การออกแบบตู้จ่ายไฟหลัก (MDB)

หัวข้อเรื่อง

3.1 ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

3.2 การคำนวณแรงดันตก

3.3 หม้อแปลงในระบบประธานไฟฟ้า

3.4 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

3.5 การคำนวณตัวนำประธาน สายป้อน และวงจรย่อย

3.6 การออกแบบบัสบาร์และบริภัณฑ์ในตู้จ่ายไฟหลักสำหรับที่พักอาศัย

สาระสำคัญ

ระบบการจ่ายและควบคุมไฟฟ้าในอาคาร โรงงาน เริ่มตั้งแต่การออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ โดยเลือกระบบการจ่ายและการควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานรวมไปถึงความปลอดภัยในการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าในอาคาร โรงงาน เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ใช้มีหลายระบบ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละระบบก็แตกต่างกัน นอกจากการออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าที่ดีแล้ว การพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์การจ่ายไฟฟ้าและวางแผนปรับเวลาการใช้โหลดนั้นสามารถลดการเกิดพลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้ และที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้ามก็คือการติดตั้งระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้า สุดท้ายการตรวจสอบระบบการจ่ายไฟฟ้าอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอนั้น จะทำให้สามารถใช้งานระบบการจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย

การออกแบบตู้จ่ายไฟหลัก (MDB : Main Distribution Board) จึงถือว่ามีความสำคัญ ผู้ทำการคำนวณออกแบบจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ไม่เฉพาะในเรื่องการคำนวณออกแบบเท่านั้น ยังจะต้องมีความรู้รอบรู้ในเรื่องต่างๆ ด้วย เช่น การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์และการติดตั้งไฟฟ้า แรงดันตก กระแส หม้อแปลง การป้องกันหม้อแปลง กระแสลัดวงจร การแบ่งวงจรย่อย การคำนวณระบบไฟฟ้าเพื่อออกแบบตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก เป็นต้น

สมรรถนะประจำหน่วยการเรียนรู้

คำนวณออกแบบตู้จ่ายไฟหลัก (Main Distribution Board)

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. จุดประสงค์ทั่วไป

1.1 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

1.2 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับการคำนวณแรงดันตก

1.3 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับหม้อแปลงในระบบประธานไฟฟ้า

1.4 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

1.5 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับการแบ่งและคำนวณตัวนำประธาน สายป้อน วงจรย่อย

1.6 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับการออกแบบบัสบาร์และบริภัณฑ์ในตู้จ่ายไฟหลักสำหรับที่พักอาศัย

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 อธิบายเกี่ยวกับระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้

2.2 คำนวณหาค่าแรงดันตกได้

2.3 คำนวณหาขนาดพิกัดเครื่องป้องกันหม้อแปลงกระแสเกินได้

2.4 คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าได้

2.5 คำนวณตัวนำประธาน สายป้อน วงจรย่อยได้

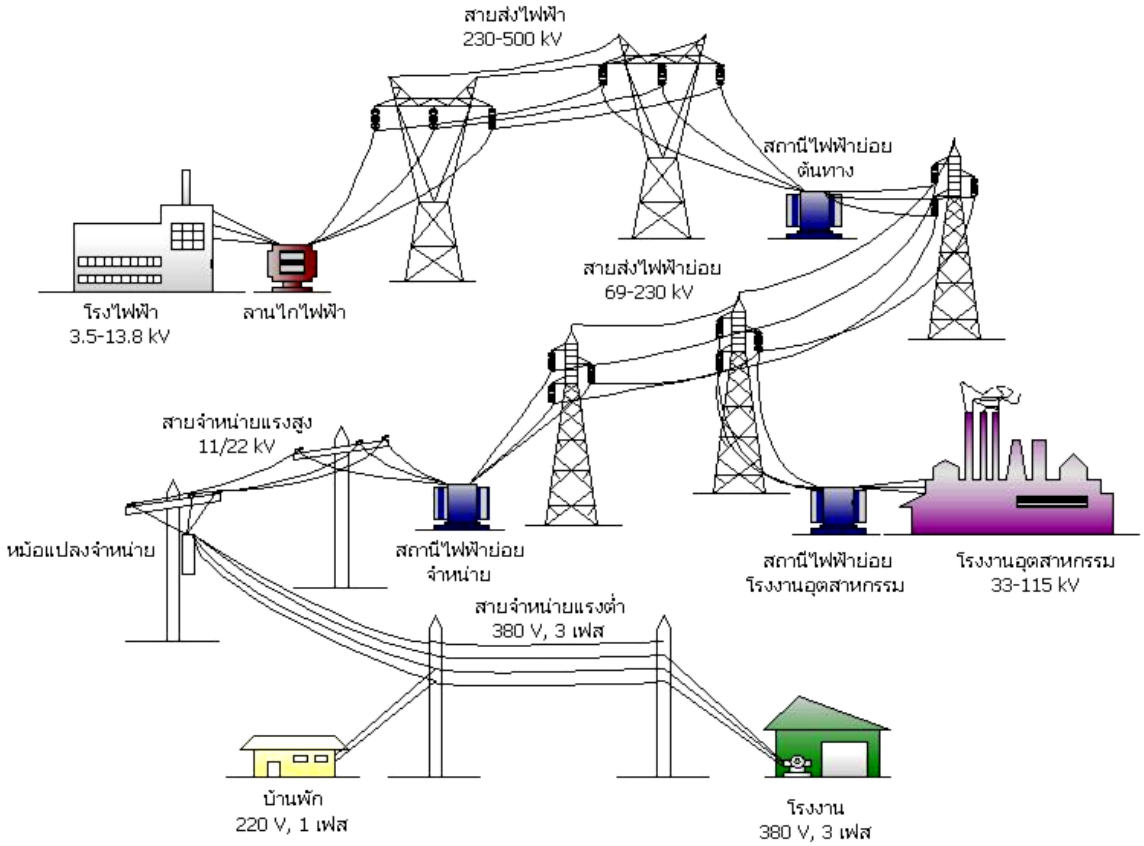
2.6 คำนวณออกแบบบัสบาร์และบริภัณฑ์ในตู้จ่ายไฟหลักสำหรับที่พักอาศัยได้

การออกแบบตู้จ่ายไฟหลัก (MDB)

3.1 ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะเริ่มต้นจากโรงผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT : Electricity Generating Authority of Thailand) สังกัดกระทรวงพลังงาน โดยจะมีหน้าที่จัดหาพลังงานไฟฟ้าให้กับประชาชน โดยการผลิต จัดหาและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้านครหลวง (MEA : Metropolitan Electricity Authority) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA : Provincial Electricity Authority) และผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.1

ส่วนของระบบการผลิตจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกำลัง 13.8 kV แล้วส่งผ่านไปหม้อแปลงกำลังเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นเป็น 230 kV, 500 kV หลังจากนั้นจะส่งเข้าไปใน



รูปที่ 3.1 ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าในประเทศไทย[1]

ลานไกไฟฟ้า (Switchyard) แล้วจึงส่งเข้าระบบส่งจ่ายไฟฟ้าต่อไป สายส่ง (Transmission lines) จะทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงผลิตไฟฟ้าไปยังสู่สถานีไฟฟ้าต้นทางแรงดันที่ใช้ปัจจุบัน 69 kV, 115 kV,

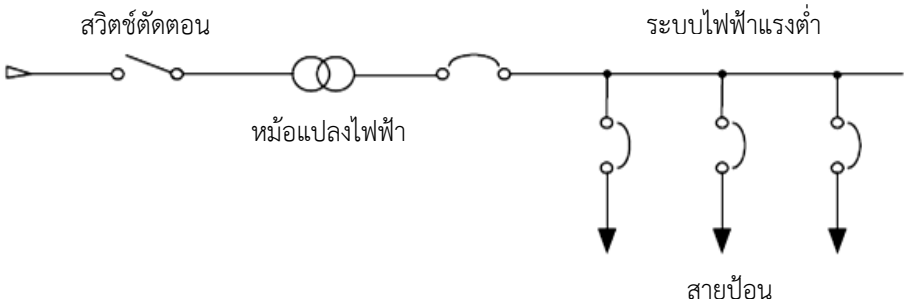
[1] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www.sut.ac.th/Engineering/Electrical/courses/429296/old/discustion/power%20gen/powergen.html

230 kV และ 500 kV สถานีไฟฟ้าต้นทาง (terminal station) รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งเข้าหม้อแปลงกำลัง เพื่อลดระดับแรงดันให้อยู่ในระดับระบบส่งย่อย สายส่งย่อย (Sub Transmission lines) สายส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าต้นทางเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยด้วยระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ส่งเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อย (Distribution Sub Transmission) ทั้งสอง คือ สถานีย่อยของการไฟฟ้านครหลวง รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 12 kV, 24 kV ส่งเข้าสายป้อนหลัก (Primary feeder) สายป้อนจะออกจากสถานีไฟฟ้าย่อยและนำพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับหม้อแปลงจำหน่าย อีกสถานีย่อยหนึ่งก็คือ สถานีย่อยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยแล้วป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 11 kV, 22 kV และ 33 kV ส่งเข้าสายป้อนย่อย (Laterals) วงจรสายป้อนที่แยกจากสายป้อนหลักนำพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับหม้อแปลงจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformers) มีหน้าที่ลดระดับแรงดันของสายป้อนให้เท่ากับระดับแรงดันใช้งานโหลด สายจำหน่ายแรงดันต่ำ (Low voltage circuits) คือวงจรแรงดันต่ำ ของหม้อแปลงจำหน่ายที่จ่ายให้กับผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วไป มีระบบ 3 เฟส 4 สาย 380/220 V ความถี่ 50 Hz หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) แปลงจากแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำ ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือเครื่องป้องกันกระแสเกินออกมาสู่ลูกค้าที่บริเวณต่างๆ สายจ่ายไฟจะต่อเข้ากับอุปกรณ์รับไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารสำนักงาน อุปกรณ์รับไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีอุปกรณ์ป้องกันต่ออยู่ เมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดลัดวงจรขึ้นเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำการตัดไฟฟ้าเพื่อแยกอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และจำกัดความเสียหายไว้เฉพาะอุปกรณ์ที่เกิดอุบัติเหตุเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ให้เหลือน้อยที่สุด

3.1.1 ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยมีอยู่ 4 แบบ คือ ระบบสายประธานเดี่ยว ระบบสายประธานคู่ ระบบสายประธานสองชุด และระบบสปอตเนตเวิร์ค แต่ละระบบจะเรียงจากลำดับความเชื่อถือได้ (Reliability) และเรียงลำดับจากค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost) ในการติดตั้ง จากน้อยไปหามาก

1) ระบบสายประธานเดี่ยว (Simple radial) เป็นระบบจ่ายไฟสายประธานเดี่ยว

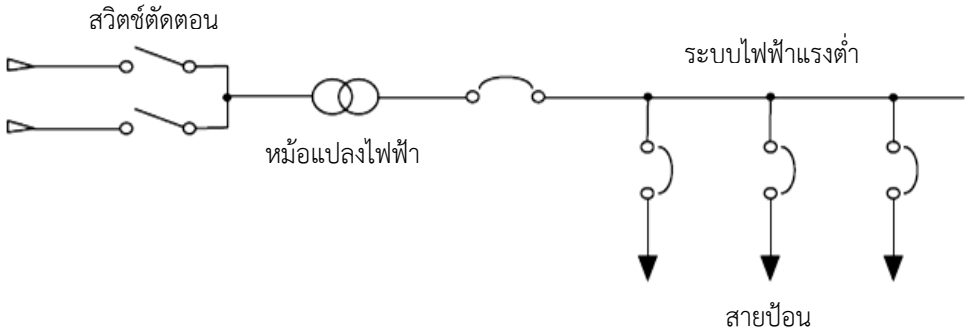


รูปที่ 3.2 ระบบสายประธานเดี่ยว[2]

[2] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

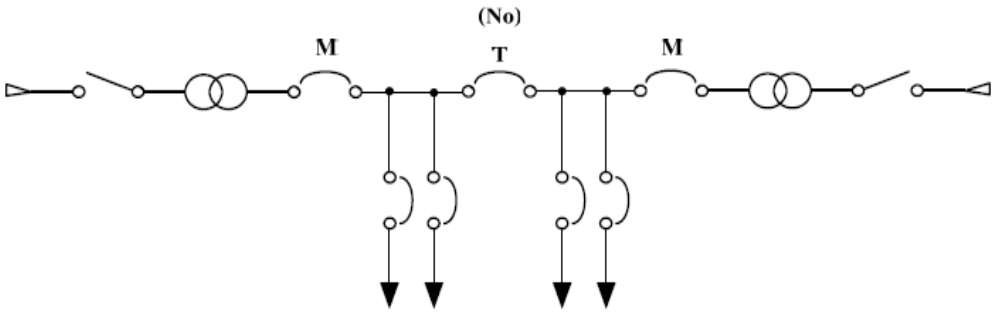
(Single primary service) ดังรูปที่ 3.2 และจ่ายเข้าหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังผ่านเข้าสู่สายป้อน (Feeder) ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นระบบที่ง่าย และราคาถูกที่สุด สะดวกต่อการป้องกันการจัดลำดับเวลาการทำงาน (Co-ordinate) ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานขนาดย่อมที่สามารถหยุดการผลิตได้ในบางเวลา แต่ก็มีข้อเสีย คือ หากสายส่ง หรือสวิตช์ตัดตอน หรือหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดการชำรุด โหลดที่ต่ออยู่ภายใต้ระบบนี้ก็จะไม่มีไฟฟ้าใช้งาน เนื่องจากมีระบบประธานเพียงแค่ชุดเดียว

2) ระบบสายประธานคู่ (Primary selective radial) ดังรูปที่ 3.3 เป็นระบบที่เหมือนกับระบบสายประธานเดี่ยว เพียงแต่เพิ่มวงจรสำรองให้รับไฟเป็นวงจรคู่ ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องซ่อมแซมสายไฟฟ้าแรงสูงชุดใดชุดหนึ่ง ข้อดีของระบบจ่ายไฟนี้คือ ระบบมีความน่าเชื่อถือดีขึ้นกว่าระบบสายประธานเดี่ยว แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่จะต้องใช้มากกว่าระบบสายประธานเดี่ยว และในเรื่องการมีหม้อแปลงในระบบเพียงแค่ลูกเดียว หากหม้อแปลงเกิดการชำรุดโหลดที่ต่ออยู่ภายใต้ระบบนี้ก็จะไม่มีไฟฟ้าใช้งาน



รูปที่ 3.3 ระบบสายประธานคู่[3]

3) ระบบสายประธานสองชุด (Secondary selective) ดังรูปที่ 3.4 ระบบนี้จะทำงานเป็นแบบระบบสายประธานเดี่ยว 2 ชุด แต่ละชุดจะถูกเชื่อมโยง (Tie) ด้วยตัดตอนอัตโนมัติ (T) ถ้า



รูปที่ 3.4 ระบบสายประธานสองชุด[4]

[3], [4] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

สายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดชำรุด สวิตซ์ตัดตอน (M) จะปลดวงจรชุดนั้น (Open) และสวิตซ์ตัดตอน (T) จะเชื่อมต่อวงจร (Close) ถึงกันทันที ซึ่งอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติก็ได้ ระบบสายประธานสองชุดเป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากในขณะนี้ ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวที่เหลือจะต้องจ่ายโหลดทั้งหมด เพื่อจะให้หม้อแปลงทำงานได้ดีจำเป็นต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

3.1 หม้อแปลงทั้งสองตัวจะต้องมีขนาดใหญ่พอ เพื่อให้แต่ละตัวสามารถรับโหลดได้ทั้งหมด

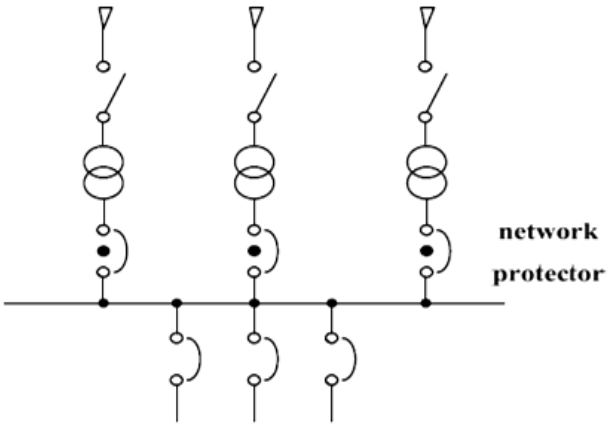
3.2 จะต้องมีพัดลมสำหรับการระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงในกรณีที่มีการทำงานแบบสภาวะฉุกเฉิน

3.3 เมื่อเกิดสภาวะฉุกเฉินให้ระบบจ่ายโหลดเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น

3.4 ใช้ขนาดอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินตามความสามารถของหม้อแปลง และสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงลดลง

ระบบนี้มีข้อดี คือ หม้อแปลงไม่ได้ต่อขนานกัน เพราะฉะนั้น ขนาดกระแสลัดวงจร (Interrupting capacity หรือ IC) ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ มีค่าเท่ากับแบบระบบสายประธานเดี่ยว ระบบนี้มีความเชื่อถือสูงกว่าระบบสายประธานเดี่ยวและระบบสายประธานคู่ แต่ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบนี้ก็จะสูงตามขึ้นไปด้วย

4) ระบบสปอตเนตเวิร์ค (Spot network) ดังรูปที่ 3.5 ระบบนี้จะประกอบด้วยหม้อแปลงจ่ายไฟ 2 ชุด หรือมากกว่าแยกเป็นอิสระกัน ส่วนทางด้านแรงต่ำจะต่อขนานโดยผ่านสวิตซ์ตัดตอนชนิดพิเศษ เรียกว่า Network protector ถ้าสายป้อนแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง



รูปที่ 3.5 ระบบสปอตเนตเวิร์ค[5]

กำลังไฟฟ้าจะถูกป้อนผ่านหม้อแปลงตัวอื่น และผ่าน Network protector ไปยังจุดที่ขัดข้อง จากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนกลับเป็นสาเหตุทำให้ Network protector เปิดวงจร และปลดแหล่งจ่ายชุดที่ขัดข้องออก

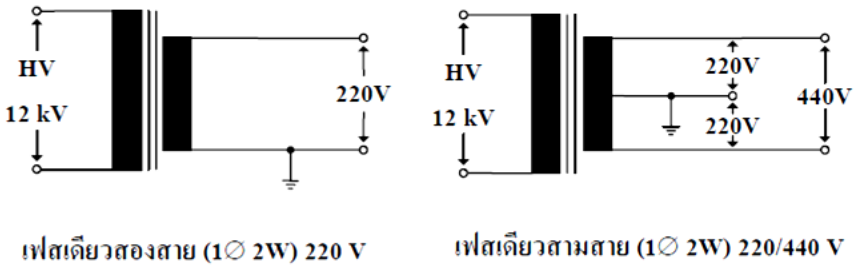
[5] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

จากวงจรแรงดันต่ำ สำหรับระบบจ่ายไฟนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบมากที่สุดจาก 4 ระบบ เนื่องจาก Network protector มีราคาแพง และวิสัยสามารถตัดกระแส (IC) เพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงขนานกัน แต่ระบบนี้จะมีความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage regulation) อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดีมากเมื่อเทียบกับทุกระบบที่กล่าวมา

3.1.2 ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ

ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ จำหน่ายเฟสเดียว (Single phase) และระบบจำหน่ายสามเฟส (Three phase)

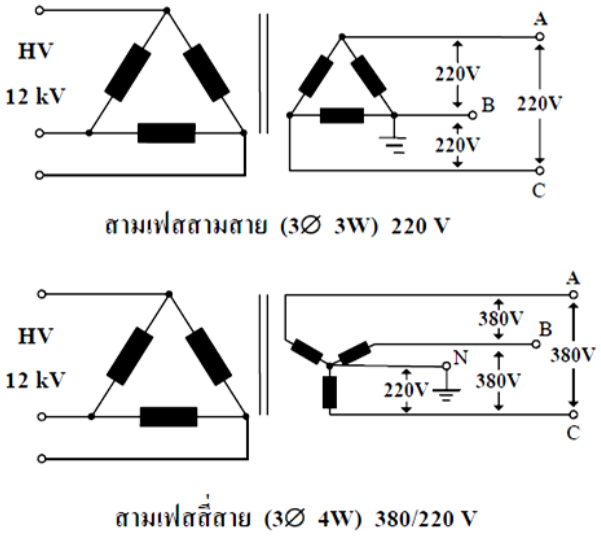
1) ระบบจำหน่ายเฟสเดียว ดังรูปที่ 3.6 แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบจำหน่ายเป็นชนิดเฟสเดี่ยวสองสาย (1∅ 2W) 220 V 50 Hz ด้านแรงดันต่ำจะประกอบไปด้วยสายไฟฟ้าจำนวน 2 เส้น คือ สายไฟ (Line) และสายนิวทรัล (Neutral) และระบบจำหน่ายชนิดเฟสเดียวสามสาย (1∅ 3W) 220/440 V 50 Hz ระบบนี้ด้านแรงดันต่ำจะประกอบไปด้วยสายไฟฟ้าจำนวน 3 เส้น คือ สายไฟ (Line) 2 เส้น และสายนิวทรัล (Neutral) 1 เส้น



รูปที่ 3.6 ระบบจำหน่ายเฟสเดียว[6]

2) ระบบจำหน่ายสามเฟส ดังรูปที่ 3.7 ระบบจำหน่ายนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบจำหน่ายชนิดสามเฟสสามสาย (3∅ 3W) 220 V 50 Hz ด้านขดลวดแรงดันต่ำของหม้อแปลงจะต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta) ซึ่งจะทำให้มีสายออกมาจากหม้อแปลงจำนวน 3 เส้น หนึ่งเส้นจะถูกต่อลงกราวด์ให้เป็นกราวด์ระบบ (System ground) จึงกลายเป็นสายนิวทรัล ดังนั้นจะเหลือเป็นสายไฟ (Line) อีกจำนวน 2 เส้น เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไฟกับสายนิวทรัลจะได้ระดับแรงดันที่ 220 V วัดแรงดันระหว่างสายไฟกับสายไฟจะได้ระดับแรงดันที่ 440 V และอีกหนึ่งระบบ คือ ระบบจำหน่ายชนิดสามเฟสสี่สาย (3∅ 4W) 380/220 V 50 Hz ระบบนี้ด้านขดลวดแรงดันต่ำของหม้อแปลงจะต่อเป็นแบบสตาร์ (Star) ซึ่งจะทำให้มีสายออกมาจากหม้อแปลงจำนวน 4 เส้น เส้นที่เป็นจุดรวมของขดลวดทั้งสามของการต่อแบบสตาร์จะถูกต่อลงกราวด์ให้เป็นกราวด์ระบบ (System ground) ทำให้กลายเป็นสายนิวทรัล ดังนั้นจะเหลือเป็นสายไฟ (Line) อีกจำนวน 3 เส้น เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไฟกับสายนิวทรัลจะได้ระดับแรงดันที่ 220 V วัดแรงดันระหว่างสายไฟกับสายไฟจะได้ระดับแรงดันที่ 380 V ระบบนี้เหมาะสำหรับจ่ายให้กับอาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม

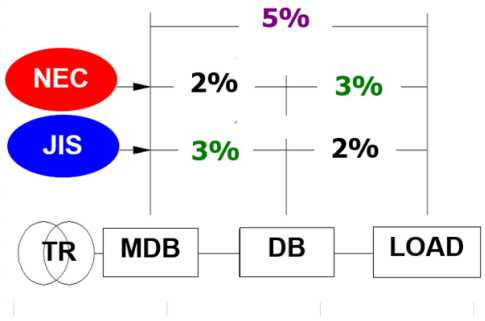
[6] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html



รูปที่ 3.7 ระบบจำหน่ายสามเฟส[7]

3.2 การคำนวณแรงดันตก

แรงดันตก (Voltage Drop) ในสายไฟฟ้าจะส่งผลเสียกับระบบไฟฟ้า เช่น จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องไฟฟ้าลดลง หลอดไฟฟ้าบางประเภทจะไม่ติด ตัวอย่างเช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) หลอดดิสชาร์จ (HID : High Intensity Discharge Lamp) เป็นต้น อาจจะส่งผลทำให้มอเตอร์ (Motor) หมุนไม่ไหวและไหม้ได้ การออกแบบระบบไฟฟ้าจึงต้องระวังไม่ให้ค่าแรงดันตกมีค่ามากเกินไป เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทมีความสามารถทำงานที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันปกติไม่เท่ากัน ค่าแรงดันตกจึงกำหนดตามเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท ค่าแรงดันตกจะนิยมกำหนดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับแรงดันไฟฟ้าปกติ สำหรับระบบไฟฟ้าทั่วไปค่าแรงดันตกจากตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) จงถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) จะไม่ให้เกิน 5 % ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานแรงดันตกของ NEC หรือว่า JIS ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แรงดันตกในสายของมาตรฐาน NEC และ JIS[8]

[7] สืบค้นเมื่อ 28/06/2558 : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

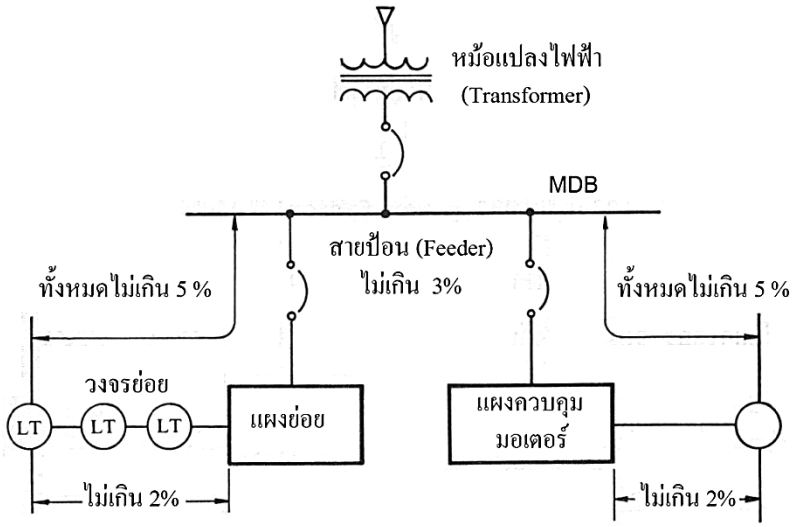
[8] สืบค้นเมื่อ 29/06/2558 : https://www.facebook.com/ElectricalRm/photos

มาตรฐานเปอร์เซ็นต์แรงดันตกของมาตรฐาน NEC กับมาตรฐาน JIS ดังนี้

มาตรฐาน NEC กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในช่วงของสายป้อน (Feeder) จากตู้จ่ายไฟหลักไปถึงแผงควบคุมไฟฟ้ารอง (DB : Distribution Board) ไม่เกิน 2% แรงดันตกในช่วงของวงจรย่อยจากตู้แผงควบคุมไฟฟ้ารองไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า ไม่เกิน 3%

มาตรฐาน JIS กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในช่วงของสายป้อน (Feeder) จากตู้จ่ายไฟหลักไปถึงแผงควบคุมไฟฟ้ารอง (DB : Distribution Board) ไม่เกิน 3% แรงดันตกในช่วงของวงจรย่อยจากตู้แผงควบคุมไฟฟ้ารองไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า ไม่เกิน 2%

หากเรานำมาตรฐาน JIS มาเขียนอธิบายในระบบไฟฟ้าก็จะได้ ดังรูปที่ 3.9 ช่วงสายป้อน (Feeder) จากตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ไปจนถึงแผงย่อยไฟฟ้า หรือแผงควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า แรงดันตกในช่วงนี้จะต้องไม่เกิน 3% หากระบบแรงดันไฟฟ้าช่วงของสายป้อนเท่ากับ 380 V นั่นก็หมายความว่าแรงดันในระบบไฟฟ้าจะต้องตกไม่เกิน 11.4 V หรือมีระดับแรงดันคงเหลือไม่ต่ำกว่า 368.6 V สำหรับวงจรย่อยหลังจากแผงย่อยไฟฟ้าไปจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวสุดท้าย แรงดันตกจะต้องไม่เกิน 2 % หากระบบแรงดันไฟฟ้าช่วงของสายป้อนเท่ากับ 220 V นั่นก็หมายความว่าแรงดันในระบบไฟฟ้าจะต้องตกไม่เกิน 4.4 V หรือมีระดับแรงดันคงเหลือไม่ต่ำกว่า 215.6 V



รูปที่ 3.9 แสดงเปอร์เซ็นต์แรงดันตกตามมาตรฐาน JIS[9]

3.2.1 สมการและการคำนวณแรงดันตก

เมื่อกำหนดให้

VD	=	แรงดันตก	(V)
I	=	กระแสไฟฟ้า	(A)
R	=	ความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นเดียว	(Ω/m)
X	=	รีแอกแทนซ์ของสายไฟฟ้าเส้นเดียว	(Ω/m)

[9] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. หน้า 31

L = ความยาวของสายไฟฟ้า (m)

θ = มุมเพาเวอร์แฟคเตอร์

สมการสำหรับคำนวณแรงดันตกระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

$$VD = 2 I L (R \cos\theta + X \sin\theta) \quad (3.1)$$

สมการสำหรับคำนวณแรงดันตกระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

$$VD = \sqrt{3} I L (R \cos\theta + X \sin\theta) \quad (3.2)$$

จากสมการคำนวณแรงดันตกทั้งสองสมการ คือ สมการ 3.1 และสมการ 3.2 จะต้องใช้ค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นเดียว และค่ารีแอกแทนซ์ของสายไฟฟ้าเส้นเดียว ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางค่า R และ X ของสายไฟฟ้า 60227 IEC 01 (THW)[10]

ขนาดสาย (sq.mm.)	ความต้านทาน (Ω/km.)	รีแอกแทนซ์ในท่ออโลหะ (Ω/km.)	รีแอกแทนซ์ในท่อโลหะ (Ω/km.)	รีแอกแทนซ์เดินลอยบน Rack (Ω/km.)
2.5	8.8658	0.1228	0.1535	0.3559
4	5.5157	0.1146	0.1433	0.3412
6	3.6851	0.1116	0.1395	0.3251
10	2.1895	0.1059	0.1324	0.3087
16	1.3759	0.1035	0.1294	0.2943
25	0.8698	0.0981	0.1226	0.2798
35	0.6269	0.0983	0.1229	0.2661
50	0.4723	0.0933	0.1166	0.2566
70	0.3207	0.0904	0.1130	0.2450
95	0.2309	0.0902	0.1128	0.2347
120	0.1840	0.0879	0.1099	0.2263
150	0.1493	0.0870	0.1088	0.2198
185	0.1196	0.0873	0.1091	0.2127
240	0.0918	0.0865	0.1081	0.2037
300	0.0737	0.0862	0.1078	0.1966
400	0.0587	0.0841	0.1052	0.1889
500	0.0467	0.0850	0.1063	0.1816

หมายเหตุ ความต้านทานที่ใช้เป็นความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิ 70°C ส่วนรีแอกแทนซ์ขึ้นอยู่กับการจัดสายและวิธีการเดินสาย

[10] สืบค้นเมื่อ 29/06/2558 : http://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/v_drop/v_drop.html

ตัวอย่างที่ 3.1 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380 V 50 Hz. จ่ายโหลด 3 เฟสสมดุลขนาด 65 A มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 75% ด้วยสาย 60227 IEC 01 (THW) 25 ตร.มม. เดินในท่อโลหะ ความยาว 90 เมตร จงหาแรงดันตกในสาย และเปอร์เซ็นต์แรงดันตก

วิธีทำ

จากสมการ $VD = \sqrt{3}\, I\, L\, (R\cos\theta + X\sin\theta)$

จากตารางที่ 3.1 จะได้ข้อมูลสาย ดังนี้

$R = 0.8698\ \Omega/km.$

$= 0.8698 / 1000 = 0.0008698\ \Omega/m$

$X = 0.1226\ \Omega/km.$

$= 0.1226 / 1000 = 0.0001226\ \Omega/m$

และ $\cos\theta = 0.75$ จะได้ $\sin\theta = 0.6614$

แทนค่าในสมการจะได้

$VD = \sqrt{3} \times 65 \times 90\ ((0.0008698 \times 0.75) + (0.0001226 \times 0.6614))$

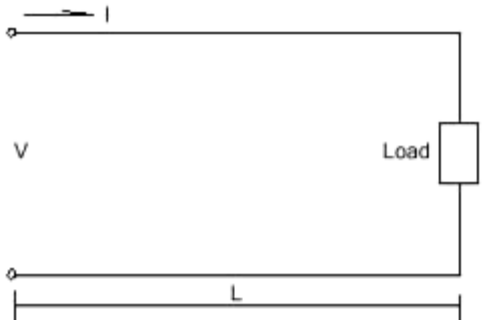
$= 7.432$ V.

เปอร์เซ็นต์แรงดันตกคิดเป็น

$= (7.432 / 380) \times 100\%$

$= 1.96\%$

ลักษณะการต่อโหลด (Load) ในวงจรย่อยจะมีผลต่อค่าแรงดันตก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการต่อ



รูปที่ 3.10 การต่อวงจรแบบ Concentrated Load[11]

วงจรว่าจะมีการต่อเป็นแบบใด รูปแบบการต่อวงจรแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ Concentrated Load และ Distributed Load

[11] สืบค้นเมื่อ 29/06/2558 : http://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/v_drop/v_drop.html

การต่อวงจรแบบ Concentrated Load มีลักษณะการต่อโหลดเพียงแค่ชุดเดียว โดยจะต่ออยู่ที่ปลายสาย ดังรูปที่ 3.10

ตัวอย่างที่ 3.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 220 V 50 Hz. จ่ายโหลด 25 A. มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.85 ด้วยสาย 60227 IEC 01 (THW) 4 ตร.มม. เดินในท่อ PVC ความยาว 40 เมตร จงหาแรงดันตกในสาย และถ้ากำหนดแรงดันตกไม่เกิน 3% (มาตรฐาน JIS) จะเดินสายได้ไกลสุดกี่เมตร

วิธีทำ

จากสมการ $VD = 2 I L (R \cos\theta + X \sin\theta)$

จากตารางที่ 3.1 จะได้ข้อมูลสาย ดังนี้

$R = 5.5157\ \Omega/km.$

$= 5.5157 / 1000 = 0.0055157\ \Omega/m$

$X = 0.1146\ \Omega/km.$

$= 0.1146 / 1000 = 0.0001146\ \Omega/m$

และ $\cos\theta = 0.85$ จะได้ $\sin\theta = 0.5267$

แทนค่าในสมการจะได้

$VD = 2 \times 25 \times 40 ((0.0055157 \times 0.85)+(0.0001146 + 0.5267))$

$= 9.497$ V.

เปอร์เซ็นต์แรงดันตกคิดเป็น

$= (9.497/220) \times 100\%$

$= 4.317\%$

เมื่อกำหนดแรงดันตกไม่เกิน 3% จะได้แรงดัน

$= 0.03 \times 220 = 6.6$ V.

แทนค่าในสมการจะได้

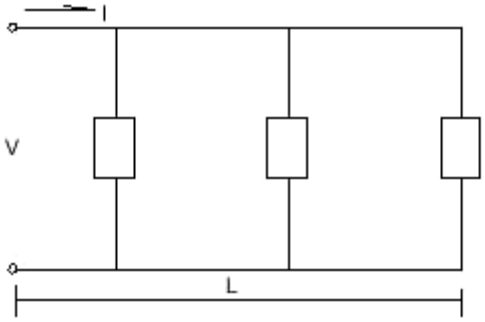
$6.6 = 2 \times 25\ L ((0.0055157 \times 0.85)+(0.0001146 + 0.5267))$

สามารถเดินสายไฟฟ้าได้ไกลสุดโดยที่แรงดันไฟฟ้าตกไม่เกิน 3%

$L = 6.6 / (2 \times 25 \times ((0.0055157 \times 0.85)+(0.0001146 + 0.5267)))$

$= 27.79$ เมตร

การต่อวงจรแบบ Distributed Load มีลักษณะการต่อเป็นโหลดหลายชุด จะต่อกันแบบกระจายกันไปตามความยาวของสาย ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การต่อวงจรแบบ Distributed Load[12]

ตัวอย่างที่ 3.3 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 220 V 50 Hz. จ่ายโหลด 24 A. มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.85 ด้วยสาย 60227 IEC 01 (THW) 4 ตร.มม. เดินในท่อ PVC ความยาว 60 เมตร ถ้าโหลดแต่ละตัวกินกระแส 8 A วางห่างกัน 10 เมตร จงหาแรงดันตกในสาย และถ้ากำหนดแรงดันตกที่โหลดตัวสุดท้ายไม่เกิน 3% (มาตรฐาน NEC) จะเดินสายได้ไกลสุดกี่เมตร

วิธีทำ

จากสมการ $VD = 2\,I\,L\,(R\cos\theta + X\sin\theta)$

จากตารางข้างบนได้ข้อมูลสายดังนี้

$R = 5.5157\ \Omega/km.$

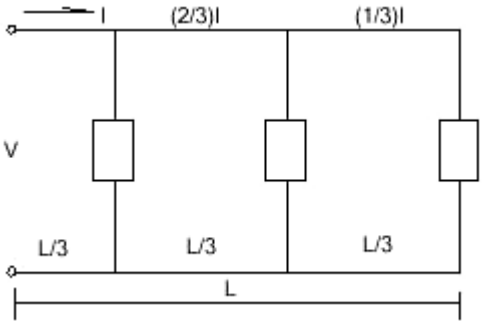
$= 5.5157 / 1000 = 0.0055157\ \Omega/m$

$X = 0.1146\ \Omega/km.$

$= 0.1146 / 1000 = 0.0001146\ \Omega/m$

และ $\cos\theta = 0.85$ จะได้ $\sin\theta = 0.5267$

แต่กระแสไหลในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน ดังรูป



รูปที่ 3.12 กระแสในวงจรแบบ Distributed Load[13]

[12, 13] สืบค้นเมื่อ 29/06/2558 : http://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/v_drop/v_drop.html

จากรูปที่ 3.12 จะได้สมการ

$$VD = 2 (I + 2/3I + 1/3I) (L/3) (R \cos\theta + X \sin\theta)$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$VD = 2 \times (24 + 16 + 8) \times 30 \times ((0.0055157 \times 0.85) + (0.0001146 \times 0.5267))$$
$$= 2880 \times 0.00474$$
$$= 13.676 \text{ V.}$$

เปอร์เซ็นต์แรงดันตกคิดเป็น

$$= (13.676/220) \times 100\%$$
$$= 6.21\%$$

เมื่อกำหนดแรงดันตกไม่เกิน 3% จะได้แรงดัน

$$= 0.03 \times 220 = 6.6 \text{ V.}$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$6.6 = 2 \times (24 + 16 + 8) \times L/3 \times ((0.0055157 \times 0.85) + (0.0001146 \times 0.5267))$$

สามารถเดินสายไฟฟ้าได้ไกลสุดโดยที่แรงดันไฟฟ้าตกไม่เกิน 3%

$$L = (6.6 \times 3) / (2 \times (24 + 16 + 8) \times ((0.0055157 \times 0.85) + (0.0001146 \times 0.5267)))$$
$$= 19.8 / (96 \times 0.004779)$$
$$= 43.15 \text{ เมตร}$$

3.3 หม้อแปลงในระบบประธานไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าจะมีหม้อแปลงเป็นประธานในระบบไฟฟ้า เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นจะต้องศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทั้งหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส การจะได้มาซึ่งขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะต้องผ่านการคำนวณโหลดในระบบไฟฟ้าทั้งหมดมาก่อน เมื่อทราบขนาดของโหลดทั้งหมดก็จะนำมาพิจารณาเลือกขนาดของหม้อแปลง เพราะฉะนั้นผู้ทำการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องทราบขนาดพิกัดของหม้อแปลง กระแสไฟฟ้าเข้า กระแสไฟฟ้าออก ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแต่ละขนาด เนื้อหาในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของหม้อแปลงไฟฟ้า การคำนวณหาค่ากระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า และการคำนวณหาพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนี้

3.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งมีหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระดับการใช้งาน หรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าไปในระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า รายละเอียดของหม้อแปลง ดังนี้

1) ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แยกตามฉนวน หรือโครงสร้างของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2 ชนิด คือ ชนิดแห้ง และชนิดใช้ของเหลว

1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดฉนวนแห้ง (Dry type transformer) ดังรูปที่ 3.13 ใช้ฉนวนเป็นของแข็งนิยมใช้สารเรซินอัดระหว่างขดลวดของหม้อแปลง จึงเรียกว่า Cast Resin Transformers สารเรซินมีจุดติดไฟที่ 350°C เหมาะสำหรับการติดตั้งภายในอาคาร อาคารสูง อาคารใหญ่พิเศษ โรงมหรสพ สถานีบริการ และโรงแรม มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีน้ำมัน ทำให้ลดโอกาสในการเกิดการระเบิดและเพลิงไหม้ หม้อแปลงชนิดนี้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ แต่มีข้อเสียคือราคาสูงและประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดฉนวนเหลวหรือชนิดฉนวนเป็นน้ำมัน

รูปที่ 3.13 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดฉนวนแห้ง 1600 kVA Cast resin transformer[14]

1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดใช้ของเหลว (Liquid-immersed Transformers) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

- หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมัน (Oil immersed type transformer) ดังรูปที่ 3.14 ใช้น้ำมันเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากใช้งานได้ดีและราคาถูก เหมาะสำหรับการติดตั้งนอกอาคาร ถ้านำมาใช้ในอาคาร จะต้องมีการสร้างห้องพิเศษที่สามารถป้องกันไฟได้ เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้ โดยมีจุดติดไฟที่ 165°C ปัจจุบันได้มีการทำหม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank) ขึ้น ซึ่งไม่ต้องมี Silica Gel สามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ต้องการการบำรุงรักษา และกำลังได้รับการนิยมใช้มากขึ้น แต่ก็ยังพบปัญหาเกิดขึ้นกับหม้อแปลงปิดผนึก คือ การขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดการลัดวงจร ปัญหานี้จะใช้วิธีการแก้โดย การใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงชนิดนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีช่องว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน และแก้ปัญหาโดยสร้างหม้อแปลงปิดผนึกให้เป็นแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated) เพื่อช่วยระบายความร้อน ขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมัน หม้อแปลงชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร โดยจะต้องมีการป้องกันการรั่วไหล และมีการป้องกันในกรณีที่เกิดการระเบิดของน้ำมันที่เป็นฉนวน ปัจจุบันมีชนิดความสูญเสียต่ำให้เลือกใช้งาน น้ำมันหม้อแปลง มีหน้าที่ 2 ประการ คือ

[14] สืบค้นเมื่อ 2/07/2558 : http://www.charoenchai.com/product.php?lang=en

ประการแรกทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยป้องกันกระแสไฟฟ้ากระโดดจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ถ้าเทียบกับอากาศแล้วน้ำมันหม้อแปลงจะทนแรงดันได้สูงกว่าหลายเท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันหม้อแปลงนั้น ดังนั้นถ้าเราวางตัวนำลงในน้ำมันก็จะสามารถวางไว้ใกล้กันได้โดยไม่ลัดวงจร

รูปที่ 3.14 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดฉนวนเหลว 5,000 kVA Hermetically Sealed without Gas Cushion[15]

ประการที่สองทำหน้าที่ในการระบายความร้อน โดยที่น้ำมันเป็นของเหลวจึงสามารถเคลื่อนตัวมาถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศรอบๆ หม้อแปลงได้ดี ทำให้ขดลวดและแกนเหล็กของหม้อแปลงระบายความร้อนได้ ทำให้ฉนวนที่พันหุ้มขดลวดทนต่อความร้อนสูงได้ และทำให้ฉนวนไม่ร้อนจัดเกินไปช่วยยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงให้นานขึ้น

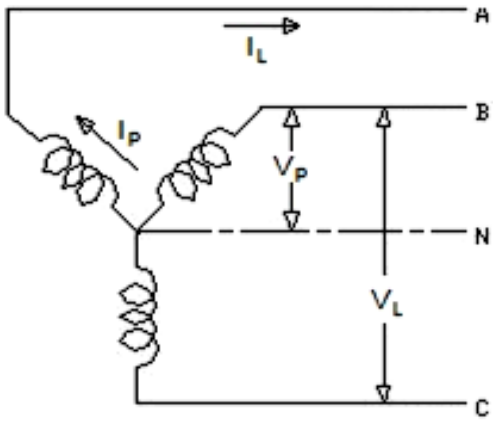
- หม้อแปลงแบบใช้ของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-insulated Transformers) ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบายความร้อน นิยมใช้สารซิลิโคนมีจุดติดไฟที่ 343°C ไม่เป็นพิษ และไม่เป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้

2) การต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า การต่อหม้อแปลง 1 เฟส สามตัว หรือการต่อหม้อแปลงสามเฟส 1 ตัว จะมีวิธีการต่อขดลวดของหม้อแปลงทั้งสามชุดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบวายหรือสตาร์ (Wye or Star connection) และแบบเดลต้า (Delta connection)

2.1 การต่อขดลวดแบบวายหรือสตาร์ (Wye or Star connection) ดังรูปที่ 3.15 ขดลวดจะต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบรูปตัววาย (Y) โดยจะต่อปลายของขดลวดขดที่ 1, 2 และ 3 เข้าด้วยกัน ส่วนด้านต้นของขดลวดทั้ง 3 ถ้าเป็นชุดขดลวดด้านปฐมภูมิจะต่อเข้ากับทางด้านแรงดันสูงหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่ถ้าเป็นชุดขดลวดด้านทุติยภูมิจะต่อเข้ากับโหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า การต่อขดลวดแบบนี้จะทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด (Phase voltage) เท่ากับ 57.894% ของแรงเคลื่อนที่ปลายสาย (Line

[15] สืบค้นเมื่อ 2/07/2558 : http://www.charoenchai.com/product.php?lang=en

voltage) หรือแรงเคลื่อนที่ปลายสายจะเท่ากับ 1.732 หรือ $\sqrt{3}$ เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวด และกระแสไฟฟ้าที่สาย (Line current) จะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด (Phase current)



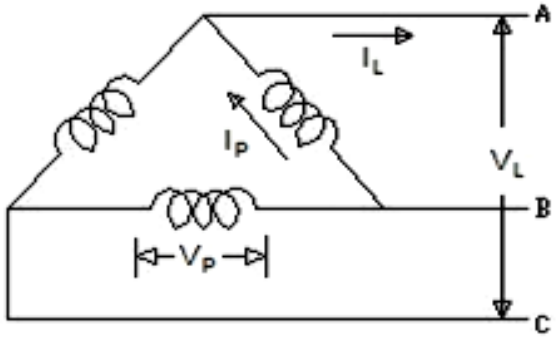
รูปที่ 3.15 การต่อขดลวดแบบวายหรือสตาร์

จากรูปที่ 3.15 สามารถเขียนเป็นสมการแรงดันและสมการกระแสได้ ดังนี้

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_P \qquad (3.3)$$

$$I_L = I_P \qquad (3.4)$$

2.2 การต่อขดลวดแบบเดลต้า (Delta connection) ดังรูปที่ 3.16 การต่อขดลวดในแบบนี้หากเป็นกรณีใช้หม้อแปลง 1 เฟส สามตัวขดลวดจะต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบอนุกรมวงจรปิด โดยต่อขั้วด้านปลายของหม้อแปลงตัวที่ 1 เข้ากับขั้วด้านต้นของหม้อแปลงตัวที่ 2 ต่อขั้วด้านปลายของหม้อแปลงตัวที่ 2 เข้ากับขั้วด้านต้นของหม้อแปลงตัวที่ 3 และต่อขั้วด้านปลายของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้ากับขั้วด้านต้นของหม้อแปลงตัวที่ 1 ทำให้เกิดจุดต่อร่วมทั้งหมด 3 จุด สำหรับนำแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อเข้าไปทั้ง 3 จุด การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้านั้น จะทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวด (Phase



รูปที่ 3.16 การต่อขดลวดแบบเดลต้า

voltage) เท่ากับแรงเคลื่อนที่ปลายสาย (Line voltage) และกระแสไฟฟ้าที่สาย (Line current) จะเท่ากับ 1.732 หรือ $\sqrt{3}$ เท่าของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด (Phase current)

จากรูปที่ 3.16 สามารถเขียนเป็นสมการแรงดันและสมการกระแสได้ ดังนี้

$$V_L = V_P \quad (3.5)$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_P \quad (3.6)$$

3.3.2 การคำนวณหาค่ากระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า

1) การคำนวณกระแสไฟฟ้าเข้าหม้อแปลง การคำนวณกระแสเข้าจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าเข้าหม้อแปลง ระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส สมการที่ใช้งานการคำนวณก็จะปรับเปลี่ยนไปตามปัจจัยดังกล่าว

2) การคำนวณกระแสไฟฟ้าออกจากหม้อแปลง การคำนวณกระแสออกนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าออกจากหม้อแปลง ระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส ต่อขดลวดแบบเดลต้า หรือแบบสตาร์

ปริมาณกระแสไฟฟ้าเข้าและออกของหม้อแปลงแรงต่ำ ดังตารางที่ 3.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณกระแสหม้อแปลงระบบ 1 เฟส คือ $P = V.I$ (W) สมการที่ใช้ในการคำนวณกระแสหม้อแปลงระบบ 3 เฟส คือ $P = \sqrt{3}.V.I$ (W)

ตัวอย่างที่ 3.4 หม้อแปลงไฟฟ้า 50 kVA ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย แปลงจาก 12 kV 50 Hz. เหลือ 400 V 1 เฟส จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าเข้าและออกจากหม้อแปลง

วิธีทำ

คำนวณหาค่ากระแสเข้าหม้อแปลง แรงดัน 12 kV

$$I_{IN} = P / V$$

แทนค่า

$$I_{IN} = (50 \times 1000) / (12 \times 1000)$$
$$= 4.166 \text{ A}$$

คำนวณหาค่ากระแสออกจากหม้อแปลง แรงดัน 400 V

$$I_{OUT} = P / V$$

แทนค่า

$$I_{OUT} = (50 \times 1000) / 400$$
$$= 125 \text{ A}$$

ตารางที่ 3.2 ปริมาณกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงแรงต่ำเฟสเดียว และสามเฟส

ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (KVA)	22 kV กระแสไฟฟ้าเข้า (A)		กระแสไฟฟ้าออก (A)				
	1 ∅	3 ∅ △	440 V	220 V		380 V	
			1 ∅	1 ∅	3 ∅ △	1 ∅	3 ∅ Y
15	0.68	0.39	34.09	68.18	39.37	39.47	22.79
20	0.91	0.52	45.45	90.91	52.49	52.63	30.39
25	1.14	0.66	56.82	113.64	65.61	65.79	37.98
30	1.36	0.79	68.18	136.36	78.73	78.95	45.58
37.5	1.70	0.98	85.23	170.45	98.41	98.68	56.98
45	2.05	1.18	102.27	204.55	118.10	118.42	68.37
50	2.27	1.31	113.64	227.27	131.22	131.58	75.97
67.5	3.07	1.77	153.41	306.82	177.15	177.63	102.56
75	3.41	1.97	170.45	340.91	196.83	197.37	113.95
100	4.55	2.62	227.27	454.55	262.44	263.16	151.94
112.5	5.11	2.95	255.68	511.36	295.24	296.05	170.93
150	6.82	3.94	340.91	681.82	393.66	394.74	227.91
167	7.59	4.38	379.55	759.09	438.27	439.47	253.74
200	9.09	5.25	454.55	909.09	524.88	526.32	303.88
225	10.23	5.90	511.36	1022.73	590.49	592.11	341.86
250	11.36	6.56	568.18	1136.36	656.10	657.89	379.85
300	13.64	7.87	681.82	1363.64	787.32	789.47	455.82
333	15.14	8.74	756.82	1513.64	873.92	876.32	505.96
350	15.91	9.19	795.45	1590.91	918.54	921.05	531.79
400	18.18	10.50	909.09	1818.18	1049.76	1052.63	607.75
450	20.45	11.81	1022.73	2045.45	1180.98	1184.21	683.72
650	29.55	17.06	1477.27	2954.55	1705.86	1710.53	987.60
700	31.82	18.37	1590.91	3181.82	1837.08	1842.11	1063.57
750	34.09	19.68	1704.55	3409.09	1968.30	1973.68	1139.54
800	36.36	21.00	1818.18	3636.36	2099.52	2105.26	1215.51
900	40.91	23.62	2045.45	4090.91	2361.96	2368.42	1367.45
1,000	45.45	26.24	2272.73	4545.45	2624.40	2631.58	1519.39

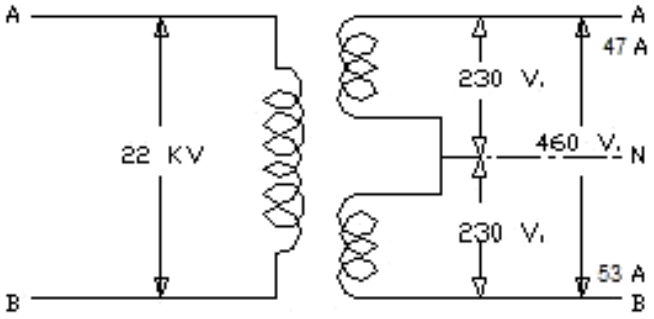
3.3.3 การบาลานซ์โหลดหม้อแปลง

การบาลานซ์โหลด เป็นการเฉลี่ยโหลดแต่ละเฟสให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้กระแสในแต่ละเฟสใกล้เคียงกันด้วย ถ้าหากโหลดไม่สมดุลจะเกิดผลเสียต่อระบบ คือ เกิดความสูญเสียและแรงดันตกปลายสายในปริมาณมาก ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage Regulation) ต่ำ กล่าวคือ

แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน และทำให้ความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงลดลง

ข้อกำหนดสำหรับการใช้งานหม้อแปลงทั่วไป คือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยอมให้จ่ายโหลดได้ไม่เกิน 80% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง และการบาลานซ์เฟสหม้อแปลง ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย

1) การบาลานซ์โหลดของหม้อแปลง 1 เฟส 3 สาย



รูปที่ 3.17 หม้อแปลง 1 เฟส 3 สาย

ตัวอย่างที่ 3.5 จากรูปที่ 3.17 หม้อแปลงพิกัด 45 KVA 1 เฟส 3 สาย 22 kV / 460-230 V จ่ายโหลดรวม 105 A ถ้าเฟส A จ่ายโหลด 47 A เฟส B จ่ายโหลด 53 A จะถือว่าหม้อแปลงลูกนี้จ่ายโหลดแบบบาลานซ์หรือไม่

วิธีทำ

หม้อแปลง 30 KVA , 230 V. กระแสเต็มพิกัด

$$I = 45\ KVA / 230$$

$$= 195.65\ A$$

ถ้าคิด 80% ของพิกัดหม้อแปลง หม้อแปลงลูกนี้จะจ่ายโหลดได้

$$I = 0.8 \times 195.65$$

$$= 156.52\ A$$

ดังนั้นเฟส A และ B ควรจ่ายโหลดไม่เกินเฟสละ

$$I = 156.52 / 2 = 78.26\ A$$

จากการที่หม้อแปลงจ่ายโหลดรวม 105 A ดังนั้นกระแสเฉลี่ยของแต่ละเฟส

$$= 105 / 2 = 52.5\ A$$

กระแสแต่ละเฟสต้องต่างกันไม่เกิน 20% ของค่ากระแสเฉลี่ยต่อเฟส

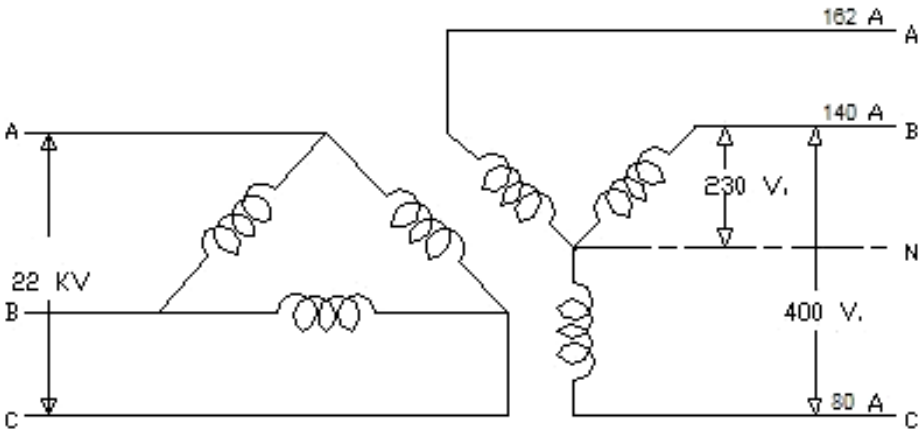
$$= 0.2 \times 52.5 = 10.5\ A$$

แต่เนื่องจากเฟส A จ่ายโหลด 47 A และเฟส B จ่ายโหลด 53 A จึงต่างกัน

$$= 53 - 47 = 6\ A$$

พบว่ากระแสของเฟสทั้งสองต่างกันไม่เกิน 10.5 A จึงถือว่าหม้อแปลงลูกนี้จ่ายโหลดได้สมดุล

2) การบาลานซ์โหลดของหม้อแปลง 3 เฟส 4 สาย



รูปที่ 3.18 หม้อแปลง 3 เฟส 4 สาย

ตัวอย่างที่ 3.6 จากรูปที่ 3.18 หม้อแปลงพิกัด 75 KVA 3 เฟส 22 kV / 400-230 V หม้อแปลงจ่ายโหลดรวม 90 A โดยแต่ละเฟสจ่ายกระแสดังรูป จะถือว่าหม้อแปลงลูกนี้จ่ายโหลดบาลานซ์หรือไม่

วิธีทำ

หม้อแปลง 75 KVA 22 kV / 400-230 V กระแสเต็มพิกัด

$$I = 75 \text{ KVA} / (\sqrt{3} \times 230)$$

$$= 188.266 \text{ A}$$

คิด 80% ของพิกัดหม้อแปลง

$$I = 0.8 \times 188.266$$

$$= 150.613 \text{ A}$$

ดังนั้นแต่ละเฟส ควรจ่ายโหลดไม่เกิน 150.613 A จากการที่หม้อแปลงจ่ายโหลดรวม 90 A กระแสแต่ละเฟสต้องต่างกันไม่เกิน 20% ของกระแสเฉลี่ย

$$= 0.2 \times 90 = 18 \text{ A}$$

แต่เนื่องจากเฟส A จ่ายโหลด 162 A ซึ่งเกิน 80% ของกระแสเฉลี่ย เฟส B จ่ายโหลด 140 A ยังไม่ถึง 80% ของกระแสเฉลี่ย ส่วนเฟส C จ่ายโหลดเพียง 80 A ซึ่งต่างกับเฟสอื่นเกิน 10 A จึงถือว่าหม้อแปลงลูกนี้จ่ายโหลดไม่สมดุล

3) ผลกระทบจากการจ่ายโหลดไม่สมดุลของหม้อแปลง 3 เฟส

3.1 จะมีกระแสไหลในสายนิวทรัล ซึ่งจะทำให้แรงดันตกและมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายนิวทรัลประสิทธิภาพของระบบจะลดลง

3.2 ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage Regulation) ต่ำ คือ เฟสที่มีโหลดต่อในวงจรมากแรงดันจะต่ำ ส่วนเฟสที่มีโหลดต่อน้อยแรงดันจะสูง

3.3 ความสามารถในการจ่ายโหลดของระบบลดลง ไม่สามารถจ่ายได้ตามพิกัด เพราะถูกจำกัดด้วยเฟสที่มีโหลดสูงสุด

3.4 กรณีที่ระบบไม่สมดุลและสายนิวทรัลขาด จะทำให้โหลดในวงจรต่ออนุกรมกันและคร่อมอยู่กับแรงดันขนาด 400 V แรงดันตกคร่อมโหลดบางตัวอาจสูงกว่าปกติ และอาจชำรุดได้

3.3.4 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงจำหน่ายทั่วไปจะมีค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ (percent impedance) ค่อนข้างต่ำ คือ 4-6% ด้วยจุดประสงค์เพื่อต้องการให้มี Voltage Regulation ดี คือ ไม่ว่าโหลดของหม้อแปลงจะมีมากหรือน้อยเพียงใด แรงดันของหม้อแปลงก็ไม่เปลี่ยนแปลงมากยังมีความสม่ำเสมอของแรงดัน แต่ผลที่ตามมา คือ จะทำให้กระแสลัดวงจรค่อนข้างสูงมาก จึงต้องป้องกันหม้อแปลงโดยการติดตั้งฟิวส์ทั้งด้านแรงสูงและแรงต่ำ หม้อแปลงแต่ละตัวต้องมีอุปกรณ์ป้องกันโดยอิสระ

1) วิธีป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ามีได้หลายวิธีการ ดังนี้

1.1 การป้องกันแบบ Overheating protection อุณหภูมิปกติของขดลวดขณะใช้งานจะกำหนดไว้ประมาณไม่เกิน 95°C กรณีที่อุณหภูมิขณะใช้งานสูงกว่านี้ 8-10°C อายุการใช้งานของหม้อแปลงจะลดลงไปประมาณครึ่งหนึ่ง การป้องกันนั้นจะใช้การตรวจจับความร้อนโดยอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า heat detector หากอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้จะมีการส่งสัญญาณเตือนการใช้งาน และถ้าอุณหภูมิของหม้อแปลงยังไม่ลดลง แต่ยังคงสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนด สัญญาณจะถูกส่งออกไปเพื่อทำการตัดหม้อแปลงออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทันที

1.2 การป้องกันแบบ Overcurrent protection ฟิวส์ (fuses) ในระบบป้องกันหม้อแปลงขนาดเล็กๆ ฟิวส์จะเหมาะสมแก่การใช้งานมากที่สุดเมื่อเทียบกับทางด้าน ราคาและความแน่นอนในการทำงาน การใช้ฟิวส์ในระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลงของการไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งติดตั้งบนเสาไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่จะใช้ Drop-out fuses

1.3 การป้องกันแบบ Earth fault protection หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทยทางด้านขดลวดปฐมภูมิจะต่อเป็นแบบเดลต้า ซึ่งขั้วของหม้อแปลงจะไม่มีการต่อลงดินในการป้องกันการลัดวงจรลงดินภายในหม้อแปลงไฟฟ้าจะถือหลักการว่า ผลรวมทางเวคเตอร์ของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ไหลเข้าหม้อแปลงเป็นศูนย์ หรือเป็นหลักการตามกฎของ Kirchhoff จึงไม่มี Zero sequence current จ่ายเข้าสู่ระบบ เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินภายในหม้อแปลงทางด้านขดลวดปฐมภูมิผลรวมของกระแสข้างต้นจะไม่เป็นศูนย์จะมีกระแสไม่สมดุลเกิดขึ้น จากหลักอันนี้เองจึงใช้ Current Transformer ทำการต่อขนานกันทางด้านขดลวดทุติยภูมิของ Current Transformer และนำเอา Current Relay ต่อขนานเข้าไปด้วยกระแสที่ไม่สมดุลจะไหลผ่าน Current Relay เปลี่ยนเป็นสัญญาณไปทำการตัดหม้อแปลงออกจากการใช้งาน

1.4 การป้องกันแบบ Buchholz protection เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับดักจับก๊าซที่เกิดจากความผิดปกติภายในหม้อแปลงชนิดที่ใช้น้ำมัน ในกรณีที่เกิดการผิดปกติภายในหม้อแปลงความร้อนหรือการเกิดการอาร์คภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัว (breakdown) และเกิดก๊าซขึ้น ก๊าซดังกล่าวจะลอยขึ้นสู่ถังขยายตัวของน้ำมันโดยผ่าน Buchholz relay กรณีความผิดปกติที่เกิดขึ้นมากก๊าซที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากลอยขึ้นสู่ถังขยายตัวของน้ำมัน ส่วนหนึ่งจะเข้าแทนที่น้ำมันใน Buchholz relay ในขั้นแรกปริมาณก๊าซที่รีเลย์ดักจับ จะทำให้สวิตช์ปรอทตัวแรกส่งสัญญาณเตือนออกมาว่ามีก๊าซที่

เกิดจากการผิดปกติภายในหม้อแปลงแล้ว หากยังมีก๊าซถูกดักจับเพิ่มต่อไป สวิตช์ปรอทตัวต่อไปจะทำงานและส่งสัญญาณไปตัด หรือหยุดหม้อแปลงออกจากการทำงานต่อไป

1.5 การป้องกันแบบ Differential protection หลักการนี้ มาจากการอาศัยหลักการเปลี่ยนของกระแสทางด้านปฐมภูมิไปยังทุติยภูมิ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างกระแสทั้งสองด้านตาม Transformer ratio ซึ่งเป็นกฎตามความเป็นจริงของหม้อแปลง ในกรณีที่เกิดจากการผิดปกติของหม้อแปลงขึ้น ความสัมพันธ์ของกระแสทั้งสองด้านจะไม่เป็นไปตาม Transformer ratio นั่นคือมีกระแสไม่สมดุลเกิดขึ้น กระแสนี้จะสามารถตรวจจับได้โดยอาศัย Differential relay

2) การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน พิกัดอุปกรณ์ป้องหม้อแปลงพิจารณาตามตารางที่ 3.3

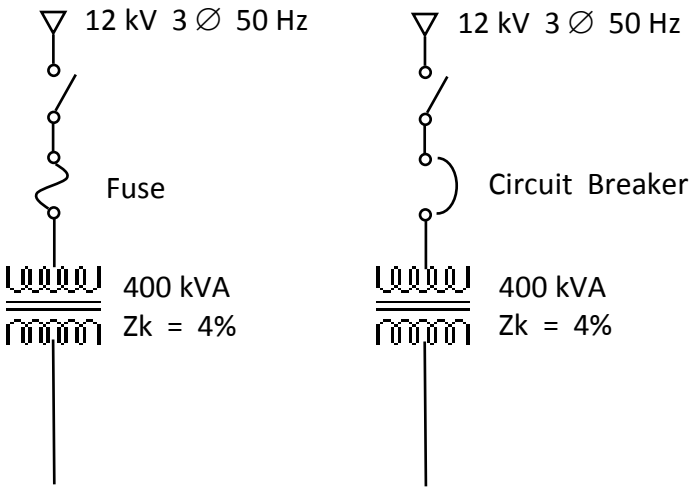
ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงกระแสเกินด้านเข้าและด้านออกสูงสุด[16]

อิมพีแดนซ์หม้อแปลง (%)	พิกัดแรงดันด้านเข้า เกิน 600 V		พิกัดแรงดันด้านออก		
			เกิน 600 V		ไม่เกิน 600 V
	ตัดตอนอัตโนมัติ (%)	ฟิวส์ (%)	ตัดตอนอัตโนมัติ (%)	ฟิวส์ (%)	ตัดตอนอัตโนมัติและฟิวส์ (%)
ไม่เกิน 6	600	300	300	250	250
เกิน 6 แต่ไม่เกิน 10	400	300	250	225	250

2.1 การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้า คือ การป้องกันอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าภายใต้อุปกรณ์ป้องกัน รวมไปถึงการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย พิกัดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าหากมีพิกัดเกินกว่า 600 V ขึ้นไปจะต้องดูตัวคูณเพิ่มหรือเปอร์เซ็นต์การเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงตามตารางที่ 3.3 แต่ถ้าแรงดันทางด้านเข้าหม้อแปลงไม่เกิน 600 V จะต้องใช้ตัวคูณที่ 125% ของพิกัดกระแสด้านเข้าของหม้อแปลงนั้น หากพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันที่คำนวณได้ทั้งแรงดันสูงและแรงดันต่ำ ไม่ตรงกับพิกัดกระแสมาตรฐานของอุปกรณ์ป้องกันทั้งฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ให้ใช้พิกัดกระแสมาตรฐานขนาดสูงถัดไป

ตัวอย่างที่ 3.7 จากรูปที่ 3.19 ต้องการป้องกันหม้อแปลงขนาด 400 kVA ด้านเข้าเพียงด้านเดียว จงคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง หากต้องการใช้ฟิวส์ (Fuse) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันหม้อแปลงแต่ละลูก

[16] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. หน้า 43



รูปที่ 3.19 การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้า

วิธีทำ

คำนวณกระแสไฟฟ้าด้านเข้าหม้อแปลง

จากสมการ $P = \sqrt{3}.V.I$

จะได้ $I_{IN} = P / \sqrt{3}.V$

แทนค่า $I_{IN} = (400 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 12 \times 1000)$

$= 19.245$ A

จากตารางที่ 3.3 แรงดันดันเกิน 600 V หม้อแปลงขนาด 400 kVA มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 4% แต่ในกรณีนี้เป็นการป้องกันเพียงด้านเข้าด้านเดียว จึงต้องดูพิกัดทางคอลัมน์กลุ่มทางขวา คือ พิกัดแรงดันด้านออกระดับแรงดันเกิน 600 V จึงทำให้ได้พิกัดของอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง ดังนี้

การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้าด้วยฟิวส์ จะได้

พิกัดฟิวส์ = 250% x 19.245

= 48.113 A

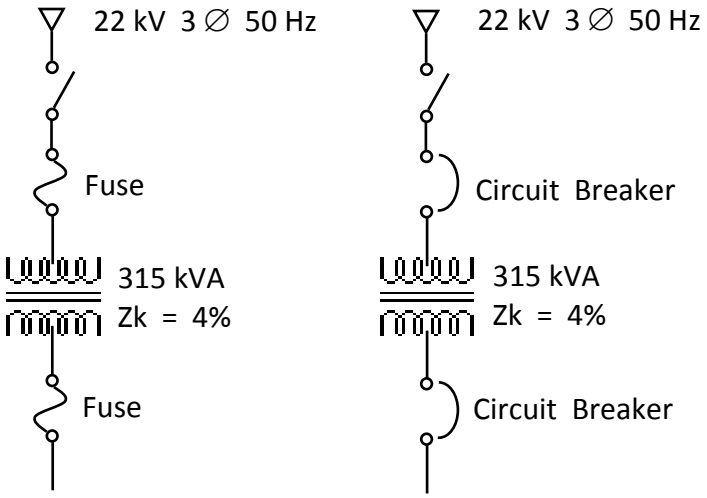
การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้าด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะได้

พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ = 300% x 19.245

= 57.735 A

2.2 การป้องกันหม้อแปลงทั้งสองด้านทั้งด้านเข้าและด้านออก การป้องกันในกรณีให้พิจารณาโดยใช้ตัวคูณเพื่อหาขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงตามตารางที่ 3.3

ตัวอย่างที่ 3.8 จากรูปที่ 3.20 ต้องการป้องกันหม้อแปลงขนาด 315 kVA ทั้งทางด้านเข้าและด้านออก จงคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง หากต้องการใช้ฟิวส์ (Fuse) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันหม้อแปลงแต่ละลูก



รูปที่ 3.20 การป้องกันหม้อแปลงทั้งสองด้าน

วิธีทำ

คำนวณกระแสไฟฟ้าด้านเข้าหม้อแปลง

จากสมการ $P = \sqrt{3}.V.I$

จะได้ $I_{IN} = P / \sqrt{3}.V$

แทนค่า $I_{IN} = (315 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 22 \times 1000)$

$= 8.266$ A

จากตารางที่ 3.3 แรงดันดันเกิน 600 V หม้อแปลงขนาด 315 kVA มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 4% แต่ในกรณีนี้เป็นการป้องกันทั้งสองด้าน จึงต้องพิจารณาตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้าด้วยฟิวส์ จะได้

พิกัดฟิวส์ = 300% x 8.266

= 24.798 A

การป้องกันหม้อแปลงด้านออกด้วยฟิวส์ จะได้

พิกัดฟิวส์ = 250% x 8.266

= 20.665 A

การป้องกันหม้อแปลงด้านเข้าด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะได้

พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ = 600% x 8.266

= 49.596 A

การป้องกันหม้อแปลงด้านออกด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะได้

พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ = 250% x 8.266

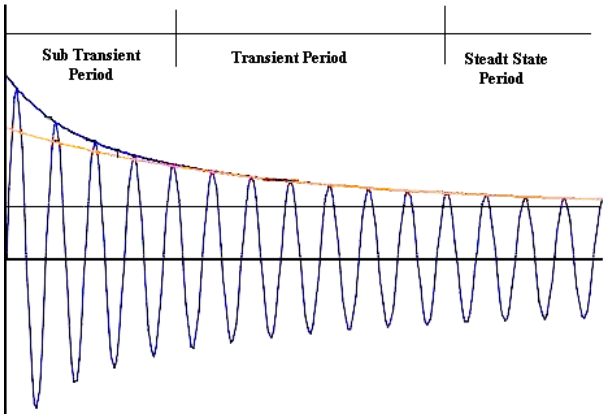
= 20.665 A

3.4 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเกิดจากสายไฟที่ไม่มีฉนวนหุ้มมาสัมผัสกันจะทำให้วงจรสั้นลง ตรงจุดที่สายไฟสัมผัสกันมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้มาก และกระแสไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนตรงจุดที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจร สายไฟที่ใช้งานอยู่ถ้ามีสภาพเก่ามากฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าผุหรือเปื่อยจนลวดตัวนำในสายไฟแต่ละเส้นสัมผัสกันจะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร และเกิดความร้อนสูงมากตรงจุดที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจร ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้ ถ้าเกิดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอาจจะทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเสียหายได้ สายไฟส่วนที่ไม่มีฉนวนหุ้มเมื่อไม่สัมผัสกันจะไม่เกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ถ้าเราไปจับหรือสัมผัสจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงสู่พื้นได้อาจทำให้เป็นอันตรายถึงชีวิตได้

3.4.1 ชนิดของการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าจะมีสายที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเรียกว่าสาย Line ซึ่งตามปกติสาย Line จะไม่มีการสัมผัสกับเส้นอื่นๆ เช่น สัมผัสกับสายนิวทรัล (Neutron) หรือสายกราวด์ (Ground) การลัดวงจร ก็คือการที่กระแสไฟจากสายไฟสามารถไหลเข้าสู่สายนิวทรัล หรือ สายกราวด์ โดยไม่ผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า ในสภาวะแบบนี้จะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมหาศาลที่สามารถให้บริการเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทั้งอาคาร โดยไหลผ่านสายไฟฟ้า ณ จุดที่เกิดการลัดวงจร และจะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก รูปคลื่นกระแสขณะเกิดการลัดวงจร ดังรูปที่ 3.21 จะใช้เวลาในการเพิ่มขึ้นของกระแส



รูปที่ 3.21 Symmetrical Faults[17]

จนถึงจุดสูงสุดเพียงแค่ครึ่งคลื่น จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดสูงมากๆ หากไม่มีการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ป้องกันให้มีพิกัดกระแสลัดวงจรมากกว่าค่ากระแสลัดวงจร ณ จุดที่ทำการติดตั้งแล้ว สิ่งที่จะตามมาก็คือการเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และระบบไฟฟ้า การเกิดการลัดวงจรแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical Faults) และการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Faults)

[17] สืบค้นเมื่อ 4/07/2558 : http://electrical-engineering-portal.com/an-overview-of-short-circuit-currentpart2

1) การลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical Faults) เป็นการลัดวงจรที่เกิดขึ้นน้อยมาก จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อตัวนำไฟฟ้าทั้ง 3 เส้นของระบบไฟฟ้าสามเฟสลัดวงจร หรืออาจจะเกิดการลัดวงจรลงกราวด์ (Ground) ในขณะที่เกิดการลัดวงจรระบบไฟฟ้ายังคงรักษาสมดุลของระบบไฟฟ้าไว้ได้ เรียกการลัดวงจรชนิดนี้ว่า การลัดวงจรสามเฟส (Three Phase Fault)

2) การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Faults) การลัดวงจรในลักษณะนี้จะเป็นการลัดวงจรที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ในขณะที่เกิดการลัดวงจรที่ทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดสภาวะไม่สมดุลในระบบจำหน่าย จะมีลักษณะการเกิดได้ 3 ชนิด คือ

2.1 การลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault คือ การลัดวงจรระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับสายกราวด์

2.2 การลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault คือ การลัดวงจรระหว่างสายเฟสสองเฟสกับสายกราวด์

2.3 การลัดวงจรแบบ Line to Line Fault คือ การลัดวงจรระหว่างเฟส หรือระหว่างสาย Line กับสาย Line

ดังนั้นการพิจารณาเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ โดยเริ่มจากการคำนวณหาขนาดของโหลด แล้วนำมาพิจารณาทำการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ตัดตอน การเลือกพิกัดดังกล่าวนั้นจะต้องเลือกพิกัดให้เหมาะสมกับค่าที่ทำการคำนวณได้ หมายถึง หากทำการเลือกพิกัดต่ำกว่าค่าที่ได้นั่นก็อาจจะทำให้อุปกรณ์ตัดตอนที่เลือกนั้นไม่สามารถทำการป้องกันระบบไฟฟ้าได้ แต่ถ้าหากเลือกขนาดที่ใหญ่เกินค่าที่คำนวณได้มากๆ ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองในเรื่องของค่าใช้จ่าย

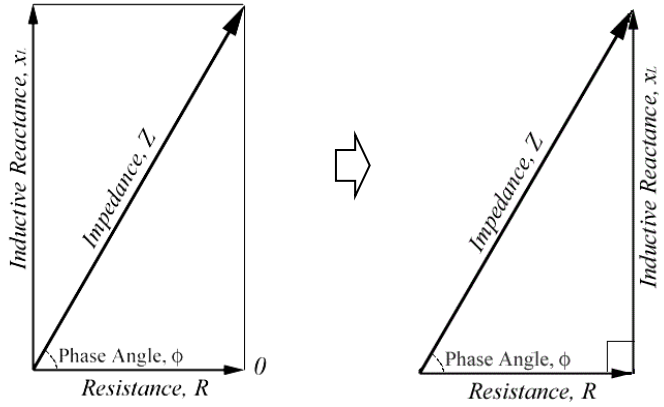
3.4.2 การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าเพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณ (Isc) ไปเลือกค่าพิกัดการทนกระแสลัดวงจร (IC) ของอุปกรณ์ป้องกัน หรือตัดตอนอัตโนมัติ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่การเลือกพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณากระแสไฟฟ้าถึง 3 ตัว คือ กระแสทริป (AT : Ampere Trip) กระแสโครงสร้าง (AF : Ampere Frame) และกระลัดวงจร (IC : Interrupting Capacity) โดยที่ค่าต่างๆ ดังกล่าวจะระบุไว้ที่ด้านหน้าของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังรูปที่ 3.21 ที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์จะระบุค่ากระแสทั้งสามตัว คือ AT, AF และ IC เนื้อหาในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรแรงดันต่ำเท่านั้น ตัวอย่างการบอกค่ากระแสต่างๆ ของอุปกรณ์ป้องกันหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังรูปที่ 3.22 จากรูปพิกัดกระแสทริปเท่ากับ 100 A พิกัดกระแสโครงสร้างเท่ากับ 100 A ส่วนพิกัดกระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน และมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น ตามมาตรฐาน IEC947-2 ที่พิกัด 400 VAC จะมีค่าพิกัดการทนกระแสลัดวงจร (Icu/Ics) เท่ากับ 10/5 kA ที่พิกัด 230 VAC จะมีค่าพิกัดการทนกระแสลัดวงจรเท่ากับ 25/13 kA สำหรับมาตรฐาน JIS ที่พิกัด 460 VAC จะมีค่าพิกัดการทนกระแสลัดวงจรเท่ากับ 10 kA ที่พิกัด 220 VAC จะมีค่าพิกัดการทนกระแสลัดวงจรเท่ากับ 25 kA เป็นต้น

รูปที่ 3.22 ค่ากระแสต่างๆ ของเซอร์กิตเบรกเกอร์[18]

การคำนวณกระแสลัดวงจรจะต้องพิจารณาค่าต่างๆ ดังนี้

1) ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) อิมพีแดนซ์ (สัญลักษณ์ Z) คือ ค่ารวมทั้งหมดที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร หรืออาจเรียกว่าเป็นสิ่งทั้งหมดในวงจร ที่ขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า คล้ายกับความต้านทาน อิมพีแดนซ์ต้องคำนึงถึงผลกระทบของความจุและการเหนี่ยวนำด้วย อิมพีแดนซ์มีหน่วยวัดเป็นโอห์ม อิมพีแดนซ์สามารถแยกเป็นสองส่วน คือ ความต้านทาน (R : Resistance) เป็นส่วนที่มีค่าคงที่โดยไม่คำนึงถึงความถี่ อีกส่วนหนึ่ง คือ รีแอกแทนซ์ (X : Reactance)



รูปที่ 3.23 Impedance Diagram

เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ ซึ่งรีแอกแทนซ์จะแยกออกเป็นอีกสองส่วน คือ ค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ (X_L : Inductive reactance) และ ค่าความต้านทานของความจุ (X_C : Capacitive reactance) ความจุและความเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเคลื่อนเฟส (phase shift) ระหว่างกระแสและ

[18] สืบค้นเมื่อ 4/07/2558 : https://www.facebook.com/ElectricalRm/photos/a.422673381079401.115230.422449687768437/584036764943061/

แรงดัน ทำให้ความต้านทานและรีแอกแทนซ์ไม่สามารถรวมกันเป็นอิมพีแดนซ์ด้วยวิธีง่ายๆ โดยจะต้องรวมกันทางเวคเตอร์ ซึ่งรีแอกแทนซ์จะตั้งฉากกับความต้านทาน ดังรูปที่ 3.22

การเคลื่อนเฟส (Phase shift) หมายถึง กระแสและแรงดันไม่ก้าวไปพร้อมกัน ให้ลองนึกถึงการประจุของตัวเก็บประจุ เมื่อแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุเป็นศูนย์ กระแสจะสูงสุด แต่เมื่อตัวเก็บประจุได้ประจุและได้ค่าแรงดันสูงสุด กระแสก็จะต่ำสุด การประจุและคลายประจุเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสลับกันโดยกระแสจะถึงค่าสูงสุดก่อนแรงดันถึงค่าสูงสุด เราจึงเรียกว่ากระแสนำหน้าแรงดัน

จากรูปที่ 3.23 จะทำให้เกิดสมการสำหรับคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ ดังนี้

เนื่องจากด้าน Z เป็นด้านตรงข้ามมุมฉาน เพราะฉะนั้นสมการสำหรับหาความยาวของด้านนี้ คือ

$$Z_e = \sqrt{(R_e^2 + X_e^2)} \qquad (3.7)$$

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400/230 3 ∅ 4 W

หม้อแปลง (kVA)	กระแสหม้อแปลง (A)	กำลังสูญเสีย (kW)	Zk (%)	ความต้านทาน (mΩ)	รีแอกแทนซ์ (mΩ)
315	454.66	3.90	4	6.29	19.32
400	577.35	4.60	4	4.60	15.32
500	721.69	5.50	4	3.52	12.31
630	909.33	6.50	4	2.62	10.01
800	1154.70	11.00	6	2.75	11.68
1000	1443.38	13.50	6	2.16	9.35
1250	1804.22	16.40	6	1.68	7.49
1600	2309.40	19.80	6	1.24	5.87
2000	2886.75	20.90	6	0.91	4.70
2500	3608.44	26.80	6	0.69	3.78

หมายเหตุ ระดับแรงดันด้านแรงสูงที่ 11 kV, 22 kV และ 33 kV

แต่ในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรนั้น ในระบบจะประกอบไปด้วยของอิมพีแดนซ์สองส่วนหลักๆ คือ อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Z_c = \sqrt{(R_c^2 + X_c^2)} \qquad (3.8)$$

และอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Z_T = \sqrt{(R_T^2 + X_T^2)} \qquad (3.9)$$

โดยที่ $R_e = R_c + R_T$

และ $X_e = X_c + X_T$

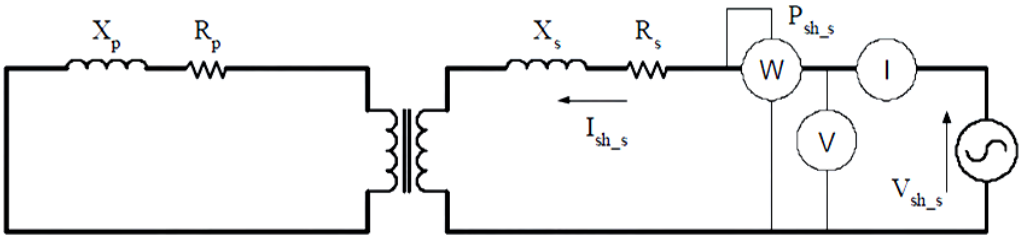
ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง ดังตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ 416/240 3 ∅ 4 W

หม้อแปลง (kVA)	กระแสหม้อแปลง (A)	กำลังสูญเสีย (kW)	Zk (%)	ความต้านทาน (mΩ)	รีแอกแทนซ์ (mΩ)
315	437.18	3.90	4	6.80	21.00
400	555.14	4.60	4	4.93	16.52
500	693.93	5.50	4	3.82	13.32
630	874.35	6.50	4	2.82	10.61
800	1110.29	11.00	6	2.95	12.68
1000	1387.86	13.50	6	2.36	10.12
1250	1734.83	16.40	6	1.83	8.13
1600	2220.58	19.80	6	1.34	6.35
2000	2775.72	24.00	6	1.05	5.10
2500	3469.65	26.80	6	0.75	4.08

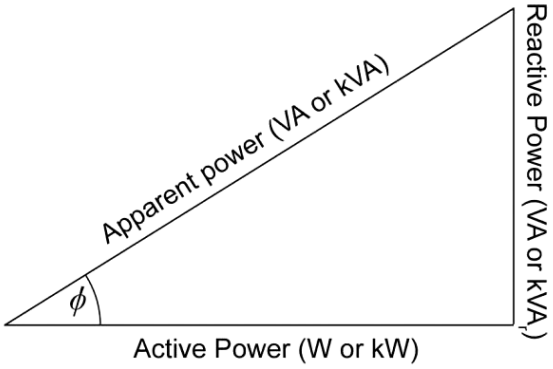
หมายเหตุ ระดับแรงดันด้านแรงสูงที่ 12 kV และ 24 kV

จากตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5 ค่า %Zk คือ อิมพีแดนซ์โวลต์เตจ (Impedance Voltage) ของหม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันพิกัดที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงด้วยวิธีการลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการทดสอบ (Short Circuit Test) ดังรูปที่ 3.24 หรือหาค่าได้จากเอกสารของผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งบางผลิตภัณฑ์ใช้ตัวอักษร U_k แทน Z_k



รูปที่ 3.24 Short Circuit Test

2) ค่าตัวประกอบกำลัง (PF : Power Factor) ดังรูปที่ 3.25 สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม อาคารขนาดใหญ่หรือผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ที่มีการใช้กำลังงานมากกว่า 30 kW ขึ้นไปจะมีการเรียกเก็บค่ากำลังงานรีแอคทีฟ (kVar) ในส่วนที่เกิน 61.97% ของค่าความต้องการกำลังงานแอคทีฟเฉลี่ยสูงสุด 15 นาที หรือที่เราเรียกกันทั่วไปว่าค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์



รูปที่ 3.25 Power Factor[19]

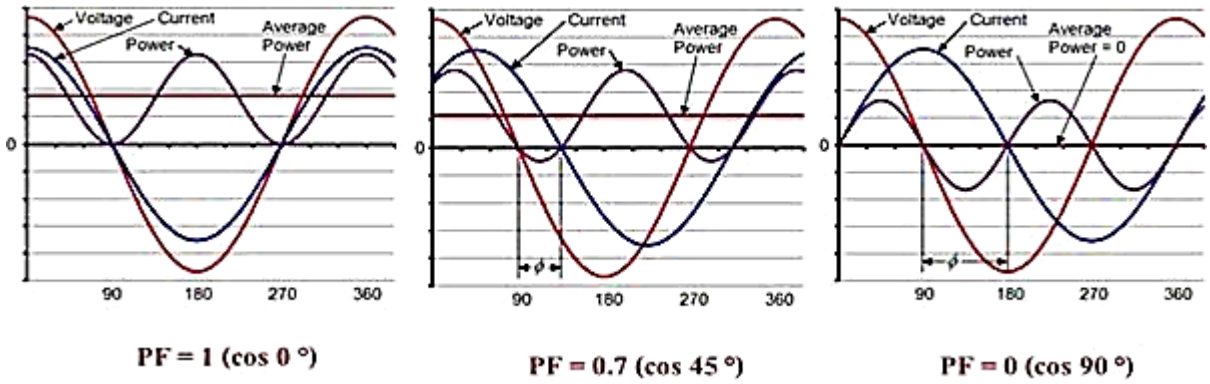
จากรูปที่ 3.25 ทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$\text{Power Factor (PF)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} \qquad (3.10)$$

หรือ $$\text{Power Factor (PF)} = \frac{P}{S} = \frac{\text{Watt}}{\text{VA}}$$

โดยที่ $$\text{Apparent Power (S)} = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad \text{VA} \qquad (3.11)$$

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ หรือที่เรียกกันในภาษาไทยว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้น คือ ค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (P : Real Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W : Watt) หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ (S : Apparent Power) มีหน่วยเป็นวีเอ หรือโวลท์-แอมป์ (VA) โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจง่ายได้ว่า Power Factor คือ ตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์ หรือเกิด



รูปที่ 3.26 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่างๆ[20]

การทำงานจริงกับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้า โดยส่วนที่เกินจากกำลังงานที่ใช้ทำงานจริงจะเรียกว่า กำลังงานรีแอคทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) กำลังงานรีแอค

[19] สืบค้นเมื่อ 8/07/2558 : http://www.itacanet.org/basic-electrical-engineering/part-12-ac-power-factor/

[20] สืบค้นเมื่อ 8/07/2558 : http://www.pq-team.com/engineering-zone/what-is-power-factor

ทีฟซึ่งไม่เกิดประโยชน์นี้หรือบางครั้งเรียกกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งจะเป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้า นอกจากนั้นยังจะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในอุปกรณ์เหล่านี้ด้วย ตัวอย่างของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต่างๆ ดังรูปที่ 3.26 โดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น (Average Power)

3) ค่ากระแสลัดวงจรจากหม้อแปลงไฟฟ้า (I_U) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$I_U = \frac{100 \times I_{FLTr}}{\%Zk} \qquad (3.12)$$

เมื่อกำหนดให้ I_U คือ กระแสลัดวงจรด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

I_{FLTr} คือ กระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

%Zk คือ อิมพีแดนซ์โวลเตจ (Impedance Voltage) ของหม้อแปลงไฟฟ้า

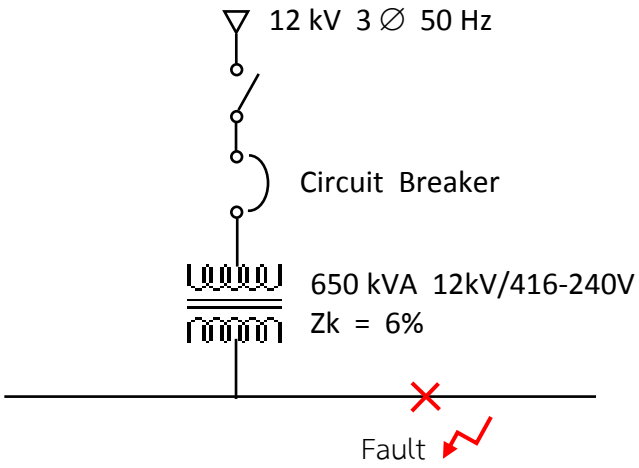
ค่ากระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (I_{FL}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.13

$$I_{FLTr} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL} \qquad (3.13)$$

เมื่อกำหนดให้ S คือ ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (VA)

VL คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า (กฟภ. = 400 V , กฟน. = 416 V)

ตัวอย่างที่ 3.9 จากรูปที่ 3.27 จงคำนวณหากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุด Fault



รูปที่ 3.27 รูปสำหรับตัวอย่างที่ 3.9

วิธีทำ

จากสมการที่ 3.13

$$I_{FLTr} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_{FLTr} = \frac{650 \times 1000}{\sqrt{3} \times 416}$$

$$= 902.1097 \quad A$$

คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า ได้จากสมการที่ 3.12

$$I_U = \frac{100 \times I_{FLTr}}{\%Zk}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_U = \frac{100 \times 902.1097}{6}$$

$$= 15.035 \quad kA$$

ค่ามาตรฐานกระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า 3 ∅ 480 V คือ 14 kA, 25 kA, 30 kA, 35 kA, 50 kA, 65 kA, 150 kA

ค่ากระแสลัดวงจรที่เลือกควรจะมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าค่าที่คำนวณได้ IC $\geq$ 15.035 kA ดังนั้นควรเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอัตราการทนกระแสลัดวงจรเท่ากับ 25 kA

สำหรับค่ามาตรฐานกระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า 1 ∅ 240 V คือ 10 kA, 18 kA, 22 kA, 42 kA, 65 kA, 100 kA, 200 kA

4) กระแสเสริมจากมอเตอร์ (I_M) เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า มอเตอร์ประเภทอะซิงโครนัส (Asynchronous Motor) จะจ่ายกระแสเสริมเข้าในระบบไปยังจุดที่เกิดการลัดวงจร ด้วยเหตุนี้จะทำให้กระแสลัดวงจรรวมมีค่าสูงขึ้น โดยคิดค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์จะมีค่าประมาณ 4 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ขนาดกระแสเสริมของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.14

$$I_M = 4 \times I_{FLM} \qquad (3.14)$$

เมื่อกำหนดให้ I_M คือ กระแสเสริมจากมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (A)

I_{FLM} คือ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

ตัวอย่างที่ 3.10 จากรูปที่ 3.28 จงคำนวณหากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุด Fault ซึ่งเป็นบัสบาร์ (Bus Bar) ในตู้จ่ายไฟหลัก (MDB)

วิธีทำ

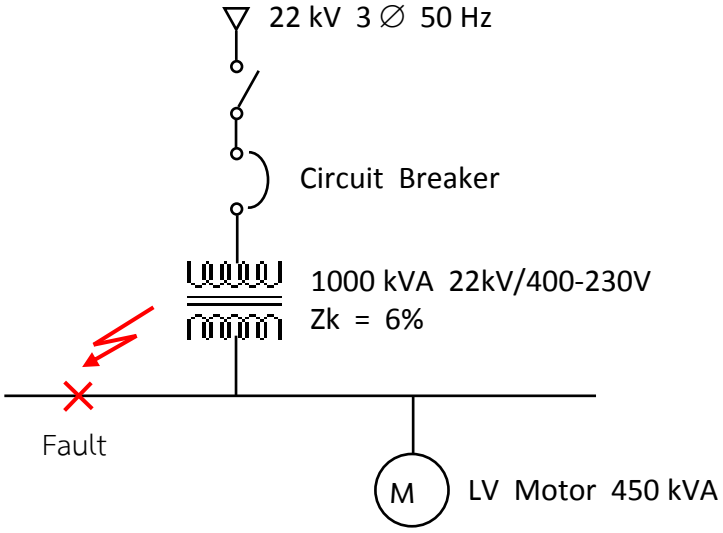
จากสมการที่ 3.13

$$I_{FLTr} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_{FLTr} = \frac{1000 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 1.443 \quad kA$$



รูปที่ 3.28 รูปสำหรับตัวอย่างที่ 3.10

คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.12

$$I_U = \frac{100 \times I_{FLTr}}{\%Zk}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_U = \frac{100 \times 1.443 \times 10^3}{6}$$

$$= 24.05 \quad kA$$

คำนวณหาค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์ได้จากสมการที่ 3.14

$$I_M = 4 \times I_{FLM}$$

จากสมการ $$I_{FLM} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL}$$

$$I_{FLM} = \frac{450 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 649.519 \quad A$$

แทนค่าในสมการที่ 3.14 จะได้

$$I_M = 4 \times 649.519$$

$$= 2.598 \quad kA$$

กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$I_{SC} = I_U + I_M$$
$$= 24.05 + 2.598$$
$$= 26.648 \quad kA$$

ดังนั้นควรเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอัตราการทนกระแสลัดวงจรเท่ากับ 30 kA

5) ค่ากระแสลัดวงจร ณ จุดใดๆ ในระบบไฟฟ้า หมายถึง การคำนวณหาค่าพิกัดกระแสลัดวงจร (Interrupting Capacity) ของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า ค่าที่คำนวณได้คือ ค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตร 3 เฟส เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่มีขนาดมากที่สุด นั่นก็หมายความว่าถ้าอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสามารถทนได้ ก็จะทำให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

ขั้นตอนในการคำนวณกระแสลัดวงจร ณ จุดใดๆ ในระบบไฟฟ้าจะเริ่มจากการเขียนแผนภาพอิมพีแดนซ์ (Impedance Diagram) และขั้นต่อไปจะเป็นการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ในส่วนต่างๆ ดังนี้ ระบบไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า สายประธาน สายป้อน สายป้อนวงจรย่อย สายวงจรย่อย

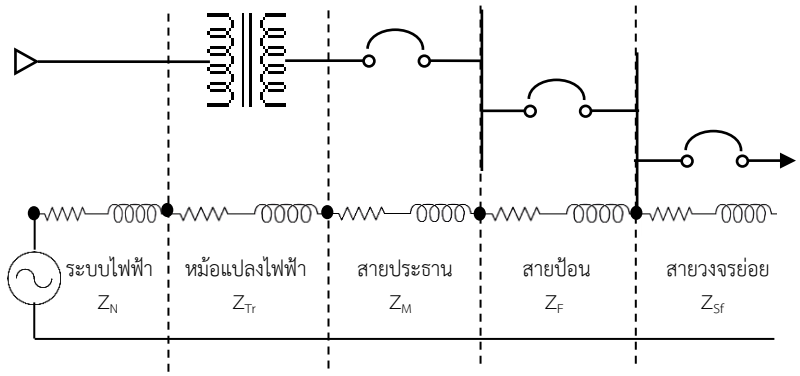
5.1 แผนภาพอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 3.29 กระแสลัดวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3} \cdot Z_t} \qquad (3.15)$$

เมื่อกำหนดให้ I_{SC} คือ กระแสลัดวงจรสมมาตร 3 เฟส

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลง
(กฟภ. = 400 V ; กฟน. = 416 V)

Z_t คือ อิมพีแดนซ์รวม ขณะเกิดลัดวงจร



รูปที่ 3.29 แผนภาพอิมพีแดนซ์

5.2 อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Z_N) จากมาตรฐาน IEC 60909 สามารถหาค่า Z_N ได้จากสมการที่ 3.16

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^2} \qquad (3.16)$$

เมื่อกำหนดให้ ZN คือ อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า

c คือ ค่าคงที่แรงดัน (Voltage Factor) ดังตารางที่ 3.6

V คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง (แรงสูง)

MVA_{SC} คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

tr คือ อัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง (Turn Ratio)

ตารางที่ 3.6 ค่าคงที่แรงดัน (Voltage Factor) มาตรฐาน IEC 60909

Normal Voltage	Voltage Factor c for the calculation of	
	Maximum short circuit current (c_{max})	Maximum short circuit current (c_{min})
Low Voltage 100 to 1,000 V (IEC Publication 38, Table I) a) 230 V / 400 V b) Other Voltages	 1.00 1.05	 0.95 1.00
Medium Voltage > 1 kV to 35 kV (IEC Publication 38, Table III)	1.10	1.00
High Voltage > 35 kV to 230 kV (IEC Publication 38, Table IV)	1.10	1.00

5.3 พิกัดกระแสลัดวงจร (MVA_{SC}) สามารถหาค่าได้จากระดับแรงดันของระบบที่พิจารณา ดังนี้

- ระดับแรงดันไม่เกิน 24 kV ค่า MVA_{SC} = 500 MVA
- ระดับแรงดันเกิน 24 kV ค่า MVA_{SC} = 1,000 MVA (Std. IEC and CEI)
- การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ระบบไฟฟ้า 24 kV / 416-240 V ค่า MVA_{SC} = 500 MVA จากสมการ 3.16

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^2}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$Z_N = \frac{1.1 \times (24 \times 10^3)^2}{500 \times 10^6} \times \frac{(416)^2}{(24 \times 10^3)}$$

$$= 0.3807 \quad m\Omega$$

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ระบบไฟฟ้า 22 kV / 400-230 V ค่า MVA_{SC} = 500 MVA จากสมการ 3.16

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^2}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$Z_N = \frac{1.1 \times (22 \times 10^3)^2}{500 \times 10^6} \times \frac{(400)^2}{(22 \times 10^3)}$$

$$= 0.3520 \quad m\Omega$$

5.4 ค่า R_N และค่า X_N ของระบบไฟฟ้า จากสมการ

$$Z_N = R_N + jX_N$$

สามารถหาได้จากสมการ

$$R_N = 0.1 \times X_N$$

$$X_N = 0.995 \times Z_N$$

5.5 อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Z_{Tr}) สามารถคำนวณได้จากข้อมูลพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.17

$$Z_{Tr} = \frac{\%Z_k \times V_L^2}{S_{Tr} \times 100} \qquad (3.17)$$

และจากการทดสอบแบบลัดวงจร จะได้

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu\ Loss}}{3 \times (I_{FL,Tr})^2} \qquad (3.18)$$

$$X_{Tr} = \sqrt{(Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2)} \qquad (3.19)$$

เมื่อกำหนดให้ Z_{Tr} คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

R_{Tr} คือ ความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า

X_{Tr} คือ รีแอกแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า

$P_{cu,loss}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.7 และสมการที่ 3.20

ตารางที่ 3.7 ค่า $P_{cu,loss}$ มาตรฐาน UNEL 21001-74 (I) และ DIN 42500

S_{Tr} (kVA)	$P_{cu,loss}$ (W)
25	700
50	1100
100	1750
160	2350
250	3250
400	4600
630	6500

ค่า $P_{cu,loss}$ ตามมาตรฐาน NFC 15-105 (P) ดังสมการที่ 3.20

$$P_{cu,loss}\ [W] = 3 \times (\%Zk) \times (S_{Tr}\ [kVA]) \qquad (3.20)$$

ตัวอย่างที่ 3.11 จงคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัด 2,000 kVA Zk = 6% 22 kV / 400-230 V ให้คำนวณตามมาตรฐาน NFC

วิธีทำ

คำนวณหาค่ากระแสพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าจากสมการที่ 3.13

$$I_{FLTr} = \frac{S}{\sqrt{3}.V_L}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_{FLTr} = \frac{2{,}000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 2.886 \quad kA$$

หาค่า $P_{cu,loss}$ จากสมการที่ 3.20

$$P_{cu,loss}\ [W] = 3 \times (\%Zk) \times (S_{Tr}\ [kVA])$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$P_{cu,loss} = 3 \times 6 \times 2{,}000$$

$$= 36 \quad kW$$

คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.17

$$Z_{Tr} = \frac{\%Z_k \times V_L^2}{S_{Tr} \times 100}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$Z_{Tr} = \frac{6 \times 400^2}{(2{,}000 \times 10^3) \times 100}$$

$$= 4.80 \quad m\Omega$$

คำนวณหาค่าความต้านทานจากสมการที่ 3.18

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu\ Loss}}{3 \times (I_{FL,Tr})^2}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$R_{Tr} = \frac{36 \times 10^3}{3 \times (2.886 \times 10^3)^2}$$

$$= 1.4407 \quad m\Omega$$

คำนวณหาค่ารีแอกแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการ

$$X_{Tr} = \sqrt{(Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2)}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$X_{Tr} = \sqrt{(4.8^2 - 1.4407^2)}$$

= 4.578 mΩ

ตัวอย่างที่ 3.12 จากรูปที่ 3.30 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัด 2,000 kVA Zk = 6% 24 kV / 416-240 V จงคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร ณ จุด Fault 1 และจุด Fault 2 โดยระบบไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับ 500 MVA

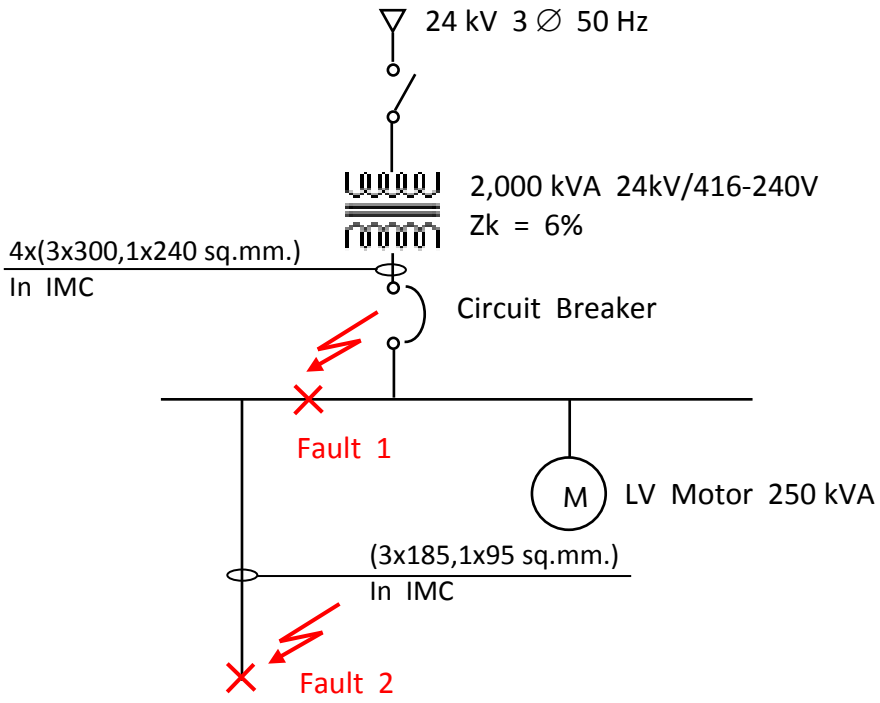
กำหนดให้ สายประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไฟฟ้าถึงตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ใช้สายขนาด 4 set of (3 x 300 ตร.มม., 1 x 240 ตร.มม. (N) 60227 IEC 01 (THW)) เดินในท่อโลหะระยะความยาว 35 เมตร และสายป้อนจากตู้จ่ายไฟหลัก ถึงจุดเกิดลัดวงจรใช้สายขนาด 3 x 185 ตร.มม., 1 x 95 sq.mm. (N) 60227 IEC 01 (THW) เดินในท่อโลหะระยะความยาว 60 เมตร

วิธีทำ

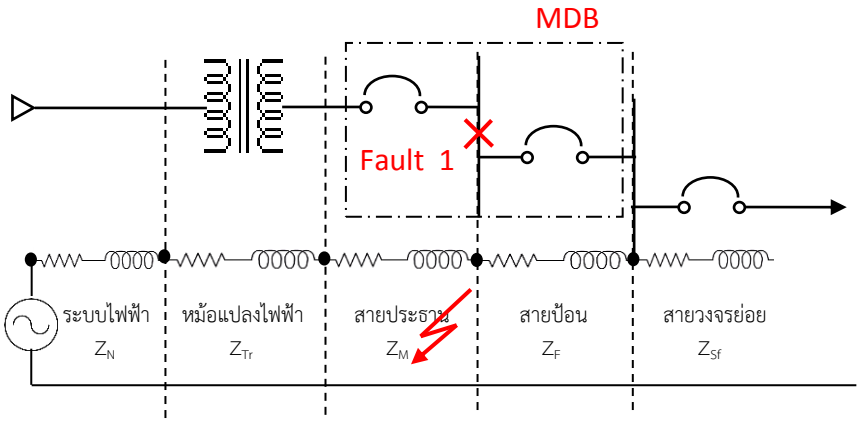
กรณีที่ 1 เกิดการลัดวงจรที่จุด Fault 1 แผนภาพอิมพีแดนซ์เมื่อเกิดลัดวงจร ดังรูปที่ 3.31 คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Z_N) จะได้ดังนี้

ระบบไฟฟ้า 24 kV / 416-240 V พิกัดกำลังไฟฟ้า (MVA_{SC}) เท่ากับ 500 MVA

Z_N = 0.3807 Ω , X_N = 0.3788 Ω , R_N = 0.0379 Ω หรือ Z_N = 0.0379 + j0.3788 Ω



รูปที่ 3.30 รูปสำหรับตัวอย่างที่ 3.12



รูปที่ 3.31 แผนภาพอิมพีแดนซ์เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด Fault 1

คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Z_{Tr})

หาค่า $P_{cu,loss}$ จากสมการที่ 3.20 แทนค่าในสมการ จะได้

$$P_{cu,loss} = 3 \times 6 \times 2{,}000$$

$$= 36 \quad \text{kW}$$

คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.17 แทนค่าในสมการ จะได้

$$Z_{Tr} = \frac{6 \times 416^2}{(2{,}000 \times 10^3) \times 100}$$

$$= 5.1916 \quad \text{m}\Omega$$

คำนวณหาค่ากระแสพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าจากสมการที่ 3.13 แทนค่าในสมการ จะได้

$$I_{FLTr} = \frac{2{,}000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 416}$$

$$= 2.775 \quad \text{kA}$$

คำนวณหาค่าความต้านทานจากสมการที่ 3.18 แทนค่าในสมการ จะได้

$$R_{Tr} = \frac{36 \times 10^3}{3 \times (2.775 \times 10^3)^2}$$

$$= 1.5583 \quad \text{m}\Omega$$

คำนวณหาค่ารีแอกแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า จะได้

$$X_{Tr} = \sqrt{(5.1916^2 - 1.5583^2)}$$

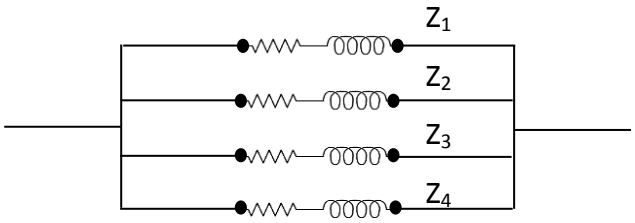
$$= 4.9522 \quad \text{m}\Omega$$

เขียนค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นจำนวนเชิงซ้อนได้เป็น

$$Z_{Tr} = 1.5583 + j4.9522 \quad \text{m}\Omega$$

สายประธาน สายประธานขนาด 4 set of (3x300 ตร.มม., 1x240 ตร.มม. (N) 60227 IEC 01 (THW)) เดินในท่อ IMC หมายถึง เดินสายจากหม้อแปลงไปตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) แยกเป็น 4 ท่อแต่ละท่อประกอบด้วยสาย 4 เส้น แยกเป็นสายเฟส (A, B, C) ขนาด 300 ตร.มม. จำนวน 3 เส้น และสายนิวทรัล

ขนาด 240 ตร.มม. จำนวน 1 เส้น รวมเดินสายทั้งหมด 16 เส้น เป็นการเดินสายแต่ละเฟส ด้วยสายควบขนาด 300 ตร.มม. จำนวน 4 เส้น ต่อ เฟส นั่นเอง เดินสายควบ เป็นการเดินสายขนาดเดียวกัน และความยาวเท่ากัน (ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน) ขนานกัน ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 อิมพีแดนซ์ขนานสำหรับตัวอย่างที่ 3.12

จากรูปที่ 3.31 ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าเท่ากันหมด คือ $Z = Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$ ดังนั้นจะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายประธาน ดังนี้

$$Z_M = Z \,//\, Z \,//\, Z \,//\, Z = Z / 4$$

และจะได้ $= (R/4) + j(X_L/4)$

จากตารางที่ 3.1 สายขนาด 300 ตร.มม. มีค่าความต้านทาน 0.0737 Ω/km มีค่ารีแอกแทนซ์ 0.1078 Ω/km สายยาว 35 เมตร และรวมกัน 4 เส้น จะได้

$$R = (0.0737/1000) \times 35$$
$$= 2.579 \quad m\Omega/m$$
$$X = (0.1078/1000) \times 35$$
$$= 3.773 \quad m\Omega/m$$

ดังนั้น จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายประธาน (Z_M) เท่ากับ

$$Z_M = 1/4 \times (2.579 + j3.773)$$
$$= 0.6447 + j0.943 \quad m\Omega$$

เมื่อรวมค่าอิมพีแดนซ์ถึงจุดลัดวงจร Fault 1 จะได้

$$Z_t = Z_N + Z_{Tr} + Z_M$$
$$= (0.0379 + j0.3788)+(1.5583 + j4.9522)+(0.6447 + j0.943)$$
$$= 2.2409 + j6.274 \quad m\Omega$$

เมื่อทำการคำนวณหาเฉพาะขนาดของอิมพีแดนซ์ จะได้

$$Z_t = \sqrt{((2.2409)^2 + (6.274)^2)}$$
$$= 6.6621 \quad m\Omega$$

คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรได้จากสมการ

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3}.Z_t}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$= \frac{416}{\sqrt{3}x(6.6621x10^{-3})}$$

$$= 36.051 \quad kA$$

คำนวณหาค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.14 โดยที่มอเตอร์มีกำลังไฟฟ้ารวม 250 kVA ดังนี้

$$I_M = 4 \times I_{FLM}$$

จากสมการ $$I_{FLM} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL}$$

$$I_{FLM} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 416}$$

$$= 346.965 \quad A$$

แทนค่าในสมการที่ 3.14 จะได้

$$I_M = 4 \times 346.965$$

$$= 1.387 \quad kA$$

กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

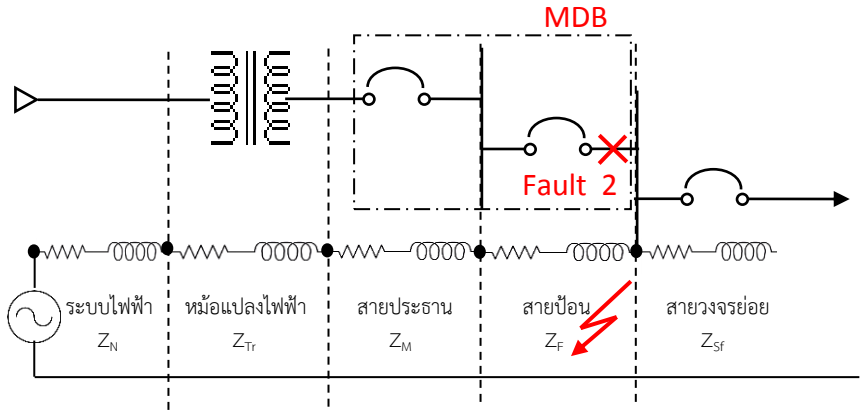
$$\text{จุด Fault 1} = I_{SC} + I_M$$

$$= 36.051 + 1.387$$

$$= 37.438 \quad kA$$

ดังนั้นควรเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอัตราการทนกระแสลัดวงจร IC $\geq$ 50 kA

กรณีที่ 2 เกิดกระแสลัดวงจรที่จุด Fault 2 แผนภาพอิมพีแดนซ์เมื่อเกิดลัดวงจร ดังรูปที่ 3.33 ผลจากการคำนวณที่จุด Fault 1 ทำให้เราได้ค่า Z_N, Z_{Tr}, Z_M



รูปที่ 3.33 แผนภาพอิมพีแดนซ์เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด Fault 2

สายป้อนขนาด 3 x 185 ตร.มม., 1 x 95 sq.mm. (N) 60227 IEC 01 (THW) เดินในท่อโลหะ IMC จากตารางที่ 3.1 สายป้อนขนาด 185 ตร.มม. มีค่าความต้านทาน 0.0737 Ω/km มีค่ารีแอกแทนซ์ 0.1078 Ω/km สายยาว 60 เมตร จะได้

$R = (0.1196/1000) \times 60$

$= 7.176$ mΩ/m

$X = (0.1091/1000) \times 60$

$= 6.546$ mΩ/m

ดังนั้น จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายประธาน (Z_F) เท่ากับ

$Z_F = 7.176 + j6.546$ mΩ

เมื่อรวมค่าอิมพีแดนซ์ถึงจุดลัดวงจร Fault 2 จะได้

$Z_t = Z_N + Z_{Tr} + Z_M + Z_F$

$= (0.0379 + j0.3788) + (1.5583 + j4.9522) + (0.6447 + j0.943) + (7.176 + j6.546)$

$= 9.4169 + j12.82$ mΩ

เมื่อทำการคำนวณหาเฉพาะขนาดของอิมพีแดนซ์ จะได้

$Z_t = \sqrt{((9.4169)^2 + (12.82)^2)}$

$= 15.906$ mΩ

คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรได้จากสมการ

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3}.Z_t}$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$= \frac{416}{\sqrt{3}x(15.906x10^{-3})}$$

$= 15.098$ kA

คำนวณหาค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.14 โดยที่มอเตอร์มีกำลังไฟฟ้ารวม 250 kVA ดังนี้

$I_M = 4 \times I_{FLM}$

จากสมการ $I_{FLM} = \frac{S}{\sqrt{3}.VL}$

$$I_{FLM} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 416}$$

$= 346.965$ A

แทนค่าในสมการที่ 3.14 จะได้

$I_M = 4 \times 346.965$

$= 1.387$ kA

กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

จุด Fault 2 = $I_{SC} + I_M$

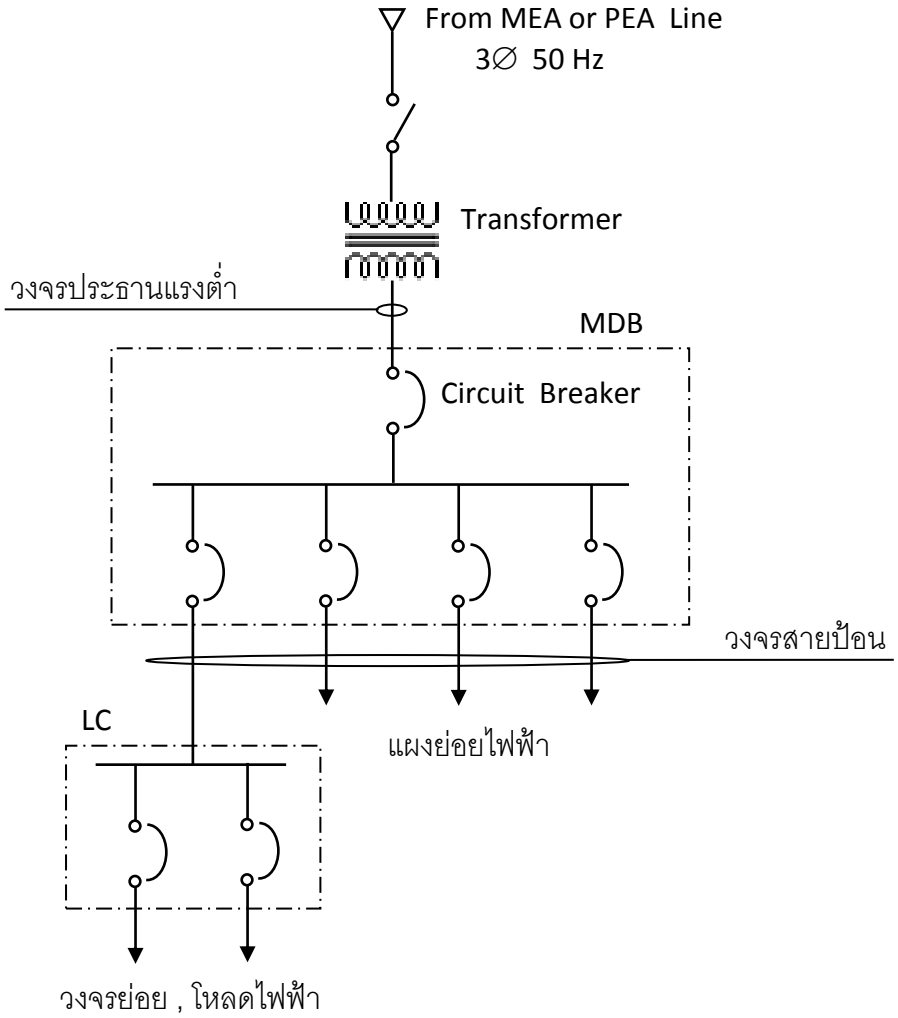
= 15.098 + 1.387

= 16.485 kA

ดังนั้นควรเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอัตราการทนกระแสลัดวงจร IC ≥ 25 kA

3.5 การคำนวณตัวนำประธาน สายป้อน และวงจรย่อย

การออกแบบระบบไฟฟ้าต้องเริ่มต้นจากส่วนประกอบที่เล็กที่สุดของระบบไฟฟ้า คือ วงจรย่อย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องพิจารณา ตรวจสอบ และกำหนดขนาดของโหลดให้เหมาะสม เพื่อนำไปคำนวณและออกแบบขนาดตัวนำ กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกันของวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรประธาน



รูปที่ 3.34 วงจรของระบบไฟฟ้า (Electrical Single Line Diagram)

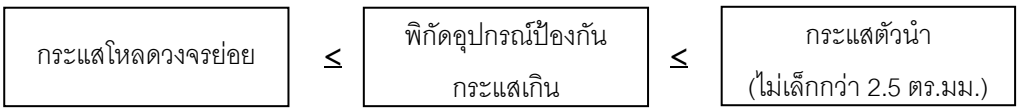
ให้มีขนาดเหมาะสม ส่งผลให้การทำงานของระบบไฟฟ้ามีความเชื่อมั่น (Reliability) ของระบบไฟฟ้าสูงและทำงานได้อย่างถูกต้อง มีความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน โดยพิจารณาที่ความปลอดภัยขั้นต่ำเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ หมายถึง ค่าต่างๆ ของระบบไฟฟ้าที่คำนวณได้จะเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ เพราะฉะนั้น

หากนำค่าจากการคำนวณไปพิจารณาเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ก็จะต้องเลือกให้มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณ ในกรณีที่ต้องการออกแบบเพื่อให้สามารถรองรับการขยายตัวของโหลดในอนาคต ให้พิจารณาเพิ่มเติมจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ วงจรของระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.34

การออกแบบระบบไฟฟ้าขั้นตอนถือว่ามีความสำคัญมาก คือ การคำนวณโหลดรวมของอาคาร ที่พักอาศัย สถานประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ค่าโหลดรวมจะเป็นตัวกำหนดขนาดของบริภัณฑ์ประธาน มิเตอร์ไฟฟ้า และอาจจะรวมไปถึงการกำหนดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย สำหรับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ได้ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับการคำนวณโหลด ดังนี้

1. การคำนวณวงจรย่อย (Branch Circuits Calculators)
2. การคำนวณสายป้อน (Feeders Calculators)
3. การคำนวณตัวนำประธาน (Service Conductor Calculators)

3.5.1 การคำนวณวงจรย่อย (Branch Circuits Calculators) วงจรย่อย คือ ตัวนำวงจรระหว่างอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินจุดสุดท้ายกับจุดจ่ายไฟ โหลดวงจรย่อยจะต้องมีค่าเท่ากับ 125% ของโหลดต่อเนื่องรวมกับโหลดไม่ต่อเนื่อง (โหลดวงจรย่อย = (1.25 x โหลดต่อเนื่อง) + โหลดไม่ต่อเนื่อง) เมื่อทราบโหลดวงจรย่อยก็จะทราบกระแส สามารถนำไปหาพิกัดอุปกรณ์ป้องกันและสายป้อนได้ ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ข้อกำหนดของวงจรย่อย

การคำนวณวงจรย่อยจะต้องทราบถึงพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบของวงจรย่อย ดังตารางที่ 3.8 และกำลังวัตต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดประหยัดไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า[21]

เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์	เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์	เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์
เครื่องปรับอากาศชนิดรวม	5,000	เครื่องแช่แข็งชนิดละลายน้ำแข็ง	500	หัวเตาหุงต้ม	4,000 - 5,000
เครื่องปรับอากาศแยกห้อง	800 - 1,000	เครื่องแช่แข็งมาตรฐาน	400	ตู้เย็นชนิดละลายน้ำแข็ง	615
เครื่องบด-ลับ	300	พัดลมดูดควัน	500	ตู้เย็นมาตรฐาน	325
เครื่องอบผ้า	4,858	เครื่องปิ้งขนมปัง	800-1,000	เลื่อยวงเดือน	1,200

[21] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) 2001-45 บทที่ 3.

ตารางที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า (ต่อ)

เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์	เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์	เครื่องใช้ไฟฟ้า	วัตต์
เครื่องชงกาแฟ	1,200	เครื่องเป่าผม	600-1,200	จักรเย็บผ้า	75
คอมพิวเตอร์	300	กระทะไฟฟ้า	1,200-1,500	ชุดเครื่องเสียง	300
เครื่องล้างจาน	1,200	เตารีดไอน้ำ	1,200-1,800	โทรทัศน์	145
สว่านไฟฟ้า	360 - 1,000	เตารีด	1,100	เครื่องเล่นวีดีโอ	125
หม้อหุงข้าว	450 – 800	เตาไมโครเวฟ	1,450	ปั๊มน้ำ	3,000
หม้อทอดมันฝรั่ง	800 - 1,000	เครื่องทำความเย็นชนิดไอน้ำ	1,000 - 1,500	เตาปิ้ง-ย่าง	1,146
พัดลมตั้งโต๊ะ	171	เครื่องปั่น	127	เครื่องดูดฝุ่น	720-1,300
พัดลมเพดาน	200	วิทยุ นาฬิกา	71	เครื่องซักผ้า	512
เครื่องผสมอาหาร	200	หัวเตาหุงต้มมีตู้อบ	4,000 - 8,000	เครื่องทำน้ำอุ่น	2,000 - 5000

หมายเหตุ ค่ากำลังวัตต์เป็นค่าเฉลี่ย อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถตรวจสอบได้ที่แผ่นป้ายของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น

ตารางที่ 3.9 กำลังวัตต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดประหยัดไฟฟ้า[22]

ชนิดหลอด/กำลังไฟฟ้า (W)	โหลด (VA)		
	LPF บัลลาสต์	HPF บัลลาสต์	Load VA
Fluorescent			
18 W	90	40	-
36 W	100	60	-
Compact			
9	-	-	15
11	-	-	20
15	-	-	25
20	-	-	35
PL Lamp			
5, 7, 11	-	-	40

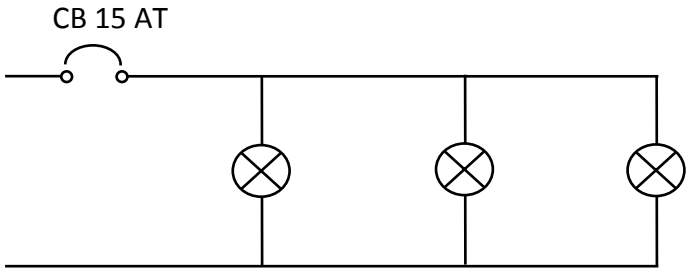
[22] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ . **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. บทที่ 7 หน้า 183.

วงจรย่อยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) วงจรย่อยแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า (Lighting and Appliance Branch Circuit) วงจรย่อยแสงสว่างและวงจรย่อยเครื่องใช้ไฟฟ้า แบ่งเป็นวงจรต่างๆ ได้ดังนี้

- วงจรย่อยแสงสว่าง (Lighting Branch Circuit)
- วงจรย่อยเต้ารับ (Receptacle Branch Circuit)
- วงจรย่อยแสงสว่างและเต้ารับ (Lighting and Receptacle Branch Circuit)
- วงจรย่อยเฉพาะ (Individual Branch Circuit)

1.1 ข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวกับวงจรย่อย ดังนี้



รูปที่ 3.36 วงจรย่อยพิกัด 15 A

- ขนาดพิกัดของวงจรย่อยจะเรียกตามพิกัดอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน เช่น วงจรย่อย 15 A หมายถึง วงจรย่อยที่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน 15 A ดังรูปที่ 3.36

- วงจรย่อยที่มีจุดต่อไฟตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปต้องมีขนาดไม่เกิน 50 A ยกเว้นในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีบุคคลหรือผู้ที่มีความรู้ทางด้านไฟฟ้าคอยดูแลบำรุงรักษา จึงจะอนุญาตให้ใช้วงจรย่อยที่ไม่ใช่โหลดแสงสว่างที่มีพิกัดเกิน 50 A ได้

- ขนาดตัวนำของวงจรย่อยต้องมีขนาดพิกัดกระแสไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ไม่น้อยกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. โดยที่พิกัดกระแสของตัวนำ (A) จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกระแสโหลด (A) และพิกัดกระแสตัวนำจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (AT)

- กรณีที่เป็นวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายที่จ่ายโหลด 1 เฟส และเดินรวมในช่องเดินสายเดียวกันอนุญาตให้ใช้ตัวนำนิวทรัลร่วมกันได้ โดยโหลดแต่ละเฟสต้องมีโหลดใกล้เคียงกัน และขนาดตัวนำนิวทรัลไม่เล็กกว่าตัวนำเฟส ยกเว้นโหลดที่มีฮาร์มอนิกส์สูง ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำโหลด 1 เฟส ถ้าเดินนิวทรัลแยกกัน มีผล คือ ถ้าเดินในท่อเดียวกันซึ่งมี 6 เส้น ต้องมีตัวคูณปรับค่าสำหรับ 3 วงจร Cg = 0.7 (จากตารางที่ 3.10) แต่ถ้าเดินในท่อแยกกันมี 2 เส้นไม่ต้องมีตัวคูณปรับค่า แต่ต้องมีท่อ 3 ท่อ แต่มีข้อเสีย คือ กำลังสูญเสียในสายในการเดินแยกกัน จะเพิ่มเป็นประมาณ 2 เท่า ของระบบที่ใช้สายนิวทรัลร่วมกัน

ตารางที่ 3.10 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร[23]

จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณ
2	0.8
3	0.7
4	0.65
5	0.60
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10-12	0.45
13-16	0.41
17-20	0.38

- ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3 เฟส 4 สาย สำหรับโหลด 1 เฟส การเดินสายแบบใช้สายนิวทรัลร่วมกันจะประหยัด และค่าสูญเสียในสายต่ำแต่ต้องระวังสายนิวทรัลของชุดที่ใช้ร่วมกันหลุด หรือขาด เมื่อสายนิวทรัลหลุดระบบจะกลายเป็นแบบวงจรแบ่งแรงดัน หรือ Potential Divider ซึ่งแรงดันที่โหลดบางส่วนอาจสูง และทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

ตัวอย่างที่ 3.13 ถ้าวงจรไฟฟ้าใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ประกอบด้วยสาย 2 แกน ขนาด 2 x 4 ตร.มม. จำนวน 2 เส้น เดินในช่องเดินสายโลหะเกาะผนัง และสาย 4 แกนขนาด 4 x 4 ตร.มม.จำนวน 3 เส้น เดินในช่องเดินสายโลหะเกาะผนัง จงคำนวณหาพิกัดกระแสของสายแต่ละเส้น

วิธีทำ

นับกลุ่มวงจรได้เป็น 5 กลุ่มวงจร จากตารางที่ 3.10 ได้ตัวคูณปรับค่าเท่ากับ 0.6

ขนาดกระแส จากตารางที่ 3.11 ได้ขนาดกระแส ดังนี้

สาย NYY 2 x 4 ตร.มม. = 26 x 0.6 = 15.6 A

สาย NYY 4 x 4 ตร.มม. = 23 x 0.6 = 13.8 A

[23] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่ 5-8 หน้า5-29

ตัวอย่างที่ 3.14 วงจร 3 เฟส จำนวน 3 วงจร และวงจร 1 เฟสจำนวน 3 วงจรติดตั้งรวมในช่องเดินสายเดียวกันใช้สายไฟฟ้าแกนเดียวขนาด 2.5 ตร.มม.ทั้งหมดต้องการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าของสายแต่ละเส้น

วิธีทำ

ตัวนำกระแสของวงจร 1 เฟส จำนวน 2 x 3 = 6 เส้น

วงจร 3 เฟส จำนวน 3 x 3 = 9 เส้น รวมเป็น 15 เส้น (n=15)

ตัวคูณปรับดูจากตารางที่ 3.10 การนับกลุ่มวงจร คิดเป็นแบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟสก็ได้ ดังนี้

คิดเป็นวงจร 1 เฟส กลุ่มวงจร = n/2 = 15/2 = 7.5 ได้ตัวคูณปรับค่า 0.55

(เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 7 กับ 8 กลุ่มวงจร = 0.55)

คิดเป็นวงจร 3 เฟส กลุ่มวงจร = n/3 = 15/3 = 5 ได้ตัวคูณปรับค่า 0.60

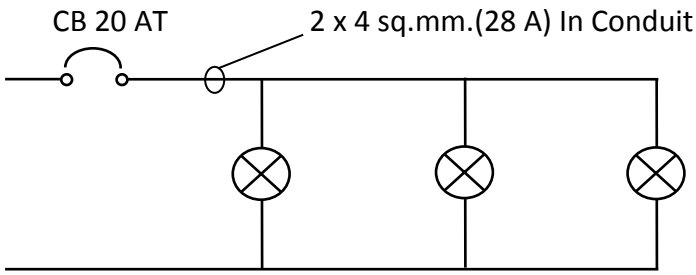
ขนาดกระแสของสาย 2.5 ตร.มม. จากตารางที่ 3.11 วงจร 1 เฟส = 21 A วงจร 3 เฟส = 18 A

เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้วจะได้ขนาดกระแส ดังนี้

วงจร 1 เฟส ขนาดกระแส = 21 x 0.55 = 11.55 A

วงจร 3 เฟส ขนาดกระแส = 18 x 0.60 = 10.80 A

ตัวอย่างที่ 3.15 วงจรย่อยพิกัด 20 A จงหาขนาดของสายตัวนำวงจรย่อย



รูปที่ 3.37 รูปวงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.15

วิธีทำ

ขนาดตัวนำของวงจรย่อยต้องมีขนาดพิกัดกระแสไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ ไม่น้อยกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. จากตารางที่ 3.10 ได้ขนาดสายตัวนำวงจรย่อยขนาด 2 x 4 ตร.มม. (28 A) เดินในช่องเดินสายโลหะ ดังรูปที่ 3.37

ตารางที่ 3.11 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สา หรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนา 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในช่องเดินสายในอากาศ[24]

ลักษณะการติดตั้ง	**กลุ่มที่1**				**กลุ่มที่2**			
จานวน/ลักษณะตัวนากระแส	2		3		2		3	
	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติต่างๆ ที่มีฉนวนพีวีซี เช่น สายทน ไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
	ขนาดกระแส (A)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222
240	279	253	249	227	348	299	301	258

[24] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่5-20 หน้า5-35

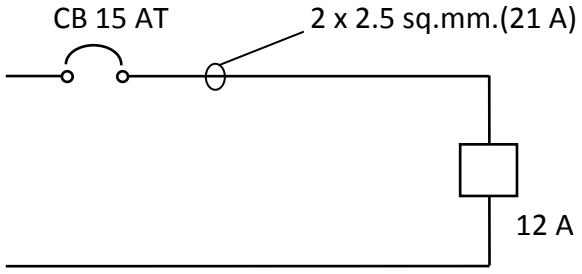
1.2 โหลดวงจรย่อย วงจรย่อยที่มีจุดต่อตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไป ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

- วงจรย่อยขนาดไม่เกิน 20 A เช่น ขนาด 5 A, 6 A, 10 A, 15 A, 20 A เป็นต้น โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบแต่ละเครื่องต้องไม่เกิน 80% ของขนาดพิกัดวงจรย่อย ในกรณีมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบรวมอยู่ด้วยโหลดที่ติดตั้งถาวรรวมกันต้องไม่เกิน 50% ของพิกัดวงจรย่อย
- วงจรย่อยขนาด 25 ถึง 32 A เช่น ขนาด 25 A, 32 A เป็นต้น ใช้กับดวงโคมที่ติดตั้งถาวรขนาดดวงโคมละไม่ต่ำกว่า 250 W ใช้กับเครื่องใช้ซึ่งไม่ใช่ดวงโคม ขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใช้เต้าเสียบแต่ละเครื่องต้องไม่เกิน 80% ของพิกัดวงจรย่อย
- วงจรย่อยขนาดเกิน 32 ถึง 50 A เช่น ขนาด 40 A , 50 A เป็นต้น ใช้กับดวงโคมไฟฟ้าที่ติดตั้งถาวรขนาดดวงโคมละไม่ต่ำกว่า 250 W ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งถาวร
- วงจรย่อยขนาดเกินกว่า 50 A เช่น ขนาด 60 A, 70 A เป็นต้น ใช้กับโหลดที่ ไม่ใช่แสงสว่างเท่านั้น

ตัวอย่างที่ 3.16 เครื่องใช้ไฟฟ้าพิกัด 230 V 12 A จงหาขนาดของสายตัวนำ และเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรย่อยเฉพาะ (Individual Branch Circuit) หรือวงจรย่อยที่จ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าเพียงชุดเดียว ดังรูปที่ 3.7

วิธีทำ

ขนาดตัวนำของวงจรย่อยต้องมีขนาดพิกัดกระแสไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ ไม่น้อยกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. จากตารางที่ 3.11 ได้ขนาดสายตัวนำวงจรย่อยขนาด 2 x 2.5 ตร.มม. (21 A) เดินในช่องเดินสายโลหะ ดังรูปที่ 3.38 โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องไม่เกิน 80% ของขนาดพิกัดวงจรย่อย จากตารางที่ 3.12 จึงเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 15 A

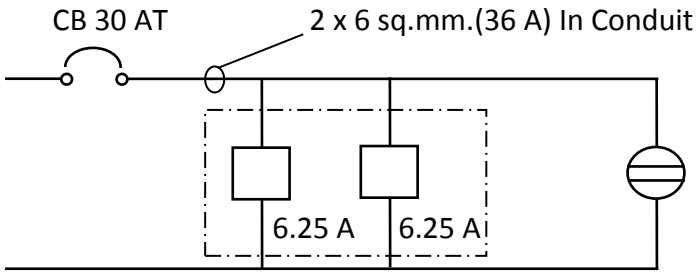


รูปที่ 3.38 วงจรย่อยเฉพาะ (Individual Branch Circuit)

ตารางที่ 3.12 พิกัดกระแสตัดลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด MCCB[25]

พิกัดกระแสโครง (AF : Ampere Frame) (A)	พิกัดกระแสตัด (AT : Ampere Trip) (A)	อัตราพิกัดกระแสตัดลัดวงจรที่แรงดันพิกัด (Breaking Capacity) Icu (kA)		No of operations	
		240 V	380 V	mechanical	electrical
30	5, 10, 15, 20, 30	10/25	7.5/14	8,500	1,500
50	5, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 50	10/25/50	7.5/14/25	8,500	1,500
100	10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100	25/50/65 /85/125	14/25/35 /50/85	20,000	10,000
250	100, 125, 150, 175, 200, 250	35/50/65 /85/125	18/25/35 50/85	10,000	5,000
400	250, 300, 350, 400	35/50/65 /85/125	25/35/50 /65	4,000	1,000
800	500, 600, 630, 700, 800	50/100 /125	35/50/65	2,500	500
1,200	800, 1,000, 1,200	100	65	2,500	500

ตัวอย่างที่ 3.17 เครื่องใช้ไฟฟ้าติดตั้งถาวรพิกัด 230 V 12.5 A และมีเต้ารับรวมอยู่ในวงจร ดังรูปที่ 3.39 จงหาขนาดของสายตัวนำ และเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 3.39 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.17

[25] พิกัดของ Molded Case Circuit Breakers ตามมาตรฐาน IEC 60947-2.

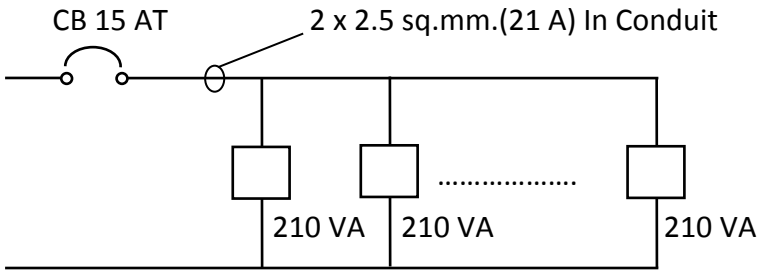
วิธีทำ

กรณีมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบรวมอยู่ด้วยโหลดที่ติดตั้งถาวรรวมกันต้องไม่เกิน 50% ของพิกัดวงจรย่อย ถ้าหากเราเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 30 AT เพราะฉะนั้นวงจรย่อยต้องมีขนาด 25 A และ ใช้สายวงจรย่อยขนาด 2 x 6 ตร.มม. (36 A) และโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องไม่เกิน 80% ของขนาดพิกัดวงจรย่อย 30 x 0.8 = 24 A

1.3 การคำนวณโหลดวงจรย่อย โหลดวงจรย่อยต้องคำนวณตามข้อกำหนด ดังนี้

- วงจรย่อยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่ในวงจรนั้น
- โหลดแสงสว่างและโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้ทำการคำนวณตามที่ติดตั้งจริง
- โหลดเต้ารับใช้งานทั่วไป ให้ทำการคำนวณโหลดจุดละ 180 VA ทั้งชนิดเต้ารับเดี่ยว (Single) เต้ารับคู่ (Duplex) และชนิด สามเต้า (Triplex) ชนิดตั้งแต่ 4 เต้า ขึ้นไป คำนวณโหลดจุดละ 360 VA
- โหลดของเต้ารับอื่นที่ไม่ได้ใช้งานทั่วไป ให้ทำการคำนวณโหลดตามขนาดเครื่องใช้ไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 3.18 วงจรย่อยพิกัด 230 V 1 ∅ จ่ายไฟให้กับดวงโคม 10 ชุด แต่ละชุดมีโหลด 210 VA ดังรูปที่ 3.40 จงหาขนาดของสายตัวนำ และเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 3.40 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.18

วิธีทำ

โหลดรวมเท่ากับ 10 x 210 = 2100 VA วงจรย่อยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 2100 VA 230 V 1 ∅

$$I_L = 2100 / 230$$
$$= 9.130 \quad A$$

อาจ ใช้พิกัดของวงจรย่อยเท่ากับ 10 A ได้ แต่สำหรับการออกแบบที่ดีนั้น (Good Design) ควรจะใช้พิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างน้อย CB 15 AT และใช้สายวงจรย่อยขนาด 2 x 2.5 ตร.มม. (21 A)

ตัวอย่างที่ 3.19 วงจรย่อย 230 V , 1 เฟส จ่ายโหลดให้กับ ดวงโคม 5 ชุด แต่ละชุดมีโหลด 210 VA และจ่ายโหลด เครื่องใช้ไฟฟ้า 2100 VA จงคำนวณหาโหลดของวงจรย่อย

วิธีทำ

ขนาดวงจรย่อย = (5 x 210) + 2100

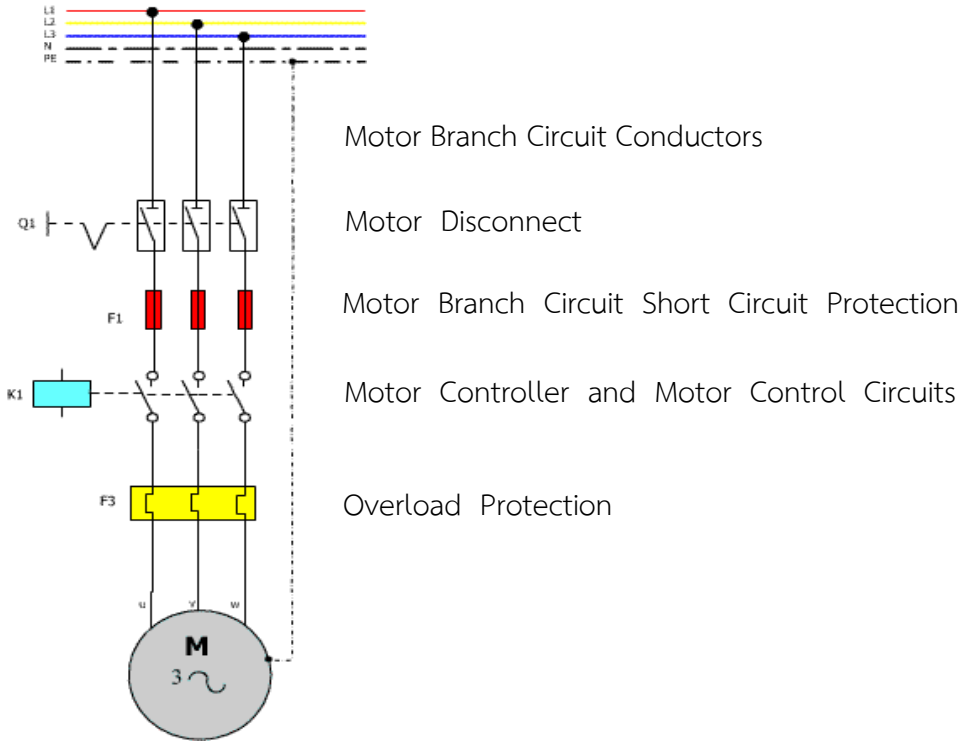
= 3150 VA

I_L = 3150 / 230

= 13.695 A

อาจใช้พิกัดของวงจรย่อยเท่ากับ 15 A ได้ แต่สำหรับการออกแบบที่ดีนั้น (Good Design) ควรจะใช้พิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างน้อย CB 20 AT

2) วงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit)



รูปที่ 3.41 ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์[26]

ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีโหลดเป็นมอเตอร์ เช่น เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อน มอเตอร์ปั๊มน้ำ และเครื่องปรับอากาศซึ่งจะมีมอเตอร์คอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายอากาศติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง เป็นต้น มอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็กพิกัดที่มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ขนาดกลางพิกัดที่มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) และขนาดใหญ่มีพิกัด

[26] สืบค้นเมื่อ 12/07/2558 : http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/motorcontrol/module10/direct_start.html

ที่มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) มอเตอร์จะแบ่งตามระบบไฟฟ้า คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motors) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motors) การออกแบบวงจรมอเตอร์มีจุดประสงค์เพื่อให้การใช้งานมอเตอร์เป็นไปอย่างปลอดภัย มีความเชื่อถือได้และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์

ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.41 ประกอบด้วย สายไฟฟ้าวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Conductors) การป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Short Circuit Protection) การป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection) เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller) เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Motor Disconnect) วงจรควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Circuits)

แบ่งมอเตอร์ตามระดับแรงดัน คือ มอเตอร์แรงดันต่ำ (LV Motor) 1 เฟสที่ระดับแรงดัน 230 V 3 เฟสที่ระดับแรงดัน 230 V, 400 V, 690 V สำหรับมอเตอร์แรงดันสูง (HV Motor) จะมีระดับแรงดัน 3 kV Class (3.6 kV), 6 kV Class (7.2 kV), 10 kV Class (12 kV)

2.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งตามหลัก การทำงาน ได้เป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ

- มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) เป็นมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมมาก มีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน ราคาถูกและไม่ต้องการการบำรุงรักษา สามารถนำไปใช้กับ ปั๊ม พัดลม เครื่องมือกล คอมเพรสเซอร์ ระบบสายพานและงานขับเคลื่อนอื่นๆ อีกมากมาย มอเตอร์เหนี่ยวนำ มีทั้งชนิด 1 เฟสและชนิด 3 เฟส แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะของโรเตอร์ โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) โรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)

- มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor) เป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส มีความเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีโหลดหรือไม่มีโหลด ประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) และขดลวดสนาม (Field) โดยจะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ส่วนขดลวดสนามจะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนทำให้เกิดแรงบิดขึ้น โดยจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ซึ่งจะหมุนที่ความเร็วจำกัดที่ค่าๆ หนึ่ง พิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส ดังตารางที่ 3.13

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ มอเตอร์ที่ป้อนไฟกระแสตรงเข้าไปที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก และสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ดีรวมทั้งการปรับทิศทางการหมุน มีแรงบิดดีสามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบควบคุมที่มีความสำคัญ แต่มีข้อเสียคือเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจะมีราคาค่อนข้างแพง และต้องมีการบำรุงรักษาตลอดเวลา พิกัดกระแสมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.13 พิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส[27]

มอเตอร์ 1 เฟส				มอเตอร์ 3 เฟส 4 ขั้ว , 50 Hz				
kW	HP	230V A	240V A	kW	HP	230V A	380V A	400V A
0.37	0.5	3.9	3.6	0.37	0.5	2	1.0	1.0
0.55	0.75	5.2	4.8	0.55	0.75	2.8	1.6	1.5
0.75	1.0	6.6	6.1	0.75	1	3.6	2	1.9
1.1	1.5	9.6	8.8	1.1	1.5	5.2	2.6	2.5
1.5	2	13	12	1.5	2	6.8	3.5	3.4
1.8	2.5	16	14	2.2	3	9.6	5	4.8
2.2	3	19	17	3	4	11	6.6	6.3
3	4	24	22	3.7	5	15	7.7	7.4
4	5.5	30	27	4	5.5	12	8.5	8.1
4.4	6	35	32	5.5	7.5	22	11	11
5.2	7	40	36	7.5	10	28	15	15
5.5	7.5	42	39	9	12	33	18	17
6	8	44	41	11	15	42	22	21
7	9	49	45	15	20	54	30	28
7.5	10	54	50	18.5	25	68	37	35
				22	30	80	44	42
				30	40	104	59	57
				37	50	130	72	69
				45	60	154	85	81
				55	75	192	104	100
				75	100	248	138	131
				90	125	312	170	162
				110	150	360	205	195
				132	180	430	245	233
				147	200	480	273	259
				160	220	522	300	285
				185	250	600	342	325
				200	270	648	370	352

[27] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ . **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. บทที่ 8 หน้า 234.

ตารางที่ 3.14 พิกัดกระแสมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง[28]

kW (HP)	พิกัดกระแส (A)					
	90 V	120 V	180 V	240 V	500 V	550 V
0.19 (1/4)	4.0	3.1	2.0	1.6	-	-
0.25 (1/3)	5.2	4.1	2.6	2.0	-	-
0.37 (1/2)	6.8	5.4	3.4	2.7	-	-
0.55 (3/4)	9.6	7.6	4.8	3.8	-	-
0.75 (1)	12.2	9.5	6.1	4.7	-	-
1.1 (1 1/2)	-	13.2	8.3	6.6	-	-
1.5 (2)	-	17	11	8.8	-	-
2.2 (3)	-	25	16	12	-	-
3.7 (5)	-	40	27	20	-	-
5.5 (7 1/2)	-	5.8	-	29	14	12
7.5 (10)	-	76	-	38	18	16
11 (15)	-	-	-	55	27	24
15 (20)	-	-	-	72	34	31
18.5 (25)	-	-	-	89	43	38
22 (30)	-	-	-	106	51	46
30 (40)	-	-	-	140	67	61
37 (50)	-	-	-	173	83	75
45 (60)	-	-	-	206	99	90
55 (75)	-	-	-	255	123	111
75 (100)	-	-	-	341	164	148
90 (125)	-	-	-	425	205	185
110 (150)	-	-	-	506	246	222
147 (200)	-	-	-	675	330	294

2.2 พิกัดกระแสของมอเตอร์ การคำนวณออกแบบวงจรมอเตอร์จำเป็นจะต้องทราบพิกัดกระแสของมอเตอร์ ขนาดของมอเตอร์ควรจะใช้เป็นกิโลวัตต์ (kW) มากกว่าแรงม้า (HP) พิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส ดังตารางที่ ตารางที่ 3.13 สำหรับพิกัดกระแสมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังตารางที่ 3.14

2.3 การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ ขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดมอเตอร์ได้ ขนาดสายเล็กที่สุดคือ 1.5 ตร.มม. โดยทั่วไปโหลดมอเตอร์จะถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง สายวงจรมอเตอร์จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 125% ของพิกัดกระแสมอเตอร์ ดังสมการที่ 3.21 มอเตอร์ทั่วไปที่ไม่ทราบลักษณะการใช้งานที่แน่ชัดก็ให้พิจารณาตามสมการดังกล่าวเช่นกัน

[28] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ . **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. บทที่ 8 หน้า 235.

พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ (A) $\geq$ 1.25 x พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A) (3.21)

ตัวอย่างที่ 3.20 มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 11 kW 380 V 3 ∅ 22 A จงหาขนาดสายไฟ 60227 IEC 01 (THW) ด้วยวิธีการเดินสายแบบร้อยในท่อโลหะและติดตั้งในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

วิธีทำ

จากโจทย์ถือว่าไม่ทราบลักษณะการใช้งานที่แน่ชัด ดังนั้นจึงพิจาณาให้เป็นโหลดต่อเนื่อง และใช้สมการที่ 3.21

พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ = 1.25 x 22 = 27.5 A

จากตารางที่ 3.11 ใช้ขนาดสายไฟ 60227 IEC 01 กลุ่มที่ 2

สายไฟขนาด 2 x 6 ตร.มม. (31 A)

การป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยของมอเตอร์ จะต้องสามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้โดยไม่เปิดวงจร ที่นิยมใช้ คือ ฟิวส์ (Fuse) และ เซอร์กิตเบรกเอกร์ (Circuit Breaker) ฟิวส์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรของวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ ฟิวส์ทำงานไว (Non time-Delay Fuse) และฟิวส์หน่วงเวลา (Time-Delay Fuse) สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน (Inverse Time CB) และเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 3.15 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสาย และป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์[29]

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ทำงานไว	ฟิวส์หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมด และมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอ็กเตอร์				
● ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
● รหัสอักษร F ถึง V	300	175	700	250
● รหัสอักษร B ถึง E	250	175	700	200
● รหัสอักษร A	150	150	700	150

[29] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. หน้า 342.

ตารางที่ 3.15 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสาย และป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์ (ต่อ)

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ ทำงานไว	ฟิวส์ หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรก เกอร์ปลดทันที	เซอร์กิตเบรก เกอร์เวลาผกผัน
มอเตอร์กระแสสลับทั้งหมดแบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัสซึ่งเริ่มเดินโดยผ่านหม้อแปลงออโต้กระแสไม่เกิน 30 A				
● ไม่มีรหัสอักษร	250	175	700	200
กระแสเกิน 30 A				
● ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
● รหัสอักษร F ถึง V	250	175	700	200
● รหัสอักษร B ถึง E	200	175	700	200
● รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์แบบกรงกระรอกไม่เกิน 30 A				
● ไม่มีรหัสอักษร	250	175	700	250
กระแสเกิน 30 A				
● ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ไม่มีรหัสอักษร	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสตรง (แรงดันคงที่) ขนาดไม่เกิน 50 HP				
● ไม่มีรหัสอักษร	150	150	250	150
ขนาดเกิน 50 HP				
● ไม่มีรหัสอักษร	150	150	175	150

แบบปลดทันที (Instantaneous CB) พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าจะต้องเลือกใช้ที่เหมาะสมกับลักษณะและการใช้งานของมอเตอร์ด้วย พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์ ดังตารางที่ 3.15

ตัวอย่างที่ 3.21 จงหาขนาดของฟิวส์ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 11 kW 380 V 3 ∅ 22 A ไม่มีรหัสตัวอักษร

วิธีทำ

สำหรับฟิวส์ทำงานไวจะได้

$$I_{FUSE} \leq 3.00 \times 22 = 66 \text{ A}$$

สำหรับฟิวส์หน่วงเวลาจะได้

$$I_{FUSE} \leq 1.75 \times 22 = 38.5 \text{ A}$$

ฟิวส์ขนาดต่างๆ ตามมาตรฐาน IEC มีดังนี้ 6 A , 10 A , 16 A , 20 A , 25 A , 32 A , 40 A , 50 A , 63 A , 80 A , 100 A , 125 A , 160 A , 200 A , 250 A , 315 A , 400 A

ฟิวส์ทำงานไวจะได้ การเลือกขนาดสายไฟฟ้าให้ใช้ขนาดถัดขึ้นไป คือใช้ขนาด 80 A แต่เพื่อให้การป้องกันดีขึ้นควรเลือกฟิวส์ที่มีขนาดเล็กลง เช่น 50 A , 63 A ทั้งนี้ฟิวส์จะต้องไม่ขาดขณะเริ่มเดินเครื่อง

ฟิวส์หน่วงเวลาจะได้ เลือกขนาดสายที่มีพิกัดกระแส 40 A เลือฟิวส์ขนาด 25 A , 32 A ฟิวส์จะต้องไม่ขาดขณะเริ่มเดินเครื่อง

ตัวอย่างที่ 3.22 จงหาขนาดปรับตั้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 18.5 kW 380 V 3 ∅ 37 A

วิธีทำ

สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที

จะได้ $7 \times 37 = 259$ A

ขนาดปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน

$$2.5 \times 37 = 92.5 \text{ A}$$

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที ถ้าใช้ CB นี้ เป็นตัวปลดวงจรด้วย จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 115% ของกระแสพิกัดมอเตอร์ จะได้

$$\text{เซอร์กิตเบรกเกอร์} \geq 1.15 \times I_n = 1.15 \times 37 = 42.55 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 A และปรับตั้งค่าปลดวงจรไว้ที่ 250 A

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน อาจเลือกใช้ขนาดถัดขึ้นไปคือ 100 A แต่เพื่อให้การป้องกันดีขึ้น ควรเลือกขนาดเล็กลง คือ 80 A หรือ 90 A ทั้งนี้ CB จะต้องไม่เปิดวงจรขณะเริ่มเดินเครื่อง

สายดินวงจรย่อยมอเตอร์ให้คิดตามพิกัดของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์ พิกัดของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังให้คิดไม่เกิน 115% ของพิกัดกระแสมอเตอร์

ตัวอย่างที่ 3.23 จงหาขนาดวงจรย่อย โดยใช้สาย 60227 IEC 01 เดินในท่อโลหะในอากาศ ขนาดปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ และขนาดของสายดิน เมื่อกำหนดให้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 15 kW 20 HP 380 V 3 ∅ 30 A

วิธีทำ

จากสมการที่ 3.21 จะได้

พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ (A) $\geq$ 1.25 x พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A) จะได้

พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ = 1.25 x 30

= 37.5 A

ใช้สาย 60227 IEC 01 ขนาด 3 x 10 ตร.มม. (44 A)

ขนาดปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.5 x 30 = 75 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 70 AT

สายดินของวงจรมอเตอร์ จะได้

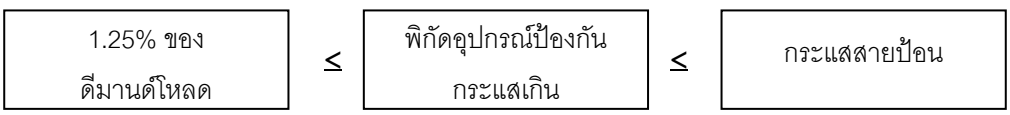
= 1.15 x 30

= 34.5 A

จากตาราง ใช้สายดิน 10 ตร.มม.

3.5.2 การคำนวณสายป้อน (Feeders Calculators)

สายป้อน คือ ตัวนำของวงจรระหว่างบริภัณฑ์ประธานกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของแผงย่อย ดังรูปที่ 3.34 เป็นสายไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าให้วงจรย่อยตั้งแต่ 2 วงจรขึ้นไป การกำหนดสายป้อนจึงเป็นการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า และเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรสายป้อน ขนาดสายป้อนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ และไม่น้อยกว่าขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน โดยกำหนดให้มีขนาดเล็กสุดอยู่ที่ 4 ตร.มม. ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ข้อกำหนดของสายป้อน

1) ดีมานด์แฟกเตอร์ (Demand Factor) หรือตัวประกอบความต้องการกำลังไฟฟ้า ก็คือการมองในภาพรวมทั้งหมดของระบบไฟฟ้าในทางปฏิบัติ ว่าในความเป็นจริงช่วงเวลาเดียวกันโหลดที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าจะไม่ได้ใช้งานพร้อมกันทั้งหมด ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้มีการศึกษาและคิดคำนวณเพื่อหาค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่เหมาะสม ผู้ออกแบบสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณเพื่อลดขนาดของโหลด

สายป้อนได้ ดังตารางต่อนี้ ตารางที่ 3.16 ดีมานด์แฟกเตอร์โหลดแสงสว่าง ตารางที่ 3.17 ดีมานแฟกเตอร์โหลดเต้ารับที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย และตารางที่ 3.18 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป

การคำนวณดีมานด์แฟกเตอร์ (Demand Factor) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.22

$$D_{BC} = \frac{MD}{TCL} \times 100\% \qquad (3.22)$$

เมื่อกำหนดให้

MD คือ โหลดไฟฟ้าที่ใช้พร้อมกันสูงสุดในเวลาที่กำหนด (Maximum Demand)

TCL คือ โหลดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบทั้งหมด (Total Connected Load)

การคำนวณดีมานด์โหลด (Demand Load) สายป้อน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.23

$$DL \geq \sum (D_{BC} \times L_{BC}) \qquad (3.23)$$

เมื่อกำหนดให้

DL คือ Demand Load

D_{BC} คือ Demand Factor ของวงจรย่อยแต่ละประเภท

L_{BC} คือ Load วงจรย่อยแต่ละประเภท

ตารางที่ 3.16 ดีมานด์แฟกเตอร์โหลดแสงสว่าง[30]

ชนิดของอาคาร	ขนาดของไฟฟ้าแสงสว่าง (VA)	ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)
ที่พักอาศัย	ไม่เกิน 2,000 ส่วนเกิน 2,000	100 35
โรงพยาบาล*	ไม่เกิน 50,000 ส่วนเกิน 50,000	40 20
โรงแรม รวมถึงห้องชุดที่ไม่มีส่วนให้ผู้อยู่อาศัยประกอบอาหารได้*	ไม่เกิน 20,000 20,001 – 100,000 ส่วนเกิน 100,000	50 40 30
โรงเก็บพัสดุ	ไม่เกิน 12,500 ส่วนเกิน 12,500	100 50
อาคารประเภทอื่น	ทุกขนาด	100

หมายเหตุ * ดีมานด์แฟกเตอร์ตามตารางนี้ ห้ามใช้สำหรับโหลดแสงสว่างในสถานที่บางแห่งของโรงพยาบาลหรือโรงแรม ซึ่งบางขณะจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าแสงสว่างพร้อมกัน เช่น ในห้องผ่าตัด ห้องอาหารหรือห้องโถง ฯลฯ

[30] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่3-1 หน้า3-5.

ตัวอย่างที่ 3.24 บ้านหลังหนึ่งมีโหลดแสงสว่างเป็นดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) 1 x 36 วัตต์ (110 VA) จำนวน 22 ชุด และดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) 1 x 18 วัตต์ (52 VA) จำนวน 13 ชุด จงคำนวณหาโหลดแสงสว่าง

วิธีทำ

โหลดรวมทั้งหมด = (22 x 110) + (13 x 52) = 3,096 VA

จากตารางที่ 3.16 จะได้ = 2,000 + ((3,096 – 2,000) x 0.35) = 2,383.6 VA

ตารางที่ 3.17 ดีมานแฟกเตอร์โหลดเต้ารับที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย[31]

โหลดของเต้ารับรวม (เต้ารับละ 180 VA)	**ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)**
100 kVA แรก	100
ส่วนที่เกิน 10 kVA	50

ตารางที่ 3.18 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป[32]

ชนิดของอาคาร	**ประเภทของโหลด**	**ดีมานด์แฟกเตอร์**
1. อาคารที่อยู่อาศัย	เครื่องหุงต้มอาหาร	10A + 30% ของส่วนที่เกิน 10A
	เครื่องทำน้ำร้อน	กระแสใช้งานจริงของสองตัวแรกที่ใช้งาน + 25% ของส่วนที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องปรับอากาศ	100%
2. อาคารสำนักงานและร้านค้า รวมถึงห้างสรรพสินค้า	เครื่องหุงต้มอาหาร	กระแสใช้งานจริงของตัวที่ใหญ่ที่สุด + 80% ของตัวที่ใหญ่รองลงมา + 60% ของตัวที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องทำน้ำร้อน	100% ของ 2 ตัวแรกที่ใหญ่ที่สุด + 25% ของตัวที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องปรับอากาศ	100%
3. โรงแรมและอาคารประเภทอื่น	เครื่องหุงต้มอาหาร	เหมือนข้อ 2
	เครื่องทำน้ำร้อน	เหมือนข้อ 2
	เครื่องปรับอากาศ ประเภทแยกแต่ละห้อง	75%

หมายเหตุ ยกเว้นเครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central)

[31] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่3-2 หน้า3-5.

[32] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่3-3 หน้า3-6.

ตัวอย่างที่ 3.25 จงคำนวณหาโหลดรวมของที่อยู่อาศัยแห่งหนึ่งมีเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนี้ เตาอบไฟฟ้าขนาด 3,500 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 4,500 วัตต์ จำนวน 3 เครื่อง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาด 12,000 BTU/H 1 ∅ 230 V จำนวน 4 เครื่อง

วิธีทำ

โหลดเตาอบไฟฟ้า = 2,200 + (0.3 x 1,300)

= 2,590 VA

โหลดเครื่องทำน้ำอุ่น = (2 x 4,500) + (0.25 x 4,500)

= 10,125 VA

โหลดเครื่องปรับอากาศ จากตารางที่ 3.19 จะได้

= 4 x 1,500

= 6,000 VA

รวมโหลดทั้งหมด = 18,715 VA

ตารางที่ 3.19 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 1 ∅ 230 V[33]

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTU/H	
1	12,000	1.50
1.5	18,000	1.70
2	24,000	2.60
3	36,000	4.20

ตารางที่ 3.20 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 3 ∅ 400 V[34]

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
4	48,000	6.12
5	60,000	7.83
6	72,000	9.74
7	84,000	12.18
8	96,000	12.97
9	108,000	14.02
10	120,000	16.45

[33] บริษัทเมกะ-เจ จำกัด.**Electrical System Design Handbook**. ภาคผนวก ตารางที่ 6.5.1 หน้า 147.

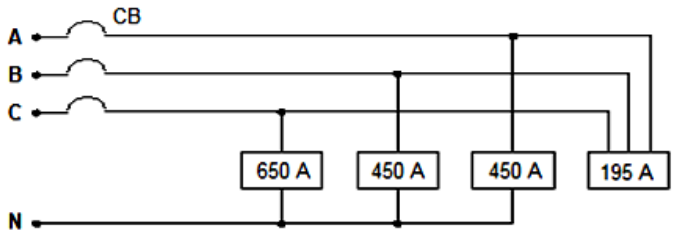
[34] บริษัทเมกะ-เจ จำกัด.**Electrical System Design Handbook**. ภาคผนวก ตารางที่ 6.5.1 หน้า 148.

ตารางที่ 3.20 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 3 ∅ 400 V (ต่อ)

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
12.5	150,000	18.82
15	180,000	22.90
20	240,000	35.54
25	300,000	50.35
30	360,000	55.75
35	420,000	57.92
40	480,000	70.43
50	600,000	92.93

2) การคำนวณขนาดสายนิวทรัล (Neutral) สายนิวทรัลต้องมีขนาดเพียงพอที่รับกระไม่สมดุลสูงสุดที่เกิดขึ้น และไม่เล็กกว่าขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า กรณีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดไม่เกิน 200 A ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่น้อยกว่ากระแสโหลดสูงสุด กรณีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดเกิน 200 A ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่ต่ากว่า 200 A + 70% ของส่วนเกิน 200 A ถ้าโหลดไม่สมดุลเป็นโหลดประเภทหลอดดีสชาร์จ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ อุปกรณ์เกี่ยวกับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ที่ทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกส์ในสายนิวทรัล ขนาดสายนิวทรัลต้องมีกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดไม่สมดุลนั้น

ตัวอย่างที่ 3.26 จากรูปที่ 3.43 จงคำนวณหาขนาดสายนิวทรัล



รูปที่ 3.43 รูปสำหรับตัวอย่างที่ 3.26

วิธีทำ

ขนาดกระแสของสายนิวทรัลคิดจากโหลด 1 ∅ สูงสุดในระบบไฟฟ้า 3 ∅

จากรูปที่ 3.42 ขนาดกระแส 1 ∅ ที่สูงสุด คือ 650 A

กรณีที่โหลดส่วนใหญ่เป็น Non-harmonic loads จะได้กระแสของสายนิวทรัล

$$I_N = 200 + ((0.7 \times (650 - 200))$$

$$= 515 \quad A$$

กรณีที่โหลดส่วนใหญ่เป็น Harmonic loads จะได้กระแสของสายนิวทรัล

I_N = 650 A

3) การคำนวณโหลดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันสายป้อน การกำหนดสายไฟฟ้าสำหรับสายป้อนสายไฟฟ้าที่จะใช้เป็นสายป้อนต้องมีขนาดตั้งแต่ 4 ตร.มม. ขึ้นไป สำหรับพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินจะต้องมีขนาด 125% ของโหลดสายป้อน

การนับกลุ่มวงจรในช่องเดินสายเดียวกัน ดังนี้ สายหลายแกนจำนวนเส้นคือจำนวนกลุ่มวงจร สำหรับสายแกนเดียวแบ่งเป็นกรณี ดังนี้ กรณีมีแต่วงจร 1 เฟสให้นับตามจำนวนวงจร กรณีมีแต่วงจร 3 เฟสให้นับตามจำนวนวงจร ถ้ามีทั้งวงจร 1 เฟส และ 3 เฟสปนกันต้องเลือกนับเป็นแบบ 1 เฟส หรือแบบ 3 เฟส แบบใดแบบหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 3.27 จงคำนวณหาปริมาณกระแสของสายไฟฟ้าชนิดแกนเดียว 60227 IEC 01 ขนาด 4 ตร.มม. 1 ∅ เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง อุณหภูมิโดยรอบ 40°C

วิธีทำ

สายชนิด 60227 IEC 01 รูปแบบการติดตั้งเดินท่อร้อยสาย กลุ่มที่ 2 ตัวนำกระแส 2 ตัวนำ
ตัวคูณปรับอุณหภูมิโดยรอบ เท่ากับ 1
จำนวนกลุ่มวงจร เท่ากับ 1 (ไม่ต้องปรับค่า) ทำให้ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 28 A

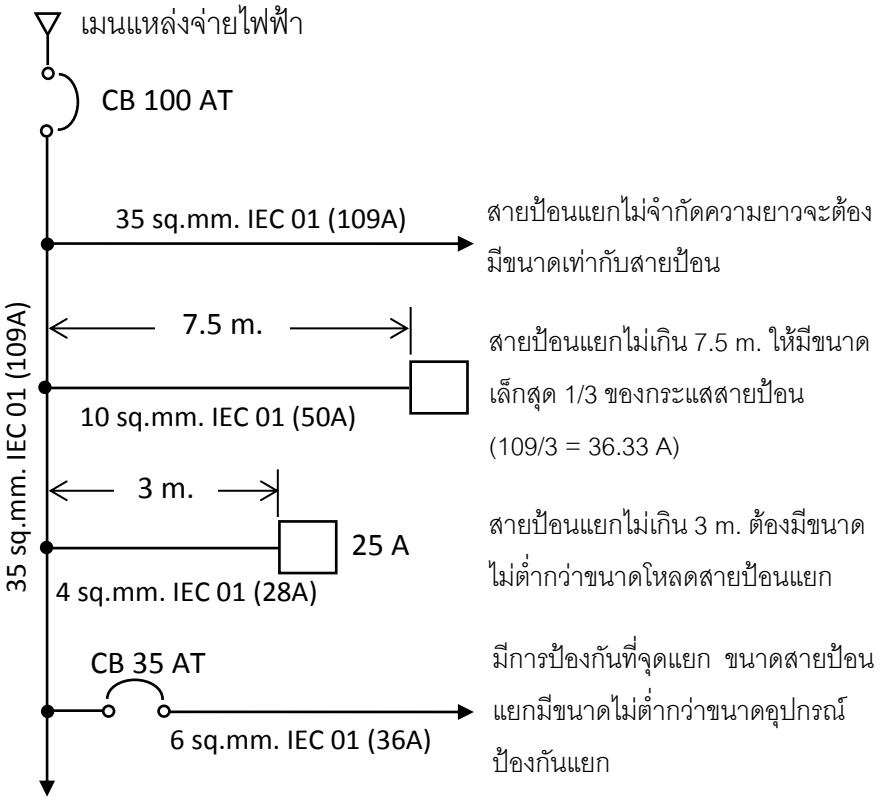
ตัวอย่างที่ 3.28 ถ้าวงจรไฟฟ้าใช้สาย NYY ประกอบด้วยเคเบิล 2 แกน ขนาด 2 x 6 ตร.มม.จำนวน 1 เส้น และเคเบิล 4 แกน ขนาด 4 x 6 ตร.มม. จำนวน 2 เส้น

วิธีทำ

นับกลุ่มวงจรได้เป็น 3 กลุ่มวงจร จากตารางที่ 3.10 ได้ตัวคูณปรับค่าเท่ากับ 0.7
ขนาดกระแส จากตารางที่ 3.11 ได้ขนาดกระแส ดังนี้
สาย NYY 2 x 6 ตร.มม. = 33 x 0.7 = 23.1 A
สาย NYY 4 x 6 ตร.มม. = 30 x 0.7 = 21 A

การป้องกันกระแสเกินสำหรับสายป้อน มีข้อกำหนด ดังนี้

- อุปกรณ์ป้องกันจะเป็นฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้
- ห้ามต่อเครื่องป้องกันขนานกัน
- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต้องป้องกันตัวนำเฟสได้ และไม่ต้องติดตั้งในตัวนำที่มีการต่อลงดิน (N / G) ยกเว้นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสามารถตัดวงจรทุกเส้นพร้อมกันได้



รูปที่ 3.44 อุปกรณ์ป้องกันสายป้อนและขนาดตัวนำที่ต่อแยกจากสายป้อน[35]

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเพิ่มเติมสำหรับดวงโคม หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า จะใช้แทนอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับวงจรย่อยไม่ได้ และไม่จำเป็นต้องเข้าถึงได้ทันที

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต้องไม่ติดตั้งในสถานที่ซึ่งทำให้เกิดความเสียหาย และไม่อยู่ใกล้กับวัสดุติดไฟง่าย

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต้องบรรจุไว้ในกล่องหรือตู้อย่างมิดชิด

- กล่องหรือตู้ที่บรรจุอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินติดตั้งในสถานที่เปียกหรือชื้น ต้องเป็นชนิดที่ได้รับความเห็นชอบ มีช่องว่างระหว่างตู้กับผนังไม่ต่ำกว่า 5 มม.

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต้องติดตั้งในที่ซึ่งปฏิบัติงานได้สะดวก โดยมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และมีแสงสว่างอย่างเพียงพอ

- การต่อสายป้อนแยกต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังรูปที่ 3.44 เป็นตัวอย่างการต่อสายแยกโดยใช้สาย 60227 IEC 01 เดินในท่อโลหะ

การติดตั้งสายป้อนแบบร้อยในท่อร้อยสายไฟฟ้า ผู้ออกแบบจะต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับท่อร้อยสายไฟฟ้าเพื่อหาขนาดของท่อร้อยสายข้อมูล ดังตารางที่ 3.21 และตารางที่ 3.22

[35] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. หน้า 82.

ตารางที่ 3.21 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า 60227 IEC 01 (THW) ในท่อร้อยสาย[36]

ขนาดสายไฟฟ้า (sq.mm.)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย											
	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6
1.5	8	14	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	5	10	15	25	39	-	-	-	-	-	-	-
4	4	7	11	19	30	-	-	-	-	-	-	-
6	3	5	9	15	23	37	-	-	-	-	-	-
10	2	3	5	9	14	22	37	-	-	-	-	-
16	1	2	4	6	10	16	27	42	-	-	-	-
25	-	1	2	4	6	10	17	27	34	-	-	-
35	-	1	2	3	5	8	14	21	27	33	-	-
50	-	-	1	2	3	6	10	15	19	24	38	-
70	-	-	1	1	3	4	7	12	15	18	29	42
95	-	-	-	1	1	3	5	8	11	13	21	30
120	-	-	-	1	1	2	4	7	9	11	17	25
150	-	-	-	-	1	1	3	5	7	9	14	20
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8

ตารางที่ 3.22 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าชนิด NYY แกนเดี่ยวในท่อร้อยสาย[37]

ขนาดสายไฟฟ้า (sq.mm.)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย											
	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6
1	1	1	3	5	8	12	21	33	-	-	-	-
1.5	1	1	2	4	7	11	19	30	-	-	-	-
2.5	1	1	2	4	7	10	17	26	33	-	-	-
4	1	1	1	3	6	9	15	23	29	36	-	-
6	-	1	1	3	5	8	13	21	26	33	-	-
10	-	1	1	2	4	6	11	17	22	27	-	-
16	-	1	1	1	3	5	10	15	19	23	36	-
25	-	1	1	1	3	4	8	12	15	19	29	-
35	-	-	1	1	1	3	6	10	12	15	24	35

[36] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ภาคผนวก ฎ หน้า ฎ-1.

[37] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ภาคผนวก ฎ หน้า ฎ-2.

ตารางที่ 3.22 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าชนิด NYY แกนเดี่ยวในท่อร้อยสาย (ต่อ)

ขนาดสายไฟฟ้า (sq.mm.)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย											
	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6
50	-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	31
70	-	-	-	1	1	2	4	7	8	11	17	24
95	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
120	-	-	-	1	1	1	3	4	6	7	11	17
150	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	9	13
185	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	11
240	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	9
300	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	7
400	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4

ตัวอย่างที่ 3.29 ห้องพักอาศัยมีโหลดไฟฟ้าดังนี้ โคมฟลูออเรสเซนต์ 1 x 36 วัตต์ 2 โคม โคม Down Light 11 วัตต์ 8 โคม เต้ารับใช้งานทั่วไป 10 จุด เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 4,500 วัตต์ 1 เครื่อง เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU/H 1 เครื่อง จงคำนวณหาโหลดของห้องพัก ขนาดสายป้อน ท่อร้อยสาย และพิกัดอุปกรณ์ป้องกัน (Circuit Breaker)

วิธีทา

โหลดไฟฟ้าของห้องพัก จากตารางที่ 3.9 (LPF)

โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 36 W = 2 x 100 = 200 VA

โคมไฟ Down Light 1 x 11 W = 20 x 8 = 160 VA

เต้ารับใช้งานทั่วไป = 180 x 10 = 1,880 VA

เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 4,500 W = 4,500 x 1 = 4,500 VA

เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU/H = 1700 x 1 = 1,700 VA

รวม = 8,440 VA

ขนาดสายไฟฟ้า $I = \frac{8,440}{220} \times 1.25$

$= 47.95$ A

จากตารางที่ 3.11 เลือกขนาดส่ายไฟฟ้า 60227 IEC 01 2 x 10 ตร.มม. (50 A)

จากตารางที่ 3.12 เลือกพิกัด Circuit Breaker 60 AT/100 AF

จากตารางที่ 3.22 เลือกท่อร้อยสายชนิด EMT ขนาด 3/4"

3.5.3 การคำนวณตัวนำประธาน (Service Conductor Calculators)

ตัวนำประธาน คือ ตัวนำที่ต่อระหว่างเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กับบริภัณฑ์ประธาน ดังรูปที่ 3.34 ตัวนำประธานต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรับโหลดได้ทั้งหมด ตัวนำประธานที่จ่ายไฟให้กับอาคารหลังหนึ่ง หรือผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่งต้องมีชุดเดียว ยกเว้น เป็นอาคารที่รับไฟจากหม้อแปลงไฟฟ้ามากกว่า 1 ลูก หรือเมื่อต้องการตัวนำประธานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกัน หรือเป็นอาคารชุด อาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ที่ได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้า

1) ขนาดสายตัวนำประธานแรงต่ำ

1.1 สายประธานชนิดเดินในอากาศ (Overhead Service Entrance Conductor)

- การไฟฟ้านครหลวงกำหนดให้เป็นสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนชนิดที่เหมาะสมกับลักษณะการติดตั้ง มีขนาดตั้งแต่ 4 ตร.มม. ขึ้นไป

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดให้เป็นสายไฟฟ้าอลูมิเนียมได้เฉพาะส่วนที่อยู่ภายนอกอาคาร กรณีเดินในท่อร้อยสายต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่าของโหลด

1.2 สายประธานชนิดเดินใต้ดิน (Underground Service Entrance Conductor) จะต้องเป็นสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน และเหมาะสมกับงานติดตั้งมีขนาดตั้งแต่ 10 ตร.มม. ขึ้นไป

2) ขนาดสายตัวนำนิวทรัล จะต้องสามารถรับกระแสไม่สมดุลได้เพียงพอ มีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า ในระบบ 3 เฟส 4 สาย จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดของสายตั้งแต่ 12.5 % ของสายเฟสกรณีที่สายเส้นเฟสเดินเป็นระบบเฟสละหลายเส้น การคิดขนาดสายเส้นเฟสให้รวมพื้นที่หน้าตัดของสายทุกเส้นในเฟสเดียวกันเข้าด้วยกัน ขนาดตัวนำนิวทรัลไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่าสายเฟส นอกจากเผื่อสำหรับปัญหาฮาร์มอนิก (Harmonic)

ตัวอย่างที่ 3.30 อาคารหลังหนึ่งมีโหลดไฟฟ้า ดังนี้ ดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 36 วัตต์ 25 โคม ดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 18 วัตต์ 16 โคม ดวงโคมไฟ Down Light 1 x 11 วัตต์ 45 โคม ดวงโคมกิ่งชนิดกันน้ำ 1 x 15 วัตต์ 15 โคม เต้ารับเดี่ยวใช้งานทั่วไป 53 จุด เครื่องทำน้ำร้อนขนาด 4500 วัตต์ 2 เครื่อง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 1 ∅ 230 V ขนาด 18,000 BTU/H 5 เครื่อง จงคำนวณหา

1. ขนาดสายประธานเข้าอาคาร (Service Conductor) NYY เดินในท่อโลหะ
2. ขนาดท่อโลหะสำหรับสายประธานเข้าอาคาร
3. ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

วิธีทา

โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง จากตารางที่ 3.9 จะได้

ดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 36 W

= 25 x 100

= 2,500 VA

ดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 18 W

= 16 x 90

= 1,440 VA

ดวงโคมไฟ Down Light 1 x 11 W

= 45 x 20

= 900 VA

ดวงโคมกิ่งชนิดกันน้ำ 1 x 15 W

= 15 x 15

= 225 VA

รวม = 5,065 VA

โหลดเต้ารับเดี่ยวใช้งานทั่วไปจากตารางที่ 3.17 จะได้

= 53 x 180

= 9,360 VA

10 kW แรก D.F. 100% = 9,360 x 1

= 9,360 VA

รวม = 9,360 VA

เครื่องทาน้ำร้อนขนาด 4,500 W จากตารางที่ 3.18 จะได้

= 4500 x 2

= 9,000 VA

2 ตัวแรก D.F. 100% = 9,000 x 1

= 9,000 VA

รวม = 9,000 VA

เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU/H จากตารางที่ 3.17 และ 3.18 จะได้

= 1700 x 5

= 8500 VA

โหลดที่อยู่อาศัย D.F. 100% = 8500 x 1

= 8500 VA

รวม = 8500 VA

โหลดรวมทั้งหมด = 31,925 VA

คำนวณหา

1. ขนาดสายประธานเข้าอาคาร

$$I = \frac{31,925}{230} \times 1.25$$

= 173.5 A

เลือกสายชนิด NYY, 1/C ขนาด 2 x 95 ตร.มม. (202 A)

2. ขนาดท่อร้อยสาย จากตารางที่ 3.22

เลือกท่อร้อยสายขนาด Ø 2 1/2" หรือ ขนาด 65 มม.

3. ขนาด Circuit Breaker

จากขนาดพิกัดกระแสของสาย NYY, 1/C 2 x 95 ตร.มม. (202 A)

จากตารางที่ 3.10 สามารถเลือกใช้ Circuit Breaker ขนาด 225 AT / 225 AF

4. ขนาดสายต่อหลักดิน

ได้ขนาดสายต่อหลักดินเท่ากับ 25 ตร.มม. (ดูรายละเอียดการคำนวณในบทที่ 4)

3.6 การออกแบบบัสบาร์และบริภัณฑ์ในตู้จ่ายไฟหลักสำหรับที่พักอาศัย

การออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นงานที่วิศวกรไฟฟ้า หรือผู้ออกแบบจะต้องศึกษาและปฏิบัติร่วมกันกับบุคคลหลายกลุ่ม เช่น สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรระบบเครื่องกล วิศวกรระบบสุขาภิบาล และเจ้าของอาคาร เนื่องจากระบบไฟฟ้าเป็นหนึ่งองค์ประกอบของสิ่งก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นอาคารที่พักอาศัย สำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ล้วนแล้วแต่มีความต้องการระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพไว้สำหรับใช้งานในด้านต่างๆ ทุกองค์ประกอบจะต้องมีการสอดประสานกันอย่างลงตัว จึงจะทำให้สิ่งก่อสร้างนั้นบรรลุถึงเป้าหมายได้ นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องศึกษา และทำความเข้าใจถึงรายละเอียดของมาตรฐานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการออกแบบระบบไฟฟ้า คือ การคำนวณโหลดรวมของสถานประกอบการ อาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ ค่าโหลดรวมจะเป็นตัวกำหนดขนาดของบริภัณฑ์ประธาน มิเตอร์ไฟฟ้า และถ้าโหลดรวมมากพอก็จะทำการกำหนดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ได้ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับการคำนวณโหลด ไว้ในเรื่องต่างๆ ดังนี้

1. การคำนวณวงจรย่อย
2. การคำนวณสายป้อน
3. การคำนวณตัวนำประธาน
4. การคำนวณโหลดของอาคารชุด

รายละเอียดการคำนวณต่างๆ ได้กล่าวไว้บ้างแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา สำหรับให้หัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงการคำนวณโหลดอาคารที่พักอาศัย โดยเริ่มการคำนวณจากวงจรย่อย สายป้อน ตัวนำประธาน ตลอดจนการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า การออกแบบจะต้องระลึกอยู่เสมอว่าเป็นค่าโหลดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ถือว่าเป็น “ ค่าขั้นต่ำ ” โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้มีขนาดมากกว่าค่าโหลดที่คำนวณได้ เพื่อเป็นการรองรับการขยายโหลดในอนาคตต่อไป

3.6.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้าพอสรุปเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1) ศึกษาแบบทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้ทราบข้อมูลต่างๆ ของอาคาร การแบ่งพื้นที่ใช้งานของอาคาร เช่น ตำแหน่งของบันได ช่องทะลุระหว่างชั้นของระบบไฟฟ้าและระบบประปา ตำแหน่งของลิฟต์ (Lift) เป็นต้น ที่สถาปนิกได้ทำการออกแบบไว้ตามความต้องการเจ้าของอาคาร

2) ประมาณการใช้โหลด โดยใช้ข้อมูลจากสถาปนิก และความต้องการของเจ้าของอาคาร ชนิดและลักษณะการใช้งานของอาคารและพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร

3) กำหนดตำแหน่งและแนวทางของสายประธานจากการไฟฟ้าฯ ที่จ่ายให้แก่อาคาร , ขนาดแรงดันไฟฟ้าของระบบ ตำแหน่งของมิเตอร์วัดไฟฟ้า ซึ่งจะต้องดูสถานที่ที่จะสร้างอาคารพร้อมทั้งขอคำแนะจากการไฟฟ้าฯ หน่วยที่รับผิดชอบบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารนั้นๆ กำหนดตำแหน่งของตู้จ่ายไฟหลัก แผงจ่ายไฟฟ้าย่อยของแต่ละพื้นที่ของอาคาร

4) ศึกษาชนิดและการใช้งานของพื้นที่ในอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้และขนาดการกินกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด เพื่อความถูกต้องข้อมูลบางส่วนอาจจะต้องสอบถามจากสถาปนิกผู้ออกแบบหรือเจ้าของอาคาร

5) ศึกษาความต้องการของโหลดไฟฟ้าระบบอื่นๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ ระบบลิฟต์ ระบบประปา ระบบไฟฟ้าสำรองของอาคาร และอื่นๆ

6) ศึกษาและกำหนดตำแหน่งติดตั้งและขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตลอดจนความต้องการเนื้อที่ของอุปกรณ์เหล่านั้น เช่น ตำแหน่งและขนาดของห้องเครื่อง ห้องติดตั้งหม้อแปลงและตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB : Main Distribution Board) แผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (SDB : Sub Distribution Board) แผงไฟฟ้าย่อย (LP : Load Panel) แนวทางและขนาดของท่อเดินสายป้อน (Feeder Shaft) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบ

7) คำนวณและออกแบบความต้องการของแสงสว่างของแต่ละห้อง ตามชนิดของการใช้งานพร้อมทั้งกำหนดชนิดของดวงโคม (ชนิดดวงโคมบางครั้งอาจถูกกำหนดโดยสถาปนิกทั้งนี้เพื่อความสวยงาม) เพื่อหาโหลดของระบบแสงสว่าง

8) กำหนดตำแหน่งของดวงโคม และเต้ารับลงในแบบ โดยทั่วไปการแสดงตำแหน่งของดวงโคมและเต้ารับจะแยกเขียนออกจากกัน และหากมีระบบไฟฟ้าสื่อสารอันได้แก่ ระบบโทรศัพท์ ระบบโทรทัศน์ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ โดยทั่วไปมักจะเขียนแบบแยกแผ่นกันทั้งนี้เพื่อความง่ายในการอ่านแบบ

9) แยกวงจรย่อยโดยโยงสายลงในแบบเพื่อควบคุมดวงโคม หรือเชื่อมต่อวงจรของเต้ารับไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในวงจรเดียวกันเข้าด้วยกัน พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขของวงจรในแผงไฟฟ้าย่อย การกำหนดวงจรย่อยมักจะกำหนดตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน (CB : Circuit Breaker) หรือกำหนดตามพื้นที่การใช้งานควบคู่กัน

10) คำนวณโหลดแต่ละแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย พร้อมทั้งชนิด จำนวนและขนาดของสายไฟฟ้า ท่อร้อยสายไฟฟ้า ขนาดพิกัดกระแสทริป/กระโครง (AT/AF) และจำนวนขั้ว (Pole) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ลงในตารางโหลดแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย

11) นำโหลดในแต่ละแผงจ่ายไฟฟ้าย่อยรวมกันในแต่ละเฟสของระบบ แล้วคำนวณหาสายป้อน และขนาดอุปกรณ์ป้องกันแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย (Main Circuit Breaker)

12) รวมโหลดทั้งหมดของแผงจ่ายไฟฟ้าย่อยทั้งอาคาร เพื่อนำมาคำนวณและออกแบบหาพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันภายในตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB) และอุปกรณ์ประกอบภายในตู้ รวมกับถึงการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าและสายประธานของอาคาร

13) นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณมาทำการเขียน Riser Diagram ของระบบไฟฟ้า รวมทั้งเขียน Single Line Diagram ของตู้ MDB

14) คำนวณและออกแบบระบบอื่นๆ เช่น ระบบล่อฟ้า ระบบสื่อสารในอาคาร ระบบโทรศัพท์ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ ระบบป้องกันภัย และอื่นๆ

15) ตรวจสอบและแก้ไขแบบให้ถูกต้องสมบูรณ์

16) เขียนข้อกำหนดและรายละเอียดประกอบแบบ (รายการประกอบแบบ) ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่างๆ ในแบบ เช่น ขนาดและชนิดรวมถึงเครื่องหมายการค้าของอุปกรณ์ที่กำหนดให้ใช้ และข้อกำหนดซึ่งผู้รับจ้างติดตั้งระบบไฟฟ้าจะต้องรับผิดชอบและปฏิบัติตาม โดยทั่วไปจะถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาในการรับเหมางานก่อสร้างงานติดตั้งระบบไฟฟ้า ระหว่างผู้รับจ้างกับผู้ว่าจ้าง(เจ้าของอาคาร) ด้วย

17) เมื่อวิศวกรผู้ออกแบบทำการกำหนดชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว ผู้ออกแบบจะต้องทำการประมาณราคา เพื่อผู้ว่าจ้างจะได้ใช้เป็นราคากลางในการคัดเลือกผู้รับเหมาทำการก่อสร้างติดตั้งต่อไป

18) ในบางกรณีวิศวกรผู้ออกแบบอาจต้องเป็นผู้ตรวจสอบให้คำแนะนำในการติดตั้งระบบไฟฟ้าจากขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบระบบไฟฟ้า จะเห็นว่ามีความซับซ้อนและต้องเกี่ยวข้องกับบุคคลหลายฝ่าย ความยากลำบากในการออกแบบจะมีมากขึ้นเมื่อเป็นอาคารขนาดใหญ่ และมีการใช้โหลดมากๆ โดยเฉพาะข้อจำกัดในด้านของการออกแบบที่ต้องการใช้เกิด ความประหยัด ความปลอดภัย และมีความเชื่อมั่นในระบบสูงๆ โดยจะต้องอาศัยความชำนาญ ประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าในการออกแบบเป็นอย่างมาก

3.6.2 การประมาณโหลด (Load Estimating)

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องมีการประมาณโหลดทั้งหมดของอาคารที่ออกแบบ เพื่อทราบถึงขนาดของโหลดทั้งหมดอย่างคร่าวๆ และใช้เป็นแนวทางในการเลือกระบบแรงดันไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า โหลดไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) โหลดแสงสว่าง (Lighting Load) หมายถึง โหลดทางด้านแสงสว่างจากดวงโคม จากหนังสือ IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings ได้สรุปเป็นตารางประมาณการโหลดไฟฟ้าแสงสว่างตามชนิดของอาคาร ดังตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 ตารางประมาณการโหลดไฟฟ้าแสงสว่างตามชนิดของอาคาร

ประเภทอาคาร	โหลดที่ใช้ (VA/m^2)
อาคารเรียน	25
ศูนย์คอมพิวเตอร์	20
ห้องประชุม	20
ทางเดิน, ระเบียง	8
ห้องอาหาร	18
ห้องเขียนแบบ	60
โรงพยาบาล, ห้องผ่าตัด	100
โรงพยาบาล, ห้องผู้ป่วย	14
ห้องครัว	20
ห้องทดลอง	50
ห้องสมุด, พื้นที่สำหรับอ่านหนังสือ	30
ห้องสมุด, พื้นที่ค้นหาหนังสือ	10
อาคารสำนักงานทั่วไป	30
ห้องเครื่องจักร	20
ห้างสรรพสินค้า	30

2) โหลดไฟฟ้ากำลัง (Power Load) หมายถึง โหลดที่ใช้งานทางด้านไฟฟ้ากำลัง เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็น ระบบลิฟต์ บันไดเลื่อน ระบบสุขาภิบาล ระบบโทรศัพท์ ระบบโทรทัศน์ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบเครื่องดูดควัน เป็นต้น

โหลดไฟฟ้ายังสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1) โหลดต่อเนื่อง หมายถึง โหลดทางไฟฟ้าที่จะต้องใช้งานอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา เช่น โหลดแสงสว่าง โหลดบันไดเลื่อน เป็นต้น

2) โหลดไม่ต่อเนื่อง หมายถึง โหลดที่มีลักษณะการทำงานเป็นครั้งคราว ทำงานเป็นคาบเวลา เช่น เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องปรับอากาศ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า หากมีการใช้งานอยู่ตลอดเวลาก็ถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่องได้เช่นเดียวกัน) ในการแยกชนิดของโหลดจะส่งผลในการคำนวณออกแบบและการกำหนดขนาดสาย วงจรย่อย สายป้อนและอุปกรณ์ป้องกัน

3.6.3 การคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท.

การคำนวณโหลดเพื่อหาขนาดของสายป้อนนั้น สายป้อนจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้และต้องไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดในวงจรย่อย เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามที่กำหนด คือ โหลดแสงสว่างให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามตารางที่ 3.16 โหลดเต้ารับของสถานที่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามตารางที่ 3.17 โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามตารางที่ 3.18 สำหรับเต้ารับในอาคารที่อยู่อาศัยที่ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทราบโหลดแน่นอน ให้ทำการคำนวณโดยหาโหลดรวม (A, VA)

โดยนำโหลดเต้ารับที่มีขนาดสูงสุด (A, VA) รวมกับ 40% ของโหลดเต้ารับที่เหลือ (A, VA) สำหรับดีมานด์แฟกเตอร์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เตาอบติดผนังและเครื่องใช้ไฟฟ้าหุงต้มตั้งโต๊ะตามตารางที่ 3.24

ตารางที่ 3.24 ดีมานด์แฟกเตอร์โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เตาอบและเครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะ[38]

จำนวน เครื่องใช้ไฟฟ้า	ดีมานด์สูงสุด	ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)	
	คอลัมน์ A พิกัด 12-27 kW	คอลัมน์ B พิกัดต่ำกว่า 3 ½ kW	คอลัมน์ C พิกัด 3 ½ - 8 ¾ kW
1	8	80	80
2	11	75	65
3	14	70	55
4	17	66	50
5	20	62	45
6	21	59	43
7	22	56	40
8	23	53	36
9	24	51	35
10	25	49	34
11	26	47	32
12	27	45	32
13	28	43	32
14	29	41	32
15	30	40	32
16	31	39	28
17	32	38	28
18	33	37	28
19	34	36	28
20	35	35	28
21	36	34	26
22	37	33	26
23	38	32	26
24	39	31	26
25	40	30	26

[38] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า Electrical system design**. หน้า 78.

ตารางที่ 3.24 ดีมานด์แฟกเตอร์โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เตาอบและเครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะ (ต่อ)

จำนวน เครื่องใช้ไฟฟ้า	ดีมานด์สูงสุด	ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)	
	คอลัมน์ A พิกัด 12-27 kW	คอลัมน์ B พิกัดต่ำกว่า 3 ½ kW	คอลัมน์ C พิกัด 3 ½ - 8 ¾ kW
26-30	15 kW + 1 kW สำหรับเครื่องใช้แต่ละตัว	30	24
31-40		30	22
41-50	25 kW + ¾ kW สำหรับเครื่องใช้แต่ละตัว	30	20
51-60		30	18
61 ขึ้นไป		30	16

การคำนวณโหลดรวมของระบบประธาน ไม่มีข้อกำหนดระบุไว้ ดังนั้นให้ทำการคำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกันกับการคำนวณโหลดสายป้อน

ตัวอย่างที่ 3.31 อาคารที่พักอาศัยแห่งหนึ่งมี 5 ชั้นๆ ละ 25 ห้อง ในแต่ละห้องมีโหลด ดังนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 x 18 วัตต์ 5 ชุด หลอดไส้ 60 วัตต์ 3 ชุด เต้ารับ 5 ชุด เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 BTU/H 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,500 วัตต์ 1 เครื่อง

โหลดส่วนกลางมี ดังนี้ ลิฟต์ 2 เครื่องๆ ละ 15 kVA ปั๊มน้ำ 1 เครื่องๆ ละ 5 kVA แสงสว่าง 5 kVA เครื่องปรับอากาศ 2 kVA จงคำนวณหา โหลดของแต่ละห้อง โหลดสายป้อนแต่ละชั้น โหลดรวมของทั้งอาคาร

วิธีทำ

<u>คำนวณหาขนาดโหลดของแต่ละห้อง</u> จะได้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 5 x 100 = 500 VA
หลอดไส้ 3 x 60 = 180 VA
รวม = 680 VA
โหลดเต้ารับ 5 x 180 = 900 VA
เครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU/H = 1,500 VA
เครื่องทำน้ำอุ่น = 3,500 VA
รวมโหลดแต่ละห้อง = 680 + 900 + 1,500 + 3,500
= 6,580 VA
กระแสโหลด = 6,580 / 220
= 29.91 x 1.25 A
= 37.38 A

เลือกใช้สายป้อนชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 2 x 10 ตร.มม. (45 A) ติดตั้งกลุ่มที่ 2

เลือกใช้ CB ขนาด 40 AT 50 AF ติดตั้งสายไฟฟ้าจำนวน 3 เส้น (สายดิน) ในท่อโลหะชนิด EMT ขนาด 3/4 "

คำนวณหาขนาดโหลดสายป้อนแต่ละชั้น จะได้

แสงสว่าง	25 x 680	=	17,000	VA
2000 VA แรก	D.F. 100%	=	2,000	VA
(17,000 – 2000)	D.F. 35%	=	5,250	VA
	รวม	=	7,250	VA
		=	7.25	kVA
โหลดเต้ารับ		=	22.5	kVA
เครื่องปรับอากาศ		=	37.5	kVA
เครื่องทำน้ำอุ่น	(2 x 3.5) + (23 x 3.5 x 0.25)			
		=	27.125	kVA

โหลดสายป้อนแต่ละชั้น = 7.25 + 22.5 + 37.5 + 27.125

= 94.375 kVA

คำนวณหาขนาดโหลดรวมของทั้งอาคาร

- โหลดของห้องทั้งหมด 5 x 25 = 125 ห้อง

ไฟฟ้าแสงสว่าง		=	85	kVA
2 kVA แรก	D.F. 100 %	=	2	KVA
(85 – 2)	D.F. 35 %	=	29.05	kVA
	รวม	=	31.05	kVA
โหลดเต้ารับ		=	112.5	kVA
เครื่องปรับอากาศ		=	187.5	kVA
เครื่องทำน้ำอุ่น	(2 x 3.5) + (123 x 3.5 x 0.25)			
		=	114.625	kVA
โหลดรวมของห้องทั้งหมด		=	445.675	kVA

- โหลดส่วนที่เหลือของอาคาร

ลิฟต์	2 x 15	=	30	kVA
ปั๊มน้ำ	1 x 5	=	5	kVA
ไฟฟ้าแสงสว่าง		=	5	kVA
เครื่องปรับอากาศ		=	2	kVA
โหลดส่วนกลาง		=	30 + 5 + 5 + 2	
		=	42	kVA

โหลดของทั้งอาคาร = โหลดรวมห้องชุด + โหลดส่วนกลาง

= 445.675 + 42

= 487.675 kVA

เลือกใช้หม้อแปลงขนาดพิกัด 500 kVA (759.7 A)

3.6.4 การหาขนาดตัวนำบัสบาร์ทองแดง

บัสบาร์ (Bus Bar) คือ ส่วนที่จะทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้า ระหว่างสายประธานกับสายป้อน บัสบาร์ส่วนมากจะทำจากทองแดงที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก เนื่องจากต้องนำกระแสปริมาณมาก และเพื่อความปลอดภัยต้องหุ้มฉนวนที่ขั้วต่อทางไฟฟ้าด้วยเสมอ การติดตั้งบัสบาร์จะต้องมีความแข็งแรงและปลอดภัยเพียงพอโดยผ่านฉนวนทางไฟฟ้า (Insulator) เนื่องจากบัสบาร์ต้องนำกระแสปริมาณมาก ถ้าหากเกิดการผิดพลาดหรือมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นจะเกิดแรงดึงกระชากที่ตัวบัสบาร์ ดังนั้นการยึดบัสบาร์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เช่นกัน การยึดจับจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ

บัสบาร์จะเป็นจุดรวมของวงจรไฟฟ้าจำนวนมาก มีทั้งวงจรไฟฟ้าเข้าและวงจรไฟฟ้าจ่ายออก ส่วนมากเราจะพบบัสบาร์ในตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) หรือภายในแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (SDB) แผงไฟฟ้าย่อย (LP) การรับและจ่ายกระแสไฟฟ้าในปริมาณมากจะทำให้เกิดแรงเหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Force) ดังนั้นการเลือกขนาดของบัสบาร์ก็จะต้องทนแรงเหล่านี้ได้ วัสดุที่นำมาผลิตบัสบาร์จะต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า และทางกลที่เหมาะสม โดยมีหลักการพิจารณาโลหะที่จะนำมาใช้ทำบัสบาร์ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ มีความต้านทานต่ำ มีความแข็งแรงทางกลสูงในด้านแรงดึง แรงอัดและแรงฉีก มีความต้านทานต่อ Fatigue Failure สูง มีความต้านทานต่อ Surface Film ต่ำ การตัดต่อหรือการดัดสามารถทำได้สะดวก มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง

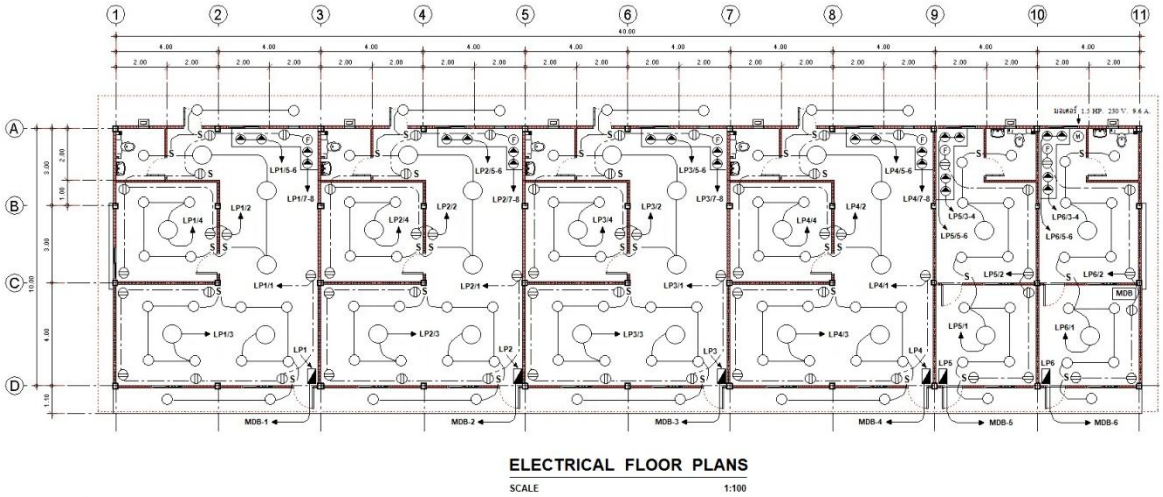
การพิจารณาเลือกขนาดบัสบาร์ พิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมในการทำงาน หากต้องการจากขนาดของบัสบาร์ให้กำหนดค่าความต้านทานของกระแสที่ 8 A/mm^2 หลังจากนั้นสืบค้นหาขนาดมาตรฐานการผลิตที่ใกล้เคียงโดยประมาณ อาจจะพิจารณาอุณหภูมิความร้อนที่เกิดจากกระแส และอุณหภูมิความร้อนสูญเสียจากงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการเลือกขนาดของบัสบาร์ แต่ถ้าหากเราทราบค่ากระโหลดจากการคำนวณแล้วก็ให้นำค่ากระแสนั้นมาเทียบกับพิกัดกระแสของบัสบาร์ ขนาดและพิกัดกระแสของบัสบาร์ทองแดง ดังตารางที่ 3.25

ตารางที่ 3.25 ขนาดและพิกัดกระแสของบัสบาร์ทองแดง[39]

Model (Inch)	Width กว้าง (mm.)	Thickness หนา (mm.)	Rated Current (Amp)
1/2"x1/8"	12.7	3.17	62.5 A
1/2"x3/16"	12.7	4.76	93.75 A
1/2"x1/4"	12.7	6.35	125 A
3/4"x1/8"	19.05	3.17	93.8 A
3/4"x3/16"	19.05	4.76	140.62 A
3/4"x1/4"	19.05	6.35	187.5 A
1"x1/8"	25.4	3.17	125 A
1"x3/16"	25.4	4.76	180 A
1"x1/4"	25.4	6.35	250 A
1"x3/8"	25.4	9.52	375 A
1"x1/2"	25.4	12.7	500 A
1-1/2"x1/8"	38.1	3.17	187.5 A
1-1/2"x3/16"	38.1	4.76	280 A
1-1/2"x1/4"	38.1	6.35	375 A
1-1/2"x3/8"	38.1	9.52	563 A
1-1/2"x1/2"	38.1	12.7	750 A
2"x1/8"	50.8	3.17	250 A
2"x3/16"	50.8	4.76	375 A
2"x1/4"	50.8	6.35	500 A
2"x3/8"	50.8	9.52	750 A
2"x1/2"	50.8	12.7	1,000 A
2-1/2"x1/4"	63.5	6.35	625 A
2-1/2"x3/8"	63.5	9.52	938 A
2-1/2"x1/2"	63.5	12.7	1,250 A
3"x1/4"	76.2	6.35	750 A
3"x3/8"	76.2	9.52	1,125 A
3"x1/2"	76.2	12.7	1,500 A
4"x1/4"	101.6	6.35	1,000 A
4"x3/8"	101.6	9.52	1,500 A
4"x1/2"	101.6	12.7	2,000 A
4"x3/4"	101.6	19.05	3,000 A

[39] สืบค้นเมื่อ 25/7/2558 : http://sirichaielectric.com/บัสบาร์ทองแดง-product

ตัวอย่างที่ 3.32 จากรูปที่ 3.45 เป็นอาคารที่พักอาศัยจำนวน 9 ห้อง อีก 1 ห้องเป็นห้องซักล้าง เก็บของ ติดตั้งมอเตอร์ปั๊มน้ำ และติดตั้งตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) จงคำนวณหา โหลดสายป้อน และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินแต่ละห้องพักพร้อมจัดทำตารางโหลดแผงย่อย (LP) และคำนวณระบบประธานพร้อมจัดทำตารางตู้จ่ายไฟหลัก (MDB), Electrical Power Riser Diagram และ Electrical Single Line Diagram

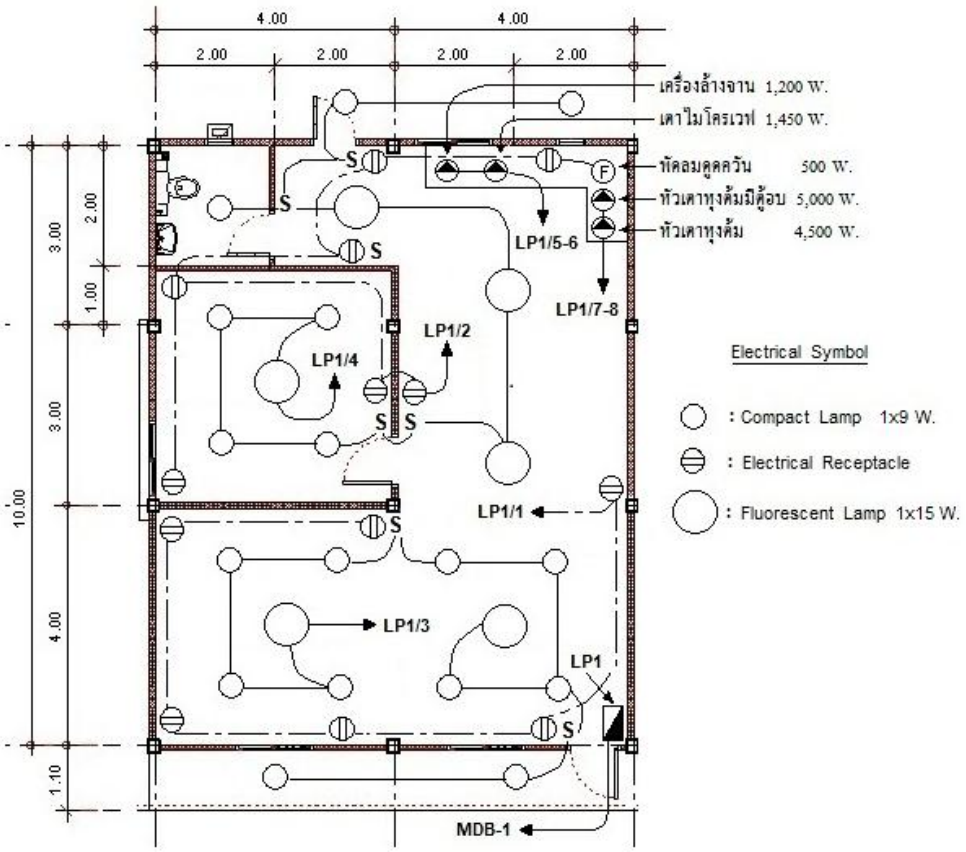


รูปที่ 3.45 แปลนไฟฟ้าอาคารที่พักอาศัยสำหรับตัวอย่างที่ 3.32

จากแปลนไฟฟ้ารูปที่ 3.45 เป็นอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวจำนวน 6 ห้อง ตั้งแต่ห้อง LP1 – LP4 มีลักษณะเดียวกันหมด ภายในห้องแต่ละห้องประกอบด้วยบริเวณสำหรับรับแขก บริเวณสำหรับการทำครัว ห้องนอน และห้องน้ำ มีแผงไฟฟ้าย่อย (LP : Light Panel) แต่ละแผงติดตั้งอยู่หลังประตูทางเข้าห้องพัก บริเวณสำหรับทำครัวประกอบด้วย เครื่องล้างจาน เตาไมโครเวฟ พัดลมดูดควัน หัวเตาหุงต้มมีตู้อบ หัวเตาหุงต้ม ดังรูปที่ 3.46 สำหรับห้อง LP5 และห้อง LP6 จะมีขนาดเล็กกว่าห้อง LP1 ถึงห้อง LP4 ภายในห้องประกอบด้วยห้องรับแขก ห้องนอน บริเวณทำครัว ห้องน้ำ อุปกรณ์การทำครัวมีเหมือนกันกับห้อง LP1 ถึง LP4 ห้อง LP6 จะใช้เป็นสำนักงานหรือห้องพักสำหรับผู้ดูแลอาคารที่พักอาศัย ภายในห้องจะติดตั้งตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) และมีมอเตอร์ขนาด 1.5 HP 230 V 9.6 A

สัญลักษณ์ในแบบที่เป็นลูกศรหมายถึงการเดินสายไปยังวงจรต่างๆ ของแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (LP) เช่น LP1/1 หมายถึงการเดินสายไฟฟ้าจากวงจรย่อยที่ 1 ไปยังวงจรที่ 1 ของแผงไฟฟ้าย่อย LP1 หรือ MDB-1 หมายถึง การเดินสายไฟฟ้าไปยังวงจรที่ 1 ของตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ที่อยู่ภายในห้อง LP6

การติดตั้งสายไฟฟ้าจะติดตั้งแบบร้อยท่อ ฝังในผนัง พื้น หรือเพดาน สายไฟฟ้าเป็นชนิด 60227 IEC 01 450/750 V 70°C TIS11-2553



รูปที่ 3.46 ภาพขยายแปลนไฟฟ้าอาคารที่พักอาศัยห้อง LP1

วิธีทำ

การคำนวณโหลด สำหรับพื้นที่ห้อง LP1 ถึง LP4 แต่ละห้องมีขนาด 4 x 10 ตร.ม. ส่วนพื้นที่ห้อง LP5 และห้อง LP6 มีขนาด 4 x 10 ตร.ม.

<u>การคำนวณแสงสว่างทั่วไปสำหรับที่อยู่อาศัยห้อง LP1 ถึง LP4</u>

โคม 1 x 9 W (จำนวน 17 โคม x 15) = 255 W

โคม 1 X 15 W (จำนวน 6 โคม x 25) = 150 W

เต้ารับ จำนวน 13 จุด = 2,340 W

โหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก

รวม 405 +2,340 = 2,745 W

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เพื่อลดขนาดของสายป้อน จากตารางที่ 3.16

2,000 W แรก คิด 100 เปอร์เซ็นต์ = 2,000 W

ที่เหลือ (2,745 – 2,000) W คิด 35 % = 745 x 0.35

= 260.75 W

รวมโหลดลด = <u>2,260.75</u> W

ดีมานด์แฟกเตอร์เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าหุงต้ม ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เพื่อลดขนาดสายป้อนสำหรับเครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ

เครื่องใช้หุงต้มมีตู้อบ = 5,000 W

หัวเตาหุงต้ม = 4,500 W

รวม = 9,500 W

ตามตารางที่ 3.24 เลือกคอลัมน์ C มีเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 2 เครื่อง ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 65%

= 9,500 x 0.65

รวมโหลดลด = 6,175 W

รวมโหลดของสายป้อนห้อง LP1

แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก = 2,260.75 W

เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ = 6,175 W

เครื่องล้างจาน = 1,200 W

เตาไมโครเวฟ = 1,450 W

พัดลมดูดควัน = 500 W

รวมโหลดสายป้อน = 11,585.75 W

ขนาดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินห้อง LP1 ถึง LP4

แรงดันไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V

$$I = \frac{11,585.75}{220}$$

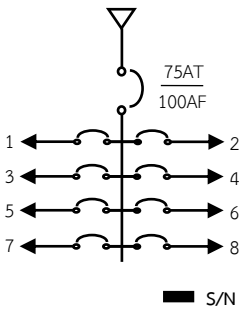
= 52.662 A

ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดไม่เกิน 80% ของพิกัดกระแสในกรณีที่ไม่ได้รับการรับรองว่า

ตารางที่ 3.26 ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อยห้อง LP1 ถึง LP4

ระบบไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V S/N **ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อย** SURFACED MOUNTING

(LOAD PANEL)

CKT NO.	DESCRIPTION		LOAD (W)	WIRING (SIZE & TYPE)	CIRCUIT BREAKER			DIAGRAM
					Pole	AT	AF	
1	เต้ารับ 6 จุด		1,080	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
2	เต้ารับ 7 จุด & พัดลมดูดควัน		1,760	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
3	1x9W 10 โคม & 1x15W 2 โคม		200	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	5	30	
4	1x9W 7 โคม & 1x15W 4 โคม		205	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	5	30	
5	เครื่องล้างจาน		1,200	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
6	เตาไมโครเวฟ		1,450	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
7	หัวเตาหุงต้มมีตู้อบ		5,000	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
8	หัวเตาหุงต้ม		4,500	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
FEEDER		TOTAL POWER	15,395	2x1/c-35mm.^{2}	2	75	100	AT : Ampere Frame AF : Ampere Trip 1/c : Single Core
		DEMAND LOAD	11,585	IN 1 ¼" IMC				

ทำงานได้ต่อเนื่อง หรือคิดจากการเผื่อค่ากระแส 125% จะได้

52.662 x 1.25 = 65.828 A

จากตารางที่ 3.12 เลือกขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์เท่ากับ 75 AT/100 AF

ขนาดของสายตัวนำป้อนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าอัตราพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จากตารางที่ 3.11 เลือกสายแกนเดียวชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 35 ตร.มม. (86 A) เดินในท่อโลหะแบบฝัง (ติดตั้งแบบกลุ่มที่ 1) จากตารางที่ 3.21 สายไฟฟ้าจำนวน 3 เส้น (สายไฟ สายนิวทรัลและสายดิน) เลือกท่อ IMC ขนาด 1 ¼ นิ้ว

จากการคำนวณโหลดห้องพัก LP1 ถึง LP4 ทำให้สามารถนำค่าต่างๆ มาเขียนลงในตารางโหลดแผงย่อยไฟฟ้า (LP) ได้ดังตารางที่ 3.26

<u>การคำนวณแสงสว่างทั่วไปสำหรับที่อยู่อาศัยห้อง LP5</u>

โคม 1 x 9 W จำนวน 11 โคม	=	165	W
โคม 1 X 15 W จำนวน 2 โคม	=	50	W
เต้ารับ จำนวน 6 จุด	=	1,080	W
โหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก			
รวม 215 +1,080	=	1,295	W
ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เพื่อลดขนาดของสายป้อน จากตารงที่ 3.16			
2,000 W แรก คิด 100 เปอร์เซ็นต์	=	1,295	W
รวมโหลดลด	=	<u>1,295</u>	W

ดีมานด์แฟกเตอร์เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าหุงต้ม ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เพื่อลดขนาดสายป้อนสำหรับเครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ

เครื่องใช้หุงต้มมีตู้อบ	=	5,000	W
หัวเตาหุงต้ม	=	4,500	W
รวม	=	9,500	W

ตามตารางที่ 3.24 เลือกคอลัมน์ C มีเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 2 เครื่อง ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 65%

	=	9,500 x 0.65	
รวมโหลดลด	=	<u>6,175</u>	W

<u>รวมโหลดของสายป้อนห้อง LP5</u>

แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	=	1,295	W
เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ	=	6,175	W
เครื่องล้างจาน	=	1,200	W
เตาไมโครเวฟ	=	1,450	W
พัดลมดูดควัน	=	500	W
รวมโหลดสายป้อน	=	10,620	W

ขนาดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินห้อง LP5

แรงดันไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V

$$I = \frac{10{,}620}{220}$$

$$= 48.27 \quad A$$

ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดไม่เกิน 80% ของพิกัดกระแสในกรณีที่ไม่ได้รับการรับรองว่าทำงานได้ต่อเนื่อง หรือคิดจากการเผื่อค่ากระแส 125% จะได้

$$48.27 \times 1.25 = 60.33 \quad A$$

จากตารางที่ 3.12 เลือกขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์เท่ากับ 75 AT/100 AF

ขนาดของสายตัวนำป้อนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าอัตราพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จากตารางที่ 3.11 เลือกสายแกนเดียวชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 35 ตร.มม. (86 A) เดินในท่อโลหะแบบฝัง (ติดตั้งแบบกลุ่มที่ 1) จากตารางที่ 3.21 สายไฟฟ้าจำนวน 3 เส้น (สายไฟ สายนิวทรัลและสายดิน) เลือกท่อ IMC ขนาด 1 ¼ นิ้ว

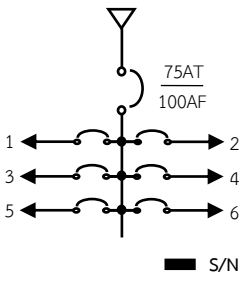
จากการคำนวณโหลดห้องพัก LP5 ทำให้สามารถนำค่าต่างๆ มาเขียนลงในตารางโหลดแผงย่อยไฟฟ้า (LP) ได้ดังตารางที่ 3.27

สำหรับห้อง LP6 จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเหมือนกับห้อง LP5 แต่มีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 HP 230 V 9.6 A เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งรายการเท่านั้น ซึ่งโหลดมอเตอร์ต้องเผื่อไว้ 125% ของพิกัดโหลดเต็มที่จะได้ 9.6 A x 230 V x 1.25 = 2,760 W จึงสามารถเขียนเป็นตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อยได้ดังตารางที่ 3.28

ตารางที่ 3.27 ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อยห้อง LP5

ระบบไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V S/N **ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อย** SURFACED MOUNTING

(LOAD PANEL)

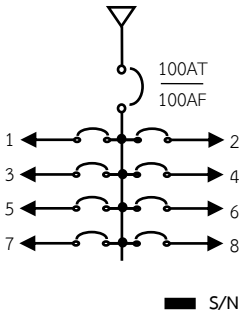
CKT NO.	DESCRIPTION		LOAD (W)	WIRING (SIZE & TYPE)	CIRCUIT BREAKER Pole	AT	AF	DIAGRAM
1	1x9W 11 โคม & 1x15W 2 โคม		215	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	5	30	
2	เต้ารับ 6 จุด & พัดลมดูดควัน		1,580	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
3	เครื่องล้างจาน		1,200	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
4	เตาไมโครเวฟ		1,450	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
5	หัวเตาหุงต้มมีตู้อบ		5,000	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
6	หัวเตาหุงต้ม		4,500	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
FEEDER		TOTAL POWER	13,945	2x1/c-35mm.^{2}	2	75	100	
		DEMAND LOAD	10,620	IN 1 ¼" IMC				

AT : Ampere Frame
AF : Ampere Trip
1/c : Single Core

ตารางที่ 3.28 ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อยห้อง LP6

ระบบไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V S/N **ตารางโหลดแผงไฟฟ้าย่อย** SURFACED MOUNTING

(LOAD PANEL)

CKT NO.	DESCRIPTION	LOAD (W)	WIRING (SIZE & TYPE)	CIRCUIT BREAKER			DIAGRAM
				Pole	AT	AF	
1	1x9W 11 โคม & 1x15W 2 โคม	215	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	5	30	
2	เต้ารับ 6 จุด & พัดลมดูดควัน	1,580	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
3	เครื่องล้างจาน	1,200	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
4	เตาไมโครเวฟ	1,450	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	10	30	
5	หัวเตาหุงต้มมีตู้อบ	5,000	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
6	หัวเตาหุงต้ม	4,500	2x1/c-6mm.^{2}	1	30	30	
7	มอเตอร์ไฟฟ้า 1.5 HP	2,760	2x1/c-2.5mm.^{2}	1	15	30	
FEEDER	TOTAL POWER	16,705	2x1/c-50mm.^{2} IN 1 ¼" IMC	2	100	100	
	DEMAND LOAD	13,380					

AT : Ampere Frame
AF : Ampere Trip
1/c : Single Core

<u>รวมโหลดของสายป้อนห้อง LP6</u>

แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก = 1,295 W
เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ = 6,175 W
เครื่องล้างจาน = 1,200 W
เตาไมโครเวฟ = 1,450 W
พัดลมดูดควัน = 500 W
มอเตอร์ไฟฟ้า 1.5 HP = 2,760 W
รวมโหลดสายป้อน = 13,380 W

ขนาดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินห้อง LP5

แรงดันไฟฟ้า 1 ∅ 2 W 220 V

$$I = \frac{13,380}{220}$$

$$= 60.82 \text{ A}$$

ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดไม่เกิน 80% ของพิกัดกระแสในกรณีที่ไม่ได้รับการรับรองว่าทำงานได้ต่อเนื่อง หรือคิดจากการเผื่อค่ากระแส 125% จะได้

$$60.82 \times 1.25 = 76.02 \text{ A}$$

จากตารางที่ 3.12 เลือกขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์เท่ากับ 100 AT/100 AF

ขนาดของสายตัวนำป้อนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าอัตราพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จากตารางที่ 3.11 เลือกสายแกนเดียวชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 50 ตร.มม. (104 A) เดินในท่อโลหะแบบฝัง

(ติดตั้งแบบกลุ่มที่ 1) จากตารางที่ 3.21 สายไฟฟ้าจำนวน 3 เส้น (สายไฟ สายนิวทรัลและสายดิน) เลือกท่อ IMC ขนาด 1 ¼ นิ้ว

การคำนวณระบบประธาน

โหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กห้อง LP1 ถึง LP4

4 x 2,745 = 10,980 W

โหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กห้อง LP5 ถึง LP6

2 x 1,295 = 2,590 W

รวมโหลด = 13,570 W

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เพื่อลดขนาดของสายป้อน จากตารงที่ 3.16

2,000 W แรก คิด 100 เปอร์เซ็นต์ = 2,000 W

ที่เหลือ (13,570 – 2,000) W คิด 35 % = 11,570 x 0.35

= 4,049.5 W

รวมโหลดลด = 6,049.5 W

ตามตารางที่ 3.24 เลือกคอลัมน์ C มีเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 12 เครื่อง ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 32%

เครื่องใช้หุงต้มมีตู้อบ 6 x 5,000 = 30,000 W

หัวเตาหุงต้ม 6 x 4,500 = 27,000 W

= 57,000 x 0.32

รวมโหลดลด = 18,240 W

เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ได้แก่

เครื่องล้างจาน 6 x 1,200 = 7,200 W

เตาไมโครเวฟ 6 x 1,450 = 8,700 W

พัดลมดูดควัน 6 x 500 = 3,000 W

รวมโหลด = 18,900 W

ดีมานด์แฟกเตอร์ตามมาตรฐาน NEC 220-17 สำหรับที่พักอาศัยคิด 75% ของโหลดในสายป้อนเดียวกัน จะได้

18,900 x 0.75 = 14,175 W

มอเตอร์ 1.5 HP 230 V = 2,760 W

รวมโหลดระบบประธาน

แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก = 6,049.5 W

เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ = 18,240 W

เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ = 18,900 W

มอเตอร์ = 2,760 W

รวมโหลด = 45,949.5 W

<u>คำนวณหาขนาดสายประธาน</u>

ระบบแรงดัน 3 ∅ 4 W 380/220 V

$$I = \frac{45,949.5}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$= 69.81 \quad A$$

ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดไม่เกิน 80% ของพิกัดกระแสในกรณีที่ไม่ได้รับการรับรองว่าทำงานได้ต่อเนื่อง หรือคิดจากการเผื่อค่ากระแส 125% จะได้

$$69.81 \times 1.25 = 87.26 \quad A$$

จากตารางที่ 3.12 เลือกขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์เท่ากับ 100 AT/100 AF

ขนาดของสายตัวนำป้อนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าอัตราพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จากตารางที่ 3.11 เลือกสายแกนเดียวชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 50 ตร.มม. (104 A) เดินในท่อโลหะแบบฝัง (ติดตั้งแบบกลุ่มที่ 1) จากตารางที่ 3.21 สายไฟฟ้าจำนวน 5 เส้น (สายไฟ สายนิวทรัลและสายดิน) เลือกท่อ RSC ขนาด 2 นิ้ว

<u>คำนวณหาขนาดสายประธานตัวนำศูนย์</u>

แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก = 6,049.5 W

เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ = 18,240 W

เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะและเตาอบ คิดที่ 70% ของโหลดที่ตัวนำไม่ได้ต่อลงดิน

$$18,240 \times 0.7 = 12,768 \quad W$$

เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ = 18,900 W

มอเตอร์ = 2,760 W

รวมโหลด = 40,477.5 W

$$I = \frac{40,4775}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$= 61.45 \quad A$$

ตารางที่ 3.11 เลือกสายแกนเดียวชนิด 60227 IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. (70 A)

<u>คำนวณหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า</u>

กระแสไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารที่พักอาศัยจากการคำนวณ คือ 69.81 A

จากสมการ $I = \frac{kVA \times 1,000}{\sqrt{3} \times 380}$

จะได้ $kVA = \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 69.81}{1,000}$

$$= 45.94 \quad kVA$$

จากตารางที่ 3.2 เลือกหม้อแปลงขนาด 50 kVA 3 ∅ 380 V จ่ายกระแสได้เท่ากับ 75.97 A

ตารางที่ 3.29 ตารางโหลดตู้จ่ายไฟหลัก (MDB)

PANEL NO. :
CAPACITY :
CONNECTED TO : 12 CKT
3 PHASE 4 WIRE 240/416 VOLTS MAIN CIRCUIT BREAKER TYPE. BRANCH CB IC >= 6 KA

MAIN DISTRIBUTION BOARD LOAD

SHEET NO :
LOCATION :
MOUNTING : SURFACED MOUNT

CKT NO	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD IN KVA			CIRCUIT BREAKER			WIRING		DIAGRAM	WIRING		CIRCUIT BREAKER			CONNECTED LOAD IN KVA			DESCRIPTION	CKT NO
		ØA	ØB	ØC	AT	AF	POLE	SIZE	TYPE	ØA ØB ØC	SIZE	TYPE	AT	AF	POLE	ØA	ØB	ØC		
1	LP1	11.58			75	100	1	35 mm.²	IEC 01		35 mm.²	IEC 01	75	100	1	11.58			LP2	2
3	LP3		11.58		75	100	1	35 mm.²	IEC 01		35 mm.²	IEC 01	75	100	1		11.58		LP4	4
5	LP5			10.62	75	100	1	35 mm.²	IEC 01		50 mm.²	IEC 01	100	100	1			13.38	LP6	6
7	SPARE	10.56			60	100	1	-	-		-	-	-		-	-			SPACE	8
9	SPARE		10.56		60	100	1	-	-		-	-	-	-	-		-		SPACE	10
11	SPARE			8.80	50	100	1	-	-		-	-	-	-	-			-	SPACE	12

TOTAL (KVA)			
ØA	ØB	ØC	
22.14	22.14	19.42	

MAIN CB : 100 AT/ 100 AF 3P
IC >= 25 KA at 380 V

TOTAL LOAD KVA		
ØA	ØB	ØC
33.72	33.72	32.8
45.95		

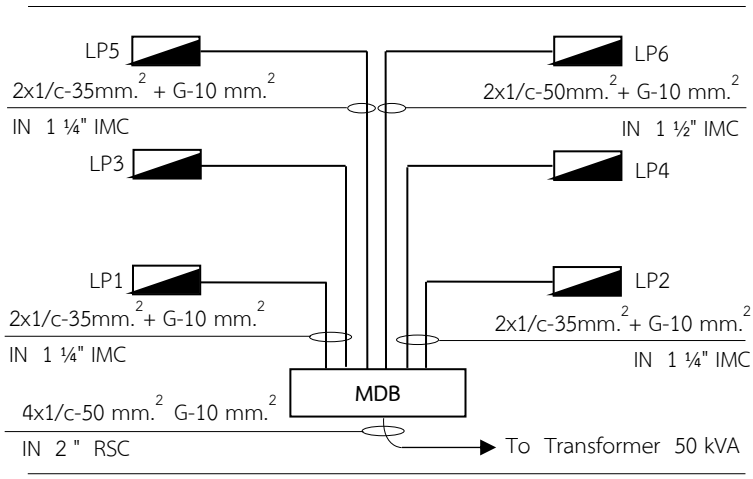
FEEDER : 4x1/c-50 mm.²
G-10 mm.²
CONDUIT : Ø 2" RSC

TOTAL (KVA)		
ØA	ØB	ØC
11.58	11.58	13.38

จากการคำนวณโหลดที่ผ่านมาสามารถนำมาเขียนเป็นตารางโหลดตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ได้ดังตารางที่ 3.29 จัดทำเป็น Electrical Power Riser Diagram ได้ดังรูปที่ 3.47 และจัดทำเป็น Electrical Single Line Diagram ได้ดังรูปที่ 3.48

<u>การหาขนาดของตัวนำบัสบาร์ทองแดง</u>

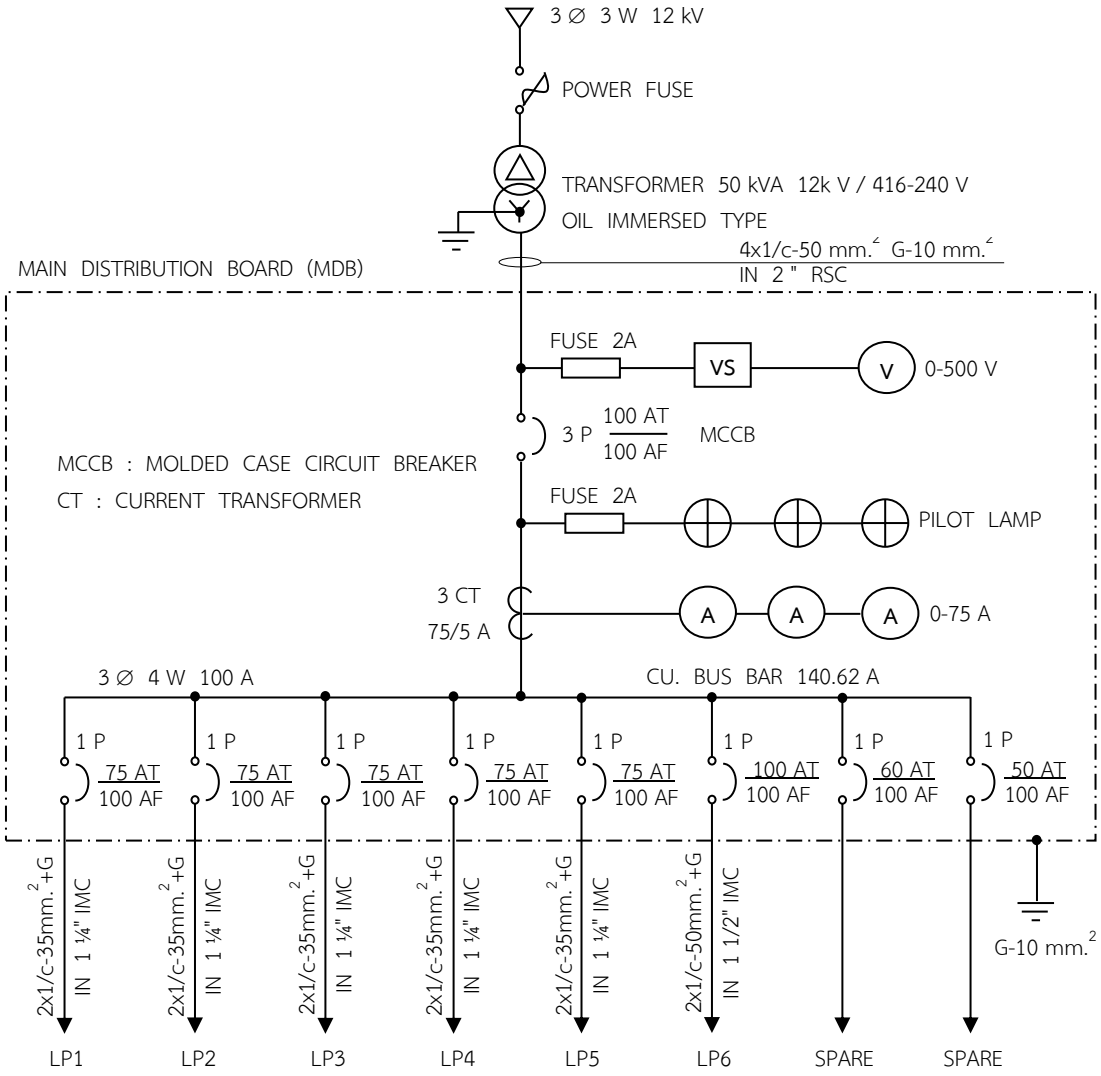
จากการคำนวณระบบประธานและจากตารางที่ 3.25 เลือกบัสบาร์ ขนาด 3/4" x 3/16" หรือ มีความกว้างเท่ากับ 19.05 มม. หนาเท่ากับ 4.76 พิกัดกระแสเท่ากับ 140.62 A



รูปที่ 3.47 Electrical Power Riser Diagram

การจัดทำเป็น Electrical Power Riser Diagram และ Electrical Single Line Diagram จะต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโหลดมาแล้วทั้งระบบ ดังนั้นการจัดทำไดอะแกรมทั้งสองนี้จะทำในขั้นตอนสุดท้าย จากรูปที่ 3.47 จะเป็นไดอะแกรมที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับระบบการจ่ายไฟฟ้าจากตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ไปยังแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (LP) ตามห้องพักต่างๆ ตั้งแต่ห้องพัก LP1 ถึง LP6 ซึ่งแผงจ่ายไฟย่อย LP6 จะอยู่ภายในห้องเดียวกันกับตู้จ่ายไฟหลัก นอกจากนี้ยังบอกถึงขนาดและชนิดของสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้า รูปแบบในการติดตั้งสายไฟฟ้า

สำหรับรูปที่ 3.48 จะเป็นการอธิบายถึงระบบประธานไฟฟ้า โดยระบบจะเริ่มจากการนำระบบไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าระบบ 3 ∅ 12 kV 50 Hz ผ่านหม้อแปลง 30 kVA แปลงเป็นระบบแรงดันต่ำระบบ 3 ∅ 4 W 416-240 V เข้าสู้ตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ในไดอะแกรมตามรูปจะบอกถึงอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้จ่ายไฟหลัก พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ประธาน พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย รวมไปถึงขนาดและชนิดของสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้า รูปแบบในการติดตั้งสายไฟฟ้าที่จะเดินไปยังแผงจ่ายย่อยตามห้องต่างๆ ตามแบบแปลนไฟฟ้า ดังนั้นในการจัดทำหรือประกอบตู้จ่ายไฟหลัก ผู้ที่ปฏิบัติหน้าที่ตรงนี้จะต้องมีแบบ Electrical Single Line Diagram เพื่อให้การประกอบตู้จ่ายไฟหลักเป็นไปอย่างถูกต้องตามแบบที่กำหนด



รูปที่ 3.48 Electrical Single Line Diagram

แบบฝึกหัดบทที่ 3

เรื่อง การออกแบบตู้จ่ายไฟหลัก (MDB)

วิชา การติดตั้งไฟฟ้า 1 **รหัสวิชา** 3104-2001 **ระดับ** ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

ตอนที่ 1 จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด และทำเครื่องหมาย X ลงในช่องของกระดาษคำตอบ

1. ข้อความในข้อใดถูกต้องที่สุด

ก. สายส่งย่อย (Sub Transmission lines) มีหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าต้นทางเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยด้วยระดับแรงดัน 24 kV และ 69 kV

ข. สายส่งย่อย (Sub Transmission lines) มีหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าต้นทางเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง

ค. สถานีไฟฟ้าต้นทาง (terminal station) มีหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งเข้าหม้อแปลงกำลัง เพื่อลดระดับแรงดันให้อยู่ในระดับระบบส่งย่อย

ง. สถานีไฟฟ้าต้นทาง (terminal station) มีหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งเข้าหม้อแปลงกำลัง เพื่อลดระดับแรงดันให้อยู่ในระดับระบบส่งย่อยที่ 69 kV และ 115 kV

2. ข้อใดต่อไปนี้อธิบายเกี่ยวกับสถานีย่อยของการไฟฟ้านครหลวงได้ถูกต้องที่สุด

ก. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 11 kV, 22 kV

ข. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 11 kV, 33 kV

ค. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 12 kV, 33 kV

ง. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 12 kV, 24 kV

3. ข้อใดต่อไปนี้อธิบายเกี่ยวกับสถานีย่อยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ถูกต้องที่สุด

ก. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 11 kV, 22 kV

ข. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 12 kV, 33 kV

ค. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 12 kV, 24 kV

ง. รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งย่อยจะป้อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับแรงดันในระดับจำหน่าย คือ 24 kV, 33 kV

4. Secondary selective คือระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามข้อใด

ก. ระบบสายประธานเดี่ยว

ข. ระบบสายประธานคู่

ค. ระบบสายประธานสองชุด

ง. ระบบสปอตเนตเวิร์ค

5. แรงดันตก (Voltage Drop) ในสายไฟฟ้าจะส่งผลเสียกับระบบไฟฟ้า เช่น จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องไฟฟ้าลดลง และส่งผลกับการทำงานของหลอดไฟฟ้าตามข้อใด

ก. Fluorescent Lamp

ข. High Intensity Discharge Lamp

ค. Incandescent lamp

ง. ข้อ ก และ ข ถูก

6. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380 V 50 Hz. จ่ายโหลด 3 เฟสสมดุลขนาด 51 A มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 68% จะต้องแทนค่า Sinθ ในสมการแรงดันตกมีค่าตามข้อใด

ก. 68.00

ข. 0.680

ค. 0.823

ง. 0.733

7. ข้อใดต่อไปนี้ เป็นปัจจัยส่งผลทำให้มีแรงดันตกในระบบไฟฟ้าน้อยที่สุด

ก. ความยาวของสายไฟฟ้า

ข. ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ค. ขนาดความโตของสายไฟฟ้า

ง. ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตู้จ่ายไฟหลัก

8. ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการคำนวณหาขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าคือข้อใด

ก. กระแสที่ได้มาจากโหลดวงจรย่อยและวงจรสายป้อน

ข. ลักษณะของอาคารที่ติดตั้งระบบไฟฟ้า

ค. กระแสที่ได้มาจากการคำนวณโหลดระบบประธาน

ง. ระบบการจ่ายไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคาร

9. หม้อแปลงขนาด 25 KVA 3 เฟส 22 kV / 400-230 V จะมีกระแสเข้าตามข้อใด

ก. กระแสเข้า = $P/\sqrt{3}.V$

ข. กระแสเข้า = P/V

ค. กระแสเข้า = $(25 \times 10^{3}) / (\sqrt{3} \times 400)$

ง. กระแสเข้า = (25 x 1000) / 230

10. หม้อแปลงขนาด 15 KVA 3 เฟส 22 kV / 400-230 V ด้านออกเป็น 3 $\varnothing$ Y จะมีกระแสด้านออกจากหม้อแปลงตามข้อใด

ก. 34.09 A

ข. 22.79 A

ค. 68.18 A

ง. 39.37 A

11. ข้อใดต่อไปนี้<u>ไม่ใช่</u>ผลเสียที่เกิดกับระบบไฟฟ้าที่มีสาเหตุมาจากโหลดไม่สมดุล

ก. เกิดความสูญเสียและแรงดันตกปลายสายในปริมาณมาก

ข. ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage Regulation) ต่ำ

ค. ความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงลดลง

ง. เมื่อเกิดการลัดวงจรจะเกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากกับเฟสที่ต่อโหลดมากที่สุด

12. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวได้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับข้อกำหนดสำหรับการใช้งานหม้อแปลงทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ก. ยอมให้จ่ายโหลดได้ไม่เกิน 85% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง และการบาลานซ์เฟสหม้อแปลง ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 25% ของค่ากระแสเฉลี่ย

ข. ยอมให้จ่ายโหลดได้ไม่เกิน 85% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง และการบาลานซ์เฟสหม้อแปลง ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย

ค. ยอมให้จ่ายโหลดได้ไม่เกิน 80% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง และการบาลานซ์เฟสหม้อแปลง ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย

ง. ยอมให้จ่ายโหลดได้ไม่ต่ำกว่า 80% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง และการบาลานซ์เฟสหม้อแปลงไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย

13. Icu ที่ระบุใน name plate ของ Circuit Breaker มีคำเต็มตามข้อใด

ก. Rated service short short-circuit breaking capacity

ข. Rated short-circuit breaking capacity

ค. Rated service breaking capacity

ง. Rated short-circuit short breaking capacity

14. Ics ที่ระบุใน name plate ของ Circuit Breaker มีคำเต็มตามข้อใด

ก. Rated short-circuit short

ข. Rated short-circuit breaking capacity

ค. Rated service breaking capacity

ง. Rated service short short-circuit breaking capacity breaking capacity

15. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวได้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับ Icu

ก. เป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB สามารถป้องกันหรือตัดวงจรโดย CB ไม่เสียหาย

ข. เป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB สามารถป้องกันหรือตัดวงจรได้สำเร็จ 2 ครั้งติดกันโดย CB ไม่เสียหาย

ค. Icu จะมีหน่วยเป็น KVA r.m.s.

ง. ถูกทุกข้อ

16. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวได้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับ Ics

ก. อุปกรณ์ที่ดีควรจะมีค่า ICU=ICS

ข. Ics จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า Icu เช่น 25 , 50 , 75 และ 100%

ค. เป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ circuit breaker สามารถป้องกันหรือตัดวงจรได้สำเร็จ 3 ครั้งติดกัน โดย circuit breaker ไม่เสียหาย

ง. ถูกทุกข้อ

17. หม้อแปลงพิกัด 315 kVA 22kV/400-230V Zk = 4% จะมีค่ากระแสลัดวงจรตามข้อใด

ก. 454.66 A

ข. 790.71 A

ค. 790.71 kA

ง. 11.366 kA

18. จากข้อ 17 หากระบบไฟฟ้ามีมอเตอร์พิกัด 385 kVA จะทำให้มีค่ากระแสลัดวงจรทั้งหมดตามข้อใด
    ก. 96.25 kA
    ข. 567.05 kA
    ค. 13.588 kA
    ง. 107.61 kA
19. ขนาดพิกัดของวงจรย่อยมีวิธีการเรียกชื่อตามข้อใด
    ก. ตามพิกัดของสายไฟฟ้าของวงจรย่อย
    ข. ตามพิกัด 125% ของกระแสไฟฟ้าวงจรย่อย
    ค. ตามพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันวงจรย่อย
    ง. ตามพิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรย่อย
20. วงจรย่อยที่มีจุดต่อไฟตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปแต่ต้องมีขนาดไม่เกิน 50 A มีข้อกำหนดตามข้อใด
    ก. วงจรย่อยขนาดไม่เกิน 50 A จะรวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่พักอาศัย
    ข. จะต้องมีบุคคลหรือผู้ที่มีความรู้ทางด้านไฟฟ้าเป็นที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้งาน
    ค. กรณีที่ใช้วงจรย่อยที่ไม่ใช่โหลดแสงสว่างที่มีพิกัดเกิน 50 A จะต้องมีผู้ที่มีความรู้ทางด้านไฟฟ้าคอยดูแลบำรุงรักษา
    ง. ถูกทุกข้อ
21. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้องที่สุดเกี่ยวกับการคำนวณโหลดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันสายป้อน
    ก. สายป้อนจะต้องมีขนาดตั้งแต่ 2.5 ตร.มม. ขึ้นไป
    ข. สายป้อนจะต้องมีขนาดตั้งแต่ 4 ตร.มม. ขึ้นไป
    ค. พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินจะต้องมีขนาด 115% ของโหลดสายป้อน
    ง. พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินจะต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่ากระแสของสายป้อน
22. การนับกลุ่มวงจรในช่องเดินสายเดียวกัน มีข้อกำหนดตามข้อใด
    ก. สายหลายแกนจำนวนเส้นคือจำนวนกลุ่มวงจร
    ข. สายหลายแกนจำนวนเฟสคือจำนวนกลุ่มวงจร
    ค. สายแกนเดียวกรณีมีแต่วงจร 1 เฟสให้นับตามจำนวนสายไฟฟ้า
    ง. สายแกนเดียวกรณีมีแต่วงจร 3 เฟสให้นับตามจำนวนวงจร
23. ข้อใดคือเหตุผลที่ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าต้องมีการประมาณโหลดทั้งหมดของอาคารที่ออกแบบ
    ก. เพื่อให้ทราบถึงขนาดของโหลดวงจรย่อยของอาคารที่จะทำการออกแบบระบบไฟฟ้า
    ข. เป็นแนวทางในการเลือกระบบแรงดันไฟฟ้า
    ค. เป็นแนวทางในการเลือกจำนวนของอุปกรณ์ป้องกัน
    ง. เป็นแนวทางในการเลือกระบบแรงดันไฟฟ้า จำนวนอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งขนาดของหม้อแปลง
24. การออกแบบระบบไฟฟ้าได้แบ่งประเภทของโหลดไฟฟ้าออกเป็นประเภทอะไรบ้าง
    ก. โหลดความต้านทาน โหลดตัวเหนี่ยวนำ และโหลดตัวเก็บประจุ
    ข. โหลดแสงสว่าง โหลดอุปกรณ์ทำความร้อน โหลดมอเตอร์
    ค. โหลดมอเตอร์ โหลดอุปกรณ์ทำความร้อน โหลดอุปกรณ์ทำความเย็น
    ง. โหลดแสงสว่าง โหลดไฟฟ้ากำลัง

25. โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เตาอบและเครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะขนาด 4,350 วัตต์ 1 เฟส จำนวน 18 เครื่อง คิดดีมานด์แฟกเตอร์โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ตามข้อใด

ก. 78.3 kW

ข. 783 kW

ค. 21.92 kW

ง. 219.2 kW

26. จากข้อ 25 จะต้องเลือกใช้พิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายป้อนโดยการพิจารณาจากข้อมูลตามข้อใด

ก. เลือก CB ได้จาก 99.6 x 1.25 = 124.5 A และเลือกสายไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าพิกัด CB

ข. เลือก CB ได้จาก 99.6 A และเลือกสายไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าพิกัด CB

ค. เลือก CB ได้จาก 33.3 x 1.25 = 41.63 A และเลือกสายไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าพิกัด CB

ง. เลือก CB ได้จาก 33.3 A และเลือกสายไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าพิกัด CB

27. วงจรย่อยมีหลอด Compact Fluorescent lamp 9 W จำนวน 23 หลอด คิดโหลดวงจรย่อยได้ตามข้อใด

ก. 345 W

ข. 258.75 W

ค. 207 W

ง. 431.25 W

28. วงจรย่อยมีเต้ารับจำนวน 10 เต้ารับ จะต้องเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยการพิจารณาตามข้อใด

ก. 10 x 220 = 2,200 VA

ข. 10 x 220 x 1.25 = 2,750 VA

ค. 10 x 180 = 1,800 VA

ง. 10 x 180 x 1.25 = 22,500 VA

29. เครื่องใช้ไฟฟ้าติดตั้งถาวรพิกัด 230 V 9.5 A จำนวน 2 เครื่อง และมีเต้ารับรวมอยู่ในวงจรจำนวน 2 เต้ารับ จงหาขนาดของสายตัวนำ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

ก. CB 30 AT สายขนาด 2 x 4 sq.mm.

ข. CB 30 AT สายขนาด 2 x 6 sq.mm.

ค. CB 40 AT สายขนาด 2 x 6 sq.mm.

ง. CB 40 AT สายขนาด 2 x 10 sq.mm.

30. จงประมาณการโหลดไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารแห่งหนึ่งประกอบไปด้วยศูนย์คอมพิวเตอร์ ห้องประชุม ห้องอาหาร โดยแต่ละห้องมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 8 x 10 ตร.ม.

ก. 1,440 VA

ข. 3,200 VA

ค. 4,200 VA

ง. 4,640 VA

ตอนที่ 2 จงตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380 V 50 Hz. จ่ายโหลด 3 เฟสสมดุลขนาด 53.5 A มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 72% ด้วยสาย 60227 IEC 01 (THW) 16 ตร.มม. เดินในท่อโลหะ ความยาว 93 เมตร จงหาแรงดันตกในสาย เปอร์เซ็นต์แรงดันตก และถ้ากำหนดแรงดันตกไม่เกิน 3% (มาตรฐาน JIS) จะเดินสายได้ไกลสุดกี่เมตร

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 30 kVA ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย แปลงจาก 22 kV 50 Hz. เหลือ 380 V 3 เฟส 4 สาย จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าเข้าและออกจากหม้อแปลง

2.3 ต้องการป้องกันหม้อแปลงขนาด 167 kVA 12 kV ทั้งทางด้านเข้าและด้านออก จงคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง หากต้องการใช้ฟิวส์ (Fuse) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันหม้อแปลงแต่ละลูก

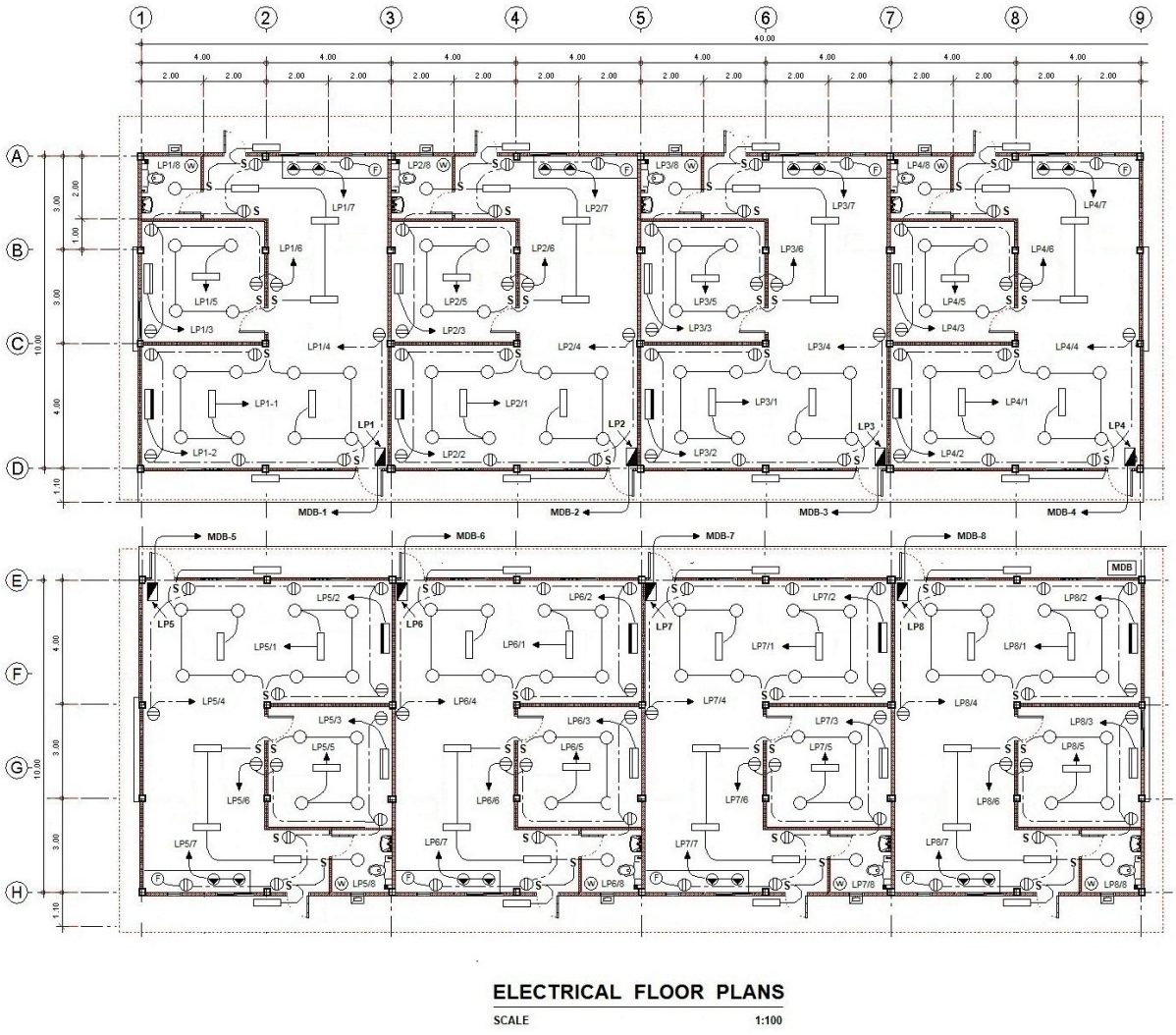
2.4 จากรูปที่ 3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัด 1,600 kVA Zk = 6% 22 kV / 400-230 V จงคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร ณ จุด Fault 1 และจุด Fault 2 โดยระบบไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับ 500 MVA กำหนดให้ สายประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไฟฟ้าถึงตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) ใช้สายขนาด 4 set (3 x 150 ตร.มม., 1 x 95 ตร.มม. (N) 60227 IEC 01 (THW)) เดินในท่อโลหะระยะความยาว 45 เมตร และ สายป้อนจากตู้จ่ายไฟหลัก ถึงจุดเกิดลัดวงจรใช้สายขนาด 3 x 50 ตร.มม., 1 x 35 sq.mm. (N) 60227 IEC 01 (THW) เดินในท่อโลหะระยะความยาว 70 เมตร

2.5 วงจรย่อยพิกัด 230 V 1 ∅ จ่ายไฟให้กับดวงโคม 15 ชุด แต่ละชุดมีโหลด 250 VA จงหาขนาดของสายตัวนำ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

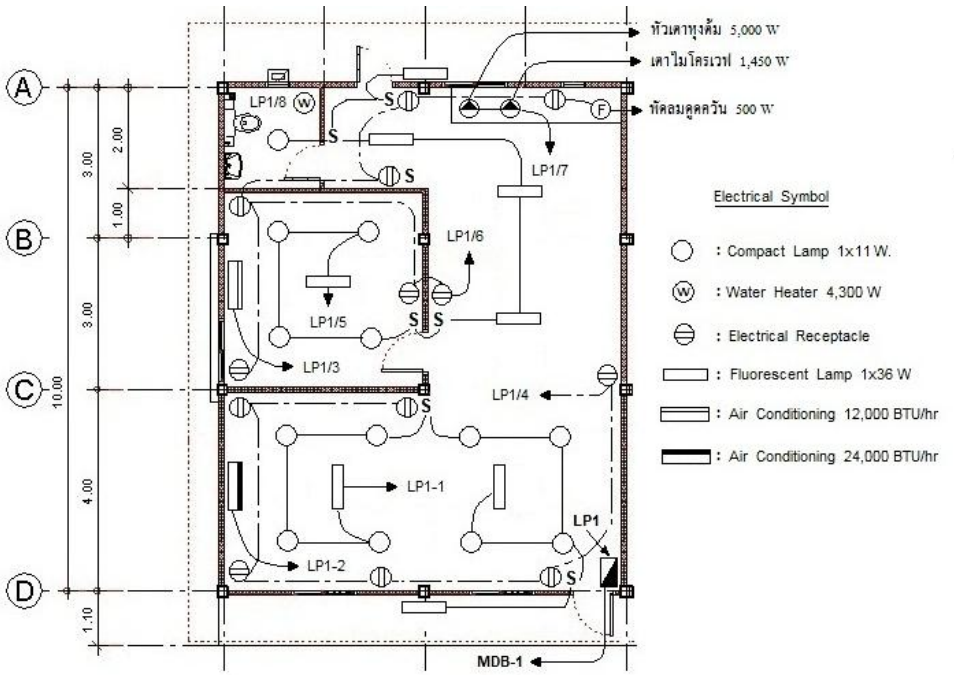
2.6 จงหาขนาดวงจรย่อย โดยใช้สาย 60227 IEC 01 เดินในท่อโลหะในอากาศ ขนาดปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ และขนาดของสายดิน เมื่อกำหนดให้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 22 kW 30 HP 380 V 3 ∅ 50 Hz

2.7 ห้องพักอาศัยมีโหลดไฟฟ้าดังนี้ โคมฟลูออเรสเซนต์ 1 x 36 วัตต์ 5 โคม โคม Down Light 11 วัตต์ 5 โคม เต้ารับใช้งานทั่วไป 8 จุด เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 4,500 วัตต์ 1 เครื่อง เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 BTU/H 1 เครื่อง จงคำนวณหาโหลดของห้องพัก ขนาดสายป้อน ท่อร้อยสาย และพิกัดอุปกรณ์ป้องกัน (Circuit Breaker)

2.8 จากรูปที่ 3.49 เป็นอาคารที่พักอาศัยจำนวน 8 ห้อง จงคำนวณหา โหลดสายป้อน และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินแต่ละห้องพักพร้อมจัดทำตารางโหลดแผงย่อย (LP) และคำนวณระบบประธานพร้อมจัดทำตารางตู้จ่ายไฟหลัก (MDB), Electrical Power Riser Diagram และ Electrical Single Line Diagram



รูปที่ 3.49 แบบแปลนระบบไฟฟ้าสำหรับแบบฝึกหัดข้อ 2.8



รูปที่ 3.50 แบบแปลนขยายสำหรับแบบฝึกหัดข้อ 2.8