บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการสร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 2) หาคุณภาพชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 โดยได้ดำเนินการในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา วิเคราะห์เนื้อหารายวิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

3.1 การศึกษาจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา วิเคราะห์เนื้อหารายวิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107

3.1.1 จุดประสงค์รายวิชา

3.1.1.1 รู้ เข้าใจ หลักการ วงจรลอจิกต่าง ๆ

3.1.1.2 มีทักษะการหาคุณลักษณะของลอจิกเกตจากคู่มือของผู้ผลิต

3.1.1.3 มีทักษะการต่อวงจรและทดสอบวงจรลอจิกต่าง ๆ

3.1.1.4 มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความละเอียดรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาด ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และมีความรับผิดชอบ

3.1.2 สมรรถนะรายวิชา

3.1.2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้าง สัญลักษณ์และหลักการทำงานของอุปกรณ์วงจรดิจิตอล

3.1.2.2 หาคุณลักษณะของลอจิกเกตจากคู่มือของผู้ผลิตและวงจรลอจิก

3.1.2.3 ทดสอบวงจรลอจิก

3.1.3 คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับระบบเลขฐานและรหัส ฟังก์ชันลอจิก ตารางความจริง สัญลักษณ์ลอจิกเกต พีชคณิตบูลลีน แผนผังคาโนห์ คุณลักษณะของลอจิกเกตจากคู่มือของผู้ผลิตและวงจรลอจิกต่าง ๆ ต่อและทดสอบวงจรลอจิก วงจรคอมไบเนชั่น (Combination circuit) วงจรฟลิปฟลอป (Flip Flop) วงจรนับและแสดงผลเบื้องต้น

3.1.3.1 วิเคราะห์เนื้อหารายวิชา

จากคำอธิบายรายวิชา ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เนื้อหาประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 13 หน่วยเรียน ดังต่อไปนี้

หน่วยที่ 1 เรื่องระบบตัวเลข

หน่วยที่ 2 เรื่องการคำนวณเลขฐาน

หน่วยที่ 3 เรื่องรหัสในระบบดิจิตอล

หน่วยที่ 4 เรื่องลอจิกเกตและตารางความจริง

หน่วยที่ 5 เรื่องการเขียนสมการบูลีน วงจรลอจิก และตารางความจริง

หน่วยที่ 6 เรื่องพีชคณิตบูลีน

หน่วยที่ 7 เรื่องแผนผังคาร์โนห์

หน่วยที่ 8 เรื่องวงจรบวกเลขและลบเลขฐานสอง

หน่วยที่ 9 เรื่องวงจรเข้ารหัส วงจรถอดรหัส และการแสดงผล

หน่วยที่ 10 เรื่องระบบตัวเลข

หน่วยที่ 11 เรื่องสัญญาณพัลส์และสัญญาณนาฬิกา

หน่วยที่ 12 เรื่องฟลิปฟลอป

หน่วยที่ 13 เรื่องวงจรนับ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาที่นำมาทำการสร้างชุดสาธิตในครั้งนี้ ทั้งหมด 8 หน่วยเรียน ดังต่อไปนี้

หน่วยที่ 4 เรื่องลอจิกเกตและตารางความจริง

หน่วยที่ 5 เรื่องการเขียนสมการบูลีน วงจรลอจิก และตารางความจริง

หน่วยที่ 8 เรื่องวงจรบวกเลขและลบเลขฐานสอง

หน่วยที่ 9 เรื่องวงจรเข้ารหัส วงจรถอดรหัส และการแสดงผล

หน่วยที่ 10 เรื่องระบบตัวเลข

หน่วยที่ 11 เรื่องสัญญาณพัลส์และสัญญาณนาฬิกา

หน่วยที่ 12 เรื่องฟลิปฟลอป

หน่วยที่ 13 เรื่องวงจรนับ

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 ในปีการศึกษา 1/2560

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง (โปรแกรมเครื่องมือวัดและควบคุม) วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดิจิตอลเบื้องต้น ในปีการศึกษา 1/2560 จำนวน 14 คน โดยเลือกแบบเฉพาะเจาะจง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.3.1 ลักษณะของเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

3.3.1.1 ชุดสาธิตทั้งหมด 13 ชุด ดังนี้

1) ชุดสาธิตลอจิกเกตพื้นฐานจำนวน 6 ชุดสาธิต ประกอบด้วย

ก) ชุดสาธิตแนนด์เกต (NAND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7400

ข) ชุดสาธิตนอร์เกต (NOR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7402

ค) ชุดสาธิตน็อตเกต (NOT Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7404

ง) ชุดสาธิตแอนด์เกต (AND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7408

จ) ชุดสาธิตออร์เกต (OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7432

ฉ) ชุดสาธิตเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (Ex-OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7486

2) ชุดสาธิตวงจรบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิต

3) ชุดสาธิตวงจรลบเลขฐานสองขนาด 4 บิต

4) ชุดสาธิตวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

5) ชุดสาธิตวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

6) ชุดสาธิต เจเค ฟลิปฟลอป

7) ชุดสาธิตวงจรนับขึ้น นับลงขนาด 4 บิต

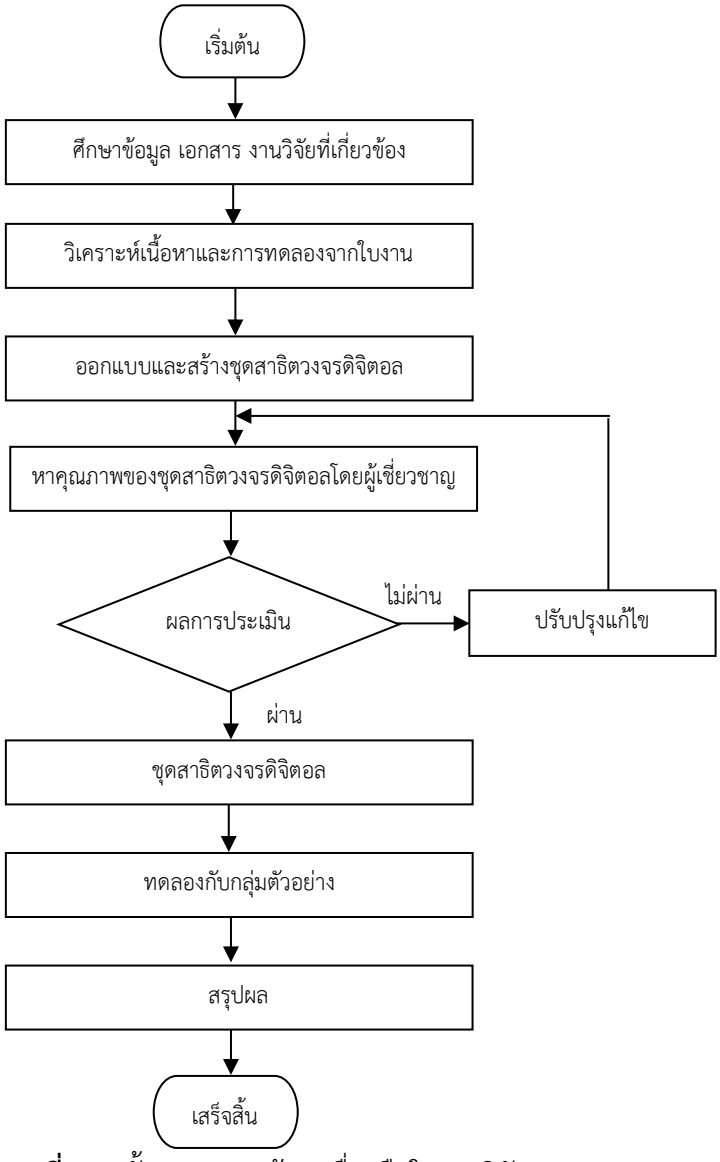
3.3.1.2 แบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 เพื่อหาคุณภาพของชุดสาธิต แบ่งออกเป็น 3 ด้านคือ 1) ประเมินคุณภาพด้านการ

ออกแบบและสร้างชุดสาธิต 2) ประเมินคุณภาพด้านความเร้าใจ/การดึงดูดความสนใจของผู้เรียน 3) ประเมินคุณภาพด้านการส่งเสริมความรู้และทักษะของผู้เรียน โดยกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก คือมีคะแนนอยู่ในคะแนนเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป

3.3.1.3 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยชุดสาธิต

3.3.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือในการวิจัย

3.3.2.1 ศึกษาข้อมูล เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดสาธิตเพื่อเป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน โดยนำเนื้อหารายวิชามาทำการวิเคราะห์และทำการออกแบบสร้างชุดสาธิตให้ตรงกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ โดยในการออกแบบและสร้างชุดสาธิตต้องคำนึงถึง ดังนี้

1) วัสดุอุปกรณ์สามารถจัดหาซื้อได้ง่าย
2) สามารถใช้งานได้สะดวก ง่ายต่อการทดลองและปลอดภัย
3) เหมาะสมกับผู้เรียน สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์
4) สร้างหรือเร้าความสนใจจากผู้เรียน อีกทั้งยังสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง
5) มีขนาดที่เหมาะสม
6) รูปแบบ สี ขนาดตัวอักษรที่ใช้ มีความเหมาะสม สามารถมองเห็นได้ชัดเจน

3.3.2.2 วิเคราะห์เนื้อหาและการทดลองจากใบงาน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เนื้อหาและการทดลองจากใบงาน โดยสรุปชุดสาธิตประกอบด้วยชุดสาธิตทั้งหมด 12 แผง ดังนี้

1) ชุดสาธิตลอจิกเกตพื้นฐานจำนวน 6 แผง ประกอบด้วย
   ก) ชุดสาธิตแนนด์เกต (NAND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7400
   ข) ชุดสาธิตนอร์เกต (NOR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7402
   ค) ชุดสาธิตน็อตเกต (NOT Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7404
   ง) ชุดสาธิตแอนด์เกต (AND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7408
   จ) ชุดสาธิตออร์เกต (OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7432
   ฉ) ชุดสาธิตเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (Ex-OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7486
2) ชุดสาธิตวงจรบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิต
3) ชุดสาธิตวงจรลบเลขฐานสองขนาด 4 บิต
4) ชุดสาธิตวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล
5) ชุดสาธิตวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
6) ชุดสาธิต JK ฟลิปฟลอป

7) ชุดสาธิตวงจรนับขึ้น นับลงขนาด 4 บิต

3.3.2.3 ออกแบบและสร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอล มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

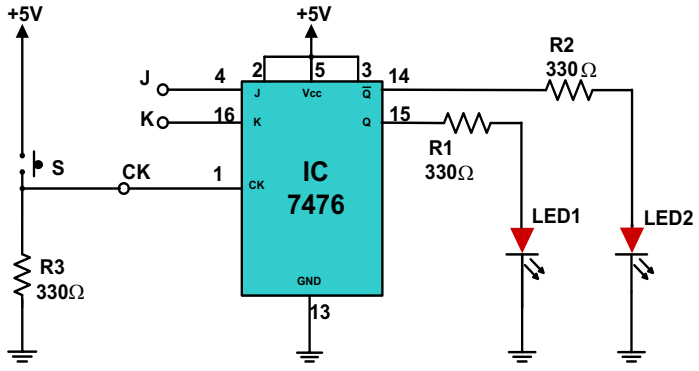
1) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาและการทดลองจากใบงานการทดลองแล้วสรุปประเด็นเนื้อหาทำกาสร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอล วิชาดิจิตอลเบื้องต้น รหัสวิชา 2104-2107 จำนวนทั้งสิ้น 12 ชุดสาธิต เพื่อเป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน โดยได้คำนึงถึงผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ในการจัดการเรียนการสอนด้านช่างอุตสาหกรรมซึ่งต้องกำหนดรูปแบบการเรียนการสอนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ภายใต้เนื้อหาเฉพาะทางให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติงาน สัมผัสกับเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงการเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติได้

2) ออกแบบชุดสาธิต โดยศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างชุดสาธิตเพื่อเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสม

ก) ออกแบบวงจร เพื่อนำไปประกอบกับชุดสาธิตวงจรดิจิตอลพื้นฐาน ประกอบด้วย 6 วงจร ดังนี้

a) วงจร เจเค ฟลิปฟลอป

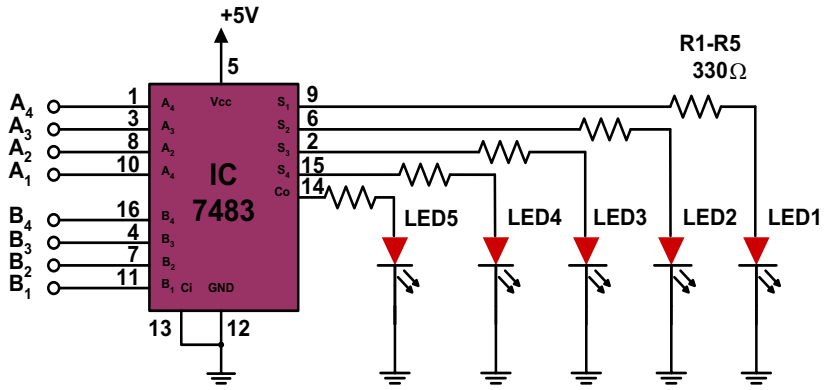
วงจร เจเค ฟลิปฟลอป เป็นฟลิปฟลอปชนิดหนึ่งที่มีสภาวะการทำงานที่แน่นอนในการควบคุมทำได้โดยการป้อนอินพุตที่ขา J และ K ซึ่ง เจเค ฟลิปฟลอปจะยังไม่ทำงานจนกว่าจะป้อนสัญญาณกระตุ้นที่ขา CK (Clock) ก่อน เจเค ฟลิปฟลอปจึงจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน ในการออกแบบใช้ไอซีเบอร์ 7476 ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การต่อวงจร เจเค ฟลิปฟลอป

b) วงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต

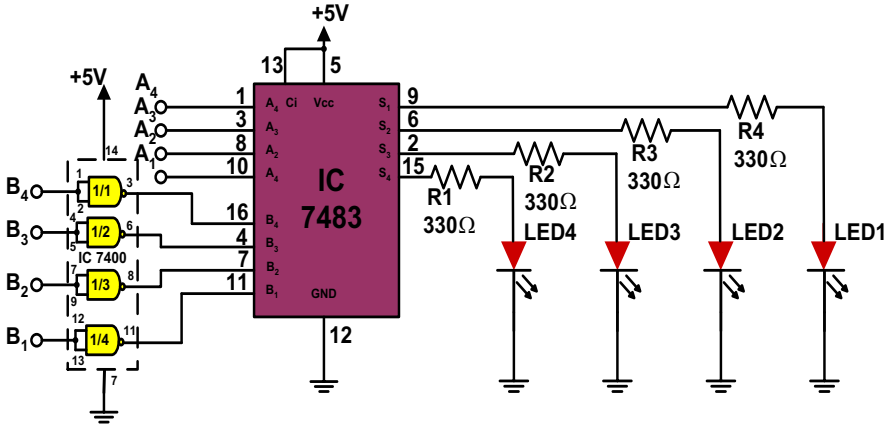
วงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต เป็นวงจรที่สามารถบวกเลขฐานขนาด 4 บิตได้ โดยใช้วงจรภายในของไอซีสำเร็จรูปแทนการต่อวงจรลอจิกเกต ใช้ไอซีเบอร์ 7483 ต่อใช้งานดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การต่อวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต

c) วงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต

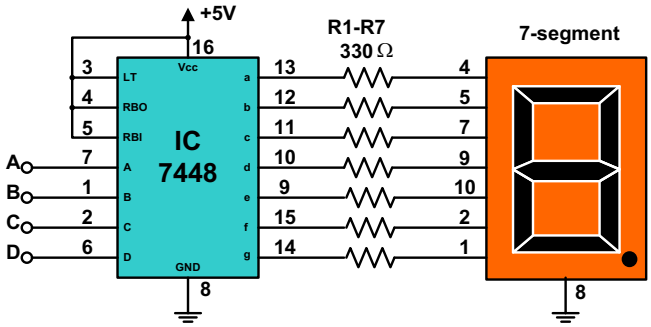
วงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต สามารถใช้รูปวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิตมาทำการแปลงวงจร จากวงจรบวกเป็นวงจรลบได้ โดยการที่ขาอินพุต $B_4B_3B_2B_1$ จะผ่านวงจรน็อตเกตเพื่อให้เกิดการทำ 1's Complement ขา Ci ของไอซีถูกป้อนสภาวะลอจิกให้เป็น 1 เพื่อทำให้เกิด 2 's Complement กับตัวลบ ใช้ไอซีเบอร์ 7483 และไอซีเบอร์ 7408 ต่อใช้งานดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การต่อวงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต

d) วงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

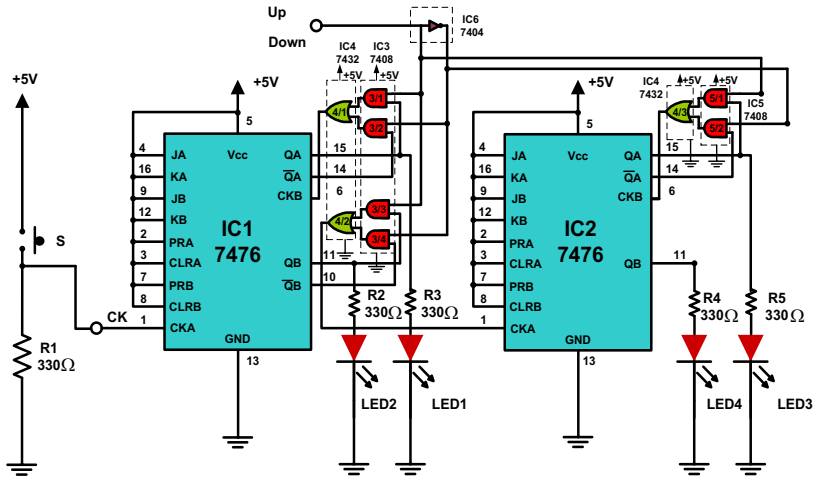
วงจรถอดรหัสเป็นวงจรที่แปลงรหัส BCD-8421 ไปเป็นรหัสเพื่อขับตัวเซเว่น-เซกเมนต์ ให้แสดงผลเป็นตัวเลขฐานสิบ 0-9 ใช้ไอซีเบอร์ 7448 และตัวเซเว่นเซกเมนต์แบบคอมมอนคาโถด ต่อใช้งานดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การต่อวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

e) วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต

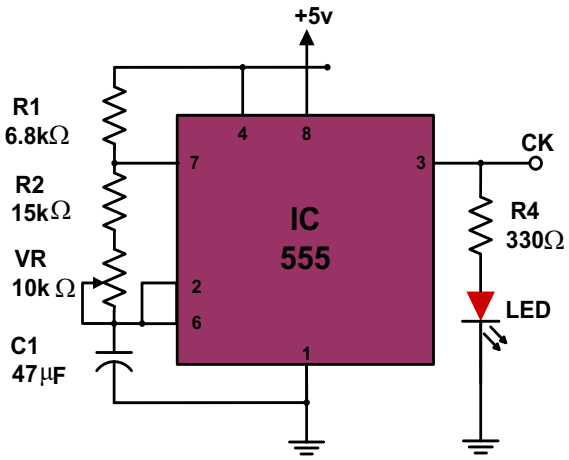
วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต เป็นวงจรนับเลขฐานสองขนาด 4 บิต ที่สามารถนับขึ้น-ลงได้ โดยการสร้างวงจรจะใช้ เจเค ฟลิปฟลอป เป็นตัวหลักในการสร้างวงจรนับ ในการสร้างวงจรจะต้องใช้วงจรลอจิกเกตต่างๆเข้ามาช่วย ใช้ไอซีเบอร์ 7476, 7432, 7408 และ 7404 ต่อใช้งานดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การต่อวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต

f) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

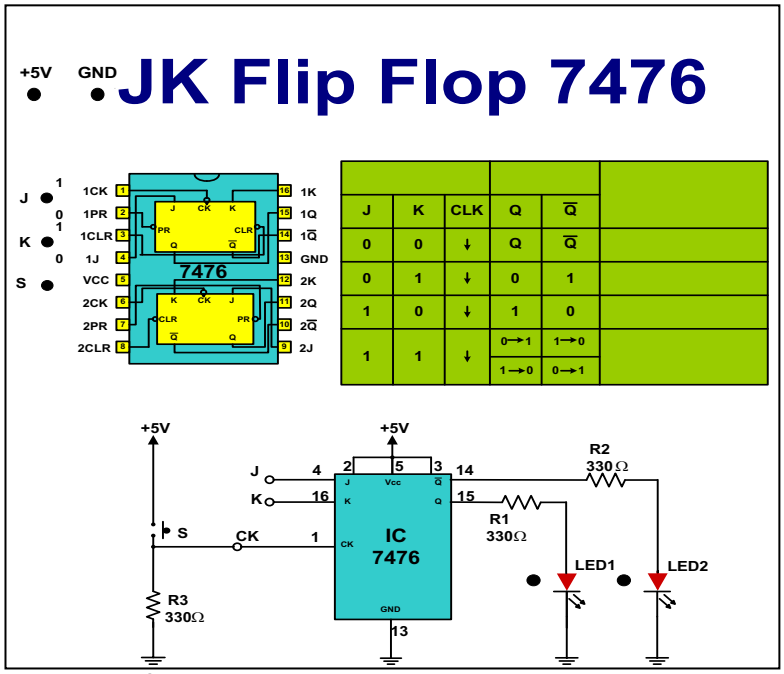
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณนาฬิกาที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิก 0-1 ไปเรื่อย ๆ บนช่วงเวลาที่กำหนด โดยใช้หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของวงจร ใช้ไอซีเบอร์ 555 เป็นตัวสร้างวงจร ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

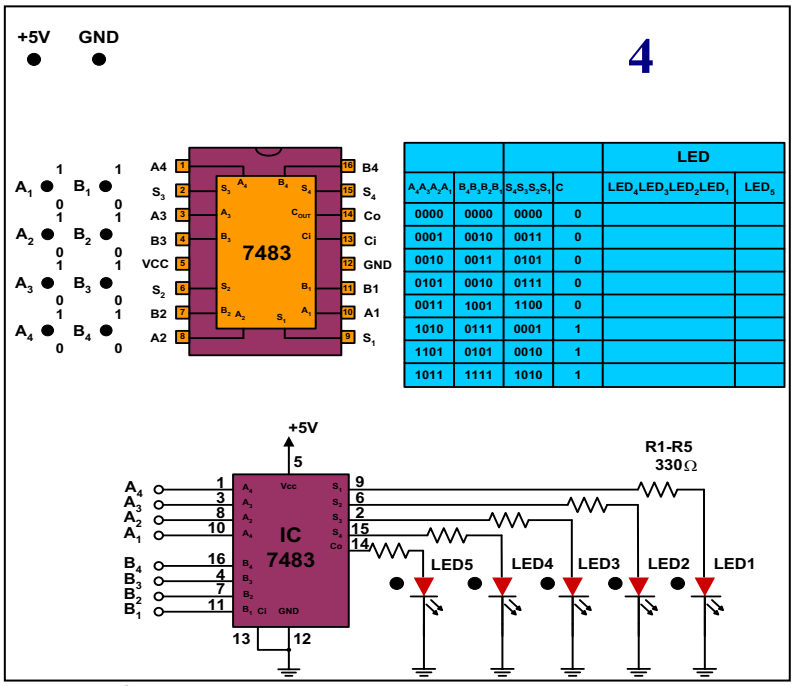
ข) การออกแบบชุดสาธิต

a) วงจร เจเค ฟลิปฟลอป



ภาพที่ 3.8 การออกแบบชุดสาธิตวงจร เจเค ฟลิปฟลอป

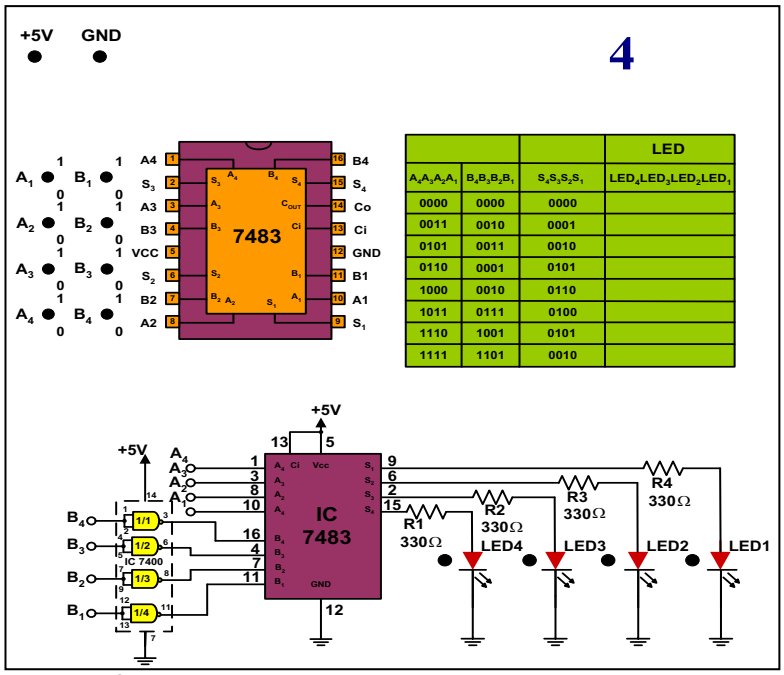
b) วงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต



				LED	
$A_4A_3A_2A_1$	$B_4B_3B_2B_1$	$S_4S_3S_2S_1$	C	$LED_4LED_3LED_2LED_1$	LED_5
0000	0000	0000	0		
0001	0010	0011	0		
0010	0011	0101	0		
0101	0010	0111	0		
0011	1001	1100	0		
1010	0111	0001	1		
1101	0101	0010	1		
1011	1111	1010	1		

ภาพที่ 3.9 การออกแบบชุดสาธิตวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต

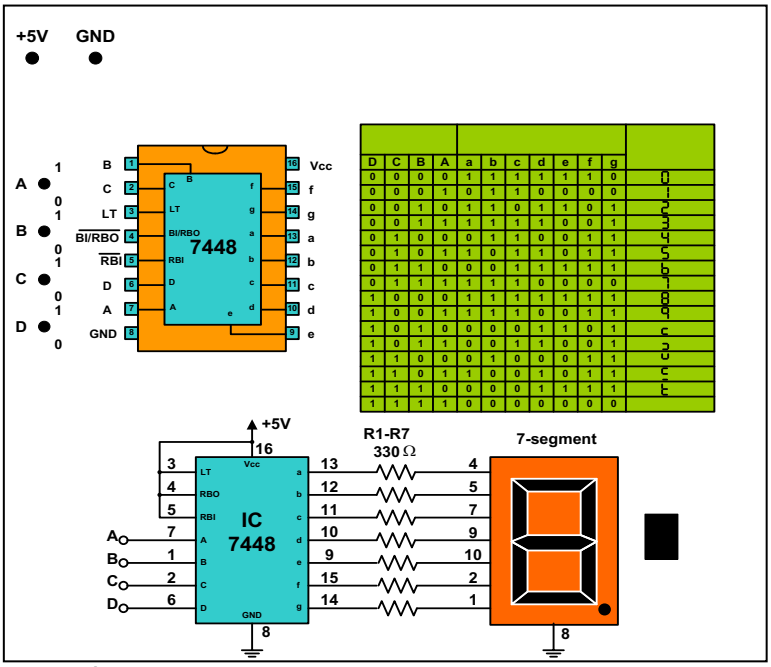
c) วงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต



			LED
$A_4A_3A_2A_1$	$B_4B_3B_2B_1$	$S_4S_3S_2S_1$	$LED_4LED_3LED_2LED_1$
0000	0000	0000	
0011	0010	0001	
0101	0011	0010	
0110	0001	0101	
1000	0010	0110	
1011	0111	0100	
1110	1001	0101	
1111	1101	0010	

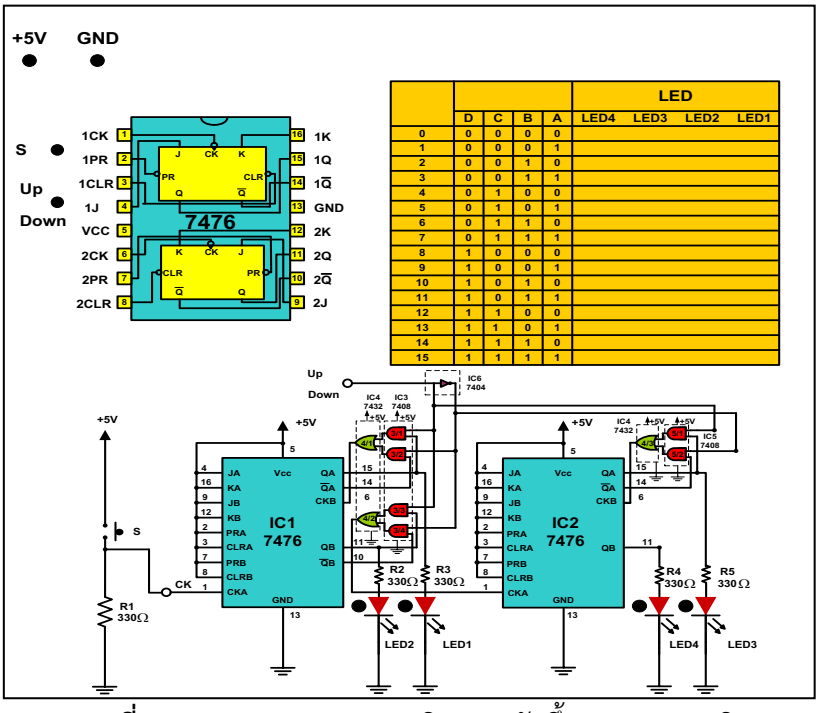
ภาพที่ 3.10 การออกแบบชุดสาธิตวงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต

d) วงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล



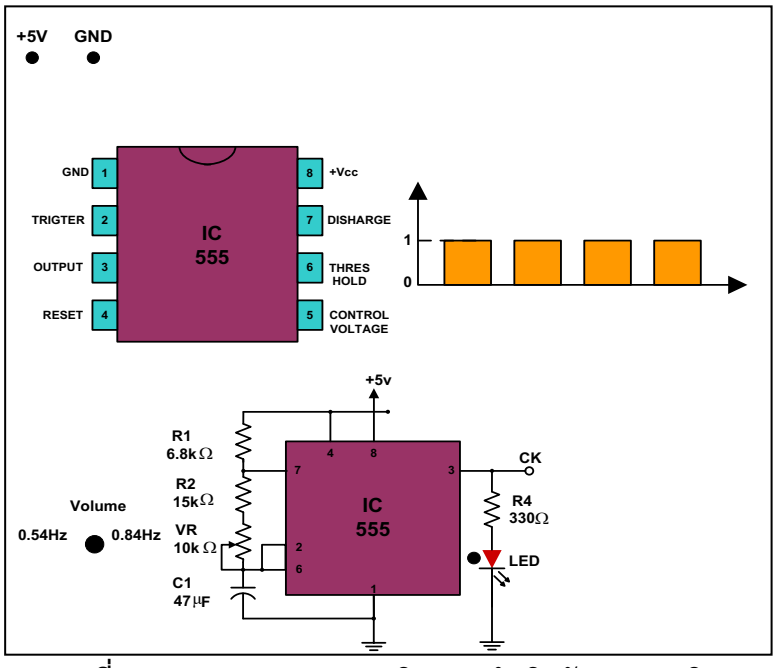
ภาพที่ 3.11 การออกแบบชุดสาธิตวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

e) วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต



ภาพที่ 3.12 การออกแบบชุดสาธิตวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต

f) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

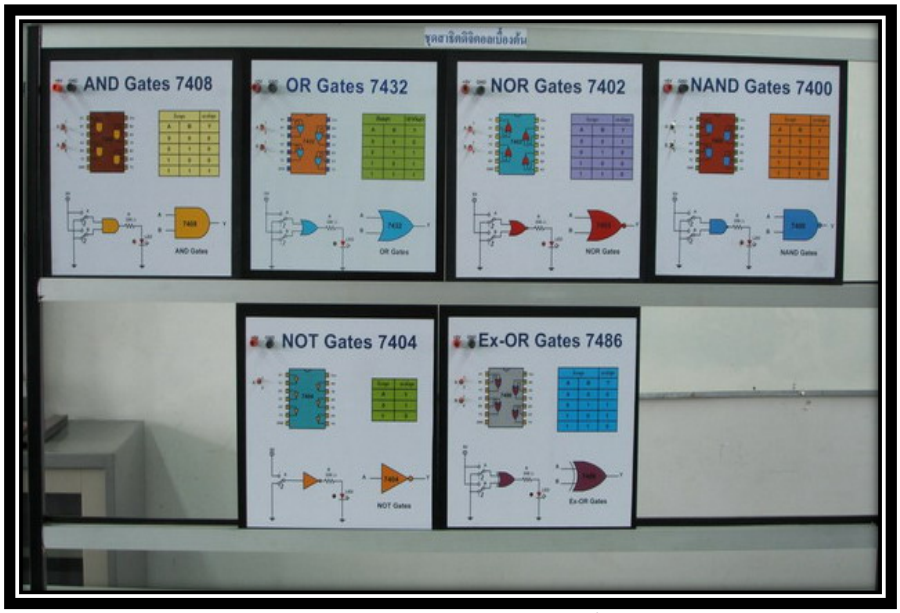


ภาพที่ 3.13 การออกแบบชุดสาธิตวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

3.3.2.4 สร้างชุดสาธิต

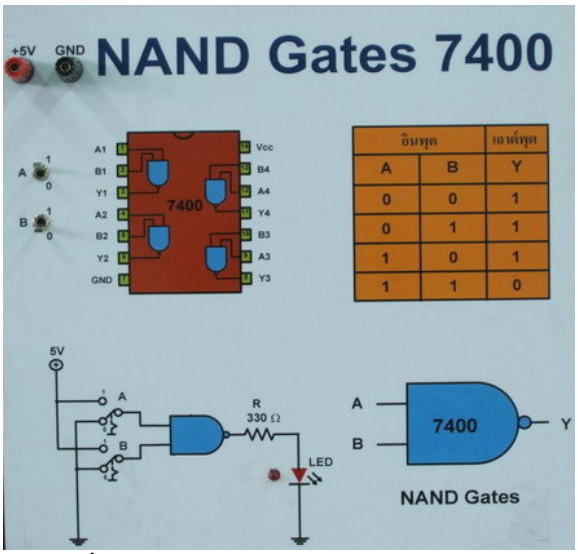
หลังจากผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวงจรชุดสาธิตที่ใช้เป็นวงจรที่จะทำงานร่วมกัน และออกแบบชุดสาธิตแล้ว ได้ทำการสร้างชุดสาธิตทั้งหมด 12 ชุดสาธิต ดังนี้

1) ชุดสาธิตลอจิกเกตพื้นฐานจำนวน 6 ชุดสาธิต ใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติใบงานที่ 1 ประกอบด้วย



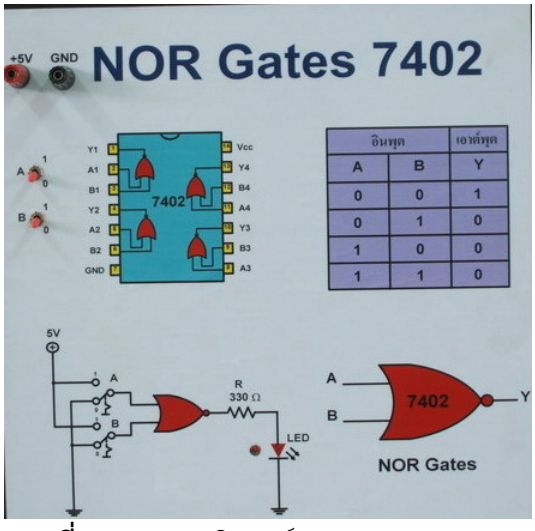
ภาพที่ 3.14 ชุดสาธิตลอจิกเกตพื้นฐาน

ก) ชุดสาธิตแนนด์เกต (NAND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7400



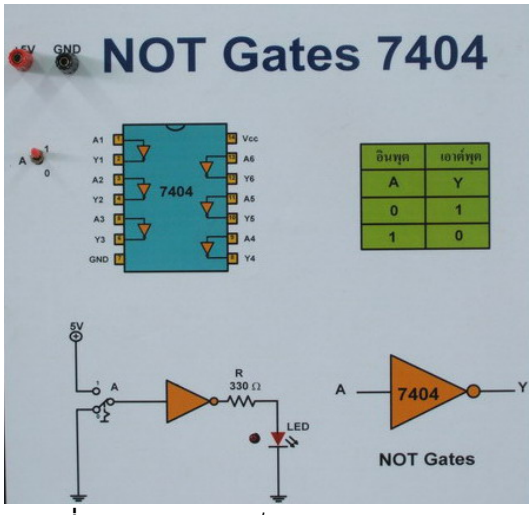
ภาพที่ 3.15 ชุดสาธิตแนนด์เกต (NAND Gates)

ข) ชุดสาธิตนอร์เกต (NOR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7402



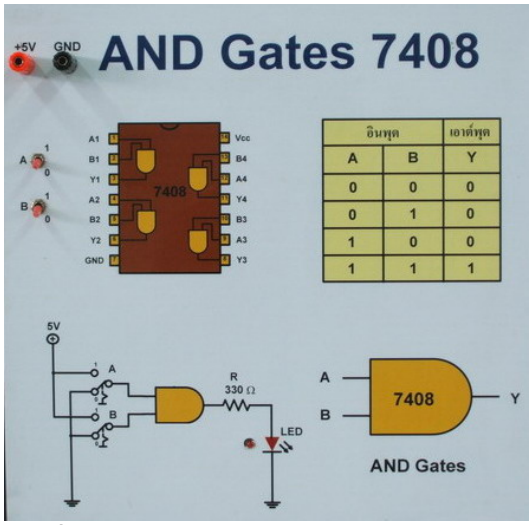
ภาพที่ 3.16 ชุดสาธิตนอร์เกต (NOR Gates)

ค) ชุดสาธิตน็อตเกต (NOT Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7404



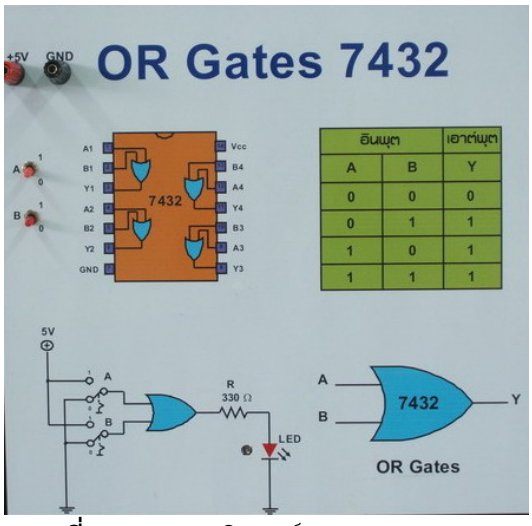
ภาพที่ 3.17 ชุดสาธิตน็อตเกต (NOT Gates)

ง) ชุดสาธิตแอนด์เกต (AND Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7408



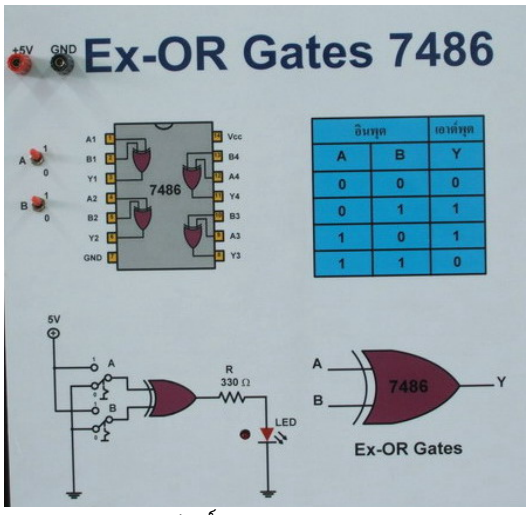
ภาพที่ 3.18 ชุดสาธิตแอนด์เกต (AND Gates)

จ) ชุดสาธิตออร์เกต (OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7432



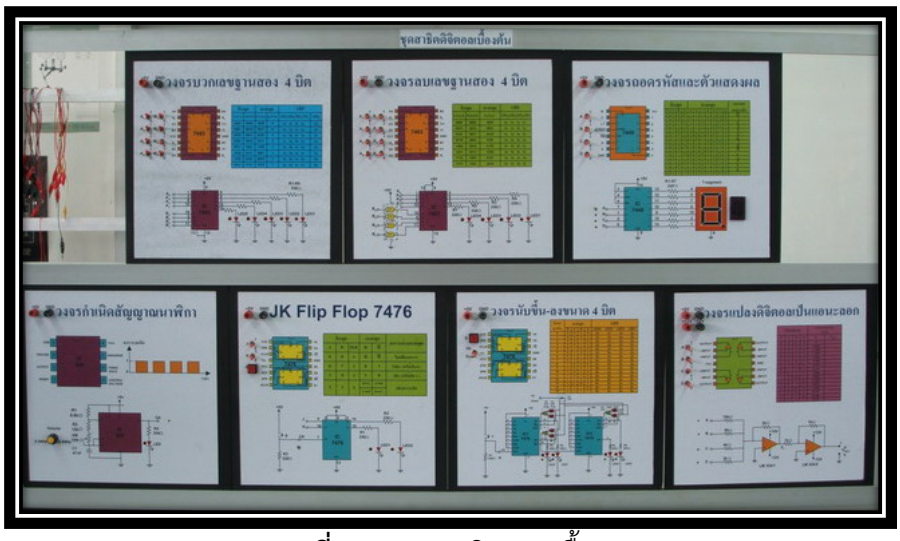
ภาพที่ 3.19 ชุดสาธิตออร์เกต (OR Gates)

ฉ) ชุดสาธิตเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (Ex-OR Gates) โดยใช้ IC TTL เบอร์ 7486



ภาพที่ 3.20 ชุดสาธิตเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (Ex-OR Gates)

2) ชุดสาธิตวงจรดิจิตอลพื้นฐานจำนวน 6 ชุดสาธิต ใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติใบงานที่ 6-12 ประกอบด้วย



ภาพที่ 3.21 ชุดสาธิตวงจรพื้นฐาน

ก) ชุดสาธิตวงจรบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิต

ใช้ IC วงจรรวมเบอร์ 7483 เพื่อสร้างเป็นชุดสาธิตการบวกเลขฐานสอง เพื่อใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติในใบงานที่ 6 เรื่อง วงจรบวกและลบเลขฐานสอง โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

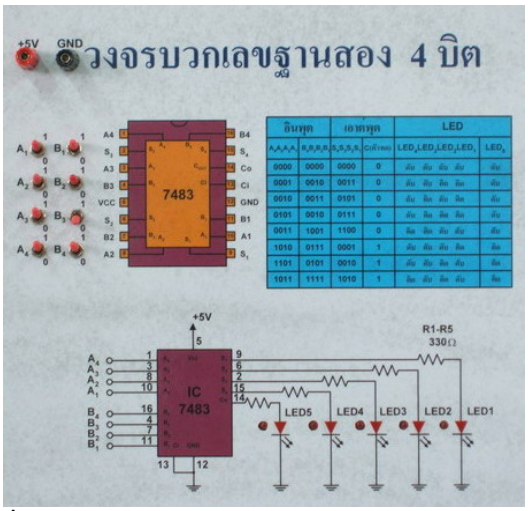
c) สวิทช์เปลี่ยนแปลงสภาวะอินพุตเพื่อกำหนดรูปแบบการบวกเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต ประกอบด้วยอินพุตตัวตั้ง A_1-A_4 จำนวน 4 อินพุต และอินพุตตัวบวก B_1-B_4 จำนวน 4 อินพุตจำลองสภาวะการบวกเลข

d) LED แสดงสภาวะเอาต์พุตการบวก 4 บิตโดยใช้ LED จำนวน 4 ดวงเพื่อแสดงผลการบวกและใช้ LED จำนวน 1 ดวงแสดงผลตัวทดที่เกิดขึ้นจากการบวก

e) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

f) ตารางสาธิตการทำงาน (Truth Table)

g) รูปการต่อวงจรใช้งาน



ภาพที่ 3.22 ชุดสาธิตวงจรบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิต

ข) ชุดสาธิตวงจรลบเลขฐานสองขนาด 4 บิต

ใช้ IC วงจรรวมเบอร์ 7483 เพื่อสร้างเป็นวงจรลบเลขแบบ 1’s Complement ร่วมกับ IC เบอร์ 7400 (NAND Gate) ที่ต่อเป็น NOT Gate เพื่อใช้ประกอบการฝึก

ปฏิบัติในใบงานที่ 4 เรื่องการประยุกต์ใช้แนนด์เกตและนอร์เกต และใบงานที่ 6 เรื่องวงจรบวกและลบเลขฐานสองประกอบด้วย

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

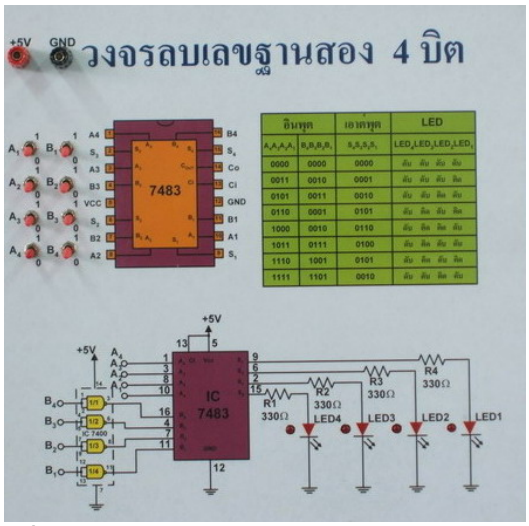
c) สวิทช์เปลี่ยนแปลงสภาวะอินพุตเพื่อกำหนดรูปแบบการลบเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิตโดยการสาธิตการลบเลขแบบ 1’S Complement

d) LED แสดงผลสภาวะเอาต์พุตการลบ 4 บิตโดยใช้ LED จำนวน 4 ดวงแสดงผลการลบ

e) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

f) ตารางสาธิตการทำงาน (Truth Table)

g) รูปการต่อวงจรใช้งาน



ภาพที่ 3.23 ชุดสาธิตวงจรลบเลขฐานสองขนาด 4 บิต

ค) ชุดสาธิตวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

ใช้ IC วงจรรวมเบอร์ 7448 เพื่อทำการถอดรหัสต่อร่วมกับตัวแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วนแบบ Common Cathode เพื่อใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติในใบงานที่ 7 เรื่องวงจรเข้ารหัส วงจรถอดรหัส และการแสดงผล ประกอบด้วย

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

c) ขั้วเสียบสายแบบ Pin Role ใช้เชื่อมต่อกันในการประกอบแผงสาธิตแต่ละแผงเข้าด้วยกัน

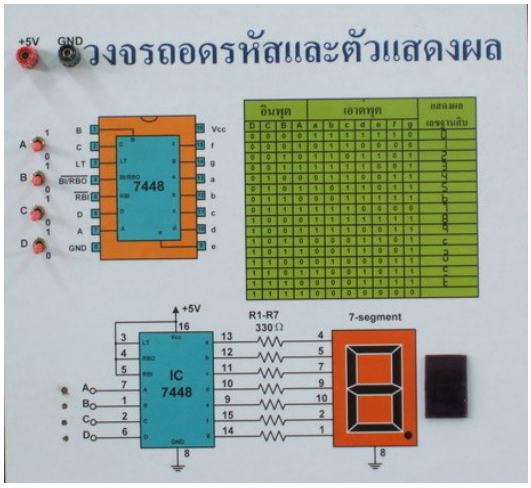
d) สวิทช์เปลี่ยนแปลงสภาวะอินพุตเพื่อรับข้อมูลอินพุตในรูปแบบรหัสแบบ BCD 8421 จำนวน 4 อินพุต

e) ตัวเลข 7 ส่วน (Seven Segment) Common Cathode

f) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

g) ตารางสาธิตการทำงาน (Truth Table)

h) รูปการณ์ต่อวงจรใช้งาน



ภาพที่ 3.24 ชุดสาธิตวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

ง) ชุดสาธิตวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

โดยใช้ IC เบอร์ 555 นำมาใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติตามใบงานที่ 9 เรื่องสัญญาณพัลส์และสัญญาณนาฬิกาประกอบด้วย

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

c) ขั้วเสียบสายแบบ Pin Role ใช้เชื่อมต่อกันในการประกอบแผงสาธิตแต่ละแผงเข้าด้วยกัน

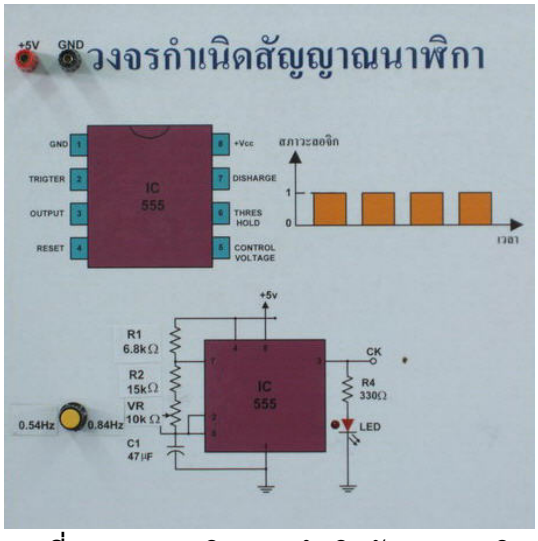
d) ปุ่มปรับความถี่

e) LED แสดงสภาวะความถี่ของเอาต์พุต

f) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

g) รูปการต่อวงจรใช้งาน

h) สัญลักษณ์ของลอจิกเกต



ภาพที่ 3.25 ชุดสาธิตวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

จ) ชุดสาธิต เจเค ฟลิปฟลอป

โดยใช้ IC เบอร์ 7476 นำมาใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติตามใบงานที่ 10 เรื่องฟลิบฟลอป ประกอบด้วย

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

c) สวิทช์แบบโยกเพื่อกำหนดสภาวะอินพุต J และ K

d) สวิทช์แบบปุ่มกดเพื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา

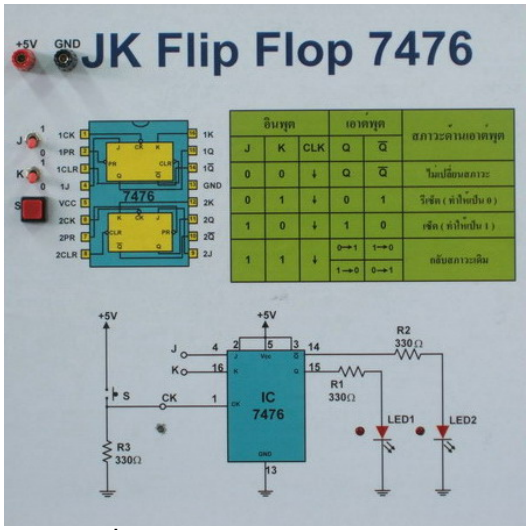
e) LED จำนวน 2 ดวงเพื่อแสดงสภาวะเอาต์พุต Q และ $\bar{Q}$

f) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

g) ตารางความจริง (Truth Table)

h) รูปการต่อวงจรใช้งาน

i) สัญลักษณ์ของ เจเค ฟลิปฟลอบ



ภาพที่ 3.26 ชุดสาธิต เจเค ฟลิปฟลอป

ฉ) ชุดสาธิตวงจรนับขึ้น นับลงขนาด 4 บิต

โดยใช้ IC เบอร์ 7476 นำมาใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติตามใบงานที่ 11 เรื่องวงจรนับแบบ Asynchronous และ Synchronous ประกอบด้วย

a) ชื่อแผงสาธิต

b) ขั้วต่อแจ็คแบบเสียบขนาด 4 mm. เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟ +5V และ GND

c) ขั้วเสียบสายแบบ Pin Role ใช้เชื่อมต่อกันในการประกอบแผงสาธิตแต่ละแผงเข้าด้วยกัน

d) สวิทช์แบบโยกเพื่อเลือกรูปแบบการนับขึ้น หรือนับลง

e) สวิทช์แบบปุ่มกดเพื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา

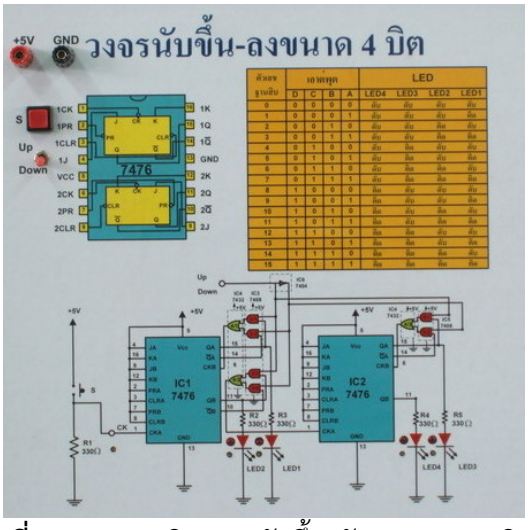
f) LED จำนวน 4 ดวงเพื่อแสดงสภาวะเอาต์พุตการนับเลขฐานสองแบบ BCD 8421

g) ตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ IC (Connection Diagram)

h) ตารางความจริง (Truth Table)

i) รูปการต่อวงจรใช้งาน

j) สัญลักษณ์ของ JK ฟลิปฟลอบ

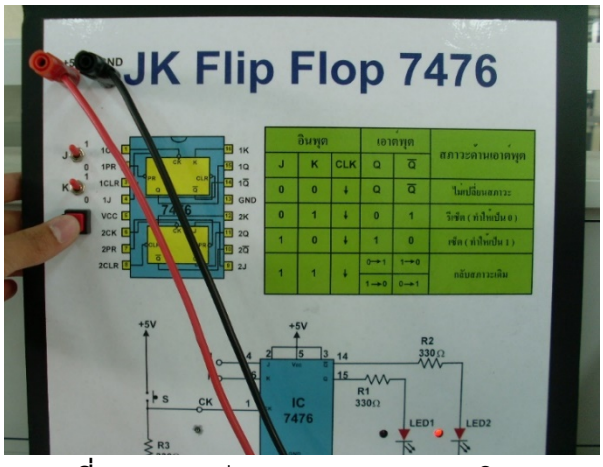


ภาพที่ 3.27 ชุดสาธิตวงจรนับขึ้น นับลงขนาด 4 บิต

3.3.2.5 หาประสิทธิภาพชุดสาธิตวงจรดิจิตอล

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดสาธิตวงจรดิจิตอลเสร็จแล้ว ได้ทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดทดลอง โดยได้ปฏิบัติการทดสอบ ดังนี้

1) การทดสอบวงจร เจเค ฟลิปฟลอป เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่ขา J และ K ให้กับวงจร เจเค ฟลิปฟลอป จ่ายไฟ -15 V และ GND ที่แผงวงจร ตัววงจรจะยังไม่ทำงาน จนกว่าจะทำการป้อนสัญญาณกระตุ้นโดยการกดสวิตช์ S ดังภาพที่ 3.28 วงจร เจเค ฟลิปฟลอป ทำงานเป็นไปตามตารางความจริงดังตารางที่ 3.1

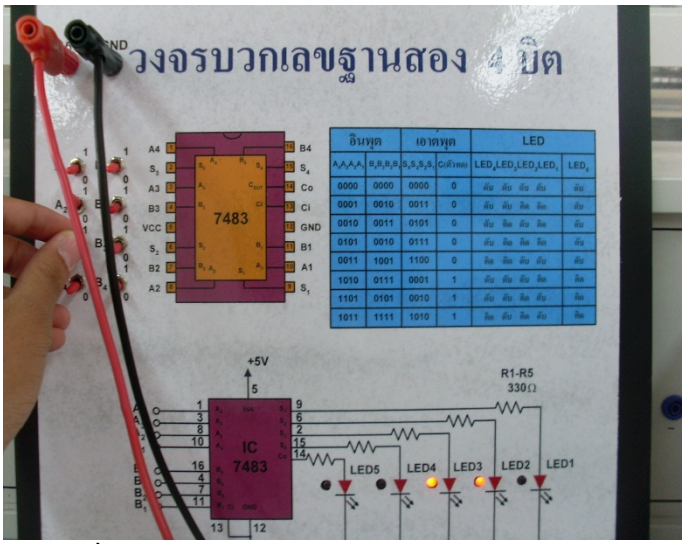


ภาพที่ 3.28 การต่อทดสอบวงจร เจเค ฟลิปฟลอป

ตารางที่ 3.1 ตารางความจริงวงจร เจเค ฟลิปฟลอป

J	K	CLK	Q	$\overline{Q}$	
0	0	↓	Q	$\overline{Q}$	
0	1	↓	0	1	
1	0	↓	1	0	
1	1	↓	0→1	1→0	
			1→0	0→1	

2) การทดสอบวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต เป็นวงจรที่สามารถบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิตได้ โดยใช้หลักการบวกเลขฐานสองทั่วไป มีตัวตั้งคือขา $A_4A_3A_2A_1$ มีตัวบวกคือขา $B_4B_3B_2B_1$ มีผลลัพท์คือขา $S_4S_3S_2S_1$ และมีตัวทดคือขา C_0 ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.29 วงจรทำงานเป็นไปตามตารางความจริงดังตารางที่ 3.2

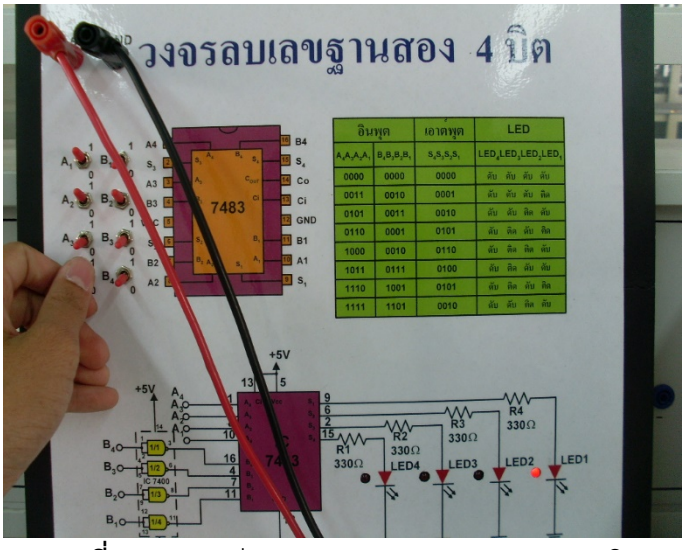


ภาพที่ 3.29 การต่อทดสอบวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต

ตารางที่ 3.2 ตารางความจริงวงจรบวกเลขฐานสอง 4 บิต

				LED	
$A_4A_3A_2A_1$	$B_4B_3B_2B_1$	$S_4S_3S_2S_1$	C	$LED_4LED_3LED_2LED_1$	LED_5
0000	0000	0000	0		
0001	0010	0011	0		
0010	0011	0101	0		
0101	0010	0111	0		
0011	1001	1100	0		
1010	0111	0001	1		
1101	0101	0010	1		
1011	1111	1010	1		

3) การทดสอบวงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต เป็นวงจรที่สามารถลบเลขฐานสองขนาด 4 บิตได้ โดยใช้หลักการ 2 ’s Complement มาทำการลบเลขฐานสอง มีตัวตั้งคือขา $A_4A_3A_2A_1$ มีตัวลบคือขา $B_4B_3B_2B_1$ มีผลลัพท์คือขา $S_4S_3S_2S_1$ แต่ไม่มีมีตัวทด ต่อทดสอบดังรูปที่ 3.30 วงจรทำงานเป็นไปตามตารางความจริงดังตารางที่ 3.3

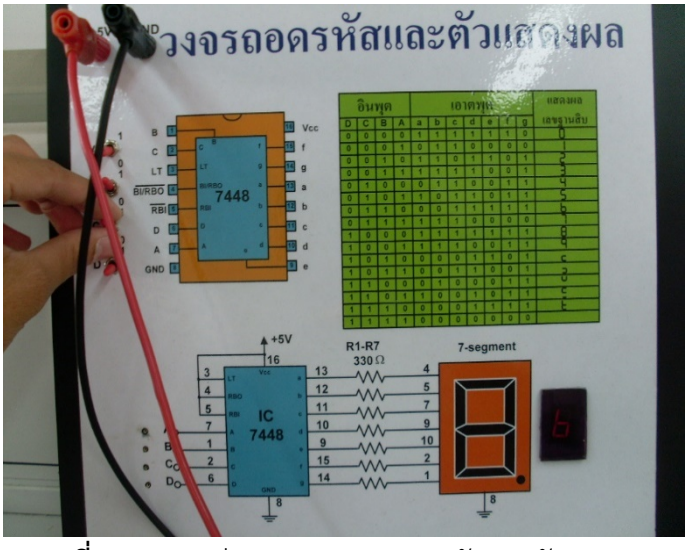


ภาพที่ 3.30 การต่อทดสอบวงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต

ตารางที่ 3.3 ตารางความจริงวงจรลบเลขฐานสอง 4 บิต

			LED
$A_4A_3A_2A_1$	$B_4B_3B_2B_1$	$S_4S_3S_2S_1$	$LED_4LED_3LED_2LED_1$
0000	0000	0000	
0011	0010	0001	
0101	0011	0010	
0110	0001	0101	
1000	0010	0110	
1011	0111	0100	
1110	1001	0101	
1111	1101	0010	

4) การทดสอบวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล เป็นวงจรที่สามารถถอดรหัส BCD-8421 ให้แสดงผลเป็นตัวเลข 0-9 ได้ โดยใช้ตัวเซเว่นเซกเมนต์เป็นตัวแสดงผล ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.31 วงจรถอดรหัสสามารถถอดรหัสและแสดงผลเป็นตัวเลขตามตารางความจริงดังภาพที่ 3.4

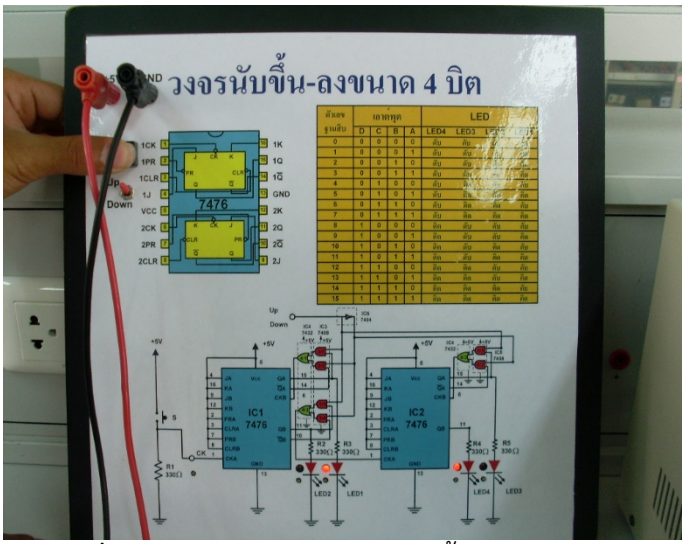


ภาพที่ 3.31 การต่อทดสอบวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

ตารางที่ 3.4 ตารางความจริงวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผล

D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	10
1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	11
1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	12
1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	13
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	14
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15

5) การต่อทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่สวิตช์ S วงจรจะทำการนับขึ้นทีละหนึ่ง ถ้ากดสวิตช์ S ค้างวงจรจะทำการนับอย่างต่อเนื่อง สามารถให้นับขึ้นและลงได้โดยการโยกสวิตช์ Up-Down ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.32 ผลจากการทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต สามารถนับเลขได้ตามตารางความจริงดังตารางที่ 3.5

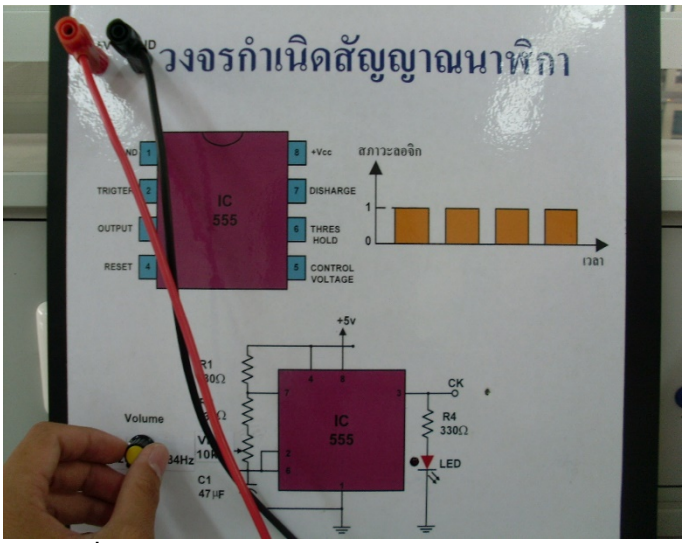


ภาพที่ 3.32 การต่อทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต

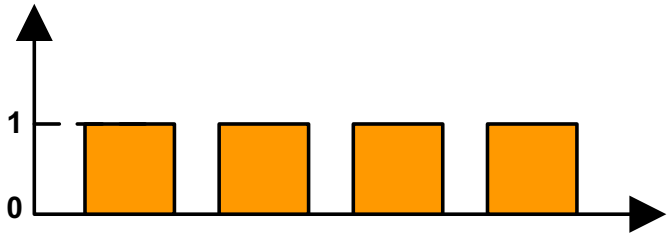
ตารางที่ 3.5 ตารางความจริงวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต

					LED			
	D	C	B	A	LED4	LED3	LED2	LED1
0	0	0	0	0				
1	0	0	0	1				
2	0	0	1	0				
3	0	0	1	1				
4	0	1	0	0				
5	0	1	0	1				
6	0	1	1	0				
7	0	1	1	1				
8	1	0	0	0				
9	1	0	0	1				
10	1	0	1	0				
11	1	0	1	1				
12	1	1	0	0				
13	1	1	0	1				
14	1	1	1	0				
15	1	1	1	1				

6) การทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เมื่อป้อนแรงดันให้กับวงจร หลอด LED จะกระพริบเป็นจังหวะสัญญาณที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นจังหวะ(0, 1) นี้เรียกว่า “สัญญาณนาฬิกา” หากต้องการให้หลอด LED กระพริบไวขึ้น สามารถปรับความถี่ที่ตัว Volume เพื่อเพิ่มย่านความถี่ให้สูงขึ้น ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.33 และสภาวะการทำงานดังภาพที่ 3.34

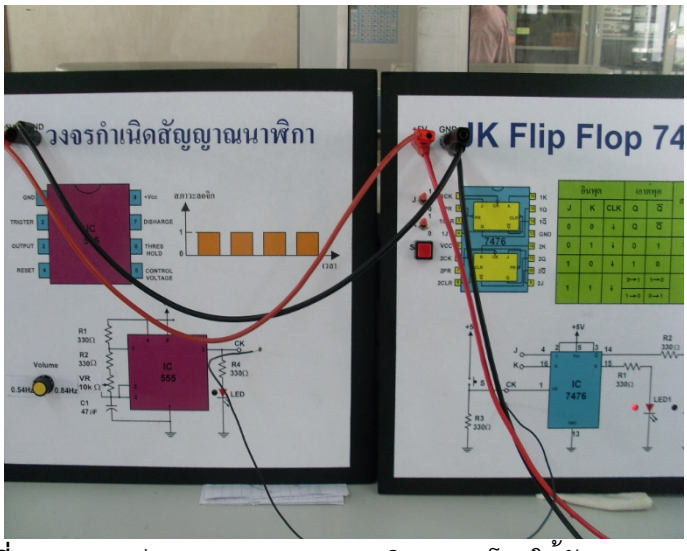


ภาพที่ 3.33 การต่อทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

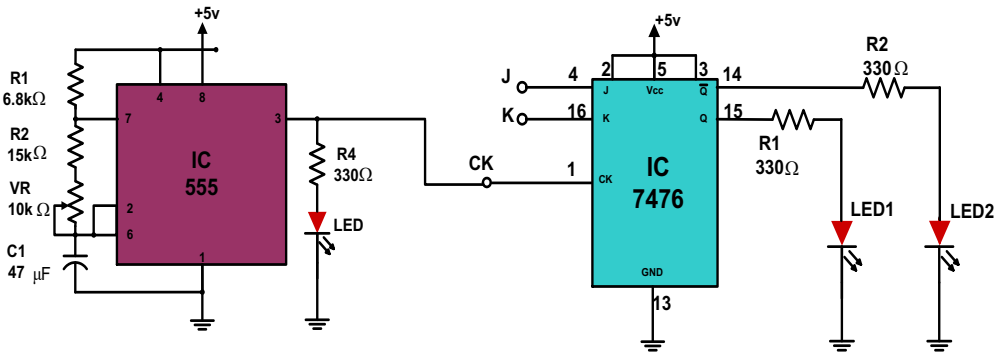


ภาพที่ 3.34 สภาวะการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

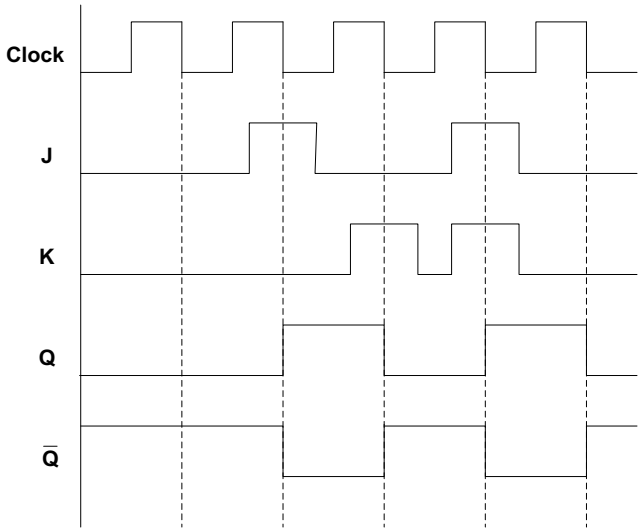
7) วงจร เจเค ฟลิปฟลอปโดยใช้สัญญาณนาฬิกา ในการทดสอบสามารถนำเอาวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกามาทำการป้อนสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานของวงจร เจเค ฟลิปฟลอปได้โดยใช้จุดต่อ Pin Role เชื่อมแผงสาธิตเข้าด้วยกัน ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.35 แสดงการต่อรูปวงจรดังภาพที่ 3.36 และไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรดังภาพที่ 3.37



ภาพที่ 3.35 การต่อทดสอบวงจรเจเค ฟลิปฟลอปโดยใช้สัญญาณนาฬิกา

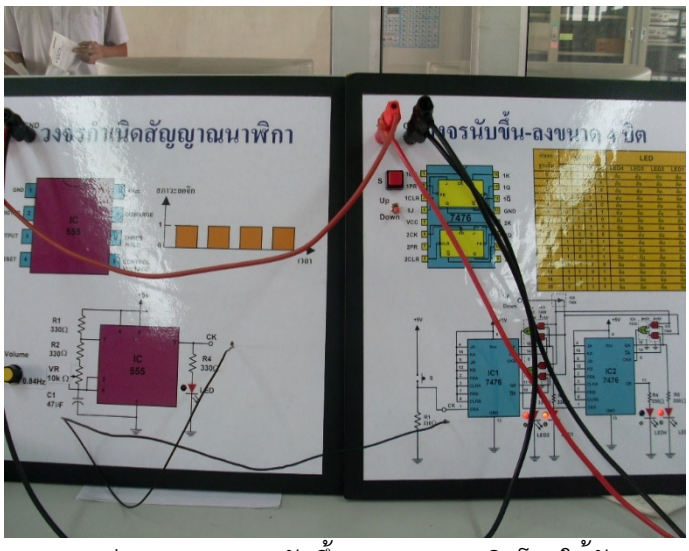


ภาพที่ 3.36 รูปวงจร เจเค ฟลิปฟลอปโดยใช้สัญญาณนาฬิกา

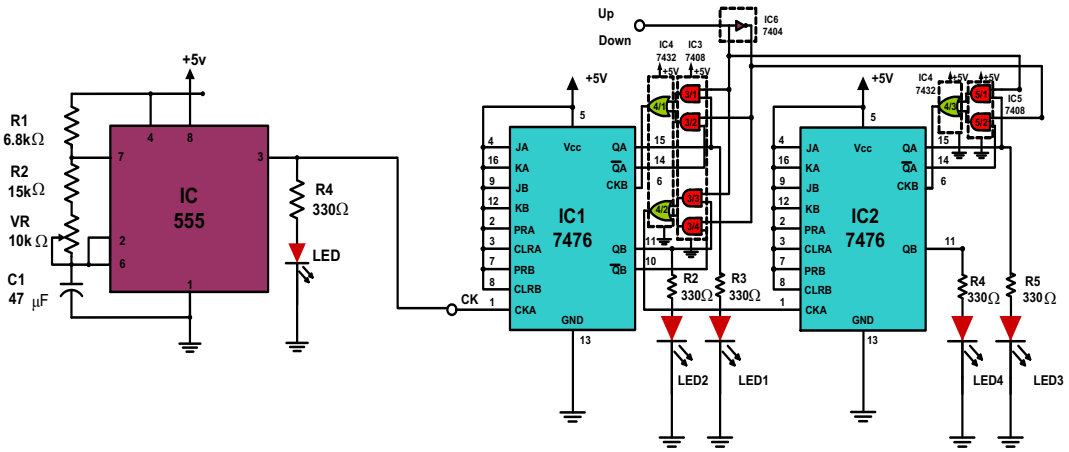


ภาพที่ 3.37 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร เจเค ฟลิปฟลอปโดยใช้สัญญาณนาฬิกา

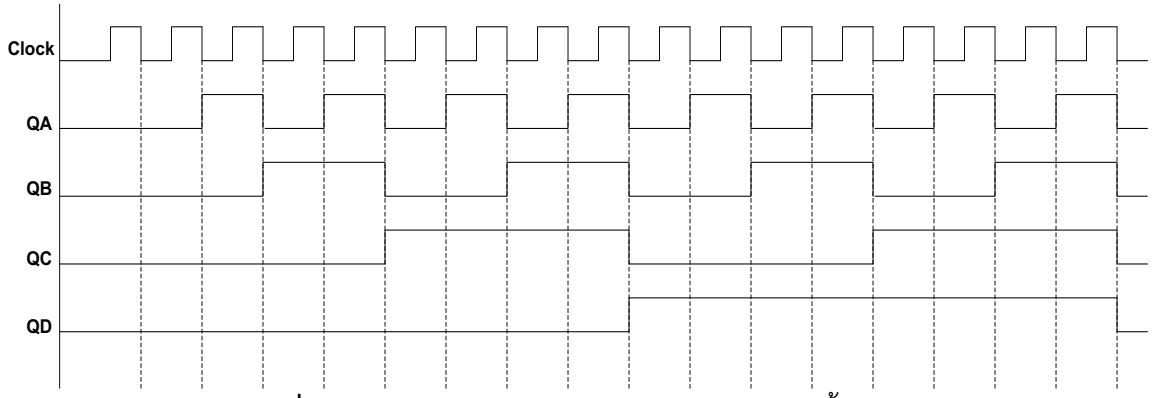
8) วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิตโดยใช้สัญญาณนาฬิกา ในการทดสอบสามารถนำเอาวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกามาทำการป้อนสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานของวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิตได้ โดยใช้จุดต่อ Pin Role ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.38 แสดงการต่อรูปวงจรดังภาพที่ 3.39 และไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรดังภาพที่ 3.40 และ 3.41



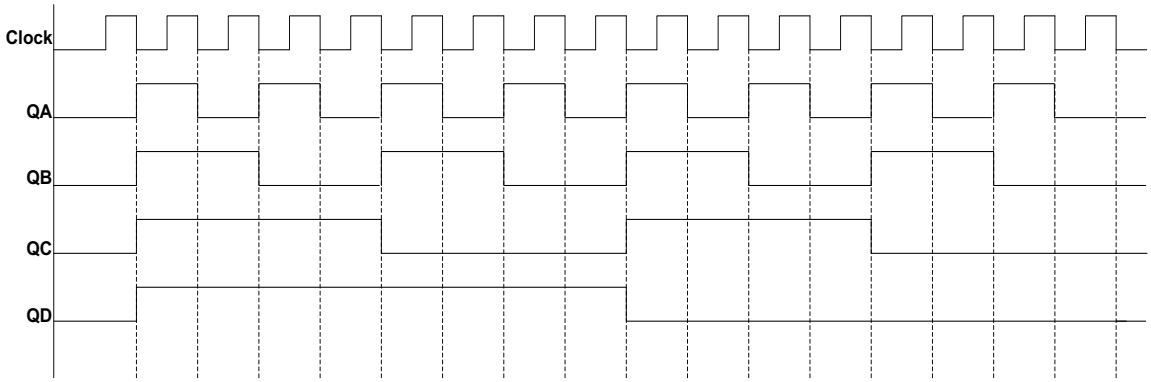
ภาพที่ 3.38 การต่อทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิตโดยใช้สัญญาณนาฬิกา



ภาพที่ 3.39 รูปวงจรวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิตโดยใช้สัญญาณนาฬิกา

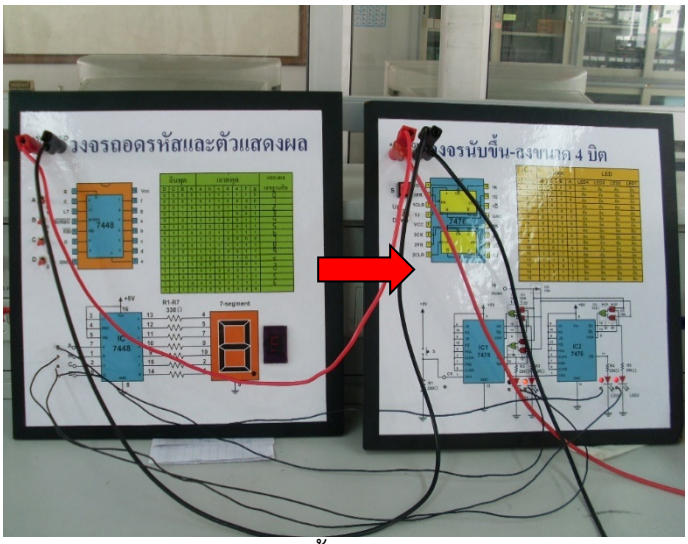


ภาพที่ 3.40 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับขึ้น

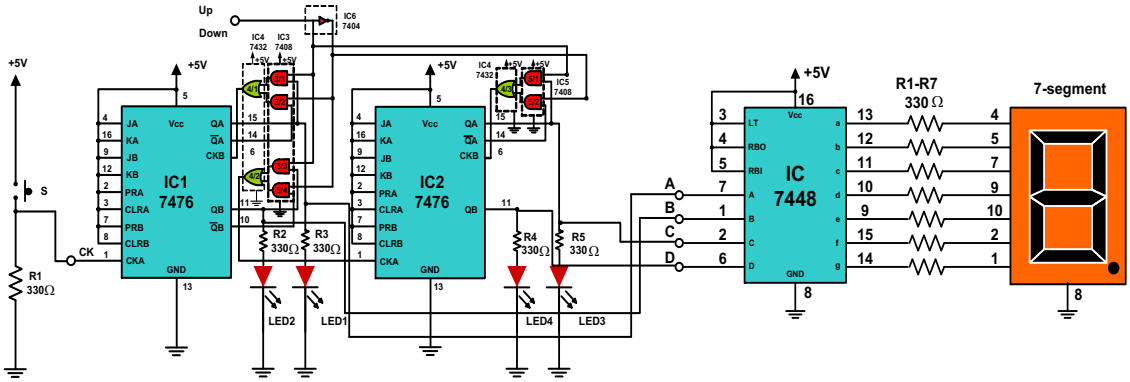


ภาพที่ 3.41 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับลง

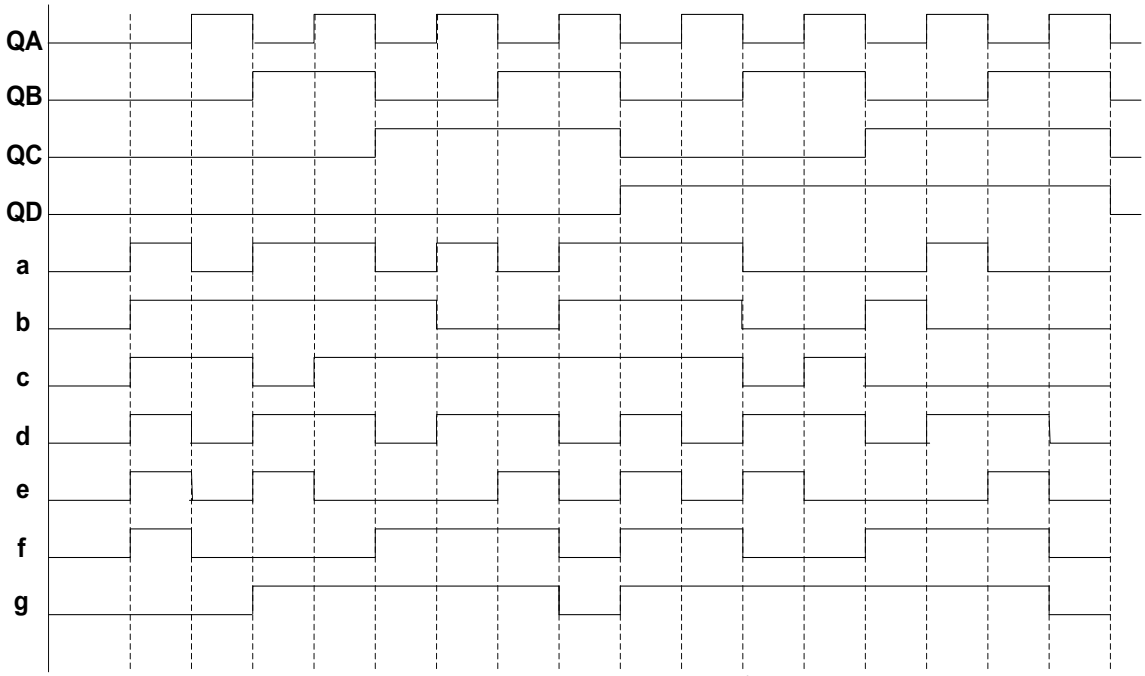
9) วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ ในการทดสอบสามารถนำเอาวงจรถอดรหัสและตัวแสดงผลมาประกอบเข้ากับวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต เพื่อแสดงผลการนับจากเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบ ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.42 แสดงการต่อรูปวงจรดังภาพที่ 3.43 และไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรดังภาพที่ 3.44 และ 3.45



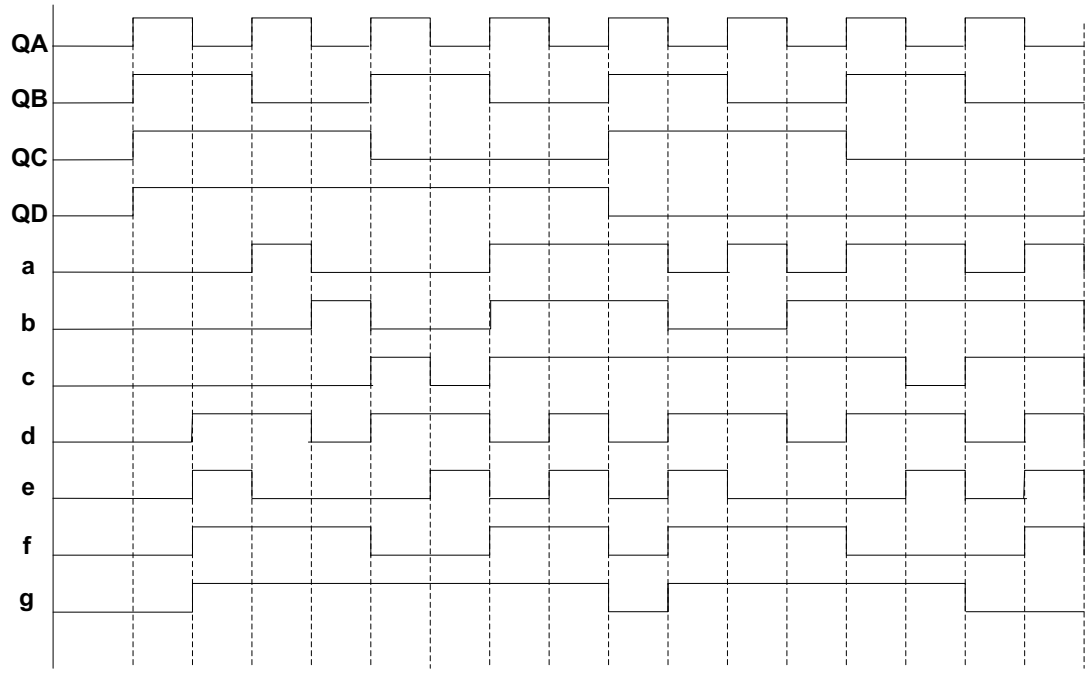
ภาพที่ 3.42 การต่อทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ



ภาพที่ 3.43 รูปวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ

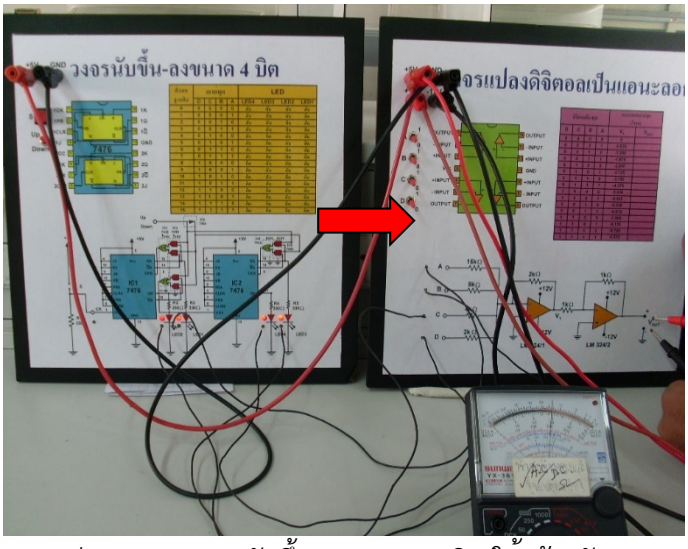


ภาพที่ 3.44 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับขึ้นและตัวแสดงผล

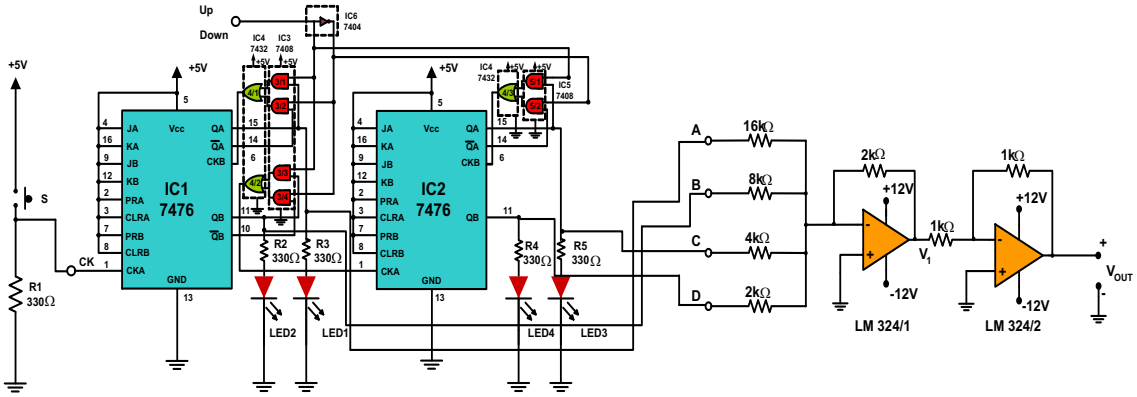


ภาพที่ 3.45 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับลงและตัวแสดงผล

10) การวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิตสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ในการทดสอบสามารถนำเอาวงจรแปลงดิจิตอลเป็นแอนะลอกมาประกอบเข้ากับวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต เพื่อสร้างสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.46 แสดงการต่อรูปวงจรดังภาพที่ 3.47

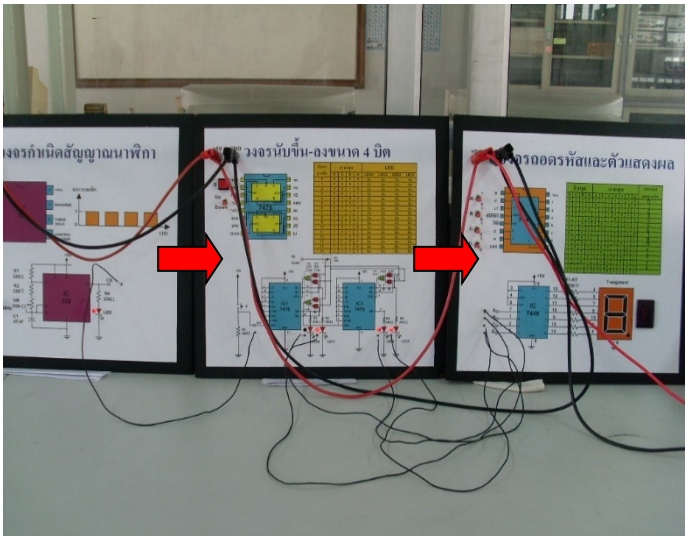


ภาพที่ 3.46 การต่อทดสอบวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต ใช้สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

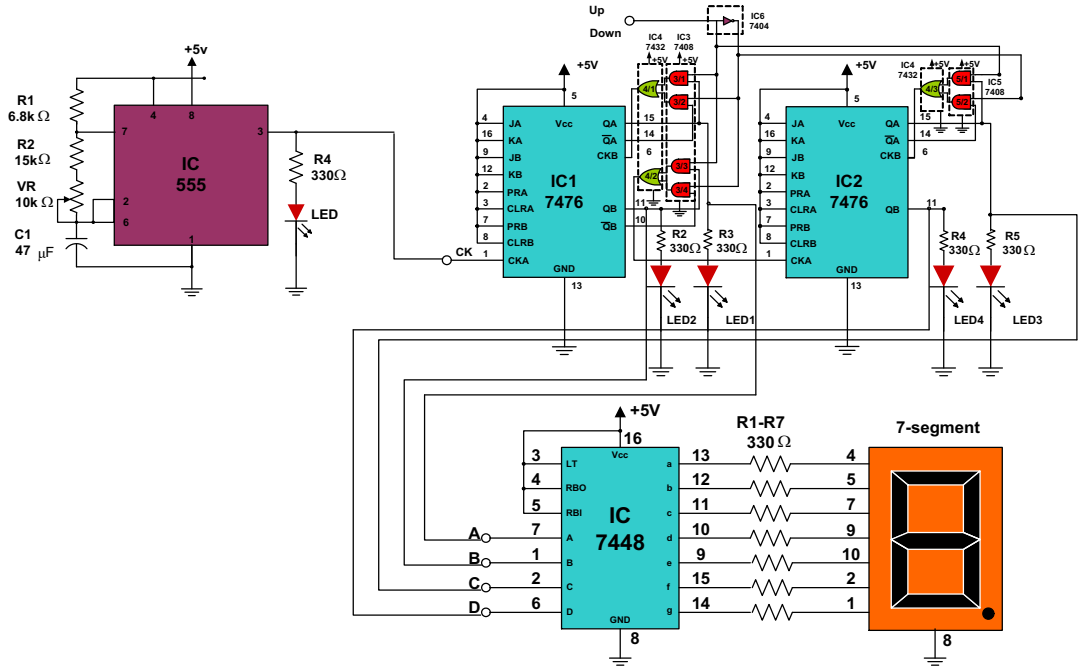


ภาพที่ 3.47 รูปวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต ใช้สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

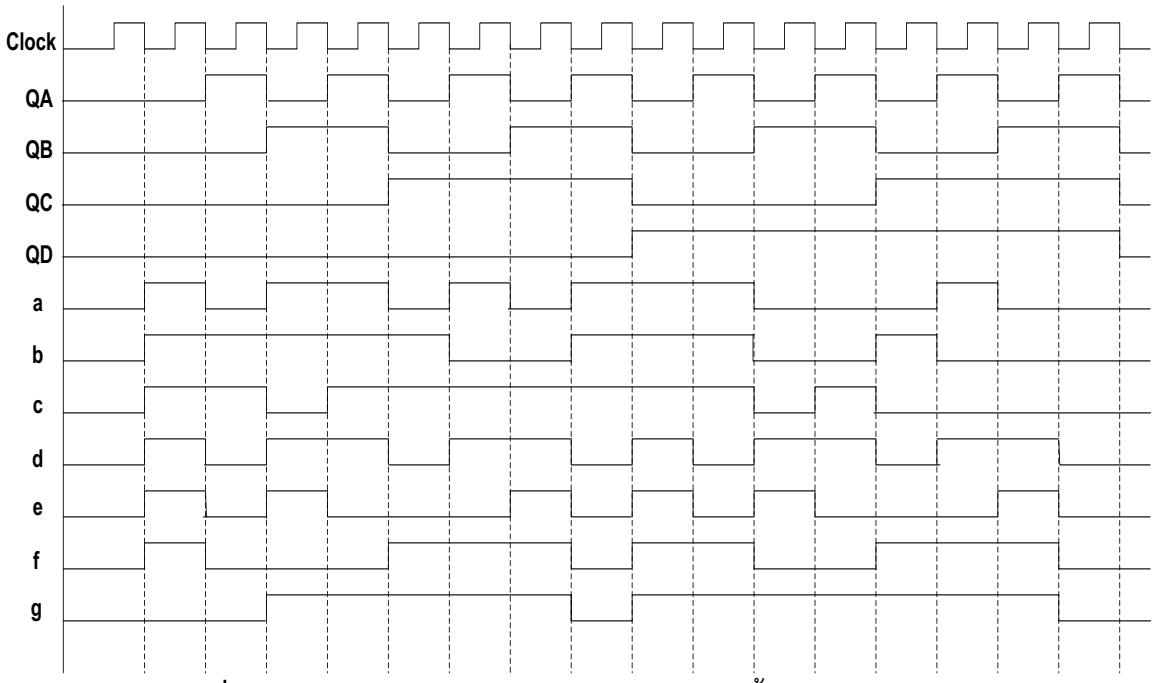
11) การใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมวงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ ในการทดสอบจะใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกามาทำการควบคุม วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต ให้ทำการนับเลขฐานสอง แล้วใช้วงจรถอดรหัสและตัวแสดงผลเพื่อมาแสดงผลการนับเป็นเลขฐานสิบ ต่อทดสอบดังภาพที่ 3.48 แสดงการต่อรูปวงจรดังภาพที่ 3.49 และไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรดังรูปภาพที่ 3.50 และ 3.51



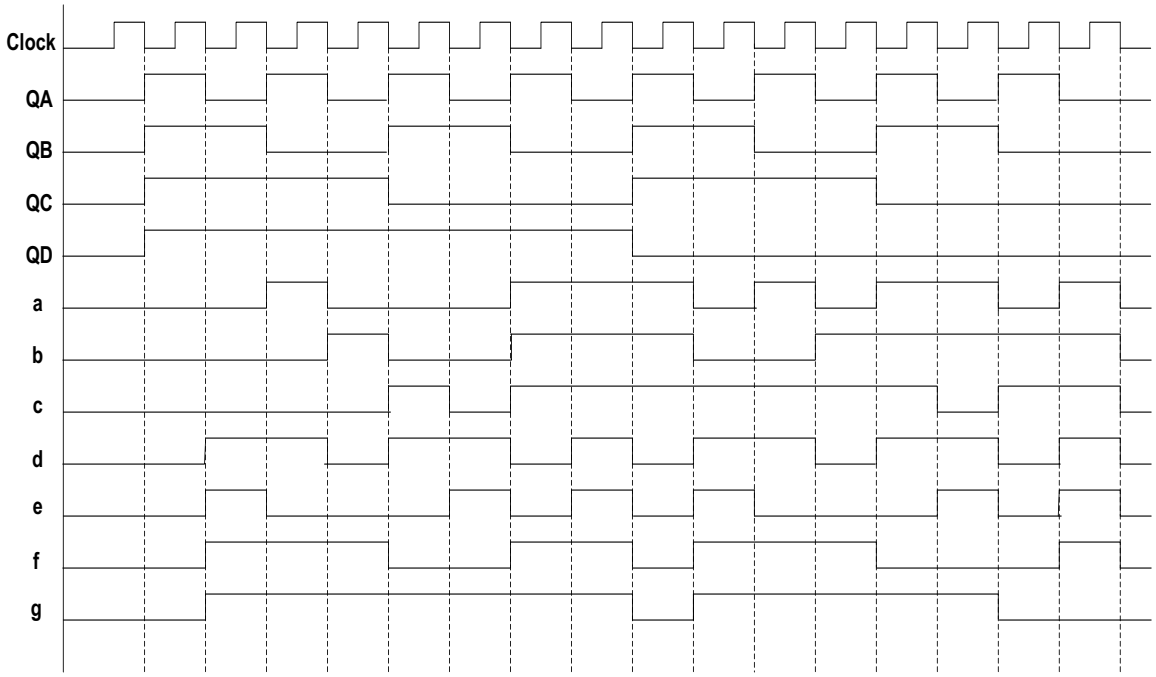
ภาพที่ 3.48 การต่อทดสอบวงจรการใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุม วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ



ภาพที่ 3.49 รูปวงจรการใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุม วงจรนับขึ้น-ลงขนาด 4 บิต แสดงผลเป็นเลขฐานสิบ



ภาพที่ 3.50 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับขึ้นและตัวแสดงผล โดยใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุม

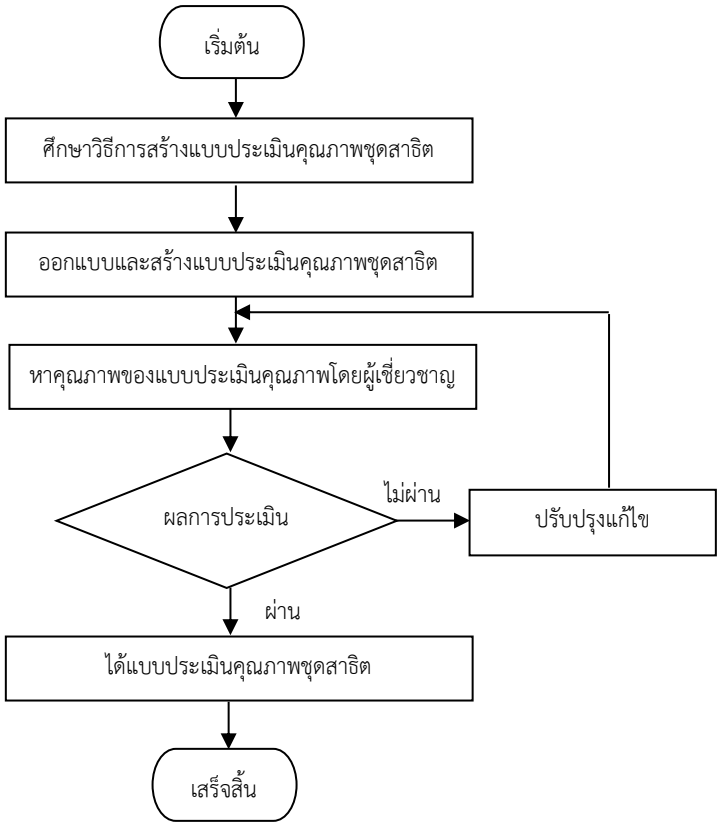


ภาพที่ 3.51 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรนับลงและตัวแสดงผล
โดยใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุม

3.3.2.6 สร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิตวงจรดิจิตอล

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบประเมินเพื่อใช้หาคุณภาพของชุดสาธิตวงจรดิจิตอลที่สร้างขึ้น ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้ประเมิน

ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิต ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 3.52



ภาพที่ 3.52 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิต

1) ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ออกแบบและสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิต เพื่อหาคุณภาพของชุดสาธิต เป็นแบบประเมิน (Questionnaire) ชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ต (Likert) (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, 2538) เพื่อใช้เก็บความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิตวงจรดิจิตอล ที่ใช้ได้ต้องอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ยแต่ละรายการต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี คือ ได้คะแนนระดับ 3.50 ขึ้นไป โดยมีหัวข้อในการประเมินดังนี้

ก) ประเมินคุณภาพด้านการออกแบบและสร้างชุดสาธิต

ข) ประเมินคุณภาพด้านความเร้าใจ/การดึงดูดความสนใจของผู้เรียน

ค) ประเมินคุณภาพด้านการส่งเสริมความรู้และทักษะของผู้เรียน

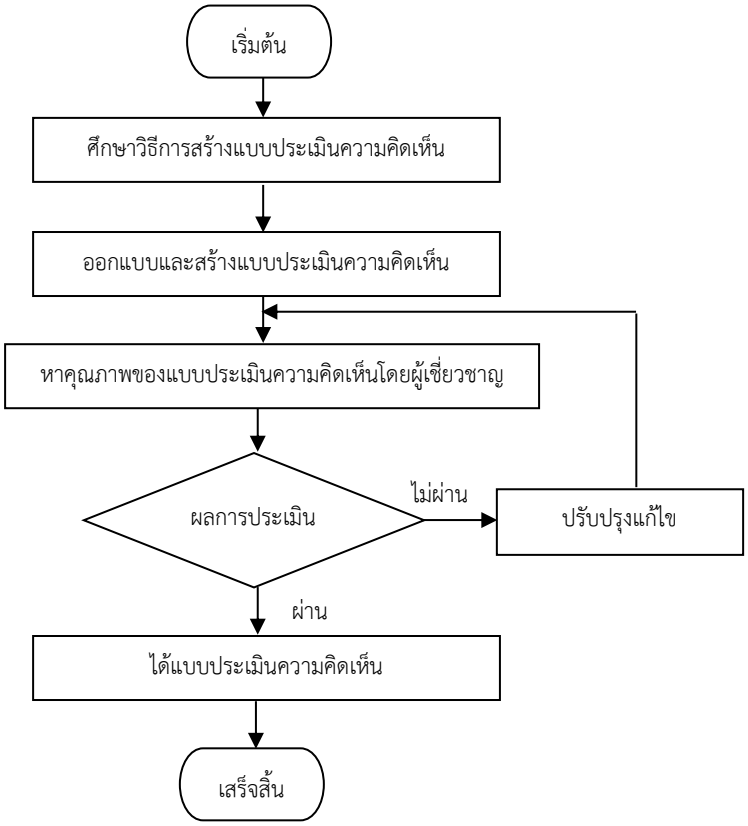
3.3.2.7 สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชุดสาธิตวงจรดิจิตอล

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดสาธิตวงจรดิจิตอล ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง (โปรแกรมเครื่องมือวัดและควบคุม) วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดิจิตอลเบื้องต้น ในปีการศึกษา 1/2560 จำนวน 14 คน เป็นผู้ตอบแบบสอบถาม

ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 3.53

1) ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามความคิดเห็น จากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ออกแบบและสร้างแบบสอบถามความคิดเห็น เป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) ชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ต (Likert) (สุชาติ, 2550) เพื่อใช้เก็บความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 3.53 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความคิดเห็น

3.3.2.8 หาคุณภาพของชุดสาธิตวงจรดิจิตอล

นำชุดสาธิตวงจรดิจิตอลที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วพร้อมแบบประเมินคุณภาพให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวณ 5 ท่าน ทำการตรวจสอบ ประเมินผลชุดสาธิตดังกล่าว ว่ามีคุณภาพในระดับใด และทำการปรับปรุง แก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.3.2.9 ได้ชุดสาธิตวงจรดิจิตอล

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก็จะได้ชุดสาธิตวงจรดิจิตอลที่สมบูรณ์และพร้อมที่จะนำไปทดลองเก็บข้อมูลในการวิจัยต่อไป

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.4.1 ผู้วิจัยทำหนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินคุณภาพชุดสาธิตวงจรดิจิตอลจำนวณ 5 ท่าน

3.4.2 นำชุดสาธิตวงจรดิจิตอลที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ ทำการตรวจสอบประเมินคุณภาพชุดสาธิตดังกล่าว ว่ามีคุณภาพในระดับใด ต้องปรับปรุงแก้ไขในส่วนใดบ้าง

3.4.3 นำชุดสาธิตวงจรดิจิตอลที่สร้างขึ้นไปใช้ประกอบการจัดการเรียนการสอนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่ได้เรียนด้วยชุดสาธิต

3.4.4 เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

3.5.1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1.1 นำแบบประเมินคุณภาพที่เก็บรวบรวมจากผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, 2538)

3.5.1.2 นำค่าเฉลี่ยที่ได้เปรียบเทียบกับระดับคุณภาพ

โดยมีระดับคุณภาพ ตามเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ค่าเฉลี่ย	4.50 – 5.00	หมายความว่า	มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.50 – 4.49	หมายความว่า	มีคุณภาพอยู่ในระดับอยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย	2.50 – 3.49	หมายความว่า	มีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.50 – 2.49	หมายความว่า	มีคุณภาพอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายความว่า มีคุณภาพอยู่ในระดับน้อยที่สุด

3.5.1.3 นำค่าเฉลี่ยที่ได้เปรียบเทียบกับระดับความพึงพอใจ โดยมีระดับความพึงพอใจ ตามเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด