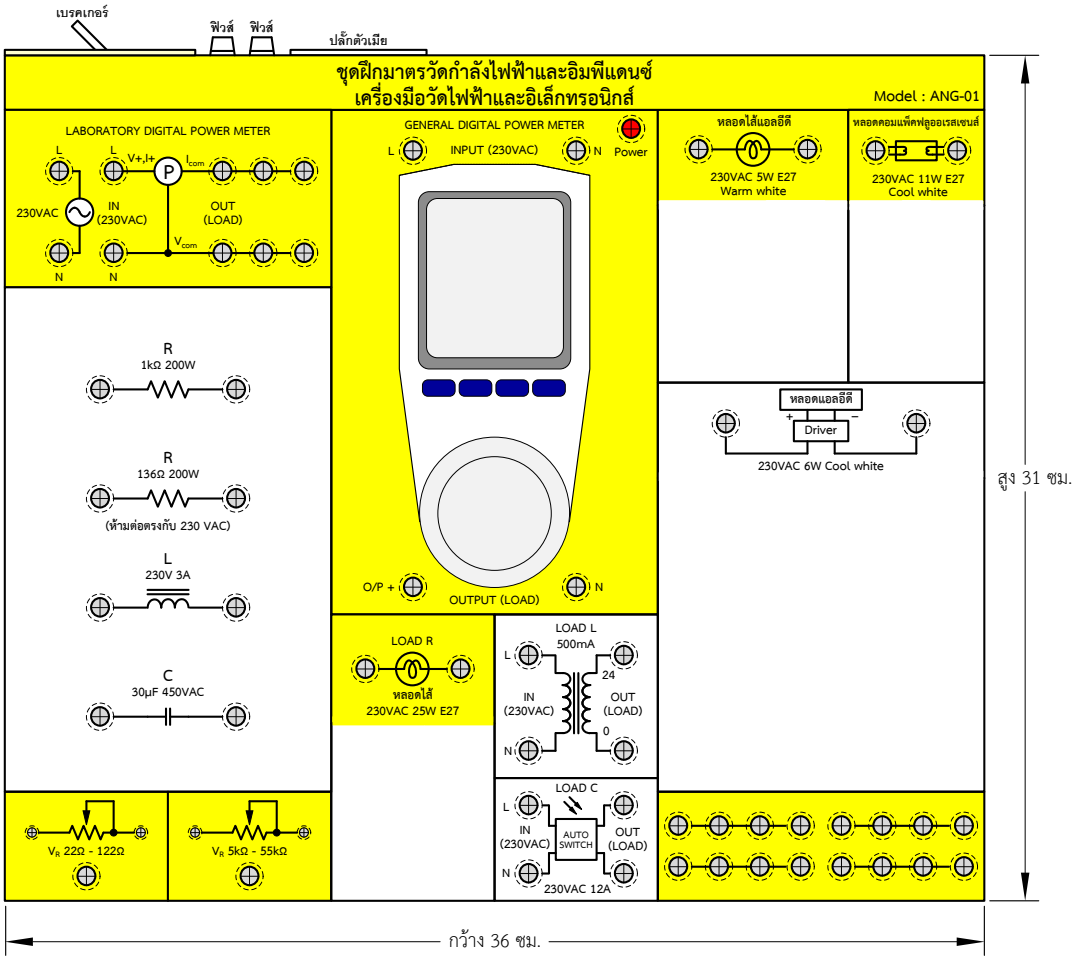
รูปที่ 3.182 มาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไป



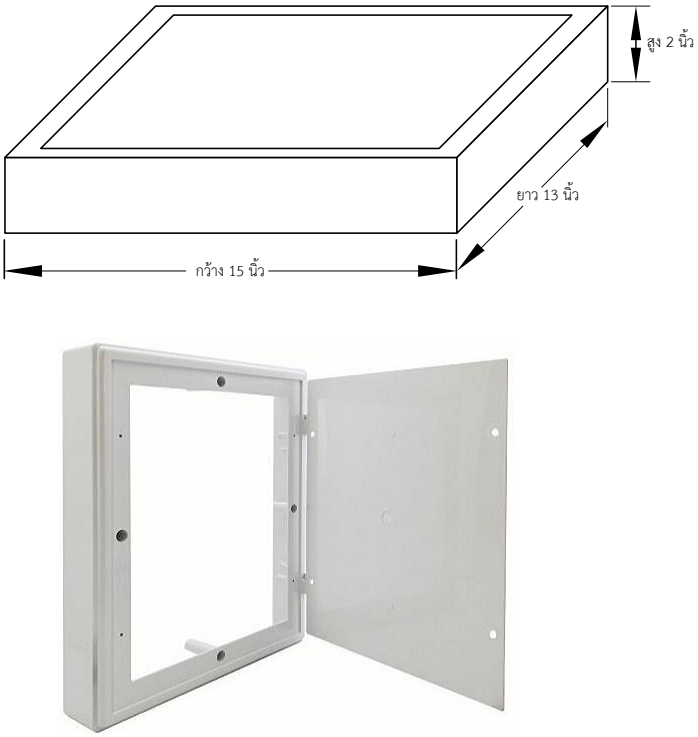
รูปที่ 3.183 จุดวัดและทดสอบ โหลด R L C



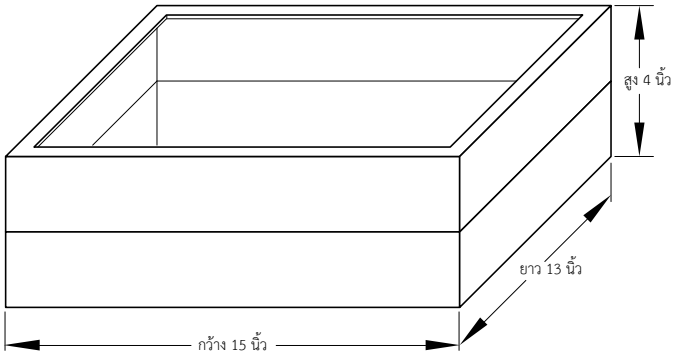
รูปที่ 3.184 จุดวัดและทดสอบหลอดไฟชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.185 หน้าปัดของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

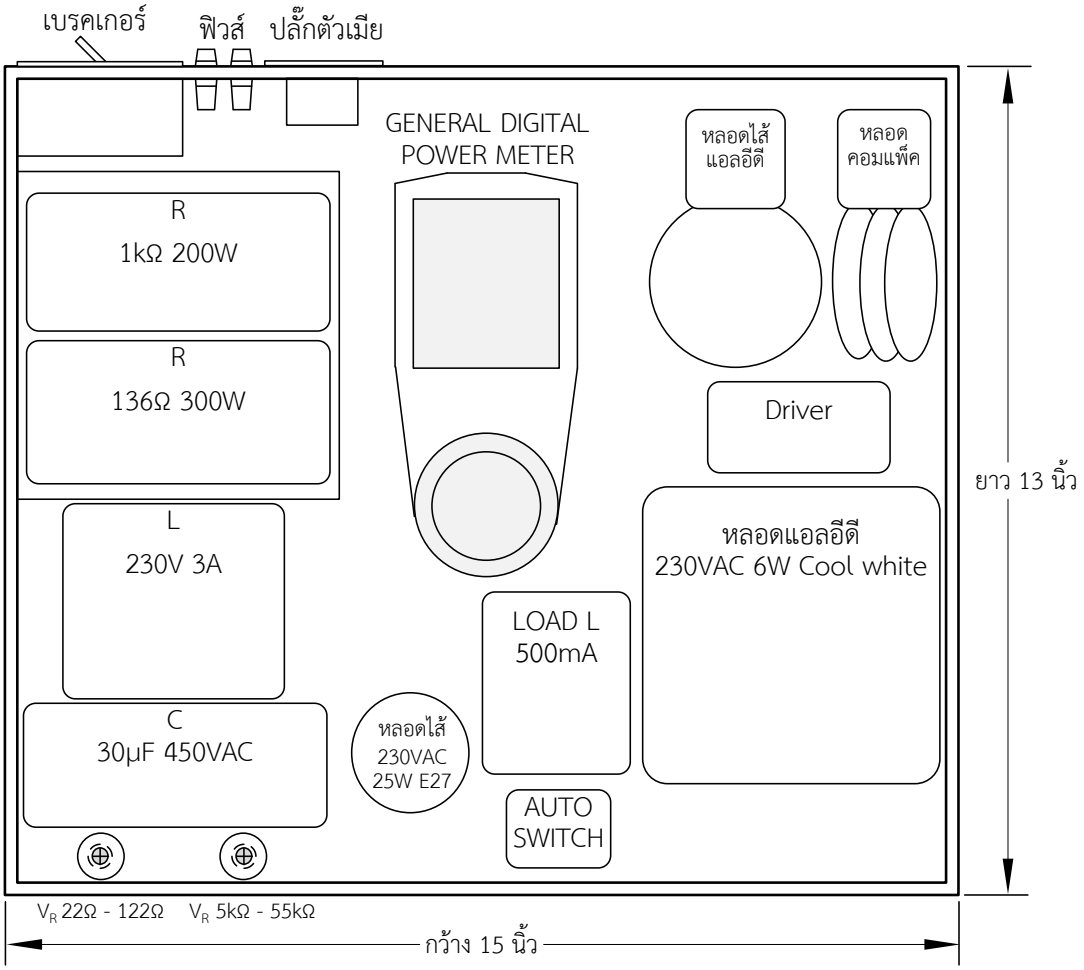


รูปที่ 3.186 ขนาดแผงไฟฟ้าพลาสติกมาตรฐาน

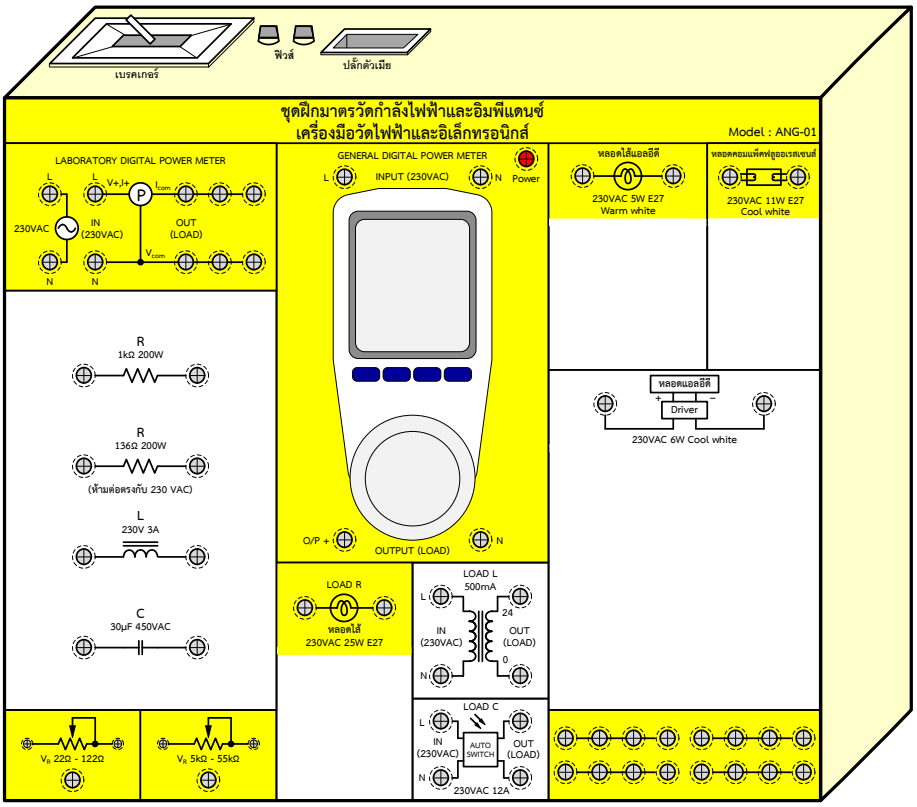


รูปที่ 3.187 แผงไฟฟ้าพลาสติกมาตรฐานประกบ 2 ชั้น

จากรูปที่ 3.187 แสดงการนำมาประกบกันเป็น 2 ชั้น ด้านบนของหน้าปัดโดยมีแหล่งจ่ายไฟชุดอ้างอิงและชุดขยายพิสัยการวัด ซึ่งมีขนาดกว้าง 32.75cm × ยาว 37.62cm × สูง 10.0cm โดยโครงสร้างของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้า ฯ เป็นชุดติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 13×15×2 นิ้ว



รูปที่ 3.188 ตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์
เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.189 ลักษณะภายนอกของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ดังรูปที่ 3.189 แสดงชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่สมบูรณ์ ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมและหลากหลายสอดคล้องกับการเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้งานวัตต์มิเตอร์ วาร์มิเตอร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์

6. เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 หน่วย ผู้รายงานได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนดังนี้

6.1 ศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยศึกษาหลักการจุดมุ่งหมาย และเกณฑ์การใช้หลักสูตร

6.2 ศึกษาเนื้อหาจากคู่มือการวัดและประเมินผลการเรียนตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน

6.3 วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา สาระการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อหน่วยการเรียนรู้ วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง รูปแบบและขั้นตอนการใช้ชุดการสอนให้สอดคล้องกับเนื้อหา

6.4 สร้างชุดการสอน โดยการกำหนดรูปแบบขนาดของชุดการสอน พิจารณาตามความเหมาะสมดำเนินการสร้างยึดหลักดังนี้ เรียงลำดับเนื้อหาจากง่ายไปหายาก เพื่อให้ผู้เรียนมีกำลังใจในการทำแบบฝึกหัด ใบงาน เร้าความสนใจผู้เรียน ใช้ภาษาง่ายๆ และมีความหมาย และเหมาะสมกับวัยและความสามารถของผู้เรียน

6.5 กำหนดองค์ประกอบในการสร้างชุดการสอน

6.5.1 ปก
6.5.2 คำนำ
6.5.3 สารบัญ
6.5.4 คู่มือครู
6.5.5 คำแนะนำ
6.5.6 คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน
6.5.7 บทบาทของครูผู้สอน
6.5.8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการเรียนการสอน
6.5.9 คำชี้แจงสำหรับนักเรียน
6.5.10 คำอธิบายรายวิชา
6.5.11 เนื้อหาสาระ
6.5.12 สาระสำคัญ
6.5.13 จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม และสมรรถนะของนักเรียน
6.5.14 กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ การประเมินผลการเรียนรู้
6.5.15 แผนการจัดการเรียนรู้ แต่ละหน่วย
6.5.16 แบบทดสอบก่อนเรียน
6.5.17 เนื้อหา
6.5.18 ใบงาน
6.5.19 แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
6.5.20 เกณฑ์การให้คะแนนการปฏิบัติงาน
6.5.21 แบบทดสอบหลังเรียน
6.5.22 เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
6.5.23 บรรณานุกรม

6.6 นำสาระการเรียนรู้ที่กำหนดมาพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 หน่วย ดังนี้

หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก
หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง
หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน

หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล
หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่
หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง
หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน
หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า
หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป จำนวน
หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ
หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า

6.7 นำชุดการสอน ที่ผู้รายงานสร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมทางปฏิบัติ รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ได้แก่

1) รศ.ดร.สุรชัย สุขสกุลชัย ตำแหน่ง อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2) รศ.ดร.นิสัย เฟื่องเวโรจน์สกุล ตำแหน่ง รักษาการหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบซอฟต์แวร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3) นายอนุรักษ์ ชนะกุล ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูเชี่ยวชาญ แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี

4) นายรัชวิทย์ เมธีโชติเศรษฐ์ ตำแหน่ง รองผู้อำนวยการเชี่ยวชาญ วิทยาลัยสารพัดช่างลำปาง

5) นายสมพร อ่อนเกตุพล ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูเชี่ยวชาญ แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคลำพูน

6.8 นำผลการประเมินมาวิเคราะห์คะแนนความสอดคล้องของแบบประเมินโดยใช้สูตร IOC (Index of Item Objective Congruence) ของสมนึก ภัททิยธนี (2546 : 221) แล้วพิจารณาคัดเลือกหัวข้อที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.80 ถึง 1.00

6.9 นำคะแนนที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้แบบประเมินที่เป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) และกำหนดค่าคะแนน 5 ระดับตามวิธีของ Likert ใช้เกณฑ์ในการแปลค่าประเมิน ดังต่อไปนี้ (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 102-103)

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
4.51 - 5.00	ระดับความเหมาะสมมากที่สุด
3.51 - 4.50	ระดับความเหมาะสมมาก
2.51 - 3.50	ระดับความเหมาะสมปานกลาง
1.51 - 2.50	ระดับความเหมาะสมน้อย
1.00 - 1.50	ระดับความเหมาะสมน้อยที่สุด

6.10 นำชุดการสอน ที่ผ่านการประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินไปให้ผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 5 ท่าน ประเมินความสอดคล้องของโครงสร้าง ความถูกต้องของสาระการเรียนรู้ เวลา และความเหมาะสมของชุดการสอนและนำผลมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ

6.11 นำคะแนนที่ได้จากการประเมินชุดการสอน ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน (ตามข้อ 6.7) มาหาค่าเฉลี่ยเทียบกับเกณฑ์ ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 103) โดยรวมของชุดการสอนทุกชุดมีค่าตั้งแต่ 4.18 ถึง 4.51 หมายความว่า ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีความเหมาะสมมาก

6.12 ปรับปรุงและแก้ไขชุดการสอนตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ และดำเนินการทดลองชุดการสอนร่วมกับแผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามขั้นตอนดังนี้

6.12.1 การหาประสิทธิภาพ แบบรายบุคคล โดยนำชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 นำไปทดลองใช้กับนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 ที่ไม่ใช่ประชากร จำนวน 3 คน โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนแบบคละความสามารถออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักเรียนกลุ่มเก่ง 1 คน นักเรียนกลุ่มปานกลาง 1 คน และนักเรียนกลุ่มอ่อน 1 คน โดยนักเรียนกลุ่มเก่ง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00 ขึ้นไป นักเรียนกลุ่มปานกลาง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.50 – 2.99 และนักเรียนกลุ่มอ่อน หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนต่ำกว่า 2.49 ลงมา ซึ่งพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษาที่ผ่านมา ผลการทดลองพบว่า ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ทั้ง 15 ชุดการสอน มีเนื้อหามากเกินไป จึงปรับเนื้อหาใหม่ให้เหมาะสม และแก้ไขให้คำถามท้ายชุดการสอนให้สอดคล้องกับเนื้อหาที่ปรับแก้ไขใหม่

6.12.2 การหาประสิทธิภาพ แบบกลุ่มย่อย โดยนำชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 นำไปทดลองใช้กับนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ในภาคฤดูร้อน ปีการศึกษา 2558 ที่ไม่ใช่ประชากร จำนวน 9 คน โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนแบบคละความสามารถ ออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักเรียนกลุ่มเก่ง 3 คน นักเรียนกลุ่มปานกลาง 3 คน และนักเรียนกลุ่มอ่อน 3 คน โดยนักเรียนกลุ่มเก่ง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00 ขึ้นไป นักเรียนกลุ่มปานกลาง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.50 – 2.99 และนักเรียนกลุ่มอ่อน หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนต่ำกว่า 2.49 ลงมา ซึ่งพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษาที่ผ่านมา ผลการทดลองพบว่า นักเรียนใช้เวลาทำแบบฝึกหัด และใบงานในชุดการสอนที่ 5 และชุดการสอนที่ 12 ไม่ทันเวลา จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขปรับจำนวนใบงานและแบบฝึกหัดให้น้อยลง เพื่อให้เหมาะสมกับความสามารถของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถทำใบงานได้ทันตามเวลาที่กำหนด

6.12.3 การหาประสิทธิภาพ แบบภาคสนาม โดยนำชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ร่วมกับแผนการจัดการเรียนรู้ ที่ผ่านการทดลองมาปรับปรุงให้เหมาะสมพิมพ์เป็นฉบับจริง เพื่อนำไปใช้ทดลองสอนกับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 ที่ไม่ใช่ประชากร จำนวน 15 คน โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนแบบคละความสามารถ ออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักเรียนกลุ่มเก่ง 5 คน นักเรียนกลุ่มปานกลาง 5 คน และนักเรียนกลุ่มอ่อน 5 คน โดยนักเรียนกลุ่มเก่ง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00 ขึ้นไป นักเรียนกลุ่มปานกลาง หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.50 – 2.99 และนักเรียนกลุ่มอ่อน หมายถึง นักเรียนที่มีผลการเรียนต่ำกว่า 2.49 ลงมา ซึ่งพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษาที่ผ่านมาผลการทดลอง พบว่า นักเรียนแต่ละคนทำใบงานและแบบฝึกหัด ได้ทันตามกำหนดเวลา นักเรียนแต่ละคนเริ่มเข้าใจในบทบาทหน้าที่ที่ได้รับ และปฏิบัติหน้าที่ของตนเองได้ดี นักเรียนมีความสนุกสนาน กระตือรือร้นในการเรียน เพราะแต่ละคนรอฟังคะแนนเมื่อครูประกาศผลคะแนนจากการทำใบงานแต่ละชุดการสอนไปปิดประกาศ โดยภาพรวมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนช่วยเหลือและยอมรับซึ่งกันและกันรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ตนเองได้รับได้ดีตามศักยภาพแต่ละบุคคล การทำใบงานนักเรียนและคนเป็นไปตามเวลาที่กำหนด สามารถจัดพิมพ์เป็นฉบับสมบูรณ์และนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้

7. การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบทดสอบอิงเกณฑ์ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งผู้รายงานค้นคว้าดำเนินการสร้างขึ้นเอง ตามขั้นตอนดังนี้

7.1 ศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยศึกษาหลักการจุดมุ่งหมาย และเกณฑ์การใช้หลักสูตร

7.2 ศึกษาวิธีสร้างข้อสอบและวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา และผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง จากหนังสือการสร้างและการพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เทคนิคการเขียนข้อสอบ ของสมนึก ภัททิยธนี (2546 : 73-128) และศึกษาการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบบอิงเกณฑ์ ของบุญชม ศรีสะอาด (2545 : 56-98)

7.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา สาระสำคัญ และผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในเรื่องที่จะสร้างข้อสอบ

7.4 สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 เป็น 2 ชุด ได้แก่ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน โดยเป็นข้อสอบอิงเกณฑ์ชนิด 4 ตัวเลือก ชุดละจำนวน 80 ข้อ ต้องการจริงชุดละ 60 ข้อ

7.5 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ทั้ง 2 ชุด เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน (ข้อ 6.7) เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้สูตร IOC (สมนึก ภัททิยธนี. 2546 : 220) เลือกข้อสอบที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 เป็นข้อสอบที่อยู่ใน

เกณฑ์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่ใช้ได้ (สมนึก ภัททิยธนี. 2546 : 166 - 167) โดยคะแนนพิจารณาความสอดคล้องเป็นดังนี้

ให้ +1 ถ้าแน่ใจว่าข้อสอบวัดตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ระบุไว้

ให้ 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อสอบวัดตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ระบุไว้

ให้ -1 ถ้าแน่ใจว่าข้อสอบนั้นไม่ได้วัดตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ระบุไว้

7.6 วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามของแบบทดสอบกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง ผลการคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จำนวน 80 ข้อ ทั้ง 2 ชุด ปรากฏว่า ค่า IOC ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 และ ค่า IOC ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 สามารถจัดพิมพ์แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน-หลังเรียนเพื่อนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

7.7 นำข้อสอบที่ปรับปรุงแล้ว พิมพ์เป็นฉบับร่าง ทั้ง 2 ชุด ไปทดสอบกับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 ที่ไม่ใช่ประชากร จำนวน 12 คน

7.8 นำกระดาษคำตอบมาวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนก (B) ของแบบทดสอบเป็นรายข้อ โดยวิธีการของ Brennan (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 90) แล้วคัดข้อสอบที่มีเกณฑ์ของค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.20 ถึง 1.00 ไว้ พบว่า

7.8.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน พบว่าข้อสอบเข้าเกณฑ์ 60 ข้อ ซึ่งมีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.22 ถึง 0.78 และมีค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.83 แล้วนำข้อสอบมาวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับโดยวิธีของ Lovett (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547 : 96 - 98) พบว่า มีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.847

7.8.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน พบว่าข้อสอบเข้าเกณฑ์ 60 ข้อ ซึ่งมีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.22 ถึง 0.93 และมีค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.21 ถึง 0.92 แล้วนำข้อสอบมาวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับโดยวิธีของ Lovett (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547 : 96 - 98) พบว่า มีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.883

7.9 จัดพิมพ์ข้อสอบที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาต่อไป

8. แบบประเมินถามความพึงพอใจ การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจในการเรียนรู้ เป็นแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพพุทธศักราช 2556 มีลักษณะเป็นชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ผู้รายงานศึกษาค้นคว้าเนินการสร้างและหาคุณภาพตามขั้นตอนดังนี้

8.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ ชนิดมาตราส่วนประมาณค่าและเกณฑ์การแปลผล (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 68-76) และวิธีการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจเป็นชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) จาก 5 ระดับ จำนวน 20 ข้อ ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) มี 5 ระดับ คือ

เหมาะสมมากที่สุด ระดับคะแนน 5
เหมาะสมมาก ระดับคะแนน 4
เหมาะสมปานกลาง ระดับคะแนน 3
เหมาะสมน้อย ระดับคะแนน 2
เหมาะสมน้อยที่สุด ระดับคะแนน 1

ค่าเฉลี่ยของข้อคำถามในแต่ละข้อแปลความหมายโดยนำมาเปรียบเทียบกับช่วงค่าเฉลี่ยของบุญชม ศรีสะอาด (2545: 166) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.51 – 5.00 หมายถึง มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.51 – 4.50 หมายถึง มาก
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.51 – 3.50 หมายถึง ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.51 – 2.50 หมายถึง น้อย
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

8.2 นำแบบประเมินที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่าข้อคำถามแต่ละข้อวัดคุณลักษณะที่ต้องการวัดหรือไม่แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเหมาะสมและถือเกณฑ์ความเหมาะสม ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเป็นชุดเดียวกับข้อ 6.7 หรือข้อคำถามที่ผู้เชี่ยวชาญโดยคะแนนพิจารณาความสอดคล้องเป็นดังนี้

ให้ + 1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้
ให้ 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้
ให้ - 1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามไม่ได้วัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้

ปรากฏว่า ค่า IOC ของแบบประเมินคุณภาพชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเฉลี่ยรวม 15 ชุด เท่ากับ 1

8.3 นำแบบประเมินมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

8.4 จัดพิมพ์แบบประเมินความพึงพอใจที่ผ่านวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเหมาะสมแล้วเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาต่อไป

9. แบบประเมินชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบ่งเป็น 5 ด้านรวมจำนวน 21 ข้อ มีวิธีการสร้าง ดังนี้

9.1 ศึกษาเอกสาร ตำรา ที่เกี่ยวกับการสร้างแบบประเมิน จากหนังสือการวิจัยเบื้องต้นของบุญชม ศรีสะอาด (2545 : 66 – 74)

9.2 สร้างแบบประเมินชุดการสอน เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามเกณฑ์ของลิเคิร์ท (Likert) เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งเป็น 6 ด้าน รวมจำนวน 21 ข้อ กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนของความเหมาะสม เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Ratting Scale) ซึ่งมี 5 ระดับ คือ ความเหมาะสมมากที่สุด ความเหมาะสมมาก ความเหมาะสม

ปานกลาง ความเหมาะสมน้อย และความเหมาะสมน้อยที่สุด สำหรับคะแนน 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 102 - 103) ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) มี 5 ระดับ คือ

เหมาะสมมากที่สุด	ระดับคะแนน	5
เหมาะสมมาก	ระดับคะแนน	4
เหมาะสมปานกลาง	ระดับคะแนน	3
เหมาะสมน้อย	ระดับคะแนน	2
เหมาะสมน้อยที่สุด	ระดับคะแนน	1

ค่าเฉลี่ยของข้อคำถามในแต่ละข้อแปลความหมายโดยนำมาเปรียบเทียบกับช่วงค่าเฉลี่ยของบุญชม ศรีสะอาด (2545: 166) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	4.51 – 5.00	หมายถึง	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	3.51 – 4.50	หมายถึง	มาก
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	2.51 – 3.50	หมายถึง	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	1.51 – 2.50	หมายถึง	น้อย
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	1.00 – 1.50	หมายถึง	น้อยที่สุด

9.3 นำแบบประเมินที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่าข้อคำถามแต่ละข้อวัดคุณลักษณะที่ต้องการวัดหรือไม่ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเหมาะสมและถือเกณฑ์ความเหมาะสม ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเป็นชุดเดียวกับข้อ 6.7 หรือข้อคำถามที่ผู้เชี่ยวชาญ โดยคะแนนพิจารณาความสอดคล้องเป็นดังนี้

ให้ + 1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้

ให้ 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้

ให้ - 1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามไม่ได้วัดตรงตามเนื้อหาที่ระบุไว้

ปรากฏว่า ค่า IOC ของแบบประเมินคุณภาพชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1

9.4 นำแบบประเมินมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

9.5 จัดพิมพ์แบบประเมินคุณภาพชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 เพื่อนำไปใช้กับครูที่ได้รับการเผยแพร่ชุดการสอนต่อไป

รูปแบบการศึกษา

ขั้นการใช้ชุดการสอนเพื่อปรับปรุง พัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนที่สร้างขึ้นดำเนินการทดลองใช้ชุดการสอน ตามรูปแบบ One-Group Pretest-posttest Design มีรูปแบบการทดลองดังนี้ (ผ่องพรรณ ตรัยมงคลกูลและสุภาพ ฉัตราภรณ์, 2545 : 53)

ตาราง 3.34 แบบการทดลองกลุ่มเดียวทดสอบก่อน-หลัง (One-Group Pretest - posttest Design)

O_1	T	O_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

O_1 หมายถึง ทดสอบก่อนการทดลอง

T หมายถึง การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

O_2 หมายถึง ทดสอบหลังการทดลอง

วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้รายงานได้ทำการทดลองกับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ระดับ ปวช.1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่าย โดยวีการจับสลาก จำนวน 20 คน โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 60 ข้อ

2. เมื่อเริ่มต้นดำเนินการทดลอง ชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงข้อตกลงที่จะใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

3. ดำเนินการสอนตามขั้นตอนของการใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 หน่วย

4. รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแต่ละชุดการสอนเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ

5. หลังการเรียนการสอนในหน่วยจบลงแล้วจึงทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 60 ข้อ

6. เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ ผู้รายงานได้วางแผนการจัดกระทำข้อมูลและดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนร่วมกับแผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนกับผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของนักเรียนโดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สถิติ t-test (Dependent Samples)

ตอนที่ 4 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 5 ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติในการตรวจสอบหาคุณภาพเครื่องมือ

1.1 การหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบบอิงเกณฑ์ชนิด 5 ตัวเลือก ดังนี้

1.1.1 วิเคราะห์หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Validity) โดยใช้วิธีหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยใช้สูตร ดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

$$\text{สูตร} \qquad IOC = \frac{\sum R}{n}$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

1.1.2 วิเคราะห์หาระดับความยากง่ายของแบบทดสอบ โดยใช้สูตร ดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

สูตร $P = \frac{P_H + P_L}{n}$

เมื่อ P แทน ค่าความยากของข้อสอบ

P_H แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

P_L แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

n แทน จำนวนผู้ตอบทั้งหมดของกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

เกณฑ์การแปลความหมายของความยากง่ายของข้อสอบมีดังนี้

ความยากง่ายของข้อสอบ	**ความหมาย**	**คุณภาพข้อสอบ**
0.80-1.00	ง่ายมาก	ไม่ดีต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่
0.60-0.79	ง่าย	พอใช้ได้
0.40-0.59	ปานกลาง	ดีมาก
0.20-0.39	ยาก	พอใช้ได้
0-0.19	ยากมาก	ไม่ดีต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่

1.1.3 วิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนกโดยใช้วิธีของเบรนแนน (Brennan) เพื่อหาประสิทธิภาพในการจำแนกผู้สอบออกเป็นผู้รอบรู้หรือสอบผ่าน กับผู้ไม่รอบรู้หรือสอบไม่ผ่าน โดยใช้สูตร ดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

สูตร $B = \frac{U}{n_1} - \frac{L}{n_2}$

เมื่อ B แทน ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ

U แทน จำนวนผู้รอบรู้(หรือสอบผ่านเกณฑ์)ที่ตอบถูก

L แทน จำนวนผู้ไม่รอบรู้(หรือสอบไม่ผ่านเกณฑ์)ที่ตอบถูก

n_1 แทน จำนวนผู้รอบรู้หรือสอบผ่านเกณฑ์

n_2 แทน จำนวนผู้ไม่รอบรู้หรือสอบไม่ผ่านเกณฑ์

เกณฑ์การแปลความหมายของค่าอำนาจจำแนก

อำนาจจำแนก	**ความหมายของคุณภาพข้อสอบ**
0.40 ขึ้นไป	ดีมาก
0.30-0.39	ดีพอสมควร
0.20-0.29	พอใช้ได้แต่ควรปรับปรุง
0.19 ลงมา	ไม่ดีต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่

1.1.4 วิเคราะห์ หาค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามวิธีการโลเวท (Lovett) โดยคำนวณจากสูตรดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

สูตร $r_{cc} = 1-\frac{k\sum x_i-\sum x_i^{\,2}}{(k-1)\sum(x_i-c)^2}$

เมื่อ r_{cc} แทน ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
k แทน จำนวนข้อสอบทั้งฉบับ
x_i แทน คะแนนของนักเรียนแต่ละคน
c แทน คะแนนเกณฑ์หรือจุดตัดของแบบทดสอบ

1.1.5 วิเคราะห์หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Validity) ของแบบวัดความพึงพอใจ โดยใช้วิธีหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยใช้สูตร ดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

สูตร $IOC = \frac{\sum R}{n}$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง
$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด
n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

2. สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.1 ร้อยละ (Percentage : P) (บุญชม ศรีสะอาด. 2545) โดยใช้สูตร ดังนี้

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ P แทน ร้อยละ
f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ
N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

2.2 ค่าเฉลี่ย (Mean) โดย ใช้สูตรดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ย
$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม
N แทน จำนวนนักเรียน

2.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)โดย ใช้สูตรดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง
$(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง
N แทน จำนวนนักเรียน

2.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพชุดการสอน (เผชิญ กิจระการ. 2544)

สูตร $E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$

เมื่อ E_1 แทน ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทุกคนที่ทำได้ระหว่างเรียนจากการทำแบบฝึกหัด ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแต่ละชุด
$\sum X$ แทน คะแนนรวมจากการทำแบบฝึกหัด ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแต่ละชุด
A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัด ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแต่ละชุด
N แทน จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

$$\text{สูตร} \quad E_2 = \frac{\frac{\sum Y}{N}}{B} \times 100$$

เมื่อ E_2 แทน ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

$\sum Y$ แทน คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

2.5 หาค่าดัชนีประสิทธิผล (เผชิญ กิจระการ. 2544)

$$\text{ดัชนีประสิทธิผล (E.I.)} = \frac{\text{ผลรวมคะแนนทดสอบหลังเรียน- ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}{\text{(จำนวนนักเรียน} \times \text{คะแนนเต็ม) – ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}$$

3. สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ t-test (Dependent Samples) (สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2547)

$$\text{สูตร} \quad t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{n-1}}}$$

เมื่อ t แทน ค่า t-test

D แทน ค่าผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละคู่

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือจำนวนคู่คะแนน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ผู้รายงานขอนำเสนอผลการศึกษาตามลำดับ ดังนี้

1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล
2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล

ในการนำเสนอข้อมูล ครั้งนี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการแปลความหมายผลการวิเคราะห์ข้อมูล จึงได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลดังนี้

$\overline{X}$	แทน	คะแนนเฉลี่ย
N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\overline{D}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของผลต่างของค่าตัวแปร
t	แทน	ค่าสถิติทดสอบที่ใช้เปรียบเทียบค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ t
E_1	แทน	ประสิทธิภาพของชุดการสอนจากการทำแบบฝึกหัด ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแต่ละชุด
E_2	แทน	ประสิทธิภาพของชุดการสอนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน
E.I.	แทน	ดัชนีประสิทธิผล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ ผู้รายงานได้วางแผนการจัดทำข้อมูลและดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 ชุดทดลองวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดฝึกทักษะจำนวน 5 เครื่อง ดังนี้

1.1 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

1.2 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

1.3 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

1.4 ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

1.5 ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ตอนที่ 2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สูตร E_1/E_2

ตอนที่ 3 วิเคราะห์หาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ตอนที่ 4 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้ t-test (Dependent Samples)

ตอนที่ 5 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ชุดทดลองวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดฝึกทักษะจำนวน 5 เครื่อง ดังนี้

1. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกันใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

เนื่องจากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ มีจุดประสงค์ในการออกแบบสร้างและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกับชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน เพราะทำหน้าที่เป็นจุดวัดอ้างอิงในการใช้งานพิสัยวัดต่าง ๆ และเพื่อการทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้ โดยการทดสอบประสิทธิภาพจึงเป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่เกิดจากการใช้งานร่วมกัน ซึ่งผลที่ได้มีทั้งหมด 9 รายการดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด DCV จากการนำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกันไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และ

ทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0.05 V, 0.39 V, 2.36 V 6.31 V, 39.2 V, 232.0 V, 272.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCV

พิสัยวัด DCV	ค่าแรงดันอ้างอิง	มัลติมิเตอร์ ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
0.1 DCV	0.05 V	0.05 V	0
0.5 DCV	0.39 V	0.382 V	-2.05
2.5 DCV	2.36 V	2.32 V	-1.69
10 DCV	6.31 V	6.2 V	-1.74
50 DCV	39.2 V	38.8 V	-1.02
250 DCV	232.0 V	230 V	0.86
1000 DCV	272.0 V	278 V	2.2

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของพิสัยวัด DCV จากตารางที่ 4.1 ที่พิสัยวัด 0.1 DCV วัดค่าแรงดันอ้างอิง 0.05 V วัดและอ่านค่าได้ 0.05 V ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูงสุด ที่พิสัยวัด 1000 DCV วัดค่าแรงดันอ้างอิง 272 V วัดและอ่านค่าได้ 278 V มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 2.2 และที่พิสัยวัดอื่นๆ วัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากคู่มือใช้งานมัลติมิเตอร์ SANWA รุ่น YX-361TR ที่พิสัยวัด DCV ค่าความเที่ยงตรง คือ ร้อยละ ±2.5 จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด ACV จากการนำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกันไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ ที่จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ 1.80 V, 5.4 V, 31.0 V, 235 V, 252.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด ACV

พิสัยวัด ACV	ค่าแรงดันอ้างอิง	มัลติมิเตอร์ ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
2.5 ACV	1.8 V	1.75 V	-2.77
10 ACV	5.4 V	5.2 V	-3.7

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

พิสัยวัด ACV	ค่าแรงดันอ้างอิง	มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
50 ACV	31.0 V	30.5 V	-1.61
250 ACV	235.0 V	235 V	0
1000 ACV	252.0 V	252 V	0

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของพิสัยวัด ACV จากตารางที่ 4.2 ที่พิสัยวัด 250 ACV วัดค่าแรงดันอ้างอิง 235 V วัดและอ่านค่าได้ 235 V และ 1000 ACV วัดค่าแรงดันอ้างอิง 252 V วัดและอ่านค่าได้ 252 V ซึ่งทั้งสองพิสัยวัดมีความเที่ยงตรงสูงสุด ที่พิสัยวัด 10 ACV ค่าแรงดันอ้างอิง 5.4 V วัดและอ่านค่าได้ 5.2 V มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ -3.7 และที่พิสัยวัดอื่น ๆ วัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากคู่มือใช้งานมัลติมิเตอร์ SANWA รุ่น YX-361TR ที่พิสัยวัด ACV ค่าความเที่ยงตรง คือ ร้อยละ ±4 จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

3) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด DCA จากการนำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่ากระแสไฟตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ ที่จุดวัดกระแสไฟตรงที่ 30 μA, 1.76 mA, 14.2 mA,184 mA, 450 mA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA

พิสัยวัด DCA	ค่ากระแสอ้างอิง	มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
50 DCμA	30 μA	30 μA	0
2.5 DCmA	1.76 mA	1.75 mA	-0.568
25 DCmA	14.2 mA	13.9 mA	-2.11
250 DCmA	184 mA	185 mA	0.543

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของพิสัยวัด DCA จากตารางที่ 4.3 ที่พิสัยวัด 50 DCμA วัดกระแสอ้างอิง 30 μA อ่านค่าได้ 30 μA ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูงสุด ที่พิสัยวัด 25 DCmA วัดกระแสไฟฟ้าอ้างอิง 14.2 mA อ่านค่าได้ 13.9 mA มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ -2.11 และที่พิสัยวัดอื่น ๆ วัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่ากระแสอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากคู่มือใช้งานมัลติมิเตอร์ SANWA รุ่น YX-361TR ที่พิสัยวัด DCA ค่าความเที่ยงตรง คือ ร้อยละ ±2.5 จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดกระแสไฟตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

4) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัดความต้านทาน จากการนำชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าตัวต้านทานที่ทราบค่า ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω

ค่าตัวต้านทาน ที่ระบุ	พิสัยวัด	มัลติมิเตอร์ ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
0.5 Ω	×1	0.5 Ω	0
6.8 Ω	×1	7 Ω	2.94
20 Ω	×1	19.5 Ω	-2.5
51 Ω	×1	50 Ω	-1.96
100 Ω	×10	100 Ω	0
200 Ω	×10	200 Ω	0
430 Ω	×100	430 Ω	0
1 kΩ	×100	1 kΩ	0
1.2 kΩ	×100	1.2 kΩ	0
2 kΩ	×100	2 kΩ	0
10 kΩ	×1k	9.8 kΩ	-2
20 kΩ	×1k	19.9 kΩ	-0.5
82 kΩ	×10k	80 kΩ	-2.43
100 kΩ	×10k	98 kΩ	-2
120 kΩ	×10k	118 kΩ	-1.66
200 kΩ	×10k	198 kΩ	-1
324 kΩ	×10k	320 kΩ	-1.23

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ค่าตัวต้านทาน ที่ระบุ	พิสัยวัด	มัลติมิเตอร์ ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
1 MΩ	×10k	1.04 MΩ	4
1.2 MΩ	×10k	1.25 MΩ	4.16
2 MΩ	×10k	2.1 MΩ	5
5.6 MΩ	×10k	5.5 MΩ	-1.78
9.1 MΩ	×10k	10 MΩ	9.89
10 MΩ	×10k	11.5 MΩ	15
20 MΩ	×10k	25 MΩ	25

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω โดยทั่วไปมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก มีสเกลไม่เป็นเชิงเส้น ค่าความเที่ยงตรง ร้อยละ ±3 ของส่วนโค้ง ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกแต่ละพิสัยวัด Ω ซึ่งถูกกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่เลข 20 เช่น ค่าตัวต้านทาน 100 Ω, 200 Ω, 430 Ω, 1 kΩ, 1.2 kΩ เป็นต้น แต่เมื่อผลการวัดมากกว่าหรือต่ำกว่าเลข 20 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น เพิ่มตามระยะเข็มชี้ที่ห่างจากเลข 20 ซึ่งอาจสูงเป็น ร้อยละ ±5, ±10 ถึง ±20 เช่น ค่าความต้านทาน 2 MΩ, 9.1 MΩ, 10 MΩ, 20 MΩ จึงอาจกล่าวได้ว่าผลการวัดและอ่านค่าถูกต้อง พิจารณาจากค่าที่ใกล้เคียงตามความเหมาะสม แต่การเลือกพิสัยจำเป็นต้องเลือกให้ถูกต้องและเหมาะสมทุกครั้ง ดังนั้น ผลการวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวต้านทานที่ระบุ จึงสรุปได้ว่า ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดค่าตัวต้านทานได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

5) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ที่มีการใช้งาน 2 ทางเลือก โดยผ่านการเลือกจากสวิตช์โยก 2 ตำแหน่งข้างกล่องด้านซ้าย โดยการโยกขึ้นบนจะเป็นการใช้งานรูปแบบปกติของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนลอก ที่มีระบบป้องกัน คือ ใช้วัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ แต่เมื่อโยกลงล่างจะเป็นการเลือกใช้ขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน โดยตรง คือ 44 μA ซึ่งมีจุดต่อเพิ่มออกมาด้านข้าง 2 จุด สำหรับต่อใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก เพื่อใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัดต่าง ๆ ได้แก่ การขยายพิสัยวัด DCA, ขยายพิสัยวัด DCV, ขยายพิสัยวัด ACV, ขยายพิสัยวัด Ω จึงสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน

บันทึกผล	ค่าความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ (R_m)	ค่ากระแสเต็มสเกล (I_{FS})	ค่าแรงดันเต็มสเกล (V_{FS})
ค่าจากคู่มือ	1.10 kΩ	44.0 μA	50.0 mV
ค่าที่วัดได้	1.12 kΩ	44.2 μA	49.8 mV
ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ	1.81	0.45	-0.4

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถใช้งานได้ 2 ทางเลือก โดยเลือกสวิตช์โยก 2 ตำแหน่งข้างกล่องด้านซ้ายดังกล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสรุปได้ผลได้ดังนี้ คือ จุดต่อด้านข้าง 2 จุด สามารถใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ได้ถูกต้อง ซึ่งค่าความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ วัดค่าได้ 1.12 kΩ มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 1.81 ค่ากระแสเต็มสเกล วัดค่าได้ 44.2 μA มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0.45 และค่าแรงดันเต็มสเกล วัดค่าได้ 49.8 mV มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ -0.4 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ 2 ทางเลือก สำหรับต่อใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ สามารถนำไปใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้ที่อยู่ในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ เพื่อต่อใช้งานร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน เพื่อใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัด DCA สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCA ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้

พิสัยวัด	ค่ากระแสอ้างอิง	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
0-50 DCμA	30 μA	29.5 μA	-1.66
0-2.5 DCmA	1.76 mA	1.75 mA	0.57
0-25 DCmA	14.2 mA	14.0 mA	1.41
0-250 DCmA	184 mA	185 mA	0.54

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCA ที่ออกแบบที่ในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ โดยใช้งานร่วมกันกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่ากระแสอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ ±2.5 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก มัลติมิเตอร์สามารถนำไปใช้ทดลองวงจรขยายพิสัยวัด DCA ร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัย

7) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้จากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก เพื่อต่อใช้งานร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน เพื่อใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัด DCV สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCV ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้

พิสัยวัด	ค่าแรงดันอ้างอิง	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
0.1 DCV	0.05 V	0.05 V	0
0.5 DCV	0.39 V	0.385 V	1.28
2.5 DCV	2.36 V	2.32 V	1.69
10 DCV	6.31 V	6.2 V	1.74
50 DCV	39.2 V	39 V	0.51
250 DCV	232 V	236 V	-1.72
1000 DCV	272 V	278 V	-2.2

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด DCV ที่ออกแบบในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ โดยใช้งานร่วมกันกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ ±2.5 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก มัลติมิเตอร์สามารถนำไปใช้ทดลองวงจรขยายพิสัยวัด DCV ร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึก มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัย

8) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ ที่ออกแบบได้จากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก เพื่อต่อใช้งานร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน เพื่อใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัด ACV สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด ACV ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้

พิสัยวัด	แรงดันอ้างอิง (โดยประมาณ)	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
2.5 ACV	1.8 V	1.75	-2.77
10 ACV	5.4 V	5.2	-3.70
50 ACV	31 V	30	-1.61
250 ACV	235 V	230	2.12
1000 ACV	252 V	240	-3.96

จากตารางที่ 4.8 เป็นผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด ACV ที่ออกแบบในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ โดยใช้งานร่วมกันกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดและอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ ±4 แต่ความคลาดเคลื่อนของพิสัยวัด ACV รวมกับความไม่คงที่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ บางช่วงเวลาอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ สามารถนำไปใช้ทดลองวงจรขยายพิสัยวัด ACV ร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องครบทุกพิสัย

9) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้จากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอก เพื่อต่อใช้งานร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน เพื่อใช้ในการทดลองวงจรขยายพิสัยวัด Ω สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยายพิสัยวัด Ω ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ที่ออกแบบได้

พิสัยวัด Ω	ตัวต้านทานอ้างอิง	ตัวต้านทานที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
Rx1	0.5 Ω	0.55 Ω	10
	6.8 Ω	7 Ω	2.94
	20 Ω	20.5 Ω	2.5
Rx10	51 Ω	52 Ω	1.96
	100 Ω	102 Ω	2
	200 Ω	207 Ω	3.5
Rx100	430 Ω	440 Ω	2.33
	1 kΩ	1.02 kΩ	2
	1.2 kΩ	1.25 kΩ	4.17
Rx1k	10 kΩ	10.3 kΩ	3
	20 kΩ	19.9 kΩ	-0.5
Rx10k	82 kΩ	85 kΩ	3.66
	100 kΩ	100 kΩ	0
	120 kΩ	125 kΩ	4.17
	324 kΩ	325 kΩ	0.31
	1 MΩ	1 MΩ	0

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองที่พิสัยวัด R×1 ตัวตัวต้านทาน 0.5 Ω มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 10 เพราะไม่สามารถวัดได้ละเอียด เนื่องจากมีช่วงที่เป็นขีดจำกัดในการวัดค่าต่ำของมาตรวัดความต้านทานที่มีความเคลื่อนเคลื่อนค่อนข้างสูง สาเหตุจากความไม่เป็นเชิงเส้นของสเกลและข้อกำหนดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ ±3 เป็นการกำหนดค่าที่กึ่งกลางสเกลหรือเลข 20 ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะเข็มชี้เลข 10 ลงมาหรือเลข 20 ขึ้นไป รวมกับความเคลื่อนคลาดของอุปกรณ์ที่นำมาสร้างชุดฝึกอีกร้อยละ ±1 จึงทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนได้เกิน ร้อยละ ±3 ซึ่งเป็นข้อจำกัดของมาตรวัดความต้านทานชนิดแอนะลอก ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนสูง จึงไม่ได้มีความหมายว่าวัดค่าไม่เที่ยงตรง อนึ่งที่พิสัยวัด R×10k วัดตัวต้านทาน 100 kΩ และ 1 MΩ ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0 ไม่ได้หมายความว่าวัดค่าได้เที่ยงตรง เพียงแต่สเกลวัดไม่ละเอียดจึงทำให้แยกแยะรายละเอียดไม่ได้ เนื่องจากมีช่วงที่เป็นขีดจำกัดในการวัดค่าสูง เพราะสเกลของโอห์มมิเตอร์ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าตัวต้านทานที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวต้านทานอ้างอิงที่ระบุ จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์สามารถนำไปใช้ทดลองวงจรขยายพิสัยวัด Ω ร่วมกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิด

แอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามเงื่อนไขการวัดและอ่านค่าพิสัยวัด Ω ที่พิจารณาว่าเป็นค่าโดยประมาณหรือใกล้เคียงค่าจริงครบทุกพิสัย

2. การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบค่าอิมพีแดนภายในของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน มีจุดประสงค์เพื่อทราบถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดฝึก ฯ ดังกล่าวในแต่ละพิสัย สรุปผลได้ดังนี้

1) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV

พิสัยวัด	ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่วัดได้	ค่าความไวจากการคำนวณ	ความไวปกติของมาตรวัดพิสัย DCV	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
0.1 DCV	2.02 kΩ	20.2 kΩ/V	20 kΩ/V	1
0.5 DCV	100.4 kΩ	20.08 kΩ/V	20 kΩ/V	0.4
2.5 DCV	50 kΩ	20 kΩ/V	20 kΩ/V	0
10 DCV	200.4 kΩ	20.04 kΩ/V	20 kΩ/V	0.2
50 DCV	1 MΩ	20 kΩ/V	20 kΩ/V	0
250 DCV	5.02 MΩ	20.08 kΩ/V	20 kΩ/V	0.4
1000 DCV	19.85 MΩ	19.85 kΩ/V	20 kΩ/V	-0.75

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง เนื่องจากเมื่อเทียบกับความไวปกติของมาตรวัดพิสัย DCV คือ 20 kΩ/V กับค่าความไวจากการคำนวณดังเช่นที่พิสัย 0.1 V ค่าความไว = $\frac{2.02\,\text{k}\Omega}{0.1\,\text{V}}$ = 20.02 kΩ/V มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเป็นค่าที่ยอมรับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ทดสอบได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง ร้อยละ -0.75 ถึง ร้อยละ 1 จึงกล่าวได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV เหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

2) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA

พิสัยวัด	อิมพีแดนซ์ภายในพิสัยการวัดกระแสไฟตรง		ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
	ค่าความต้านทานภายในของวงจรมัลติมิเตอร์	ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้	
50 DCμA	2 kΩ	2.02 kΩ	1
2.5 DCmA	102 Ω	100.2 Ω	-1.79
25 DCmA	10 Ω	10.2 Ω	2
250 DCmA	1 Ω	1.1 Ω	10

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของวงจร มัลติมิเตอร์เปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น พิสัยวัด 50 μA มีค่าความต้าน ทานภายในของวงจร คือ 2 kΩ วัดค่าได้ 2.02 kΩ มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 1 ยกเว้นพิสัยวัด 250 mA ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 10 เนื่องจากคุณสมบัติของมัลติมิเตอร์พิสัยนี้สามารถวัดค่าได้ต่ำสุดของพิสัย คือ 4 Ω ซึ่งค่าความต้านทานภายในวงจรต่ำมาก คือ 1 Ω จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก แต่เมื่อพิจารณาภาพรวมจึงกล่าวได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA เหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

3) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย Ω ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย Ω

พิสัย Ω	กระแสอ้างอิง	กระแสที่วัดได้	ค่าอิมพีแดนซ์	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
R×1	150 mA	143.5 mA	20.9 Ω	-4.33%
R×10	15 mA	14.67 mA	204.4 Ω	-2.2%
R×100	1.5 mA	1.5 mA	2 kΩ	0%
R×1k	150 μA	148.1 μA	20.25 kΩ	-1.26%
R×10k	60 μA	59.9 μA	200.3 kΩ	-0.16%

จากตารางที่ 4.12 เป็นผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย Ω ของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง เนื่องจากค่ากระแสที่วัดได้เป็นค่ากระแสในขณะปรับให้เข็มชี้ที่ 0 Ω ในแต่ละพิสัยตามหลักการออกแบบของโอห์มมิเตอร์ โดยพิสัย R×1 ถึง R×1k ที่ใช้แบตเตอรี่ 3 V เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับตัวต้านทาน ซึ่งเมื่อวัดความต้านทานใด ๆ จะต่ำกว่าค่าในขณะปรับ Zero adjust เสมอ เช่น พิสัย R×1 กระแสอ้างอิงจากการออกแบบ 150 mA กระแสที่วัดได้ 143.5 mA ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ = $\frac{143.5\,\text{mA} - 150\,\text{mA}}{150\,\text{mA}}$ = -4.33 และค่าอิมพีแดนซ์ = $\frac{3\,\text{V}}{143.5\,\text{mA}}$ = 20.9 Ω ที่พิสัย R×10k เนื่องจากแบตเตอรี่ 3 V ไม่สามารถจ่ายกระแสให้มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก เพื่อปรับ Zero adjust ที่ 0 Ω ได้ จึงไม่สามารถวัดค่าพิสัย R×10k ได้เที่ยงตรง เพราะฉะนั้น 50 μA จึงต้องทำให้เป็น 60 μA จึงต้องใช้แบตเตอรี่ 9 V อนุกรมกับแบตเตอรี่ 3 V เพื่อป้อนไฟเลี้ยงค่า 12 V ที่พิสัย R×10k ดังนั้น กระแสอ้างอิงจากการออกแบบ 60 μA กระแสที่วัดได้ 59.9 μA ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ -0.16 ค่าอิมพีแดนซ์ภายใน = $\frac{12\,\text{V}}{59.9\,\mu\text{A}}$ = 200.3 kΩ ซึ่งพิจารณาภาพรวมจึงกล่าวได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย Ω เหมือนกับมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

3. ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

1) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด DCV จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0.05 V, 0.39 V, 2.36 V 6.31 V, 39.2 V, 232.0 V, 272.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCV

แรงดันอ้างอิง	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
0.05 V	200 mV	51.0 mV	2
0.39 V	2 V	0.392 V	0.51
2.36 V	20 V	2.37 V	0.42

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

แรงดันอ้างอิง	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
6.31 V	20 V	6.32 V	0.15
39.2 V	200 V	39.3 V	0.25
232 V	600 V	234 V	0.86
272 V	600 V	274 V	0.73

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCV จากตารางที่ 4.13 ค่าแรงดันอ้างอิง 0.05 V วัดและอ่านค่าได้ 51 mV มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 2 แต่เนื่องจากค่าความเที่ยงตรงที่พิสัยวัด 200 mV ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ยี่ห้อ U-NIT รุ่น 151A คือ ±(0.5%+1) โดยสามารถหาค่าความเที่ยงตรงได้จาก (0.05 V x 0.5)/100+0.01 = 0.01025 แสดงว่าค่าแรงดันอ้างอิง 0.05 V ที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 0.03975 V –0.06025 V ดังนั้นค่าที่อ่านได้ 51 mV จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้ กรณีพิสัยอื่น ๆ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด VAC จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ 1.80 V, 5.4 V, 31.0 V, 235 V, 252.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC

แรงดันอ้างอิง	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
1.8 V	2 V	1.818 V	1
5.4 V	20 V	5.47 V	1.29

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

แรงดันอ้างอิง	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความ คลาดเคลื่อน ร้อยละ
31 V	200 V	31.2 V	0.64
232 V	600 V	235 V	1.29
252 V	600 V	255 V	1.29

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC พบว่าการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดการสวิงของขนาดแรงดันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 1.29 ที่พิสัยวัด 20 V วัดแรงดัน 5.4 V อ่านค่าได้ 5.47 V พิสัยวัด 600 V วัดแรงดัน 232 V อ่านค่าได้ 235 V และวัดแรงดัน 252 V อ่านค่าได้ 255 V ดังนั้น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่อ่านค่าได้จึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

3) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด DCA จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่ากระแสไฟตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดกระแสไฟตรง 30 μA, 1.76 mA, 14.2 mA, 184 mA, 450 mA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA

กระแสไฟตรง เทียบ GND	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน	ค่าความ คลาดเคลื่อน ร้อยละ
30 μA	200 μA	30 μA	0
1.76 mA	2 mA	1.735 mA	-1.42
14.2 mA	200 mA	14.0 mA	-1.40
184 mA	200 mA	183.2 mA	-0.43
450 mA	10 A	0.45 A	0

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA จากตารางที่ 4.15 พิสัยวัด 2 mA วัดค่ากระแสไฟตรง 1.76 mA อ่านค่าได้ 1.735 mA มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 1.42 และความเที่ยงตรงสูงสุด คือ พิสัยวัด 200 µA วัดและอ่านค่าได้ 30 µA พิสัยวัด 10 A วัดและอ่านค่ากระแสไฟตรงได้ 450 mA ดังนั้น ค่ากระแสไฟตรงที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากระแสอ้างอิง เป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดกระแสไฟตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

4) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด AC (A~) จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดกระแสไฟตรง 125 µA, 1.65 mA, 110 mA, 550 mA, ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~)

กระแสไฟสลับเทียบ GND	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
125 µA	200 µA	125.0 µA	0
1.65 mA	2 mA	1.656 mA	0.36
110 mA	200 mA	110.2 mA	0.18
550 mA	10 A	0.55 A	0

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~) จากตารางที่ 4.16 ความเที่ยงตรงสูงสุด ที่พิสัยวัด 200 µA วัดและอ่านค่ากระแสไฟสลับได้ 125 µA และพิสัยวัด 10 A วัดและอ่านค่ากระแสไฟสลับได้ 550 mA ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 0.36 ที่พิสัยวัด 2 mA วัดค่ากระแสไฟสลับ 1.65 mA อ่านค่าได้ 1.656 mA ดังนั้น ค่ากระแสไฟสลับที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากระแสอ้างอิง เป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดกระแสไฟสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

4) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัดความต้านทาน จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าตัวต้านทานที่ทราบค่า ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω

ลำดับ	ตัวต้านทาน ที่ทราบค่า	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
1	0.5 Ω	200 Ω	0.5 Ω	0
2	6.8 Ω	200 Ω	6.8 Ω	0
3	20 Ω	200 Ω	20 Ω	0
4	51 Ω	200 Ω	51 Ω	0
5	100 Ω	200 Ω	100 Ω	0
6	200 Ω	2 kΩ	198 Ω	-1
7	430 Ω	2 kΩ	429 Ω	-0.23
8	1 kΩ	2 kΩ	1 kΩ	0
9	1.2 kΩ	2 kΩ	1.192 kΩ	-0.66
10	2 kΩ	20 kΩ	1.98 kΩ	-1
11	9.09 kΩ	20 kΩ	9.08 kΩ	-0.11
12	10 kΩ	20 kΩ	9.89 kΩ	-1.1
13	20 kΩ	200 kΩ	20 kΩ	0
14	82 kΩ	200 kΩ	81.9 kΩ	-0.12
15	100 kΩ	200 kΩ	99.8 kΩ	-0.2
16	120 kΩ	200 kΩ	120 kΩ	0
17	200 kΩ	2 MΩ	200 kΩ	0
18	324 kΩ	2 MΩ	324 kΩ	0
19	1 MΩ	2 MΩ	1.006 MΩ	0.6
20	1.2 MΩ	2 MΩ	1.2 MΩ	0
21	2 MΩ	20 MΩ	2.04 MΩ	2
22	5.6 MΩ	20 MΩ	5.68 MΩ	1.42
23	9.09 MΩ	20 MΩ	9.03 MΩ	-0.66

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวต้านทานที่ทราบค่า	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อนร้อยละ
24	9.1 MΩ	20 MΩ	9.08 MΩ	-0.22
25	10 MΩ	20 MΩ	10.1 MΩ	1
26	20 MΩ	200 MΩ	20.25 MΩ	1.25

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω จากตารางที่ 4.17 ค่าความต้านทานที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่กำหนด ซึ่งความต้านทาน 5.6 MΩ อ่านค่าได้ 5.68 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 1.42 และความเที่ยงตรงสูงสุด คือ 0.5 Ω, 6.8 Ω, 20 Ω, 51 Ω และ 100 Ω เนื่องจากข้อสังเกตการทดลองวัดตัวต้านทานแบบทราบค่า กรณีเลือกพิสัยวัด 200 Ω ทำการปรับตั้งค่าศูนย์ โดยนำปลาย (+) และ (–) มาสัมผัสกัน ทราบถึงค่าความต้านทานเกินประมาณ 0.2 Ω เนื่องจากเป็นคุณสมบัติและขีดจำกัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่นนี้ ดังนั้น เมื่อใช้พิสัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำค่าที่แสดงมาลบค่า 0.2 Ω จึงจะได้ค่าความต้านทานที่วัดและอ่านได้จริง ดังนั้น ตามตารางที่ 4.17 ผลการวัดจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่กำหนด ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดค่าตัวต้านทานที่ทราบค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

4. การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบค่าอิมพีแดนภายในของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน มีจุดประสงค์เพื่อทราบถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดฝึก ฯ ดังกล่าวในแต่ละพิสัย สรุปผลได้ดังนี้

1) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCV

พิสัยวัด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
200 mV	9.79 MΩ	-2.1
2 V	9.82 MΩ	-1.8
20 V	9.82 MΩ	-1.8
200 V	9.82 MΩ	-1.8
600 V	9.82 MΩ	-1.8

จากตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย V⎓ ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง ดังเช่น พิสัย 200 mV วัดค่าได้ 9.79 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ -2.1 และพิสัย 2 V ถึงพิสัย 600 V วัดค่าได้ 9.82 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ -1.8 ทุกพิสัย กรณีดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป มีค่าความต้านทานอินพุต 10 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า พิสัย V⎓ ของแอนะลอกมัลติมิเตอร์มาก เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย สามารถวัดค่าความต้านทานภายในของวงจรได้โดยตรง และค่าอิมพีแดนซ์ภายในที่วัดค่าได้มีค่าใกล้เคียง 10 MΩ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันมีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย V⎓ เหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

2) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย VAC ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย VAC

พิสัยวัด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
2 V	9.82 MΩ	-1.8
20 V	9.82 MΩ	-1.8
200 V	9.82 MΩ	-1.8
600 V	9.82 MΩ	-1.8

จากตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย V~ ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง ดังเช่น พิสัย 2 V ถึงพิสัย 600 V วัดค่าได้ 9.82 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ -1.8 ทุกพิสัย ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป ปกติมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายใน 10 MΩ ทุกพิสัยเท่ากัน ซึ่งสามารถวัดค่าความต้านทานภายในของวงจรได้โดยตรง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันมีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย V~ เหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

3) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย DCA

พิสัยการวัด	อิมพีแดนซ์ภายในพิสัยการวัดกระแสไฟตรง		
	ค่าอุปกรณ์ในวงจร	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
200 μA	1 kΩ	993 Ω	0.7
2 mA	100 Ω	100 Ω	0
200 mA	1 Ω	1.1 Ω	10
10 A	0.1 Ω	0.1 Ω	0

จากตารางที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย A⎓ ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง เช่น ที่พิสัย 200 μA ค่าอุปกรณ์ในวงจร 1 kΩ วัดค่าได้ 993 Ω ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0.7 ที่พิสัย 2 mA และพิสัย 10 A ค่าที่วัดได้เท่ากับค่าอุปกรณ์ในวงจร ซึ่งโดยปกติพิสัยการวัดกระแสต่ำ ค่าความต้านทานของแอมมิเตอร์จะมีค่าแอมพีแดนซ์ภายในสูง เนื่องจากแอมมิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับโหลดจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานของโหลดให้มากขึ้นเล็กน้อย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันมีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย A⎓ เหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

4) ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย AC (A~) ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย AC (A~)

พิสัยการวัด	อิมพีแดนซ์ภายในพิสัยการวัดกระแสไฟสลับ		
	ค่าอุปกรณ์ในวงจร	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
200 μA	1 kΩ	993 Ω	0.7
2 mA	100 Ω	100 Ω	0
200 mA	1 Ω	1.1 Ω	10
10 A	0.1 Ω	0.1 Ω	0

จากตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย A~ ของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกันได้ถูกต้อง เช่น ที่พิสัย 200 μA ค่าอุปกรณ์ในวงจร 1 kΩ วัดค่าได้ 993 Ω ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0.7 ที่พิสัย 2 mA และพิสัย 10 A ค่าที่วัดได้เท่ากับค่าอุปกรณ์ในวงจร ซึ่งโดยปกติพิสัยการวัดกระแสต่ำ ค่าความต้านทานของแอมมิเตอร์จะมีค่าแอมพีแดนซ์ภายในสูง เนื่องจากแอมมิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับโหลดจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานของโหลดให้มากขึ้นเล็กน้อย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกันมีค่าอิมพีแดนซ์ภายในพิสัย A~ เหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

5. ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ใช้งานร่วมกับชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

1) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด VDC จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0.05 V, 0.39 V, 2.36 V 6.31 V, 39.2 V, 232.0 V, 272.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VDC

แรงดันอ้างอิง	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
0.05 V	50.4 mV	0.8
0.39 V	390.4 mV	0.1
2.36 V	2.36 V	0
6.31 V	6.32 V	0.15

ตารางที่ 4.22 (ต่อ)

แรงดันอ้างอิง	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อนร้อยละ
39.2 V	39.2 V	0
232 V	231.4 V	-0.25
272 V	272.8 V	0.29

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VDC จากตารางที่ 4.22 การวัดและอ่านค่าแรงดันอ้างอิง 2.36 V และ 39.2 V มีความเที่ยงตรงสูงสุด และวัดแรงดันอ้างอิง 272 V อ่านค่าได้ 272.8 V มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 0.29 กรณีพิสัยอื่น ๆ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด VAC จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ 1.80 V, 5.4 V, 31.0 V, 235 V, 252.0 V ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC

แรงดันอ้างอิง	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อนร้อยละ
1.8 V	1.800 V	0
5.4 V	5.40 V	0
31 V	31.00 V	0
232 V	235.0 V	0
252 V	252.0 V	0

จากตารางที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด VAC พบว่าเลือกพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทำการปรับตั้งและอ่านค่าแรงดันที่กำหนด และบันทึกค่าและหน่วยที่แสดงผลจากหน้าจอมิเตอร์ได้อย่างถูกต้องทั้ง 5 ค่า ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบ

ปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

3) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด DCA จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่ากระแสไฟตรงอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ ที่จุดวัดกระแสไฟตรงอ้างอิง 30 μA, 1.76 mA, 14.2 mA, 184 mA, 450 mA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA

กระแสไฟตรง เทียบ GND	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
30 μA	30.2 μA	0.66
1.76 mA	1.76 mA	0
14.2 mA	14.32 mA	0.84
184 mA	184.0 mA	0
450 mA	0.456 A	1.33

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด DCA จากตารางที่ 4.24 การวัดและอ่านค่ากระแสอ้างอิง 1.76 mA และ 184 mA ความเที่ยงตรงสูงสุด และวัดกระแสอ้างอิง 0.45 A ค่าที่อ่านได้ 0.456 A มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 1.33 ดังนั้น ค่ากระแสไฟตรงที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากระแสอ้างอิง เป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดกระแสไฟตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

4) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัด AC (A~) จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่ากระแสไฟสลับอ้างอิงในชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ จุดวัดกระแสไฟตรง 125 μA, 1.65 mA, 110 mA, 550 mA, ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~)

กระแสไฟสลับ เทียบ GND	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
125 µA	125 µA	0
1.65 mA	1.65 mA	0
110 mA	110 mA	0
550 mA	0.55 A	0

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด AC (A~)จากตารางที่ 4.25 พบว่าเลือกพิสัยการวัดกระแสไฟสลับทำการปรับตั้งและอ่านค่ากระแสที่กำหนด และบันทึกค่าและหน่วยที่แสดงผลจากหน้าจอมิเตอร์ได้อย่างถูกต้องทั้ง 4 ค่า ดังนั้น ค่ากระแสไฟสลับที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าเที่ยงตรงกับค่ากระแสอ้างอิง จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกันสามารถวัดกระแสไฟสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

5) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ที่พิสัยวัดความต้านทาน จากการนำชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ไปวัดค่าตัวต้านทานที่ทราบค่า ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω

ลำดับ	ตัวต้านทาน ที่ทราบค่า	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
1	0.5 Ω	200 Ω	995 Ω	-0.5
2	6.8 Ω	200 Ω	6.8 Ω	0
3	20 Ω	200 Ω	9.09 MΩ	-0.1
4	51 Ω	200 Ω	20 Ω	0
5	100 Ω	200 Ω	51 Ω	0
6	200 Ω	2 kΩ	82.4 kΩ	0.48
7	430 Ω	2 kΩ	100 Ω	0
8	1 kΩ	2 kΩ	119.8 kΩ	-0.16
9	1.2 kΩ	2 kΩ	195.8 Ω	-2.1

ตารางที่ 4.26 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวต้านทานที่ทราบค่า	พิสัยวัด	ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน	ความคลาดเคลื่อนร้อยละ
10	2 kΩ	20 kΩ	200.5 kΩ	0.25
11	9.09 kΩ	20 kΩ	423 Ω	-1.62
12	10 kΩ	20 kΩ	1.182 kΩ	-1.5
13	20 kΩ	200 kΩ	0.5 Ω	0
14	82 kΩ	200 kΩ	1.982 kΩ	-0.9
15	100 kΩ	200 kΩ	9.06 kΩ	-0.33
16	120 kΩ	200 kΩ	9.88 kΩ	-1.2
17	200 kΩ	2 MΩ	1.212 MΩ	1
18	324 kΩ	2 MΩ	20.06 kΩ	0.3
19	1 MΩ	2 MΩ	100.6 kΩ	0.6
20	1.2 MΩ	2 MΩ	325 kΩ	0.3
21	2 MΩ	20 MΩ	1.015 MΩ	1.5
22	5.6 MΩ	20 MΩ	5.68 MΩ	1.42
23	9.09 MΩ	20 MΩ	9.04 MΩ	-0.55
24	9.1 MΩ	20 MΩ	10.18 MΩ	1.8
25	10 MΩ	20 MΩ	2.040 MΩ	2
26	20 MΩ	200 MΩ	20.42 MΩ	2.1

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่พิสัยวัด Ω จากตารางที่ 4.26 ค่าความต้านทานที่วัดและอ่านค่าได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่กำหนด ซึ่งความต้านทาน 20 MΩ อ่านค่าได้ 20.42 MΩ มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ร้อยละ 2.1 และความเที่ยงตรงสูงสุด คือ 0.5 Ω, 6.8 Ω, 20 Ω, 51 Ω และ 100 Ω เนื่องจากข้อสังเกตการทดลองวัดตัวต้านทานแบบทราบค่า กรณีเลือกพิสัยวัด 200 Ω ทำการปรับตั้งค่าศูนย์ โดยนำปลาย (+) และ (–) มาสัมผัสกัน ทราบถึงค่าความต้านทานเกินประมาณ 0.2 Ω เนื่องจากเป็นคุณสมบัติและขีดจำกัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่นนี้ ดังนั้น เมื่อใช้พิสัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำค่าที่แสดงมาลบค่า 0.2 Ω จึงจะได้ค่าความต้านทานที่วัดและอ่านได้จริง ดังนั้น ตามตารางที่ 4.26 ผลการวัดจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่กำหนด ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสรุป

ได้ว่าชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน สามารถวัดค่าตัวต้านทานที่ทราบค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องครบทุกพิสัยเหมือนกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

ตอนที่ 2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สูตร E_1/E_2

2.1 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยคะแนนระหว่างเรียนซึ่งได้จากการทำแบบฝึกหัด ใบงานและแบบทดสอบหลังเรียนของแต่ละชุด แสดงผลดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลการหาประสิทธิภาพ (E_1) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 คะแนนรวม คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และคะแนนเฉลี่ยร้อยละ ของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัด ใบงานและแบบทดสอบหลังเรียนในแต่ละชุดการสอน

ลำดับที่	คะแนนจากการทำแบบฝึกหัด ใบงานและแบบทดสอบย่อยหลังเรียนในแต่ละชุดการสอน															รวม (589)	ร้อยละ
	ชุดที่ 1 (35)	ชุดที่ 2 (30)	ชุดที่ 3 (30)	ชุดที่ 4 (25)	ชุดที่ 5 (26)	ชุดที่ 6 (63)	ชุดที่ 7 (32)	ชุดที่ 8 (37)	ชุดที่ 9 (33)	ชุดที่ 10 (32)	ชุดที่ 11 (33)	ชุดที่ 12 (50)	ชุดที่ 13 (41)	ชุดที่ 14 (40)	ชุดที่ 15 (82)		
1	28	25	25	20	22	51	26	31	26	27	27	44	34	34	66	486	82.51
2	31	25	25	22	22	55	29	33	27	27	28	42	35	35	69	505	85.74
3	27	23	21	20	21	55	26	32	25	29	27	46	35	34	70	491	83.36
4	28	24	23	20	21	49	27	34	29	26	29	40	35	35	64	484	82.17
5	31	25	25	22	23	57	27	32	29	28	29	43	32	34	71	508	86.25
6	28	26	25	21	23	54	26	32	27	27	28	41	36	36	66	496	84.21
7	27	24	25	23	22	54	27	31	26	27	24	43	35	33	69	490	83.19
8	30	24	23	19	22	53	28	32	28	25	30	42	35	34	69	494	83.87
9	29	26	27	21	22	54	26	31	29	27	28	40	34	32	68	494	83.87
10	30	24	25	23	21	51	26	31	29	29	30	45	34	36	67	501	85.06
11	29	25	25	22	20	50	28	34	31	27	28	41	36	36	70	502	85.23
12	30	26	25	23	23	52	27	31	28	26	27	39	35	36	69	497	84.38
13	29	25	26	20	21	58	28	30	29	28	31	44	33	34	71	507	86.08

ตารางที่ 4.27 (ต่อ)

ลำดับที่	คะแนนจากการทำแบบฝึกหัด ใบงานและแบบทดสอบย่อยหลังเรียนในแต่ละชุดการสอน															รวม (589)	ร้อยละ
	ชุดที่ 1 (35)	ชุดที่ 2 (30)	ชุดที่ 3 (30)	ชุดที่ 4 (25)	ชุดที่ 5 (26)	ชุดที่ 6 (63)	ชุดที่ 7 (32)	ชุดที่ 8 (37)	ชุดที่ 9 (33)	ชุดที่ 10 (32)	ชุดที่ 11 (33)	ชุดที่ 12 (50)	ชุดที่ 13 (41)	ชุดที่ 14 (40)	ชุดที่ 15 (82)		
14	32	27	25	20	24	53	28	31	29	27	28	44	33	35	69	505	85.74
15	27	25	25	19	20	50	26	33	26	25	25	43	38	34	66	482	81.83
16	30	27	25	19	22	55	26	31	29	28	31	44	33	32	69	501	85.06
17	29	24	25	19	21	51	28	33	30	26	31	40	37	33	68	495	84.04
18	29	23	25	20	20	51	28	30	29	27	27	42	36	33	67	487	82.68
19	27	25	24	23	22	54	29	30	29	28	31	43	36	33	71	505	85.74
20	31	27	23	22	22	58	27	31	29	28	27	44	34	32	69	504	85.57
รวม	582	500	492	418	434	1065	543	633	564	542	566	850	696	681	1368	9934	1686.59
$\overline{X}$	29.10	25.00	24.60	20.90	21.70	53.25	27.15	31.65	28.20	27.10	28.30	42.50	34.80	34.05	68.40	496.70	84.33
S.D.	1.52	1.21	1.27	1.48	1.08	2.63	1.04	1.23	1.54	1.12	1.98	1.88	1.47	1.36	1.90	8.08	1.37
ร้อยละ	83.14	83.33	82.00	83.60	83.46	84.52	84.84	85.54	85.45	84.69	85.76	85.00	84.88	85.13	83.41	84.33	

แทนค่าในสูตร

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

$$= \frac{\frac{9934}{20}}{589} \times 100$$

$$= \frac{496.70}{589} \times 100$$

$$= 0.8433 \times 100$$

$$= \mathbf{84.33}$$

จากตารางที่ 4.27 พบว่า ประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 (E_1) เท่ากับ 84.33

1.2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (E_2) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ซึ่งได้จากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แสดงผลดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ผลการหาประสิทธิภาพ (E_2) ของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ซึ่งได้จากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ที่	การทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์				คะแนนความก้าวหน้า	ร้อยละ
	ก่อนเรียน (60)	ร้อยละ	หลังเรียน (60)	ร้อยละ		
1	23	38.33	48	80.00	25	41.67
2	20	33.33	51	85.00	31	51.67
3	24	40.00	52	86.67	28	46.67
4	17	28.33	53	88.33	36	60.00
5	24	40.00	50	83.33	26	43.33
6	19	31.67	52	86.67	33	55.00
7	20	33.33	47	78.33	27	45.00
8	23	38.33	52	86.67	29	48.33

ตารางที่ 4.28 (ต่อ)

ที่	การทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์				คะแนนความก้าวหน้า	ร้อยละ
	ก่อนเรียน (60)	ร้อยละ	หลังเรียน (60)	ร้อยละ		
9	17	28.33	51	85.00	34	56.67
10	24	40.00	52	86.67	28	46.67
11	23	38.33	51	85.00	28	46.67
12	24	40.00	50	83.33	26	43.33
13	22	36.67	50	83.33	28	46.67
14	23	38.33	52	86.67	29	48.33
15	21	35.00	51	85.00	30	50.00
16	26	43.33	52	86.67	26	43.33
17	24	40.00	53	88.33	29	48.33
18	28	46.67	55	91.67	27	45.00
19	20	33.33	49	81.67	29	48.33
20	32	53.33	51	85.00	19	31.67
รวม	**454**	**756.67**	**1022**	**1703.33**	**568**	**946.67**
$\overline{X}$	**22.70**	**37.83**	**51.10**	**85.17**	**28.40**	**47.33**
S.D.	**3.54**	**5.90**	**1.80**	**3.01**	**3.57**	**5.96**
ร้อยละ	**37.83**	**63.06**	**85.17**	**141.94**	**47.33**	**78.89**

แทนค่าในสูตร

$$E_2 = \frac{\frac{\sum Y}{N}}{B} \times 100$$

$$= \frac{\frac{1022}{20}}{60} \times 100$$

$$= \frac{51.10}{60} \times 100$$

$$= 0.8517 \times 100$$

$$= 85.17$$

ประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 (E_2) เท่ากับ 85.17

จากตารางที่ 4.28 พบว่า คะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 (E_2) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 50.80 คิดเป็นร้อยละ 85.17 และมีคะแนนความก้าวหน้าเฉลี่ย เท่ากับ 29.20 คิดเป็นร้อยละ 78.89

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเฉลี่ย E_1/E_2 เท่ากับ 84.33/85.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80

ตอนที่ 3 วิเคราะห์หาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

$$\text{ดัชนีประสิทธิผล (E.I.)} = \frac{\text{ผลรวมคะแนนทดสอบหลังเรียน- ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}{\text{(จำนวนนักเรียน} \times \text{คะแนนเต็ม) – ผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน}}$$

แทนค่าในสูตร

$$E.I. = \frac{1022-454}{(20\times 60)-454}$$

$$= \frac{568}{746}$$

$$E.I. = 0.7614$$

ดังนั้นดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเท่ากับ 0.7614 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มจากก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.14

ตอนที่ 4 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้ t-test (Dependent Samples) ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ตัวแปร	คะแนนการทดสอบ	N	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{D}$	S.D.	t	sig
การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004	ก่อนเรียน	20	22.70	3.84	28.40	3.57	35.53	.000
	หลังเรียน	20	51.10	1.80				

* P ⟨ .05

จากตารางที่ 4.29 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียน เท่ากับ 22.77 และค่าเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 51.10 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 5 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดการสอน วิชา เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 ที่ประกอบด้วย ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน, ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน, ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน, ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์, ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมเอกสารประกอบชุดการสอน โดยแสดงรายละเอียดผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนเป็นรายหน่วยการเรียนได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.30 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ช่วยให้ผู้เรียนสามารถบอกความหมายของการวัดได้	4.29	0.76	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจระบบหน่วยการวัดต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเอง	4.02	0.82	มาก
3. สามารถทำให้เกิดความเข้าใจในการคำนวณได้ชัดเจน	4.14	0.69	มาก
4. รูปภาพสามารถสื่อความหมายได้ตามรูปทำให้เกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.00	0.82	มาก
5. สามารถบอกคุณสมบัติของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกได้ถูกต้อง	4.43	0.79	มาก
6. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.29	0.76	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.45	0.53	มาก
8. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.17	0.90	มาก
9. เพาเวอร์พอยซ์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.43	0.53	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.16	0.90	มาก
ด้านใบงาน			
11. ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและสามารถใช้งานของชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และการทดลองขยายพิสัย ฯ ได้ถูกต้อง	4.18	0.69	มาก
12. ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในการใช้ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกดียิ่งขึ้น	4.29	0.49	มาก
13. ผู้เรียนอธิบายพิสัยวัดต่าง ๆ จากชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกได้	4.43	0.53	มาก
14. มีชุดฝึกเป็นสื่อการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.72	0.49	มากที่สุด
15. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.29	0.76	มาก
16. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ช่วยให้การฝึกสามารถทำได้บ่อยครั้งขึ้นและช่วยลดปัญหามัลติมิเตอร์ชำรุดขณะปฏิบัติงาน	3.86	0.69	มาก
17. ผู้เรียนเข้าใจในใบงานและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ได้	4.14	0.69	มาก
18. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.00	0.82	มาก
19. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.57	0.79	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	**4.25**	**0.41**	**มาก**

จากตารางที่ 4.30 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 1เรื่องความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.41 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 14) มีชุดฝึกเป็นสื่อการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 รองลงมาได้แก่ ข้อ 19) ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.79 และ ข้อ 7) แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.31 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง	4.56	4.35	มากที่สุด
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง	4.14	0.38	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกสเกลอ่านค่าของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแส ตรงได้ถูกต้อง	4.00	0.82	มาก
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้อย่างชัดเจน	3.86	0.69	มาก
5. ผู้เรียนสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง	4.43	0.79	มาก
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.21	0.49	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.14	0.69	มาก
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.59	0.41	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.33	0.71	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.30	0.46	มาก
ด้านใบงาน			
11. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ดียิ่งขึ้น	4.57	0.79	มากที่สุด
12. ผู้เรียนสามารถเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.20	0.41	มาก

ตารางที่ 4.31 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
13. ผู้เรียนเกิดทักษะการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากการใช้ชุดฝึก ฯ ได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.29	0.49	มาก
14. ผู้เรียนเกิดทักษะการอ่านค่าจากสเกลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดฝึกมัลติมิเตอร์ ฯ ได้ครบทุกพิสัย	4.47	0.28	มาก
15. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกมีระบบป้องกันชุดขดลวดเคลื่อนที่ภายในมิเตอร์ ทำให้ลดปัญหามัลติมิเตอร์ชำรุดขณะปฏิบัติงาน	4.14	0.69	มาก
16. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.29	0.76	มาก
17. มีชุดฝึก ฯ ประกอบเป็นสื่อการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.60	0.53	มากที่สุด
18. ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามใบงาน ได้ ทันเวลาที่กำหนด	4.71	0.40	มากที่สุด
19. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.43	0.79	มาก
20. ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและสามารถสรุปผลการปฏิบัติงานได้ในเกณฑ์ดี	4.56	0.50	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	**4.34**	**0.38**	**มาก**

จากตารางที่ 4.31 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.38 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 18) ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามใบงาน ได้ ทันเวลาที่กำหนด มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40 รองลงมาได้แก่ ข้อ 17) มีชุดฝึก ฯ ประกอบเป็นสื่อการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 และข้อ 8) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่างๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.41 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.32 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง	4.50	0.79	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง	4.29	0.76	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกสเกลสำหรับอ่านค่าของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง	4.71	0.49	มากที่สุด
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.57	0.53	มากที่สุด
5. ทำให้ผู้เรียนสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง	4.59	0.32	มากที่สุด
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.51	0.27	มากที่สุด
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.43	0.46	มาก
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.55	0.59	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.47	0.61	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.44	0.43	มาก
ด้านใบงาน			
11. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ดียิ่งขึ้น	4.14	0.90	มาก
12. ผู้เรียนสามารถเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.40	0.53	มาก
13. ผู้เรียนเกิดทักษะการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากการใช้ชุดฝึก ฯ ได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.29	0.76	มาก
14. ผู้เรียนเกิดทักษะการอ่านค่าจากสเกลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากชุดฝึก มัลติมิเตอร์ ฯ ได้ครบทุกพิสัย	4.41	0.53	มาก
15. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันชุดขดลวดเคลื่อนที่ภายในมิเตอร์ ทำให้ลดปัญหามัลติมิเตอร์ชำรุดขณะปฏิบัติงาน	4.29	0.49	มาก
16. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.40	0.53	มาก
17. มีชุดฝึกสำหรับปฏิบัติการทดลอง และเป็นสื่อการเรียนทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.52	0.53	มากที่สุด

ตารางที่ 4.32 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
18. ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามใบงาน ได้ ทันเวลาที่กำหนด	4.86	0.42	มากที่สุด
19. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.34	0.38	มาก
20. ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและสามารถสรุปผลการปฏิบัติงานได้ในเกณฑ์ดี	4.29	0.79	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.45**	**0.57**	**มาก**

จากตารางที่ 4.32 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.57 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 18) ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามใบงาน ได้ ทันเวลาที่กำหนด มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.42 รองลงมาได้แก่ ข้อ 4) รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ทำให้เกิดภาพจำ และนำไปใช้ได้ชัดเจน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 และ ข้อ 8) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.59 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.33 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานการวัดกระแสไฟตรงได้ถูกต้อง	4.62	0.53	มากที่สุด
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกพิสัยวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรงได้ถูกต้อง	3.86	0.38	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกสเกลการอ่านค่าของมาตรวัดกระแสไฟตรงได้ถูกต้อง	4.14	0.69	มาก
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของแอนะลอกมัลติมิเตอร์ทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้อย่างชัดเจน	3.74	0.48	มาก
5. ผู้เรียนสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง	4.35	0.79	มาก
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.28	0.49	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.14	0.38	มาก
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.52	0.31	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.30	0.49	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.29	0.76	มาก
ด้านใบงาน			
11. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการวัดค่ากระแสไฟตรงได้ดียิ่งขึ้น	4.40	0.79	มาก
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่ากระแสไฟตรงที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.29	0.49	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะการวัดค่ากระแสไฟตรง จากการใช้ชุดฝึก ฯ ได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.43	0.53	มาก
14. ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะการอ่านค่าจากสเกลของกระแสไฟตรงจากชุดฝึกมัลติมิเตอร์ ฯ ได้ครบทุกพิสัย	4.57	0.42	มากที่สุด
15. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหามัลติมิเตอร์ชำรุดขณะปฏิบัติงาน	4.10	4.60	มาก
16. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.29	0.76	มาก
17. ชุดฝึกเป็นสื่อการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.14	0.69	มาก

ตารางที่ 4.33 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
18. ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตาม ใบงานได้ ทันเวลาที่กำหนด	4.30	0.53	มาก
19. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.29	0.79	มาก
20. ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและสามารถสรุปผลการปฏิบัติงานได้ในเกณฑ์ดี	4.43	0.66	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.27**	**0.26**	**มาก**

จากตารางที่ 4.33 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.26 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียง ลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 1) ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานการวัดกระแสไฟตรงได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.62 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 รองลงมาได้แก่ ข้อ 14) ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะการอ่านค่าจากสเกลของกระแสไฟตรง จากชุดฝึกมัลติมิเตอร์ ฯ ได้ครบทุกพิสัย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.42 และ 8) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.31 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.34 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1.ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานของการวัดความต้านทานได้ถูกต้อง	4.29	0.48	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกหน้าที่ของพิสัยวัดความต้านทานของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกได้อย่างถูกต้อง	4.00	0.18	มาก
3. ผู้เรียนเข้าใจการเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่าตัวต้านทานที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.20	0.49	มาก
4. อธิบายคุณสมบัติในการนำไปใช้งานของมาตรวัดความต้านทานในงานประเภทต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง	4.57	0.35	มากที่สุด

ตารางที่ 4.34 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
5. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดแต่ละแบบทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.14	0.33	มาก
6. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.43	0.79	มาก
7. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	3.86	0.38	มาก
8. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.50	0.53	มาก
9. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.41	0.49	มาก
10. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.43	0.41	มาก
11. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.30	0.50	มาก
ด้านใบงาน			
12. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการวัดตัวต้านทานได้ดียิ่งขึ้น	3.86	0.69	มาก
13. ผู้เรียนสามารถเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่าตัวต้านทานที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.69	0.48	มากที่สุด
14. ผู้เรียนเกิดทักษะการวัดค่าตัวต้านทาน โดยใช้ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก ที่มีระบบป้องกัน ได้ถูกต้องครบทุกพิสัย	4.00	0.82	มาก
15. ผู้เรียนเกิดทักษะการอ่านค่าจากสเกลของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ฯ ได้ครบทุกพิสัย	4.38	0.39	มาก
16. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหามัลติมิเตอร์ชำรุดขณะปฏิบัติงาน	4.43	0.53	มาก
17. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ ฯ สามารถฝึกทักษะการวัดและอ่านค่าตัวต้านทานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงทดแทนแบตเตอรี่ 3V, 9V ภายในของมิเตอร์ ทำให้หมดปัญหาเรื่องแบตเตอรี่หมดหรืออ่อนกำลังลง	4.35	0.27	มาก
ด้านใบงาน			
18. ผู้เรียนเข้าใจในใบงานและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ได้	4.47	0.33	มาก
19. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.24	0.49	มาก
20. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.00	0.22	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.28**	**0.46**	**มาก**

จากตารางที่ 4.34 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียง ลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 13) ผู้เรียนสามารถเลือกพิสัยวัดที่เหมาะสมกับค่าตัวต้านทานที่ต้องการวัดได้ถูกต้องครบทุกพิสัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.48 รองลงมาได้แก่ ข้อ 4) อธิบายคุณสมบัติในการนำไปใช้งานของมาตรวัดความต้านทานในงานประเภทต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.35 และ 8) แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.35 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ผู้เรียนรู้และเข้าใจคุณสมบัติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทุกประเภท	4.29	0.49	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทุกประเภทได้ครบทุกพิสัย	4.86	0.38	มากที่สุด
3. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.03	0.79	มาก
4. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.40	0.53	มาก
5. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระที่เรียน มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.55	0.79	มากที่สุด
6. ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.57	0.58	มากที่สุด
7. ทำให้ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.00	0.53	มาก
8. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.29	0.49	มาก
ด้านใบงาน			
9. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ทุกประเภท ในการเลือกพิสัยวัดและอ่านค่าความต้านทานได้ละเอียดและถูกต้อง	4.33	0.56	มาก
10. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ทุกประเภท ในการเลือกพิสัยวัดและอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ละเอียดและถูกต้อง	4.42	0.98	มาก
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ทุกประเภท ในการเลือกพิสัยวัดและอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ละเอียดและถูกต้อง	4.71	0.49	มากที่สุด

ตารางที่ 4.35 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ทุกประเภท ในการเลือกพิสัยวัดและอ่านค่ากระแสไฟตรงได้ละเอียดและถูกต้อง	3.86	0.90	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ทุกประเภท ในการเลือกพิสัยวัดและอ่านค่ากระแสไฟสลับได้ละเอียดและถูกต้อง	4.39	0.53	มาก
14. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียนรู้ทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.41	0.76	มาก
15. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ใช้มีระบบป้องกันฟิวส์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดขณะปฏิบัติงาน	4.29	0.49	มาก
16. ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ฯ เป็นสื่อการสอนที่ช่วยฝึกทักษะการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.59	0.53	มากที่สุด
17. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.56	0.53	มากที่สุด
18. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.40	0.79	มาก
19. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.29	0.49	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.38**	**0.61**	**มาก**

จากตารางที่ 4.35 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.61 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 2) ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทุกประเภทได้ครบทุกพิสัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.38 รองลงมาได้แก่ ข้อ 16) ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ฯ เป็นสื่อการสอนที่ช่วยฝึกทักษะการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.59 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 และ 6) ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่างๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.58 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.36 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการพื้นฐานของชุดขดลวดเคลื่อนที่ภายในแอนะลอกมัลติมิเตอร์ได้	4.75	0.40	มากที่สุด
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายคุณลักษณะของขดลวดเคลื่อนที่ภายในมาตรวัดได้ถูกต้อง	4.29	0.49	มาก
3. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของชุดขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.40	0.71	มาก
4. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.43	0.79	มาก
5. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.39	0.76	มาก
6. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.14	0.90	มาก
7. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.10	0.69	มาก
8. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.22	0.95	มาก
9. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.43	0.53	มาก
ด้านใบงาน			
10. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดค่าความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้ถูกต้อง	4.15	0.69	มาก
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดค่ากระแสไฟตรงเต็มสเกลของมาตรวัดได้ถูกต้อง	4.43	0.98	มาก
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดค่าแรงดันไฟตรงเต็มสเกลของมาตรวัดได้ถูกต้อง	4.74	0.49	มากที่สุด
13. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องขดลวดเคลื่อนที่ชำรุดภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดขณะทดลองงาน	3.86	0.90	มาก
14. ใบงานทำให้ผู้เรียนรู้และเข้าใจโครงสร้างการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่ ที่นำไปออกแบบขยายพิสัยวัดของมาตรวัดได้	4.40	0.53	มาก
15. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดระหว่างการปฏิบัติงาน	4.39	0.76	มาก
16. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.28	0.49	มาก
17. มีชุดฝึกประกอบการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.57	0.53	มากที่สุด
18. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.44	0.53	มาก

ตารางที่ 4.36 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
19. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.49	0.53	มาก
20. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.37	0.53	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.36**	**0.67**	**มาก**

จากตารางที่ 4.36 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.67 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อและเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 1) ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการพื้นฐานของชุดขดลวดเคลื่อนที่ภายในแอนะลอกมัลติมิเตอร์ได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40 รองลงมาได้แก่ ข้อ 12) ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดค่าแรงดันไฟตรงเต็มสเกลของมาตรวัดได้ถูกต้อง ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 และ 17) มีชุดฝึกประกอบการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.37 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการขยายพิสัยวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรงได้	4.43	0.53	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบพิสัยวัดกระแสไฟตรงได้อย่างถูกต้องทุกพิสัย	4.71	0.49	มากที่สุด
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้	4.47	0.56	มาก
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำได้และนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.75	0.39	มากที่สุด
5. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.43	0.53	มาก

ตารางที่ 4.37 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.38	0.38	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.00	0.82	มาก
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.57	0.53	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.29	0.76	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.00	0.82	มาก
ด้านใบงาน			
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด	4.86	0.24	มากที่สุด
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบสร้างชุดมอดูลมิเตอร์จากคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้	4.44	0.79	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถทดลองขยายพิสัยวัดของมาตรวัดกระแสไฟตรงแบบชันต์ได้ทุกพิสัย	4.43	0.79	มาก
14. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดระหว่างการปฏิบัติงาน	4.00	1.00	มาก
15. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพพจน์ได้ชัดเจน	4.29	0.49	มาก
16. ชุดฝึกประกอบการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.43	0.53	มาก
17. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.57	0.53	มากที่สุด
18. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.37	0.76	มาก
19. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.43	0.79	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.41**	**0.65**	มาก

จากตารางที่ 4.37 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.65 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 11) ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.24 รองลงมาได้แก่ ข้อ 4) รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำได้และนำไปใช้ได้ชัดเจน ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.39 และ 2) ทำให้ผู้เรียน

สามารถออกแบบพิสัยวัดกระแสไฟตรงได้อย่างถูกต้องทุกพิสัย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.38 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการขยายพิสัยของมาตรวัดแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงได้	4.43	0.53	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างถูกต้องทุกพิสัย	4.29	0.76	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้	4.59	0.74	มากที่สุด
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.14	0.69	มาก
5. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.29	0.95	มาก
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.10	0.90	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.29	0.41	มาก
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.57	0.53	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.14	0.63	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.43	0.79	มาก
ด้านใบงาน			
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด	4.72	0.49	มากที่สุด
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ชุดมอดูลมิเตอร์จากคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.00	1.00	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบและทดลองขยายพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ทุกพิสัย	4.36	0.71	มาก
14. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดระหว่างการปฏิบัติงาน	4.43	0.53	มาก
15. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.35	0.44	มาก

ตารางที่ 4.38 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
16. มีชุดฝึกประกอบการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.29	0.49	มาก
17. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.00	0.58	มาก
18. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.55	0.34	มากที่สุด
19. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.43	0.53	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.34**	**0.68**	**มาก**

จากตารางที่ 4.38 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.68 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 11) ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 รองลงมาได้แก่ ข้อ 3) ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.59 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.74 และ 8) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.39 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการขยายพิสัยของมาตรวัดแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับได้	4.57	0.40	มากที่สุด
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้อย่างถูกต้องทุกพิสัย	4.43	0.33	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้	4.14	0.68	มาก
4. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.29	0.76	มาก
5. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.10	0.69	มาก
6. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.30	0.76	มาก
7. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.59	0.34	มากที่สุด
8. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.56	0.22	มากที่สุด
9. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.43	0.53	มาก
10. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.25	0.49	มาก
ด้านใบงาน			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด	4.52	0.79	มากที่สุด
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ชุดมอดูลมิเตอร์จากคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.74	0.26	มากที่สุด
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบและทดลองขยายพิสัยวัดของมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ทุกพิสัย	4.44	0.53	มาก
4. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดระหว่างการปฏิบัติงาน	4.28	0.69	มาก
5. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.17	0.53	มาก
6. ชุดฝึกประกอบการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.71	0.49	มากที่สุด
7. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.29	0.28	มาก
8. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.43	0.53	มาก
9. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.45	0.49	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.40**	**0.21**	**มาก**

จากตารางที่ 4.39 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.21 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 2) ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ชุดมอดูลมิเตอร์จากคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.26 รองลงมาได้แก่ ข้อ 6) ชุดฝึกประกอบการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 และ ข้อ 7) แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.40 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการพื้นฐานของมาตรวัดความต้านทานได้	4.14	0.69	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกพิสัยของมาตรวัดความต้านทานได้อย่างถูกต้อง	4.11	0.49	มาก
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบสร้างมาตรวัดจากคุณสมบัติขดลวดเคลื่อนที่ได้	4.46	0.33	มาก
4. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้	4.37	0.58	มาก
5. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.14	0.38	มาก
6. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.38	0.49	มาก
7. เพาเวอร์พอยซ์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.00	0.58	มาก
8. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.29	0.49	มาก
9. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.73	0.24	มากที่สุด
10. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.22	0.76	มาก
11. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.38	0.49	มาก

ตารางที่ 4.40 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและทดลองใช้งานชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าฯ ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด	4.43	0.79	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ชุดมอดูลมิเตอร์จากคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.09	0.49	มาก
14. ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบและทดลองขยายพิสัยวัดของมาตรวัดความต้านทานได้ทุกพิสัย	4.14	0.38	มาก
15. มัลติมิเตอร์มีระบบป้องกันมิเตอร์ภายใน ทำให้ลดปัญหาเครื่องมือวัดชำรุดระหว่างการปฏิบัติงาน	4.11	0.82	มาก
16. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพพจน์ได้ชัดเจน	4.00	0.53	มาก
17. มีชุดฝึกประกอบการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.57	0.82	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	**4.03**	**0.74**	**มาก**

จากตารางที่ 4.40 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.03 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.74 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 9) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.73 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.24 รองลงมาได้แก่ ข้อ 17) มีชุดฝึกประกอบการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.82 และข้อ 3) ทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบสร้างมาตรวัดจากคุณสมบัติขดลวดเคลื่อนที่ได้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.33 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.41 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายพื้นฐานการทำงานของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานได้	4.29	0.26	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ผลการแสดงค่าของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานได้	4.71	0.49	มากที่สุด
3. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเข้าใจการทำงานของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไปได้	4.35	0.28	มาก
4. ทำให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ผลการแสดงค่าของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไปได้	4.69	0.53	มากที่สุด
5. รูปภาพที่ใช้อธิบายลักษณะของเครื่องมือวัดทำให้เกิดภาพจำและนำไปใช้งานได้ชัดเจน	4.14	0.38	มาก
6. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ สามารถเข้าใจได้ง่าย	4.40	0.54	มาก
7. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.43	0.49	มาก
8. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจน และถูกต้อง	4.10	0.38	มาก
9. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.65	0.49	มากที่สุด
10. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.24	0.53	มาก
11. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.16	0.76	มาก
ด้านใบงาน			
12. ทำให้ผู้เรียนเข้าใจและทดลองใช้งานชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้า ฯ ได้ถูกต้อง	4.29	0.76	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดคุณลักษณะขดลวดเคลื่อนที่ของมาตรวัดได้	4.54	0.54	มากที่สุด
14.ทำให้ผู้เรียนต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลดตัวต้านทานเพียงอย่างเดียวได้ถูกต้อง	4.22	0.38	มาก
15. ทำให้ผู้เรียนต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลดตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวได้ถูกต้อง	4.29	0.49	มาก
16. ทำให้ผู้เรียนต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลดตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวได้ถูกต้อง	4.33	0.55	มาก

ตารางที่ 4.41 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
17. ทำให้ผู้เรียนต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลดอนุกรม RL ได้ถูกต้อง	4.43	0.53	มาก
18. ทำให้ผู้เรียนต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลดอนุกรม RC ได้ถูกต้อง	4.00	0.58	
19. ทำให้ผู้เรียนคำนวณหาค่ามุมต่อกำลังไฟฟ้าของโหลด R, L, C ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงอุปกรณ์ในอุดมคติ โหลดอนุกรม R-L และโหลดอนุกรม RC ได้ถูกต้อง	3.71	0.95	มาก
20. ทำให้ผู้เรียนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าจากโหลด R, L, C ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงอุปกรณ์ในอุดมคติ โหลดอนุกรม RL และโหลดอนุกรม RC ได้ถูกต้อง	4.22	0.53	มาก
21. ทำให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่าแรงดัน, กระแส, และกำลังจริงของโหลดแต่ละชนิดได้	4.14	0.69	มาก
22. ทำให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรสำหรับวัดและทดสอบค่าตัวประกอบกำลังของโหลดแต่ละชนิดได้	4.57	0.79	มากที่สุด
23. ทำให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหาค่ากำลังปรากฏของโหลดแต่ละชนิดได้	4.71	0.49	มากที่สุด
24. ทำให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหาค่ากำลังจินตภาพของโหลดแต่ละชนิดได้	4.49	0.52	มาก
25. ทำให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหามุมตัวประกอบกำลังของโหลดแต่ละชนิดได้	4.86	0.38	มากที่สุด
26. รูปภาพที่ใช้ประกอบทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.55	0.53	มากที่สุด
27. ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	3.86	0.69	มาก
28. ผู้เรียนเกิดทักษะในการใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแต่ละแบบได้อย่างสมบูรณ์	4.43	0.53	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.35**	**0.36**	**มาก**

จากตารางที่ 4.41 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.36 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 23) ทำให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหาค่ากำลังปรากฏของโหลดแต่ละชนิดได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 รองลงมาได้แก่ ข้อ 4) ทำให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ผลการแสดงค่าของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไปได้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 และ ข้อ 9) ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.42 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายการทำงานของออสซิลโลสโคปได้	4.43	0.53	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายวิธีใช้งานของออสซิลโลสโคปได้	4.71	0.38	มากที่สุด
3. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจนยิ่งขึ้น	4.29	0.27	มาก
4. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.43	0.36	มาก
5. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระที่เรียน มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.29	0.49	มาก
6. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.47	0.53	มาก
7. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.24	0.49	มาก
ด้านใบงาน			
8. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการทำงานของออสซิลโลสโคปได้ดียิ่งขึ้น	4.17	0.69	มาก
9. ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจการใช้งานของออสซิลโลสโคปได้โดยง่าย	4.38	0.95	มาก
10. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้งานปุ่มปรับต่าง ๆ บนหน้าปัดของออสซิลโลสโคปได้ถูกต้อง	4.29	0.76	มาก
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้ถูกต้อง	4.57	0.29	มากที่สุด
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองข้อมูลได้ถูกต้องและแก้ไขปัญหาได้	4.43	0.38	มาก

ตารางที่ 4.42 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
13. ทำให้ผู้เรียนมีเกิดทักษะในการนำออสซิลโลสโคปไปใช้งานต่อไป ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.52	0.53	มากที่สุด
14. ทำให้ผู้เรียนสามารถทำให้ผู้เรียนเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีกับผลในทางปฏิบัติจริงได้	4.68	0.40	มากที่สุด
15. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.43	0.33	มาก
16. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงานและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.14	0.69	มาก
17. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.39	0.60	มาก
18. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.40	0.53	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.41**	**0.33**	**มาก**

จากตารางที่ 4.42 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.33 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 2) ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายวิธีใช้งานของออสซิลโลสโคปได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.38 รองลงมาได้แก่ ข้อ 14) ทำให้ผู้เรียนสามารถทำให้ผู้เรียนเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีกับผลในทางปฏิบัติจริงได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40 และ ข้อ11) ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.29 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.43 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง	4.20	0.51	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถบอกคุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง	4.00	0.74	มาก
3. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียน สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจน	4.44	0.53	มาก
4. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ได้ถูกต้อง	4.42	0.38	มาก
5. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.29	0.49	มาก
6. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระ มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.14	0.64	มาก
7. ผู้เรียนมีความเข้าใจในสาระของเนื้อหาต่าง ๆ ที่เรียน	4.43	0.40	มาก
8. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.29	0.28	มาก
9. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.70	0.33	มากที่สุด
ด้านใบงาน			
10. ทำให้ผู้เรียนสามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ดียิ่งขึ้น	4.43	0.34	มาก
11. ทำให้ผู้เรียนสามารถทดลองวัดค่าต่าง ๆ ออกมาได้ถูกต้อง	4.57	0.53	มากที่สุด
12. ทำให้ผู้เรียนสามารถทดสอบสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่เอาต์พุตทีทีแอลได้ถูกต้อง	4.25	0.81	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดและตั้งค่าสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่เอาต์พุต 50 Ω ได้ถูกต้อง	4.14	0.69	มาก
14. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดและตั้งค่าสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุต 50 Ω ได้ถูกต้อง	4.43	0.53	มาก
15. ทำให้ผู้เรียนสามารถวัดและตั้งค่าสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสามเหลี่ยมที่เอาต์พุต 50 Ω ได้ถูกต้อง	4.38	0.69	มาก
16. ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ออสซิลโลสโคปวัดและอ่านค่าสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณได้	4.55	0.53	มากที่สุด
17. ทำให้ผู้เรียนสามารถทดสอบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง	4.71	0.49	มากที่สุด
18. ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการนำเครื่องกำเนิดสัญญาณไปใช้งานต่อไป ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.29	0.61	มาก

ตารางที่ 4.43 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
19. ทำให้ผู้เรียนสามารถเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีกับผลในทางปฏิบัติจริงได้	4.74	0.79	มากที่สุด
20. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.86	0.53	มากที่สุด
21. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.43	0.49	มาก
22. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.59	0.38	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	**4.42**	**0.39**	**มาก**

จากตารางที่ 4.43 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.39 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 20) ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงาน และสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 รองลงมาได้แก่ ข้อ 19) ทำให้ผู้เรียนสามารถเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีกับผลในทางปฏิบัติจริงได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.79 และ ข้อ 17) ทำให้ผู้เรียนสามารถทดสอบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.44 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. ทำให้ผู้เรียนเข้าใจหน้าที่ของอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า ฯ แต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง	4.43	0.39	มาก
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายหลักการวัดและทดสอบอินพุตอิมพีแดนซ์ และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า ฯ ได้ถูกต้อง	4.45	0.46	มาก

ตารางที่ 4.44 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
3. ทำให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีการวัดและทดสอบอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า ฯ ได้ถูกต้อง	4.68	0.53	มากที่สุด
4. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำได้ชัดเจนยิ่งขึ้น	4.43	0.79	มาก
5. เพาเวอร์พอยช์ที่ใช้นำเสนอทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น	4.59	0.24	มากที่สุด
6. แบบฝึกหัดครอบคลุมสาระที่เรียน มีความชัดเจนและถูกต้อง	4.28	0.53	มาก
7. ผู้เรียนสามารถทำข้อทดสอบได้ในเกณฑ์ดี	4.29	0.79	มาก
8. ช่วงเวลาเรียนที่ใช้ในการเรียน มีความเหมาะสม	4.34	0.49	มาก
ด้านใบงาน			
9. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของออสซิลโลสโคปได้ถูกต้อง	4.43	0.67	มาก
10. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดความถี่ได้ถูกต้อง	4.57	0.53	มากที่สุด
11. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมาตรวัดกำลังไฟฟ้า ได้ถูกต้อง	4.88	0.38	มากที่สุด
12. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ถูกต้อง	4.14	0.22	มาก
13. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง	4.71	0.49	มากที่สุด
14. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัยการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง	4.25	0.38	มาก
15. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัยการวัดความต้านทานได้ถูกต้อง	4.38	0.37	มาก
16. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์พิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง	4.51	0.36	มากที่สุด
17. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์พิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง	4.43	0.48	มาก
18. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์พิสัยการวัดกระแสไฟตรงได้ถูกต้อง	4.29	0.76	มาก

ตารางที่ 4.44 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านใบงาน			
19. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์พิสัยการวัดกระแสไฟสลับได้ถูกต้อง	4.49	0.43	มาก
20. ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในดิจิตอลมัลติมิเตอร์พิสัยการวัดความต้านทานได้ถูกต้อง	4.29	0.49	มาก
21. ทำให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองข้อมูลได้ถูกต้องและแก้ไขปัญหาได้	4.38	0.95	มาก
22. ทำให้ผู้เรียนมีทักษะในการทดสอบคุณภาพและประสิทธิของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น	4.50	0.53	มาก
23. ทำให้ผู้เรียนสามารถทำให้ผู้เรียนเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีกับผลในทางปฏิบัติจริงได้	4.43	0.79	มาก
24. รูปภาพที่ใช้ประกอบในหน่วยการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดภาพจำและนำไปใช้ได้ชัดเจน	4.57	0.28	มากที่สุด
25. ผู้เรียนมีความเข้าใจในใบงานและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้	4.43	0.33	มาก
26. เวลาที่ใช้ในการทำใบงานเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.28	0.37	มาก
27. ผู้เรียนได้รับผลการประเมินด้านปฏิบัติในเกณฑ์ดี	4.29	0.49	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.43**	**0.47**	**มาก**

จากตารางที่ 4.44 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า ภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.47 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ และเรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ ข้อ 11) ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมาตรวัดกำลังไฟฟ้า ได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.88 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.38 รองลงมาได้แก่ ข้อ 13) ทำให้ผู้เรียนวัดและทดสอบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ภายในมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49 และ ข้อ 3) ทำให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีการวัดและทดสอบอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า ฯ ได้ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.45 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยภาพรวม

หน่วยที่	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก	4.25	0.41	มาก
หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	4.34	0.38	มาก
หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	4.45	0.57	มาก
หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง	4.27	0.26	มาก
หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน	4.28	0.46	มาก
หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล	4.38	0.61	มาก
หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่	4.36	0.67	มาก
หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง	4.41	0.65	มาก
หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	4.34	0.68	มาก
หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	4.40	0.21	มาก
หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน	4.03	0.74	มาก
หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า	4.35	0.36	มาก
หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป	4.41	0.33	มาก
หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ	4.42	0.39	มาก
หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า	4.43	0.47	มาก
เฉลี่ยรวม	**4.34**	**0.46**	**มาก**

จากตารางที่ 4.45 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยภาพรวม พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46 เมื่อพิจารณาเป็นรายหน่วย เรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.57 รองลงมาได้แก่ หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.47 และ ข้อ หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.42 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.39 ตามลำดับ

ตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.46 ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. ด้านการพิมพ์และการจัดรูปเล่ม			
1.1 รูปแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ	4.25	0.64	เหมาะสมมาก
1.2 การพิมพ์ตัวอักษร เครื่องหมายและสัญลักษณ์ถูกต้อง	4.29	0.41	เหมาะสมมาก
1.3 การพิมพ์ถูกต้องตรงตามรูปแบบ	4.26	0.58	เหมาะสมมาก
2. ด้านเนื้อหา			
2.1 เนื้อหาครอบคลุมจุดประสงค์ คำอธิบายและมาตรฐานรายวิชา	4.48	0.44	เหมาะสมมาก
2.2 แบ่งหน่วยการเรียนและเวลาได้เหมาะสม	4.44	0.62	เหมาะสมมาก
2.3 รายละเอียดเนื้อหามีความถูกต้องทันสมัย การจัดลำดับความยากง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน	4.39	0.51	เหมาะสมมาก
2.4 ภาพประกอบมีความชัดเจน สื่อความหมายได้สอดคล้องกับเนื้อหา	4.40	0.46	เหมาะสมมาก
2.5 แบบฝึกหัดท้ายหน่วย ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้คิดวิเคราะห์	4.28	0.40	เหมาะสมมาก
3. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์			
3.1 เป็นประโยชน์ต่อผู้สอน สามารถพัฒนาผู้เรียนได้	4.34	0.38	เหมาะสมมาก
3.2 เป็นประโยชน์ต่อความก้าวหน้าทางวิชาการหรือวิชาชีพ	4.38	0.33	เหมาะสมมาก
เฉลี่ยรวม	**4.35**	**0.28**	**เหมาะสมมาก**

จากตารางที่ 4.46 พบว่า ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 เมื่อพิจารณาเป็นข้อ เรียงลำดับตามคะแนนเฉลี่ย 3 ลำดับ ปรากฏผลดังนี้ 2.1) เนื้อหาครอบคลุมจุดประสงค์ คำอธิบายและมาตรฐานรายวิชา ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44 รองลงมาได้แก่ 2.2) แบ่งหน่วยการเรียนและเวลาได้เหมาะสม ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเท่ากับ 4.44 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.62 และ 2.4) ภาพประกอบมีความชัดเจน สื่อความหมายได้สอดคล้องกับเนื้อหา ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

มีค่าเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการประเมินโดยครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 เห็นว่ามีประสิทธิภาพนำไปใช้ในการสอนเพื่อพัฒนาความสามารถการเรียนรู้ของนักเรียนได้จริง

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ผู้รายงานขอนำเสนอขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการศึกษา
2. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
3. วิธีดำเนินการศึกษา
4. การวิเคราะห์ข้อมูล
5. สรุปผลการศึกษา
6. อภิปรายผล
7. ข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ผู้รายงานได้ออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน
2. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลติมัลมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน
3. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์ดแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน
4. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์
5. เพื่อออกแบบสร้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
6. เพื่อพัฒนาเอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
7. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 80/80
8. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

9. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนโดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ก่อนเรียนและหลังเรียน

10. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

11. เพื่อประเมินชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน
2. ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน
3. ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน
4. ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์
5. ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
6. เอกสารประกอบการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 หน่วย ประกอบด้วย
   - หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้พื้นฐานในการวัดและมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก
   - หน่วยที่ 2 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
   - หน่วยที่ 3 เรื่อง มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
   - หน่วยที่ 4 เรื่อง มาตรวัดกระแสไฟตรง
   - หน่วยที่ 5 เรื่อง มาตรวัดความต้านทาน
   - หน่วยที่ 6 เรื่อง มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอล
   - หน่วยที่ 7 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่
   - หน่วยที่ 8 เรื่อง การขยายพิสัยวัดกระแสไฟตรง
   - หน่วยที่ 9 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
   - หน่วยที่ 10 เรื่อง การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
   - หน่วยที่ 11 เรื่อง การขยายพิสัยวัดความต้านทาน
   - หน่วยที่ 12 เรื่อง มาตรวัดกำลังไฟฟ้า
   - หน่วยที่ 13 เรื่อง ออสซิลโลสโคป
   - หน่วยที่ 14 เรื่อง เครื่องกำเนิดสัญญาณ
   - หน่วยที่ 15 เรื่อง อิมพีแดนซ์ภายในเครื่องมือวัดไฟฟ้า
7. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 2 ชุด แบบคู่ขนาน ชุดละจำนวน 60 ข้อ

8. แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 จำนวน 15 ชุด

9. แบบประเมินคุณภาพชุดการสอน โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 แบ่งเป็น 5 ด้าน รวมจำนวน 21 ข้อ

วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้รายงานได้ทำการทดลองกับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียนในรายวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับสลาก จำนวน 20 คน โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
2. เมื่อเริ่มต้นดำเนินการทดลอง ชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงกิจกรรมการเรียนการสอน
3. ดำเนินการสอนตามขั้นตอนของการใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105-2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
4. รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนของแต่ละชุดเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ
5. หลังการเรียนการสอนทุกหน่วยจบลงแล้วจึงทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน
6. เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ ผู้รายงานได้วางแผนการจัดทำข้อมูลและดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดฝึก จำนวน 5 เครื่อง ดังนี้

1.1 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน
1.2 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน
1.3 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน
1.4 ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์
1.5 ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ตอนที่ 2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สูตร E_1/E_2

ตอนที่ 3 วิเคราะห์หาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ตอนที่ 4 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้ t-test (Dependent Samples)

ตอนที่ 5 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยครูที่ได้รับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปผลการศึกษา

1. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกให้มีระบบป้องกันการชำรุดขณะใช้งานสามารถทดสอบคุณภาพตามการออกแบบสร้างได้ดังนี้ คือ

ตารางที่ 5.1 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ระบบป้องกันฟิวส์ขาด	✓	
2	ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัย	✓	
3	ระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัดหรือผิดฟังก์ชันการวัด	✓	
4	วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 V	✓	
5	วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V	✓	
6	ทดสอบการทำงานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์และชุดขดลวดเคลื่อนที่	✓	

จากตารางที่ 5.1 เป็นการทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ซึ่งมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกโดยทั่วไปจะมีระบบป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการใช้งานที่

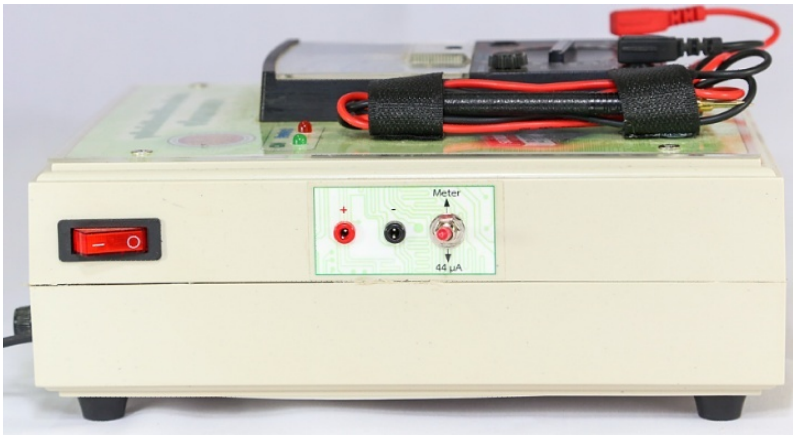
ผิดพลาดอยู่น้อยมาก ปกติจะใช้ฟิวส์ 0.5 A ป้องกันพิสัยการวัด 250 mADC การใช้พิสัยวัดต่ำกว่า 250 mA จะมีโอกาสทำให้มาตรวัดชำรุดได้ง่าย เนื่องจากเน้นป้องกันเฉพาะพิสัยวัดสูงสุด เมื่อเกิดการตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัด เช่น กรณีเลือกพิสัยวัดกระแสแต่นำไปใช้วัดแรงดัน ฟิวส์ที่ต่ออนุกรมกับขั้วบวกของสายวัดจะขาด มัลติมิเตอร์ใช้งานในพิสัยใด ๆ ไม่ได้ เมื่อฟิวส์ขาดแต่ละครั้งเป็นการสะสมการเสื่อมสภาพของมาตรวัด กรณีเลือกฟิวส์ที่มีการทนกระแสสูงขึ้นจะเพิ่มโอกาสที่จะทำให้มาตรวัดชำรุดเร็วขึ้น เนื่องจากปกติฟิวส์จะขาดได้กระแสจะต้องมีค่าสูงกว่าค่าฟิวส์ที่ป้องกันประมาณ 2 เท่า ในที่นี้การวัดกระแสพิสัย 250 mA ฟิวส์จะขาด แสดงว่าเกิดการวัดกระแส 0.5 A × 2 = 1 A ในระยะเวลาตามคุณสมบัติของฟิวส์ ตัวอย่างเช่น ต้องการวัดกระแส 200 mA แต่ตั้งพิสัยการวัดไปที่ 2.5 mA มาตรวัดจะรับกระแสเกิน 250/2.5 = 100 เท่า ซึ่งมาตรฐานการออกแบบขดลวดเคลื่อนที่จะทนได้ 3-5 เท่า มาตรวัดจึงมีโอกาสชำรุดโดยที่ฟิวส์ไม่ขาดหลายเท่าตัว เมื่อเกิดขึ้นบ่อย ๆ ครั้งจะให้มาตรวัดชำรุดหรือมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามจำนวนครั้งที่วัดโหลดเกินพิสัย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเครื่องมือที่ถูกใช้งานมานานจะเริ่มเสื่อมสภาพและมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ด้วยสาเหตุการวัดค่าเกินพิสัยหรือผิดฟังก์ชั่นการวัด

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับฝึกทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก โดยพัฒนาให้มีระบบต่าง ๆ ภายในตัวเครื่องดังนี้ คือ ระบบป้องกันฟิวส์ขาดสามารถใช้งานได้ ระบบป้องกันการวัดค่าเกินพิสัยสามารถใช้งานได้ ระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัดหรือผิดฟังก์ชันการวัดสามารถใช้งานได้ และระบบใช้ไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่และแก้ปัญหาการให้เข็มชี้ตำแหน่งศูนย์ไม่ได้ในพิสัยการวัดความต้านทาน ในกรณีแบตเตอรี่อ่อนสามารถใช้งานได้ กล่าวคือ ระบบป้องกันสามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยงตรงในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลจากการเพิ่มระบบป้องกันน้อยมาก ไม่เกินร้อยละ ±1 และไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์ที่มีรุ่นและยี่ห้อเดียวกันขณะใช้งานอิสระ

ผลจากการทดสอบการทำงานของแอนะลอกมัลติมิเตอร์และชุดขดลวดเคลื่อนที่ โดยการโยกไป “บน” จะเป็นการต่อใช้งานมัลติมิเตอร์แบบปกติทำการทดสอบโดยปรับไปที่พิสัยโอห์ม Rx1 และทำการปรับตำแหน่งศูนย์ค่าที่ได้ 0Ω และโยกลง “ล่าง” จะเป็นการต่อใช้งานกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในมัลติมิเตอร์โดยตรง (44 μA) ซึ่งทดสอบโดยการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย เลือกพิสัยการวัดค่าความต้านทาน 20 kΩ แล้วนำปลายสายวัดสีแดงและปลายสายวัดสีดำต่อเข้าขั้วบวกและลบชุดขยายขดลวดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ เข็มมิเตอร์ของแอนะลอกจะขึ้นเต็มสเกลพอดี ค่าความต้านทานที่ได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ประมาณ 1.1k Ω หรือปรับเลือกไปพิสัยการวัดค่าความต้านทาน 200 kΩ เข็มของมัลติมิเตอร์แอนะลอกจะเกิดการบ่ายเบนเล็กน้อย ค่าความต้านทานที่วัดได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ประมาณ 1.1 kΩ

ดังนั้น จึงสรุปผลการทดสอบจากการทดลองคุณสมบัติของชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอก สามารถทำงานได้ 2 ทางเลือกโดยการเลือกผ่านสวิตซ์โยก คือ 1 โยกไปบนจะเป็นการต่อใช้งานแอนะลอกมัลติมิเตอร์แบบปกติ และ 2 โยกสวิตช์ลงล่างจะเป็นการต่อใช้งานกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในมัลติมิเตอร์โดยตรง (44μA) เมื่อทำการทดสอบมัลติมิเตอร์แอนะลอกดังกล่าว ผลที่ได้ปรากฏว่ามัลติมิเตอร์แอนะลอก เมื่อโยกสวิตซ์ไปบนสามารถใช้งานได้ปกติและเมื่อโยกสวิตซ์ไปล่าง สามารถวัดชุดขยายพิสัยการวัดได้ตามจุดประสงค์การออกแบบสร้าง

(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านข้าง

(ค) ด้านบน

รูปที่ 5.1 ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 5.1 เป็นชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกที่มีระบบป้องกัน ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติงาน และสามารถนำไปใช้งานได้จริง เหมือนมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกทั่วไป

2. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยให้มีระบบป้องกันการชำรุดขณะใช้งานสามารถทดสอบคุณภาพตามการออกแบบสร้างได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ระบบป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 200 mA, วัดค่ากระแสต่ำ	✓	
2	ระบบป้องกันฟิวส์พิสัยการวัด 10 A, วัดค่ากระแสสูง	✓	
3	วงจรป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดตัวเก็บประจุ	✓	
4	ระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัดหรือผิดฟังก์ชันการวัด	✓	
5	วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V	✓	

จากตารางที่ 5.2 เป็นการทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย ที่มีระบบป้องกัน ซึ่งระบบป้องกันฟิวส์ภายในมี 3 จุด คือ วัดกระแสค่าต่ำ ป้องกันฟิวส์ที่พิสัยการวัด 200 mA วัดกระแสค่าสูงป้องกันฟิวส์ที่พิสัยการวัด 10 A และวัดกระแสจากพิสัยวัดตัวเก็บประจุ เมื่อขณะใช้งานเกิดความผิดพลาดจะช่วยทำให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายง่าย มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับมัลติมิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาแบตเตอรี่หมดวงจร ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัย คุณสมบัติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะวัดกระแสไฟฟ้าได้ทั้งกระแสไฟตรงและกระแสไฟสลับ การทดสอบจะใช้การป้องกันกระแสไฟสลับเป็นหลัก เนื่องจากการวัดกระแสไฟตรงจะสามารถป้องกันร่วมกันโดยอัตโนมัติ ดังนั้น ระบบป้องกันสามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยง ตรงในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลจากการเพิ่มระบบป้องกันน้อยมากและไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีรุ่นและยี่ห้อเดียวกันขณะใช้งานอิสระ

(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านข้าง

(ค) ด้านบน

รูปที่ 5.2 ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 5.2 เป็นชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติงาน และสามารถนำไปใช้งานได้จริงเหมือนดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยทั่วไป

3. ชุดฝึกมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิตอลแบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติให้มีระบบป้องกันการชำรุดขณะใช้งานสามารถทดสอบคุณภาพตามการออกแบบสร้างได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยที่มีระบบป้องกัน

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ระบบป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดเกิน 400 mA	✓	
2	ระบบป้องกันฟิวส์พิสัยการวัดเกิน 10 A	✓	
3	ระบบป้องกันเมื่อตั้งพิสัยวัดไม่สอดคล้องกับการวัดหรือผิดฟังก์ชันการวัด	✓	
4	วงจรสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 V	✓	

จากตารางที่ 5.3 เป็นการทดสอบคุณภาพของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ซึ่งระบบป้องกันฟิวส์ภายในมี 2 จุด คือ ป้องกันฟิวส์ที่พิสัยการวัดเกิน 400 mA ซึ่งวัดกระแสค่าต่ำ และป้องกันฟิวส์ที่พิสัยการวัด 10 A ที่ใช้วัดกระแสค่าสูง เมื่อขณะใช้งานเกิดความผิดพลาดจะช่วยทำให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่เกิดความเสียหายง่าย มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาแบตเตอรี่หมดวงจร ซึ่งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ คุณสมบัติของดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะวัดกระแสไฟฟ้าได้ทั้งกระแสไฟตรงและกระแสไฟสลับ

ดังนั้น การทดสอบจะใช้การป้องกันกระแสไฟสลับเป็นหลัก เนื่องจากการวัดกระแสไฟตรงจะสามารถป้องกันร่วมกันโดยอัตโนมัติ ดังนั้น ระบบป้องกันสามารถป้องกันได้ทุกพิสัยและมีความเที่ยง ตรงในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลจากการเพิ่มระบบป้องกันน้อยมาก ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีรุ่นและยี่ห้อเดียวกันขณะใช้งานอิสระ

(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านข้าง

(ค) ด้านบน

รูปที่ 5.3 ชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติที่มีระบบป้องกัน

จากรูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของชุดฝึกดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่มีระบบป้องกัน ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติงาน และสามารถนำไปใช้งานได้จริงเหมือนดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติทั่วไป

4. ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์ การทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิง

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกพิสัยอัตโนมัติ ที่ V ⎓ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM			
1	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 0.05 VDC	✓	
2	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 0.39 VDC	✓	
3	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 2.36 VDC	✓	
4	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 6.31 VDC	✓	
5	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 39.2 VDC	✓	
6	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 232.0 VDC	✓	
7	วัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 272.0 VDC	✓	

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงกระแสไฟตรง

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่ μA ⎓ ต่อขั้วบวก (μA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปวัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 30 μA	✓	
2	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่ mA ⎓ ต่อขั้วบวก (mA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปวัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 1.76 mA	✓	
3	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่ mA ⎓ ต่อขั้วบวก (mA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปวัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 14.2 mA	✓	
4	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่ mA ⎓ ต่อขั้วบวก (mA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปวัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 184 mA	✓	
5	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่ A ⎓ ต่อขั้วบวก (10A) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปวัดขั้วบวกและขั้วลบของเอาต์พุต 450 mA	✓	

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติที่พิสัย V~ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้แรงดันไฟสลับ 1.8 VAC เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
2	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติที่พิสัย V~ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้แรงดันไฟสลับ 5.4 VAC เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
3	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติที่พิสัย V~ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้แรงดันไฟสลับ 31 VAC เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
4	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติที่พิสัย V~ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้แรงดันไฟสลับ 235 VAC เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
5	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติที่พิสัย V~ ต่อขั้วบวก (V) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้แรงดันไฟสลับ 252 VAC เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	

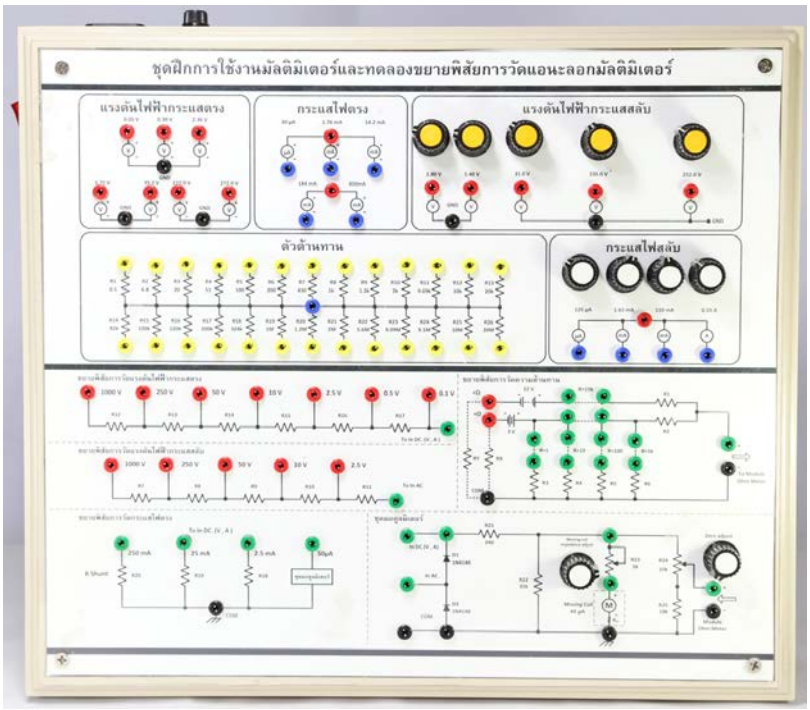
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงกระแสไฟสลับ

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
1	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่พิสัย μA~ ต่อขั้วบวก (μA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้กระแสไฟสลับ 125μA เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
2	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่พิสัย mA~ ต่อขั้วบวก (mA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้กระแสไฟสลับ 1.65 mA เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	

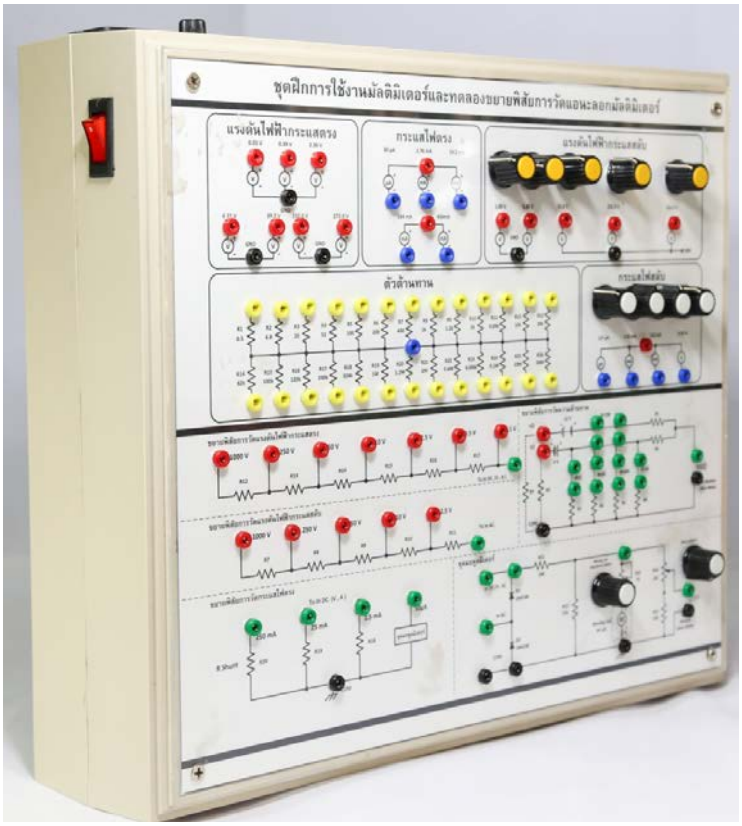
ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
3	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่พิสัย mA~ ต่อขั้วบวก (mA) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้กระแสไฟสลับ 110 mA เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	
4	ตั้งดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบปรับพิสัยอัตโนมัติ ที่พิสัย A~ ต่อขั้วบวก (A) และขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปยังช่องเสียบสีแดงและช่องเสียบสีดำของเอาต์พุต ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้ได้กระแสไฟสลับ 0.55 A เพื่อให้ชุดฝึกพร้อมใช้งาน ซึ่ง	✓	

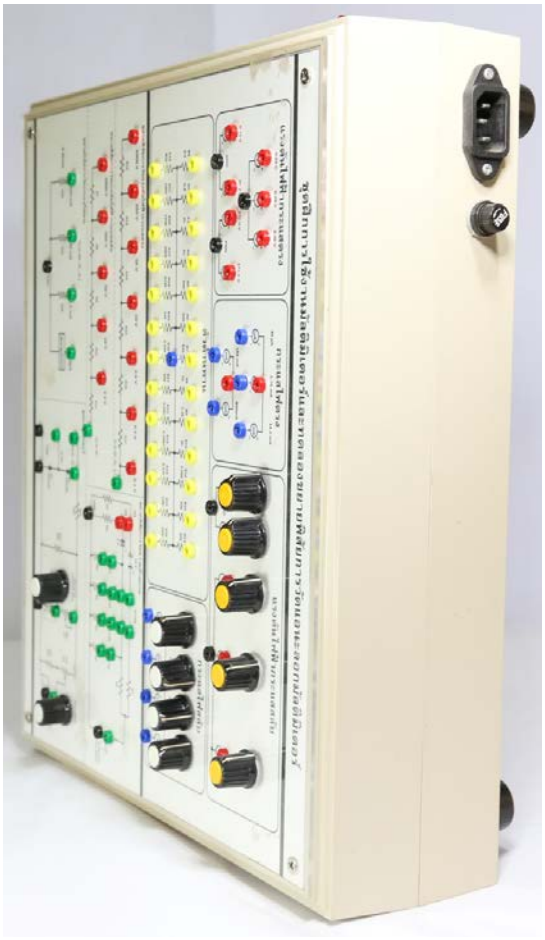
จากตารางที่ 5.4 – 5.7 แสดงผลการทดสอบคุณภาพของจุดวัดค่าอ้างอิงต่าง ๆ จากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติในการนำไปใช้งานตามที่ออกแบบสร้างของชุดฝึก ฯ อ้างอิง สรุปได้ว่าจุดวัดค่าอ้างอิงต่าง ๆ จากชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์ ฯ สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพิสัยการวัดของมัลติมิเตอร์ชนิดแอนะลอกและชนิดดิจิตอล



(ก) ด้านหน้า


ชุดฝึกการใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอมะลอกมัลติมิเตอร์
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
กระแสไฟตรง
ตัวต้านทาน

(ข) ด้านข้าง



(ค) ด้านบน

(ง) ด้านล่าง

รูปที่ 5.4 ชุดฝึกใช้งานมัลติมิเตอร์และทดลองขยายพิสัยการวัดแอนะลอกมัลติมิเตอร์

5. ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

การทดสอบคุณภาพของการสร้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สามารถทดสอบคุณภาพตามการออกแบบสร้างได้ดังนี้

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบคุณภาพของโหลดชนิดต่าง ๆ จากมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน

บันทึกผล	VAC (V)		I (A)		P (W)		Q (VAR)		S (VA)		PF	
	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
R 1 kΩ 200 W	✓		✓		✓		✓		✓		✓	
L 3A	✓		✓		✓		✓		✓		✓	
C 30 μF 450VAC	✓		✓		✓		✓		✓		✓	
R 136Ω อนุกรม L 3A	✓		✓		✓		✓		✓		✓	
R 136Ω อนุกรม C 30 μF	✓		✓		✓		✓		✓		✓	

จากตารางที่ 5.8 ในทางปฏิบัติไม่ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกควบคุมให้ค่าคงที่ เนื่องจากมีราคาแพงมาก จึงใช้แหล่งจ่ายไฟสลับภายในอาคารหรือห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้าตามปกติ แต่ค่าแรงดันไฟฟ้ามีผลทำให้ค่า I, P, Q, S เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับภายในอาคารหรือห้องปฏิบัติการทดลองไม่คงที่ ดังนั้น ค่าต่าง ๆ เมื่อทดสอบในเวลาที่แตกต่างกันค่าต่าง ๆ จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในการทดสอบต้องกดปุ่ม HOLD ของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐาน เพื่อล็อกค่าไว้ทั้งหมด ซึ่งมี 6 ค่าที่อ่านได้ในเวลาเดียวกัน จึงจะได้ค่าที่ถูกต้องที่แรงดันไฟฟ้านั้น ๆ แต่ค่า PF จะไม่แปรผันตามแรงดัน

ผลการทดสอบตัวต้านทาน (1 kΩ 200 W) เพียงอย่างเดียวมาประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ ผลที่ได้ คือ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ วัดค่าไฟฟ้ากำลังปรากฏได้ และจะมีค่าเท่ากันเสมอ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพเป็น 0 VAR เสมอ และวัดค่า PF = 1.00 เสมอ เนื่องจากโหลดเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว เมื่อคำนวณมุม θ ได้ 0° จึงถูกต้อง

ตามทฤษฎี คือ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมดังกล่าวมีมุมเฟสไม่แตกต่างกัน ดังนั้น สรุปได้ว่าผลการทดสอบโดยใช้โหลดตัวต้านทานอย่างเดียวมีความถูกต้องตามหลักทางทฤษฎีทุกประการผล

การทดสอบเมื่อนำตัวเหนี่ยวนำ (L 3 A) เพียงอย่างเดียวมาประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ ผลที่ได้ คือ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏได้ โดยปกติค่า Q จะมีค่าน้อยกว่าค่า S ประมาณ -1 และวัดค่า PF ได้ ถูกต้องตามทฤษฎี คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีเฟสเกิดขึ้นล้าหลังแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำอยู่ 90° ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าผลการทดสอบโดยใช้โหลดตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียวมีความถูกต้องตามหลักทางทฤษฎีทุกประการ

ผลการทดสอบเมื่อนำตัวเก็บประจุ (C 30 μF) เพียงอย่างเดียวมาประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ ผลที่ได้ คือ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพและวัดค่ากำลังปรากฏได้เท่ากัน และวัดค่า PF ได้ ซึ่งถูกต้องตามทฤษฎี คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีเฟสเกิดขึ้นนำหน้าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุอยู่ 90° ดังนั้น สรุปได้ว่าผลการทดสอบโดยใช้โหลดตัวเก็บประจุอย่างเดียวมีความถูกต้องตามหลักทางทฤษฎีทุกประการ

ผลการทดสอบเมื่อนำตัวต้านทาน (136 Ω 300 W) และตัวเหนี่ยวนำ (L 3 A) ต่อกันแบบอนุกรมและต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ผลที่เกิดขึ้น คือ ค่า I, P, Q และ S จะแปรผันตรงตามแรงดัน วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ วัดค่า PF ได้ คำนวณมุม θ ได้ค่าน้อยกว่า 90° เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะเกิดการร่วมเฟสกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน แต่ล้าหลังแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็นมุม 90° วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพเนื่องจากเป็นวงจรอนุกรม R–L ที่ค่า $R >> Z_L$ ค่า P จึงมากกว่า Q เสมอ วัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏได้ จึงสรุปได้ว่าสามารถทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำมาต่อกันแบบอนุกรมได้ถูกต้อง

ผลการทดสอบเมื่อนำตัวต้านทาน (136 Ω 300 W) และตัวเก็บประจุ (C 30 μF) มาต่อกันแบบอนุกรมและต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ผลที่ได้กระแสไฟฟ้าในวงจรจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าเสมอ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ ซึ่งปกติจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทาน วัดค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพได้ เนื่องจากประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อกันแบบอนุกรม จึงมีค่าเป็นลบเสมอ วัดค่า PF ได้ และค่ากำลังไฟฟ้า Q จะแปรผกผันกับค่าความต้านทานที่นำมาต่ออนุกรม เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะเกิดการร่วมเฟสกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแต่นำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็นมุม 90° จึงสรุปได้ว่าผลการทดสอบเป็นค่าที่ยอมรับได้ สามารถต่อวงจรและใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบมาตรฐานสำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าปริมาณไฟฟ้าอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันของโหลดแต่ละชนิดได้

การทดสอบคุณภาพของชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าโดยประมาณของโหลดชนิดต่าง ๆ

บันทึกผล		P(W)		VAC(V)		I(A)		PF	
		ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
หลอดไส้ (25 W)		✓		✓		✓		✓	
หลอดไส้ LED (5 W)		✓		✓		✓		✓	
หลอดคอมแพค (11 W)		✓		✓		✓		✓	
หลอด LED (6 W)		✓		✓		✓		✓	
หม้อแปลง	ไม่มีโหลด	✓		✓		✓		✓	
	มีโหลด ใช้ R 136 Ω	✓		✓		✓		✓	
สวิตช์อัตโนมัติ	หลอดดับ	✓		✓		✓		✓	
	หลอดติด หลอดไส้ (25 W)	✓		✓		✓		✓	

ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าโดยประมาณของโหลดชนิดต่าง ๆ จากตารางที่ 5.9 หลอดไส้ 25 W วัดค่ากำลังจริงได้ แต่ความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขณะทดสอบ ซึ่งค่ากำลังจะเพิ่มหรือลดตามแรงดันไฟฟ้าขณะทดลองตลอดเวลา นอกเหนือจากความคลาดเคลื่อนปกติของมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและวัดค่า PF ได้เป็นไปตามคุณสมบัติของโหลด R ที่ใช้ผลิตหลอดไส้

ผลการวัดหลอดไส้ LED ขนาด 5 W วัดค่ากำลังจริงได้ ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนสูง โดยอาจเกิดจากขีดกำจัดของมาตรวัดในการใช้วัดค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนจะสูง เนื่องจากออกแบบมาเพื่อให้ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้ามาก แต่เพื่อให้เกิดการเรียนรู้มาตรวัดกำลังไฟฟ้าที่หลากหลาย ซึ่งอาจมีประเด็นที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง ถือว่าไม่ผิดเงื่อนไข เนื่องจากเป็นการทดลองระดับพื้นฐาน ส่วนค่า PF วัดได้ มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ ด้วยเหตุผลว่าตัวต้านทานหรือเส้นลวดที่นำมาขดจะมีค่าความเหนี่ยวนำร่วมด้วยเสมอ ไม่ใช่เกิดขึ้นได้เฉพาะโหลดหม้อแปลงหรือขดลวดไฟฟ้า

ผลการวัดหลอดคอมแพคขนาด 11 W วัดค่ากำลังจริงได้ถูกต้อง วัดค่า PF ได้ มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ ด้วยเหตุผลจากโครงสร้างและวงจรของหลอดคอมแพคภายในเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงมีโหลดหม้อแปลงความถี่สูง เป็นตัวจ่ายแรงดันให้หลอด จึงทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำรวมกับค่าตัวต้านทาน เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะมีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานเสมอ แต่ผลรวมอาจมีค่าความเหนี่ยวนำหรือค่าความจุปนรวมกับตัวต้านทานได้

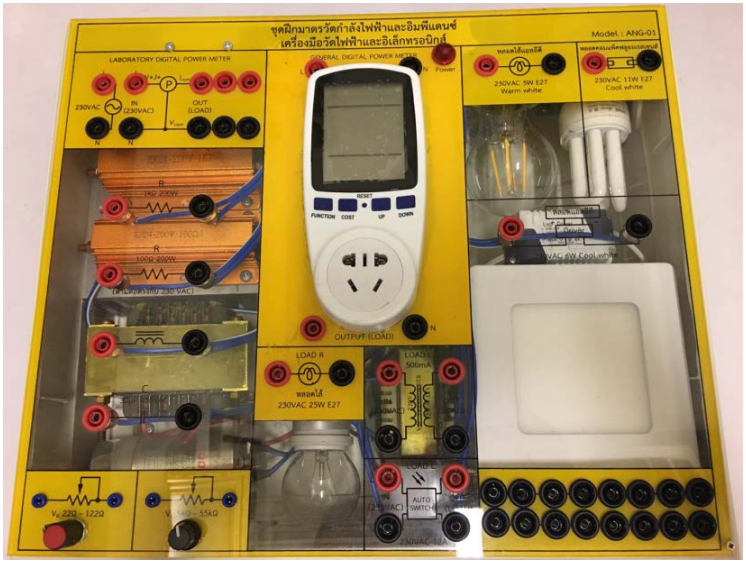
ผลการวัดหลอด LED ขนาด 6 W วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ มีค่าที่ใกล้เคียงกัน วัดค่า PF ได้ มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ วิเคราะห์จากกล่องไดร์เวอร์ที่ติดมาพร้อมชุดหลอด ซึ่งเป็นตัวคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงไปเลี้ยงหลอดแอลอีดี ซึ่งวงจรภายในเป็นแหล่งจ่ายจ่ายไฟแบบสวิตชิงมีหม้อแปลงเป็นโหลดแล้วใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้า

ผลการวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง พบว่าขณะมีโหลดเกิดกำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามโหลดที่นำมาต่อทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เป็นไปตามคุณสมบัติของโหลด L

ผลการวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าของสวิตช์อัตโนมัติ พบว่าขณะหลอดติดวัดกำลังไฟฟ้าจริงได้ วัดค่า PF ได้ เป็นไปตามคุณสมบัติของโหลด C โดยวิเคราะห์แหล่งจ่ายภายในสวิตช์อัตโนมัติที่มีตัวเก็บประจุเป็นโหลด

จึงสรุปได้ว่าผลการทดสอบเป็นค่าที่ยอมรับได้ สามารถต่อวงจรและใช้งานมาตรวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลแบบทั่วไป สำหรับวัดและทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริง และคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังของโหลดชนิดต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

จากรูปที่ 5.5 เป็นชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่สมบูรณ์ ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมและหลากหลายสอดคล้องกับการเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้งานวัตต์มิเตอร์ วาร์มิเตอร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์



(ก) ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

(ข) ด้านบนชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

(ค) ด้านข้างชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 5.5 ชุดฝึกมาตรวัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

6. ประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเฉลี่ย E_1/E_2 เท่ากับ 84.33/85.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80

7. ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเท่ากับ 0.7614 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มจากก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.14

8. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่า

เฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียน เท่ากับ 22.77 และค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 51.10 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

9. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยภาพรวม พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46

10. ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.28

อภิปรายผล

จากการออกแบบสร้างและพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีประเด็นที่นำมาอภิปรายผลดังนี้

1. ผลการพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 พบว่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.33/85.17 หมายความว่า นักเรียนทั้งหมดได้คะแนนเฉลี่ยจากการทำใบงานและแบบทดสอบหลังเรียนของแต่ละชุด ทั้ง 15 ชุด คิดเป็นร้อยละ 84.33 และคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน คิดเป็นร้อยละ 85.17 มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้ ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านกระบวนการขั้นตอนในการจัดทำอย่างเป็นระบบและวิธีการเขียนแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม โดยได้ศึกษาจากหลักสูตร เนื้อหา เทคนิคและวิธีการจากเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ผู้เรียนได้บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ ดังที่ สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545 : 57- 58) ระบุประโยชน์ของชุดการสอน ซึ่งสอดคล้องกับ บุญเกื้อ ควรหาเวช (2543 : 110 -111) ดังนี้ 1) ส่งเสริมการเรียนรายบุคคล ผู้เรียนเรียนได้ตามความสามารถ ความสนใจตามเวลา และโอกาสที่เหมาะสมของแต่ละคน 2) ช่วยขจัดปัญหาการขาดแคลนครู เพราะชุดการสอนช่วยให้ผู้เรียนเรียนได้ด้วยตนเอง หรือต้องการความช่วยเหลือจากผู้สอนเพียงเล็กน้อย 3) ช่วยในการศึกษานอกระบบโรงเรียน เพราะผู้เรียนสามารถนำเอาชุดการสอนไปใช้ได้ ทุกสถานที่และทุกเวลา 4) ช่วยลดภาระและช่วยสร้างความพร้อมและความมั่นใจให้แก่ครู เพราะชุดการสอน ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ สามารถนำไปใช้ได้ทันที 5) เป็นประโยชน์ในการสอนแบบศูนย์การเรียน 6) ช่วยให้ครูวัดผลผู้เรียนได้ตรงตามความมุ่งหมาย 7) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็น ฝึกการตัดสินใจ แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง และมีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 8) ช่วยให้ผู้เรียนจำนวนมากได้รับความรู้แนวเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพ และ 9) ช่วยฝึกให้ผู้เรียนรู้จักเคารพ นับถือความคิดเห็นของผู้อื่น รวมไปถึงผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญและได้ผ่านการทดลอง แบบรายบุคคล แบบกลุ่มย่อย และแบบภาคสนาม เพื่อนำมา

ปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุเมธ แย้มชุติ (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดการสอน (2) เพื่อพัฒนาชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขางานยานยนต์ (3) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (5) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีค่า E_1 เท่ากับ 83.91 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้และค่า E_2 เท่ากับ 83.18 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาดา ถึกสถิต (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง จังหวัดระยอง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (2) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วย ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ผลิตขึ้น (3) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ ผลการวิจัยปรากฏว่า ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ มีประสิทธิภาพ 80.14/80.28 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์ (2558:บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ 2) เปรียบเทียบการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียนด้วยชุดการสอนสำหรับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น 3) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 73.67/74.20 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดที่ 70/70 และสอดคล้องกับงานวิจัยของทรงธรรม ดีวาณิชสกุล และคณะ (2559 : บทความวิจัย) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและ

หาประสิทธิภาพชุดการสอนสมรรถนะรายวิชา “วิชาคณิตศาสตร์ยานยนต์” หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผลการวิจัย พบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 78.61/72.85 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70

2. ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเท่ากับ 0.7614 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มจากก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.14 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้รายงานได้จัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและสอดคล้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งนักเรียนได้ศึกษาหาความรู้และทำความเข้าใจด้วยตนเองซึ่งเป็นประสบการณ์ตรง นอกจากนี้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนยังสอดคล้องกับการพัฒนาสติปัญญาของนักเรียน ซึ่งชุดการสอนนั้นมุ่งเน้นให้ผู้เรียนคิดเป็น ทำเป็น แก้ปัญหาเป็น รู้จักค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง โดยเฉพาะนักเรียนที่เรียนอ่อนจะเรียนรู้ได้ผลมากยิ่งขึ้น เพราะในกลุ่มเด็กเก่งจะช่วยอธิบาย และร่วมกันคิด โดยตลอดในทุกกิจกรรมที่กำหนดให้ฝึกปฏิบัติ ดังที่ ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคนอื่นๆ (2526 : 197) กล่าวถึง แนวคิด หลักการ และทฤษฎีต่างๆ ที่นำไปสู่การผลิตชุดการสอน มี 5 ประการ ดังนี้ แนวคิดที่ 1 เป็นแนวคิดตามหลักจิตวิทยาที่เกี่ยวกับทฤษฎีความแตกต่างระหว่างบุคคล ซึ่งนักการศึกษาได้นำแนวคิดนี้มาจัดการเรียนการสอน โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน โดยการจัดการศึกษาที่ให้อิสระในการเรียนรู้ด้วยตนเองตามกำลังความสามารถของแต่ละคน แนวคิดที่ 2 เป็นแนวคิดที่พยายามจะเปลี่ยนการจัดการสอนจากแบบเดิมที่ยึดครูเป็นศูนย์กลาง ซึ่งมีครูเป็นแหล่งความรู้ มาเป็นแบบของการนำประสบการณ์ และสื่อประสมที่ตรงตามเนื้อหา ในรูปของชุดการสอนโดยให้นักเรียนศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองจากชุดการสอน แนวคิดที่ 3 เป็นแนวคิดที่พยายามจะจัดระบบการผลิต และการใช้อุปกรณ์การสอนไว้เป็นไปในรูปสื่อประสมโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเปลี่ยนจากการใช้สื่อในการช่วยครูสอนมา เป็นช่วยนักเรียน แนวคิดที่ 4 เป็นแนวคิดที่พยายามจะสร้างปฏิสัมพันธ์ให้เกิดขึ้นระหว่างครูกับนักเรียน และนักเรียนกับสภาพแวดล้อม โดยนำสื่อการสอนและทฤษฎีของกระบวนการกลุ่มมาใช้ในการประกอบกิจกรรมร่วมของนักเรียน และแนวคิดที่ 5 เป็นแนวคิดที่ยึดหลักจิตวิทยาการเรียนรู้ มาจัดสภาพการเรียนรู้เพื่อให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพ โดยการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เข้าร่วมในการเรียนด้วยตนเอง โดยทราบว่า การตัดสินใจหรือการทำงานของตนถูกต้อง หรือผิดในทันที มีการเสริมแรง ทำให้นักเรียนได้เกิดความภาคภูมิใจที่ตนทำได้ถูกหรือคิดถูก อาจจะทำให้กระทำพฤติกรรมนั้นอีกในอนาคต และการที่ค่อยเรียนรู้ไปทีละขั้นตามความสามารถ และความสนใจของนักเรียนเอง โดยไม่ต้องมีใครมาบังคับ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาดา ถึกสถิต (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิค ระยอง จังหวัดระยอง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (2) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วย ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้าน

ฮาร์ดแวร์ที่ผลิตขึ้น (3) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ ผลการวิจัยปรากฏว่า ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ มีค่าเท่ากับ 0.7550 หมายความว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 75.50 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ พาเจริญ (2558 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี 2) ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนเรื่องสายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า ดัชนี ประสิทธิผลของชุดการสอน เรื่อง สายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี มีค่าเท่ากับ 0.7287 หมายความว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 72.87

3. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน การที่ผลการศึกษาเป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการเรียนโดยใช้ชุดการสอนที่ผู้รายงานพัฒนาขึ้น สามารถทำให้ผู้เรียนได้รับการฝึกเป็นรายบุคคล ดังที่ เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต (2528 : 292-293) ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างชุดการสอนซึ่งสามารถนำมาใช้ในการสร้างชุดการสอน ดังนี้ 1) ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual Differences) นักการศึกษาได้นำหลักจิตวิทยาในด้านความแตกต่างระหว่างบุคคลมาใช้เพราะถือว่าการสอนนั้นไม่สามารถจะปั้นผู้เรียนให้เป็นพิมพ์เดียวกันได้ในช่วงเวลาที่เท่ากัน เพราะผู้เรียนแต่ละคนจะเรียนรู้ตามวิถีทางของเขาและใช้เวลาเรียน ในเรื่องหนึ่งๆ ที่แตกต่างกันไป ความแตกต่างเหล่านี้มี ความแตกต่างในด้านความสามารถ (Ability) สติปัญญา (Intelligence) ความต้องการ (Need) ความสนใจ (Interest) ร่างกาย (Physical) อารมณ์ (Emotion) และสังคม (Social) ด้วยเหตุผลที่คนเรามีความแตกต่างกันดังกล่าว ผู้สร้างชุดการสอน จึงพยายามที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะทำให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ในชุดนั้น ๆ ซึ่งวิธีที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งก็คือ การจัดการสอนรายบุคคล หรือการจัดการสอนตามเอกัตภาพ หรือการศึกษาด้วยตนเองซึ่งล้วนแต่เป็นวิธีสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีอิสระในการเรียนตามความแตกต่างของแต่ละคน 2) การนำสื่อประสมมาใช้ (Multi-media Approach) เป็นการนำเอาสื่อการสอนหลายประเภทมาใช้สัมพันธ์กันอย่างมีระบบ ความพยายามอันนี้ก็เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงการเรียนการสอนจากเดิมที่เคยยึดครูเป็นแหล่งให้ความรู้หลัก มาเป็นการจัดประสบการณ์ ให้ผู้เรียนเรียนด้วยการใช้แหล่งความรู้จากสื่อประเภทต่างๆ 3) ทฤษฎีการเรียนรู้ (Learning Theory) เป็นจิตวิทยาการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ 3.1) เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนด้วยตนเอง 3.2) ตรวจสอบผลการเรียนของตนเองว่าถูกหรือผิดได้ทันที 3.3) มีการเสริมแรง คือ ผู้เรียนจะเกิดความภาคภูมิใจ ดีใจที่ตนเองทำได้ถูกต้อง เป็นการให้กำลังใจที่จะเรียนต่อไป ถ้าตนเองทำไม่ถูกต้องจะได้ทราบว่าที่ถูกต้องนั้นคืออะไร จะได้ไตร่ตรองพิจารณาทำให้เกิดความเข้าใจ ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความท้อถอยหรือสิ้นหวัง

ในการเรียน เพราะเขามีโอกาสที่จะสำเร็จได้เหมือนคนอื่นเหมือนกัน 3.4) เรียนรู้ไปทีละขั้นตามความสามารถและความสนใจของตนเอง 4) การใช้การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) เป็นการนำเอาการวิเคราะห์ระบบมาใช้โดยจัดเนื้อหาวิชาให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและวัยของผู้เรียนทุกสิ่งทุกอย่างที่จัดไว้ในชุดการสอนจะสร้างขึ้นอย่างมีระบบจะต้องมีการตรวจเช็คทุกขั้นตอนและทุกอย่างจะต้องสัมพันธ์สอดคล้องกันเป็นอย่างดี มีการทดลองปรับปรุงจนมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นที่เชื่อถือได้จึงจะนำออกใช้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติภพ ไกรเพชร (2555 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง ชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอลเรล การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างชุดการสอน หาคุณภาพ หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และหาความพึงพอใจของผู้เรียน ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนโดยใช้ค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 33.99 พบว่าเมื่อนำไปเทียบกับค่า t ในตารางค่าวิกฤตที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ค่า df มีค่าเป็น 85 นำค่าที่ได้เปิดตาราง t มีค่าเป็น 1.6630 ดังนั้นค่า t ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตของ t จากตาราง แสดงว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น โดยมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยของสุเมธ แย้มชุติ (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์นักเรียนระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดการสอน (2) เพื่อพัฒนาชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขางานยานยนต์ (3) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (5) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 และสอดคล้องกับงานวิจัยของทรงธรรม ดีวาณิชสกุล และคณะ (2559 : บทความวิจัย) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนสมรรถนะรายวิชา “วิชาคณิตศาสตร์ยานยนต์” หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย พบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

4. นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 โดยภาพรวม พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนด้วยชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนปรึกษาหารือในการตอบคำถาม อภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับประเด็นสถานการณ์ หรือทำความเข้าใจเนื้อหาที่เป็นความคิดรวบยอดที่กำหนดให้ มีการปรึกษาหารือกัน พูดคุย ซักถาม และอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ก่อให้เกิดบรรยากาศที่ดีในการเรียน มีเจตคติที่ดีต่อวิชาที่เรียน

ส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติภพ ไกรเพชร (2555:บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง ชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอลเรล การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างชุดการสอน หาคุณภาพ หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และหาความพึงพอใจของผู้เรียน ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล โดยรวมทั้งหมด มีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.50, S.D.= 0.26) ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาดา ถึกสถิต (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษา ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง จังหวัดระยอง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (2) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วย ชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ผลิตขึ้น (3) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคลวิชาโครงสร้างระบบ คอมพิวเตอร์ เรื่องโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ ผลการวิจัยปรากฏว่า นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนรายบุคคล มีความพึงพอใจต่อชุดการสอนรายบุคคลอยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ พาเจริญ (2558 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี 2) ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน เรื่องสายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า ผลของการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจ ต่อชุดการสอนอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.09)

5. ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.28 เห็นว่ามีประสิทธิภาพ นำไปใช้ในการสอนเพื่อพัฒนาความสามารถการเรียนรู้ของนักเรียนได้จริง อาจเนื่องมาจากชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีการวางแผนและพัฒนาอย่างเป็นระบบ ปรับปรุงแก้ไขหลายครั้งโดยคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุเมธ แย้มชุติ (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดการสอน (2) เพื่อพัฒนาชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขางานยานยนต์ (3) เพื่อศึกษา

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดการสอนวิชาการวัดละเอียด (5) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ =4.29) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ .37 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์ (2558:บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดการสอนเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ 2) เปรียบเทียบการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียนด้วยชุดการสอนสำหรับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น 3) ศึกษาความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่า ความคิดเห็นของครูผู้สอนที่มีต่อชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.45 , S.D. = 0.50)

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น และนักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 ผู้สอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ควรนำชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ที่ผู้รายงานค้นคว้าสร้างและพัฒนาขึ้นนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้

1.2 ครูควรศึกษาวิธีการสอนและเทคนิคให้เข้าใจก่อนนำไปใช้ และควรทำความเข้าใจกับการเรียนเพื่อให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ครูต้องพยายามให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการคิด กระบวนการเรียนรู้ เปิดโอกาสแก่ผู้เรียนทุกคนเท่าๆกันชี้ให้เห็นความสำคัญของตนเองและผู้อื่น ควรกระตุ้นและให้กำลังใจนักเรียนให้เกิดความมั่นใจในการเรียน และกล้าแสดงความคิดเห็นของตนเองต่อกลุ่ม และมีความรับผิดชอบในภาระงาน

1.4 ครูผู้สอนควรแจ้งผลการปฏิบัติกิจกรรมทันที เช่น ผลการตรวจแบบฝึกหัด ใบงาน การทำแบบทดสอบแต่ละชุดการสอน และผลประเมินกิจกรรมกลุ่มร่วมมือ การเสนอผลงานที่ป้าย นิเทศหน้าชั้นเรียนที่ตัวแทนกลุ่มต้องให้คะแนนซึ่งกันและกัน ครูผู้สอนต้องคอยสังเกตเพื่อนอาจไม่เที่ยงตรง ครูให้คะแนนทุกขั้นตอนเพื่อเป็นการกระตุ้นนักเรียนให้ความร่วมมือและปรับปรุงแก้ไข ในทุกกิจกรรม

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในครั้งต่อไป

2.1 ควรนำเอาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ไปทำการศึกษากับเนื้อหาวิชาอื่น หรือในเรื่องอื่น ๆ

2.2 ควรมีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การพัฒนาชุดการสอน วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2105–2004 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 กับรูปแบบวิธีการสอนอื่นๆ หรือกับนักเรียนต่างระดับกัน หรือช่วงชั้นที่ต่างกัน

2.3 ควรทำการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ กับวิชาอื่น ๆ โดยใช้วิธีด้วยแบบกลุ่มร่วมมือ (Learning Together) กับวิธีการสอนอื่น ๆ เช่น วิธีการสอนแบบบูรณาการวิธีการสอนแบบโครงงาน วิธีการสอนแบบ 4 MAT ฯลฯ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กิตติภพ ไกรเพชร. **ชุดการสอนการทำงานของเซนเซอร์เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล. ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.** บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2555.

กรมวิชาการ. กระทรวงศึกษาธิการ. **การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการวิจัย.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. 2544.

_____. กระทรวงศึกษาธิการ. **หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544**. กรุงเทพมหานคร : องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์. 2545.

เกษม วัฒนชัย. **การปฏิรูปการศึกษาไทย 2542-2545.** สำนักงานราชบัณฑิตยสถานในพระบรมมหาราชวัง. 2545.

กุศยา แสงเดช. **ชุดการสอนคู่มือการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง.** กรุงเทพฯ : เพิ่มทรัพย์การพิมพ์, 2545.

ฐิติทร ทองสุข. **การพัฒนาชุดการสอน กลุ่มสร้างเสริมประสบการณ์ชีวิต สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5.** ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2541.

ชนาธิป พรกุล. **รูปแบบการเรียนการสอนที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ชาตรี สำราญ. **วิจัย (แผนการสอน) ในชั้นเรียนแบบง่าย สไตล์ชาตรี สำราญ.** กรุงเทพฯ : มูลนิธีสมศรี-สฤษดิ์วงศ์. 2547.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคนอื่นๆ. **ระบบสื่อการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

_____. **เอกสารชุดการสอนวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา เล่มที่ 1.** นนทบุรี : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2537.

ชัยวัฒน์ ดุงศรีแก้ว**. ความพึงพอใจของครูผู้สอนต่อการปฏิบัติงานของผู้บริหารโรงเรียนประถมศึกษา สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี.** รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ กศ.ม.มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2543.

ชัยวิชญ์ ทองทวี. **ความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของพนักงานบริษัทศรีวิโรจน์ฟาร์ม จำกัด.** รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ การศึกษามหาบัณฑิต. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2544.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ. **เทคโนโลยีการศึกษา : ทฤษฎีและการวิจัย.** กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2546.

ไชยยัณท์ ชาญปรีชารัตน์. **ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อผลการจัดการเรียนการสอนของโรงเรียนเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.** รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2543.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ณัฐชยา เอื้อมอุ่น. **ความพึงพอใจต่อการใช้บริการห้องสมุดประชาชนของนักศึกษานอกโรงเรียนสายสามัญ**. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (จิตวิทยาการศึกษา) มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2544.

ณัฐวุฒิ กิจรุ่งเรือง และคณะ. **ผู้เรียนเป็นสำคัญและการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ของครูมืออาชีพตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน.** กรุงเทพฯ : เยลโล่การพิมพ์. 2545.

เดือนฉาย ศรีสวัสดิ์. **การสร้างเอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชา ส071 ท้องถิ่นของเรา เรื่อง วัฒนธรรมของจังหวัดเชียงใหม่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จังหวัดเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (หลักสูตรและการสอน). นนทบุรี : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2541.

ถวิล ธาราโภชน์ และศรันย์ ดำริสุข. **พฤติกรรมมนุษย์กับการพัฒนาตน.** กรุงเทพฯ : ทิพย์วิสุทธิ์. 2543.

ทรงธรรม ดีวาณิชสกุล และคณะ.**การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนสมรรถนะรายวิชา “วิชาคณิตศาสตร์ยานยนต์” หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.** บทความวิจัย ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.

ทองพูน เบ็ญเจิด. **การสร้างและหาประสิทธิภาพเอกสารประกอบการสอน วิชางานเครื่องมือกลเบื้องต้น รหัสวิชา 3100 – 0009 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557.** วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์. สุรินทร์. 2558.

บุญเกื้อ ควรหาเวช. **นวัตกรรมการศึกษา.** กรุงเทพฯ : เจริญวิทย์การพิมพ์, 2543.

บุญชม ศรีสะอาด. **การวิจัยเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : ชมรมเด็ก, 2545.

ประหยัด จิระวรพงศ์. **หลักการและทฤษฎีเทคโนโลยีการศึกษา.** พิษณุโลก : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2529.

ปานรวี ยงยุทธวิชัย. **คู่มือการเขียนแผนการสอนและแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อขอตำแหน่งอาจารย์ 3.** กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมและพัฒนาการอ่านการเขียนแห่งประเทศไทย. 2549.

เผชิญ กิจระการ. “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพสื่อและเทคโนโลยีเพื่อการศึกษา” **วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 7, 7 (กรกฎาคม 2544).

ผ่องพรรณ ตรัยมงคลและสุภาพ ฉัตราภรณ์. **การออกแบบการวิจัย.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.

พิชิต ฤทธิ์จรูญ. **หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พงษ์อนันต์ อนันตภักดิ์. **การพัฒนาเอกสารประกอบการสอน เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1.** กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ. 2556.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. **การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์.** กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2530.

_____. **วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญผล, 2543.

เพลินพิศ ธรรมรัตน์. **การประเมินผลการเรียน.** สกลนคร : สถาบันราชภัฏสกลนคร, 2542.

ภานุพันธ์ ภักดี. **การพัฒนาชุดการสอนภาษาอังกฤษ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านไร่ วิทยา อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2550.

เยาวดี วิบูลย์ศรี. **การวัดผลและการสร้างแบบสอบผลสัมฤทธิ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ราชบัณฑิตยสถาน. **พจนานกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542.** กรุงเทพฯ: นานมี บุคส์ พับลิเคชั่นส์. 2546.

รุจิร์ ภู่สาระ. **การพัฒนาหลักสูตร ตามแนวปฏิรูปการศึกษา.** กรุงเทพฯ : บุ๊คพอยท์. 2545.

รัชนีกร ทองสุขดี. (2545). **เอกสารประกอบการสอน วิชาสารสนเทศเพื่อการสอนสังคมศึกษา.** เชียงใหม่ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รัชวลี วรวุฒิ. **ความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของข้าราชการสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.** วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. **การวัดด้านจิตพิสัย.** กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น, 2542.

_____. **เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา.** กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น, 2538.

วาโร เพ็งสวัสดิ์. **การวิจัยในชั้นเรียน.** กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น. 2546.

วิเชียร เกษประทุม. **คำจำกัดความเอกสารประกอบการสอน** (Online) เข้าถึงได้จาก www.scribd.com/doc/.../**คำจำกัดความเอกสารประกอบการสอน**. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กุมภาพันธ์ 2559). (2541).

วินัย ธรรมศิลป์ และคณะ. **เทคนิคการวัดผลทางการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, ม.ป.ป.

วิเศษศักดิ์ โคตรอาษา. **เทคโนโลยีและนวัตกรรมการเรียนการสอน.** สุรินทร์ : ภาควิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษา สถาบันราชภัฏสุรินทร์ สหวิทยาลัยอีสานใต้, 2535.

วีระศักดิ์ วงษ์สมบัติ. **ทางก้าวหน้าสู่ครูมืออาชีพ.** พัฒนาศึกษา. กรุงเทพฯ. 2546.

วัฒนาพร ระงับทุกข์. **แผนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ธนพร, 2542.

ศิริชัย กาญจนวาสี. **ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (CLASSICAL TEST THEORY).** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ศุภสิริ โสมาเกตุ. **เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคงทนในการเรียนและความพึงพอใจในการเรียนรู้ภาษาอังกฤษ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างการเรียนรู้โดยโครงงานกับการเรียนรู้ตามคู่มือครู.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2544.

สงบ ลักษณะ. **การเพิ่มคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนในการใช้หลักสูตร ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2533.** กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. 2543.

สาโรจน์ แพ่งยัง. **เทคโนโลยีการผลิตสื่อการสอน : หลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้.** กรุงเทพมหานคร : ม.ป.พ., 2535.

สุกิจ ศรีพรหม. “ชุดการสอนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน,” **วารสารวิชาการ** 1, 9(กันยายน 2541)

สุดาทิพย์ บุษมงคล. **การเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนิสิตระดับปริญญา โดยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการเรียน วิชา 0503311 การถ่ายภาพเบื้องต้น ระหว่างการเรียนเป็นรายบุคคลกับการเรียนกลุ่มย่อย.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2546.

สุชาดา ถึกสถิต. **การพัฒนาชุดการสอนรายบุคคล วิชาโครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ เรื่อง โครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สำหรับนักศึกษา ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคนิคระยอง จังหวัดระยอง.** ปริญญาศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. 2557.

สุชาติ แต้ตระกูล. **รายงานการใช้เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการออกแบบโปรแกรมใช้คอมพิวเตอร์ช่วย รหัสวิชา 3000-0206 สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง.** วิทยาลัยการอาชีพบางแก้ว. พัทลุง. 2557.

สุนันทา สุนทรประเสริฐ. **การผลิตชุดการสอน.** ชัยนาท : โมเดิร์นโฮม, 2544.

_____ . **การสร้างสื่อการสอนและนวัตกรรมการเรียนรู้สู่การพัฒนาผู้เรียน.** ราชบุรี : ธรรมรักษ์การพิมพ์. 2547.

สุเมธ แย้มชุติ. **การพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชายานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู.** สาขาวิชาเครื่องกล สาขางานยานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีหมู่บ้านครู, รายงานการวิจัย. 2557.

สุรางค์ โค้วตระกูล. **จิตวิทยาการศึกษา.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ. **20 วิธีจัดการเรียนรู้.** กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์, 2545.

สุวิทย์ มูลคำ และสุนันทา สุนทรประเสริฐ. **การพัฒนาผลงานทางวิชาการสู่การเลื่อนวิทยฐานะ.** กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์. 2550.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม**, 2556.

_____. **การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ ประเภทวิชาช่าง อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ, 2549.

สมนึก ภัททิยธนี. การวัดผลการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กาฬสินธุ์ : ประสานการพิมพ์, 2546.

สมบัติ ท้ายเรือคำ. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการวิจัยการศึกษาเบื้องต้น.** ภาควิชาวิจัยและพัฒนาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2547.

สมภพ สุวรรณรัฐ. **หลักและแนวทางการจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาโดยยึดผู้เรียนเป็นสำคัญตามรูปแบบ CIPPA .** เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ “เขียนแผนการสอนที่เน้นสมรรถนะอาชีพ”. มปป.

สัมฤทธิ์ บุญเฉลียว. **การพัฒนาชุดการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง สารในชีวิตประจำชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 2552.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. **เทคโนโลยีทางการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2528.

เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์. **การพัฒนาชุดการสอน เรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี).** วิทยานิพนปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.

อมรรัตน์ ทองทิพย์. **รายงานการพัฒนาเอกสารประกอบการสอนวิชาการบัญชีเบื้องต้น 2 รหัส 3200-0003 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง.** วิทยาลัยเทคนิคบึงกาฬ. บึงกาฬ. 2557.

อาภรณ์ ใจเที่ยง. **หลักการสอน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส.พรินติ้งเฮ้าส์. 2546.

อัจฉรา ดลประสิทธิ์. **การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพเอกสารประกอบการสอน รายวิชาคณิตศาสตร์ รหัสวิชา ค42101 ชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 5 เรื่องอันดับและอนุกรม งานวิจัยเฉพาะบุคคล,** โรงเรียนสุรนารีวิทยา. 2549.

เอกพันธ์ พาเจริญ. **การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องสายอากาศ ไมโครสตริป สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี.** ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2558.

เอกศักดิ์ สงวนคำ. **รายงานการสร้างและหาประสิทธิภาพเอกสารประกอบการสอนวิชางานระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (2101-2109) หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556.** วิทยาลัยการอาชีพนครศรีธรรมราช. นครศรีธรรมราช. 2559.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Anderson, K.B., and R.E. Pingry. **"Problem-Solving in Mathematics." In The Learning of Mathematics : It's Theory and Practices,** 228. Washington, D.C. : The National Council of Teachers of Mathematics. 1973.

Ashby, Sir Eric. **The Fourth Revolution Instructional Technology in Higher Education.** New York : McGraw – Hill, 1972.

Dayton, Deane K. and Jerrold, E. Kemp. **Planning and Producing Instructional Media.** 5th ed. New York : Harper and Row, 1985.

Duann. Jame E. **Individualized Instructional Program and Materials.** New Jersey : Educational Technology Publication, 1973.

Gronlund , Norman E. **Measurement and Evaluation in Teaching.** 3rd New York : Mcamillan Publishing Company, 1976.

Maslow, A. H. **Motivation and Personality.** New York: Harper and Row, 1970.

Person, W.A. and Homan, E.B. **The Effectivenss of Research Associations for Teaching Materials on Achievement and Classroom Performance of Selected Presservice Teachers.** Paper presented at the Annual Meeting of the Mid-South Educational Research Association. 1988.

ประวัติผู้รายงาน

ชื่อ-สกุล นางสาวอังคณา อัตถาพร

วัน เดือน ปีเกิด 28 ธันวาคม พ.ศ. 2518

ภูมิลำเนา ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีราชินูทิศ จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2533
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี พ.ศ. 2536
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สาขาวิชา อิเล็กฯ-เทคนิคคอมฯ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี พ.ศ. 2538
ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง	สาขาวิชา ไฟฟ้าสื่อสาร (รุ่นที่1) วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี พ.ศ. 2540
ประกาศนียบัตรบัณฑิต	ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย พ.ศ. 2553
ระดับปริญญาโท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2546 (โดยได้รับทุนการศึกษา รุ่นที่ 10 โครงการพัฒนาข้าราชการครู ของกรมอาชีวศึกษากับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2545)

ประวัติการทำงาน

บรรจุเข้ารับราชการ วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2541
พ.ศ. 2541-2544 ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 3
แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร
พ.ศ. 2544-2552 ตำแหน่ง ครู
แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคเลย
พ.ศ. 2553-2557 ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูชำนาญการ
แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
พ.ศ. 2557-2561 ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ
แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
พ.ศ. 2561-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูเชี่ยวชาญ
แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1