โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556

A computer-aided design program for designing electric motors in accordance with Thailand's 2013 Standards for Electrical Installation

ไพศาล คงเรือง[1*] และ สมมารถ ขำเกลี้ยง[2]
[1*, 2] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
โทร 089-876-8957, E-mail: paisan_714@yahoo.com, khamkleang@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 เรียกว่า PDES-M รูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็ปในฟังก์ชั่นจียูไอ มีความสามารถดังนี้ 1) คำนวณพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า และกำหนดขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ที่มีเครื่องเดียวและวงจรมอเตอร์หลายเครื่อง 2) คำนวณขนาดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยที่มีมอเตอร์เครื่องเดียวและวงจรย่อยที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง 3) คำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน 4) คำนวณขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 5) กำหนดเครื่องควบคุมมอเตอร์ และ 6) กำหนดเครื่องปลดวงจร ซึ่งสามารถสั่งพิมพ์หรือจัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์เอ็กเซลได้การทดสอบโปรแกรมสามารถทำได้โดยนำผลการออกแบบจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี หลังจากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินคุณภาพการใช้งานผลการวิจัยพบว่า ผลการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามผลการคำนวณทางทฤษฎี มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 0.01 และผลการประเมินคุณภาพการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ : โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า

Abstract

The objective of this research was to design an electrical program for use in developing an electric motor to be designed in accordance with Thailand's 2013 Standards for Electrical Installation. The CAD program was developed using MATLAB GUIs. The programme is designed to be able to: 1) calculate the currents and size of the motor circuit cables for a single device and for multiple motor circuits; 2) calculate the current size for the short circuit protection with a single motor and with sub-circuits of multiple motors; 3) calculate the size of the short circuit protection for the main line; 4) calculate the size of the adjustment overload protection; 5) define a control motor and 6) define a means of disconnecting. All these can be printed or saved as an Excel file.

The program was tested by comparing its calculations with those of a theory-based calculation and assessed by five specialists. The results show that the program calculates as accurately as the theory-based calculation, with an error of less than 0.01%. The specialists’ assessment was at a 'high' level of satisfaction
Keywords : Electrical System Design Program, Electrical motor

1. บทนำ

การออกแบบระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการต่าง ๆ นั้น วิศวกรไฟฟ้าจะต้องออกแบบระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Electrical Distribution System) เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่บริภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างเพียงพอและเชื่อถือได้ ขนาดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นหาได้จากรายการโหลด (Load Schedule) รายการสายป้อน (Feeder Schedule) และรายการวัสดุ อุปกรณ์ในการติดตั้ง สำหรับงานออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นงานที่วิศวกรไฟฟ้าหรือผู้ออกแบบจะต้องศึกษาและร่วมกันกับบุคคลหลายกลุ่ม เช่น สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรระบบเครื่องกล วิศวกรระบบสุขาภิบาล และ เจ้าของอาคาร นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงรายละเอียดของมาตรฐานต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าประกอบด้วยวงจรย่อย สายป้อน เมนสวิตช์ และสายเมน การออกแบบระบบไฟฟ้าคือ การคำนวณโหลดเพื่อกำหนดขนาดของวงจรไฟฟ้า เครื่องป้องกันกระแสเกิน และสายไฟฟ้ารวมทั้งข้อกำหนดการติดตั้งที่เกี่ยวข้อง (ลือชัย ทองนิล, 2556 และ Theodore R. Bosela, 2003) โหลดที่สำคัญที่ใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการต่าง ๆ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งโหลดที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินมีข้อแตกต่างไปจากโหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เนื่องจากในวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าปกติจะมีเครื่องป้องกันโหลดเกิน (Over Load Protection) ติดตั้งอยู่ในวงจรมอเตอร์แต่ละตัวแล้วการออกแบบวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องรู้ชนิดของมอเตอร์ ชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าของมอเตอร์ ซึ่งอาจจะมีมอเตอร์เครื่องเดียว หรือหลายเครื่อง ขนาดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน เครื่องควบคุมมอเตอร์ และเครื่องปลดวงจร (ศุลี บรรจงจิตร, 2556) การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยที่เปลี่ยนมาใช้เป็น พ.ศ. 2556 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556) และสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 (สถาพร รุ่งรัตนาอุบล, 2557) ทำให้ผู้ออกแบบต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาและออกแบบเป็นอย่างมากส่งผลให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น การแก้ปัญหาวิธีการหนึ่งในปัจจุบันคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ เช่น ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) แมทแล็ป (Matlab), Visual C# หรือโปรแกรมที่ออกแบบมาเฉพาะทาง โดยที่โปรแกรมเหล่านี้ผู้ใช้งานจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับซื้อลิขสิทธ์

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอโปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 และสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ โดยใช้โปรแกรมแมทแล็ปในฟังก์ชั่น

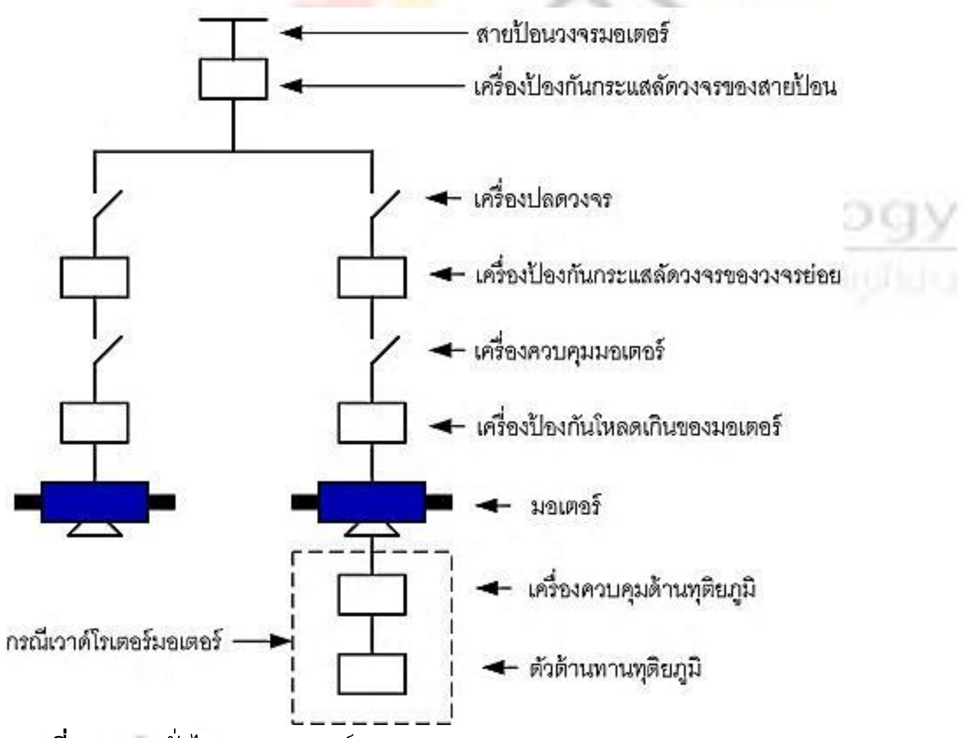
จียูไอในการพัฒนา ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบให้กับผู้ใช้งาน (ศิริชัย วัฒนาโสภณ, 2557) อีกทั้งยังทำให้ใช้งานได้ง่ายเนื่องจากมีหน้าต่างแสดงช่องสำหรับกรอกข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบดังแสดงอยู่ในส่วนที่ 4 ของบทความเป็นส่วนที่แสดงโปรแกรมออกแบบที่ได้พัฒนาขึ้น และผลการทดสอบโปรแกรม สำหรับส่วนที่ 2 จะแสดงถึงทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ ส่วนที่ 3 จะแสดงผลการพัฒนาโปรแกรม และส่วนที่ 5 เป็นการสรุปบทความงานวิจัย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยในหัวข้อต่าง ๆ ในการออกแบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วงจรทั่วไปของมอเตอร์

การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ จะมีส่วนประกอบหลักแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย สายป้อนวงจรมอเตอร์ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน วงจรย่อยมอเตอร์ เครื่องปลดวงจร เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย เครื่องควบคุมมอเตอร์ เครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ ในกรณีเป็นเวาด์โรเตอร์มอเตอร์ จะมีเครื่องควบคุมด้านทุติยภูมิและตัวต้านทานทุติยภูมิ (ลือชัย ทองนิล, 2556)



ภาพที่ 1 วงจรทั่วไปของมอเตอร์

2.2 การคำนวณขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

วงจรมอเตอร์ประกอบด้วยวงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว หลายเครื่อง และวงจรที่มีมอเตอร์รวมอยู่กับโหลดอื่นที่ไม่ใช่มอเตอร์ การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556)

2.2.1 วงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว กรณีมอเตอร์ทั่วไป สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้า โดยที่ขนาดกระแสต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 125 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_C \geq 1.25 \times I_M \tag{1}$$

โดยที่ I_C คือขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ และ I_M คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เป็นแอมแปร์

ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดเวาด์โรเตอร์ สามารถหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านปฐมภูมิได้จากสมการที่ (1) และ ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างตัวมอเตอร์ด้านทุติยภูมิกับเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_{C,SEC} \geq 1.25 \times I_{M,SEC} \tag{2}$$

ในกรณีที่มอเตอร์มีตัวต้านทานแยกออกต่างหากจากเครื่องควบคุม สามารถหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทานได้ดังนี้

$$I_{C,SEC} \geq K_1 \times I_{M,SEC} \tag{3}$$

โดยที่ $I_{C,SEC}$ คือขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของมอเตอร์เป็นแอมแปร์ K_1 คือค่าคงที่ของตัวต้านทานแต่ละประเภท และ $I_{M,SEC}$ คือพิกัดกระแสด้านทุติยภูมิของมอเตอร์เป็นแอมแปร์

2.2.2 วงจรที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_C \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + I_{M1...MN} \tag{4}$$

โดยที่ $I_{M,MAX}$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เครื่องใหญ่ที่สุดเป็นแอมแปร์ และ $I_{M1...MN}$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์อื่นที่เหลือทั้งหมดเป็นแอมแปร์

2.2.3 วงจรที่มีมอเตอร์รวมกับโหลดอื่น สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_C \geq I_{CM} + I_L \tag{5}$$

โดยที่ I_{CM} คือขนาดกระแสของสายสำหรับวงจรมอเตอร์เป็นแอมแปร์ และ I_L คือขนาดกระแสของสายของโหลดอื่นที่คำนวณได้เป็นแอมแปร์

2.3 การคำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

2.3.1 เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยที่มีมอเตอร์เครื่องเดียวสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$I_{CB} = \frac{K_2 \times I_M}{100} \tag{6}$$

โดยที่ I_{CB} คือพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์เป็นแอมแปร์ I_M คือพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ และ K_2 คือ พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์

2.3.2 เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I_{CB1} = I_{CB1,MAX} + I_{M1...MN} \tag{7}$$

โดยที่ $I_{CB1,MAX}$ คือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรตัวใหญ่ที่สุด เป็นแอมแปร์ และ $I_{M1...MN}$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือทั้งหมดในวงจร เป็นแอมแปร์

กรณีที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย สามารถคำนวณขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อนได้ดังนี้

$$I_{CB2} = I_{CB2,M} + I_{CB,L} \tag{8}$$

โดยที่ $I_{CB2,M}$ คือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรตัวใหญ่ที่สุด เป็นแอมแปร์ และ $I_{CB,L}$ คือขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินของโหลดอื่น เป็นแอมแปร์

2.4 พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ระบบแรงต่ำ ต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่าร้อยละ 115 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

$$I_{DS} \geq 1.15 \times I_M \tag{9}$$

โดยที่ I_{DS} คือพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรเป็นแอมแปร์ และ I_M คือพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์

2.5 การกำหนดขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

2.5.1 มอเตอร์ประเภทใช้งานต่อเนื่อง

- เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดติดตั้งแยกต่างหากจากตัวมอเตอร์และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์ การปรับตั้งกำหนดค่าเป็นร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ดังนี้

มอเตอร์ที่ระบุเซอร์วิสแฟกเตอร์ (Service Factor) ไม่น้อยกว่า 1.15 ร้อยละ 125 (140)

มอเตอร์ที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ร้อยละ 125 (140)

มอเตอร์อื่น ๆ ร้อยละ 115 (130)

- เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดเครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน ซึ่งจะติดตั้งที่ตัวมอเตอร์ การปรับตั้งเป็นดังนี้

มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ไม่เกิน 9 แอมแปร์ ร้อยละ 170

มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ระหว่าง 9.1 ถึง 20 แอมแปร์ ร้อยละ 156

มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่เกิน 20 แอมแปร์ ร้อยละ 140

2.5.1 มอเตอร์ประเภทใช้งานในวงจรย่อยทั่วไป

มอเตอร์ที่ต่อใช้งานในวงจรย่อยใช้งานทั่วไป ขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องป้องกันโหลดเกินประจำแต่ละตัว แต่ถ้ามีขนาดเกิน 1 แรงม้า จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

3. การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ฟังก์ชั่นจียูไอของแมทแล็ป

วงจรการพัฒนาโปรแกรมประกอบด้วย 7 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ศิวดล นวลนภดล และ สมมารถ ขำเกลี้ยง, 2557)

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปแก้ปัญหาความยุ่งยากในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า พ.ศ.2556 และสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 โดยที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกจำลอง โดยการป้อนอินพุตจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์เป็นตัวเลข และใช้การเลือกข้อความผ่านเข้าไปประมวลผลตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละวงจร ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลข

3.2 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมจะใช้ผังงานอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มต้นการทำงานด้วยการเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลัก กำหนดชนิดของมอเตอร์ กำหนดวงจรมอเตอร์ กำหนดคุณสมบัติของมอเตอร์ กำหนดรหัสของสายไฟฟ้า และวิธีการเดินสาย

3.3 การเขียนโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้เป็นการเขียนโปรแกรมโดยทำการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) หรือ GUI ในส่วนของการรับค่าทางอินพุตและการแสดงผลทางเอาต์พุต ในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึมโดยใช้เอ็มไฟล์ (M-Scrip) ของโปรแกรม MATLAB® 2012a จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 1 ของบทความ และเงื่อนไขต่าง ๆ ของมอเตอร์ เช่นประเภทการ

ใช้งาน ชนิดของมอเตอร์ หรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันจะยึดตามตารางมาตรฐานที่ 6 ของคู่มือ EIT Standard 2001-56 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556)

3.4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

การทดสอบและแก้ไขโปรแกรมจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเปรียบเทียบกับทฤษฎี แล้วตรวจสอบดูผลลัพธ์หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม

3.5 การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน

การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ คู่มือสำหรับผู้ใช้โปรแกรม (User's Manual) และคู่มือสำหรับผู้เขียนโปรแกรม (Programmer's Manual) จัดทำไฟล์เป็นนามสกุล .pdf และทำการเชื่อมต่อไว้ที่ปุ่ม การใช้งาน ของโปรแกรม

3.6 การใช้งานจริง

นำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ตามสภาพแวดล้อมจริงกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน โดยผู้วิจัยทำการแนะนำการใช้และให้ผู้เชี่ยวชาญใช้โปรแกรม พร้อมทั้งประเมินผลการใช้งานโดยใช้แบบสอบถาม

3.7 การปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญที่ใช้งานจริง โดยการเพิ่มรายละเอียดของตัวแปรและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณไว้ในตัวโปรแกรมของแต่ละวงจร

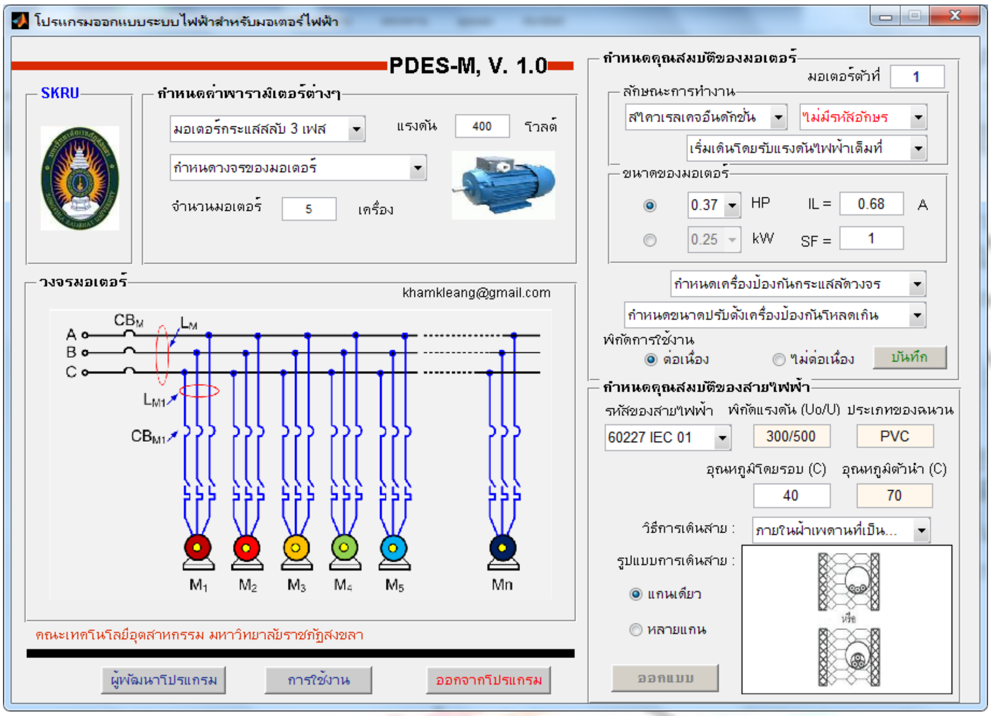
4. ผลการวิจัย

4.1 โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

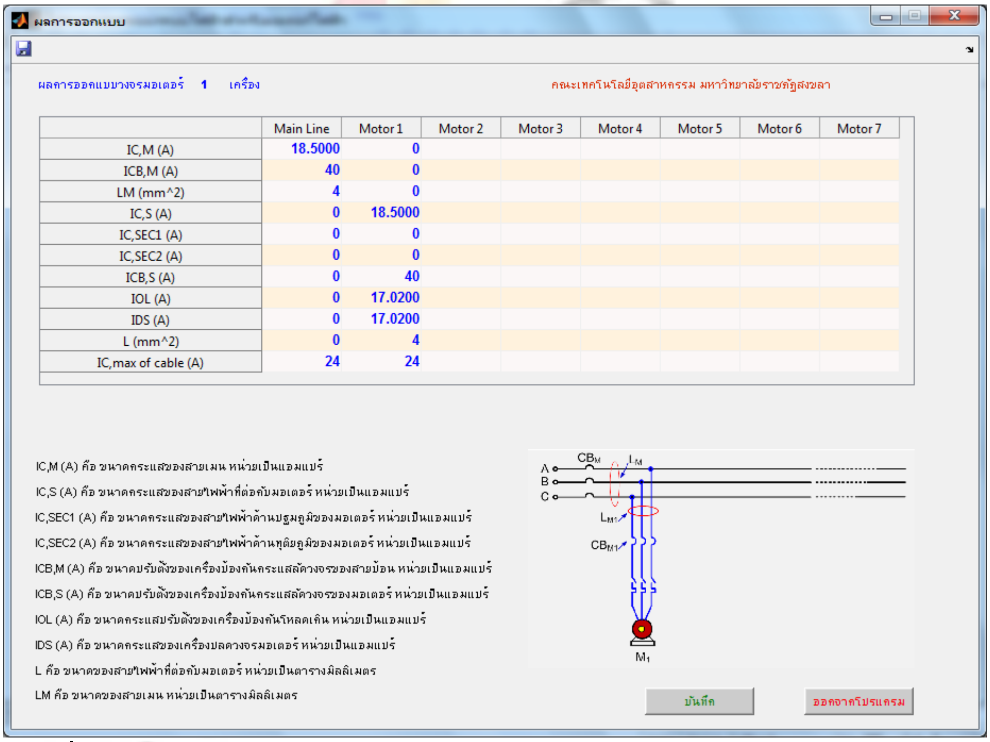
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า PDES-M เวอร์ชั่นที่ 1 มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1) เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 2 ซึ่งในหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าต่างหลักในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรมอเตอร์ ประกอบด้วย ชนิดและแรงดันของมอเตอร์ วงจรมอเตอร์ ลักษณะการทำงานของมอเตอร์ ขนาดของมอเตอร์ พิกัดการใช้งาน เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์แต่ละตัวจะเป็นอิสระต่อกัน หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถกำหนดรหัสของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

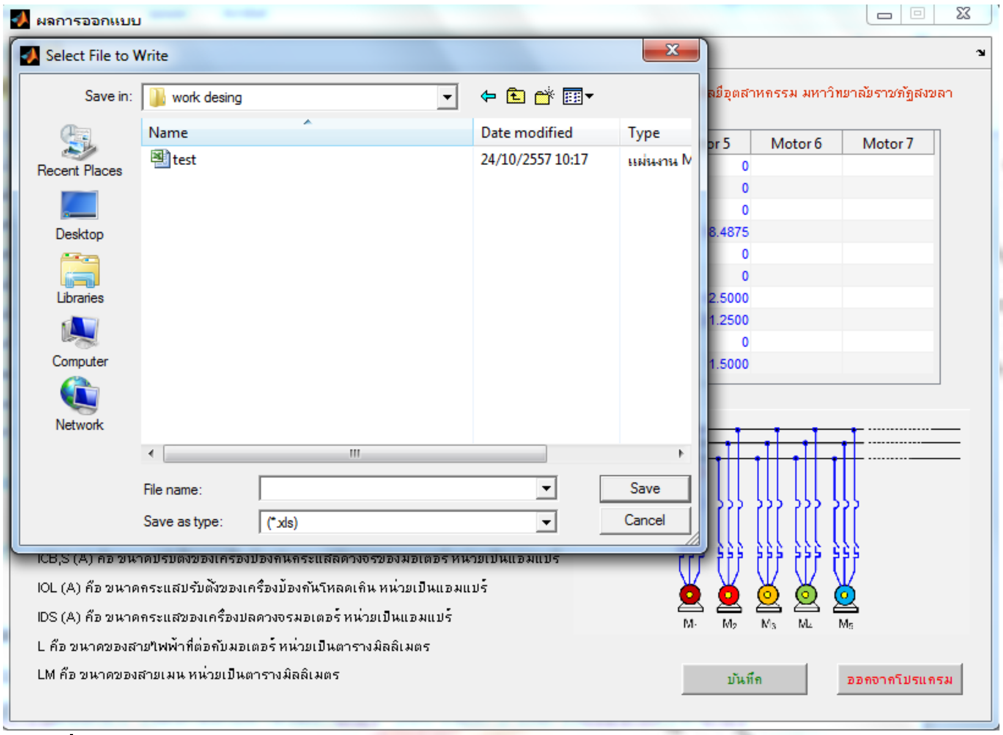
2) เมื่อกดปุ่มออกแบบ โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า และขนาดของสายไฟฟ้า คำนวณขนาดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร คำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน คำนวณขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน กำหนดเครื่องควบคุมมอเตอร์ และกำหนดเครื่องปลดวงจร ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างแสดงผลการออกแบบดังภาพที่ 3 ซึ่งสามารถสั่งพิมพ์หรือจัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์เอ็กเซล แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 2 โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า (PDES-M Version 1.0)



ภาพที่ 3 หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4 หน้าต่างแสดงผลการจัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์เอ็กเซล

4.2 ผลการทดสอบโปรแกรม PDES-M Version 1.0

ทดสอบโปรแกรมออกแบบวงจรเปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยมีมอเตอร์จำนวน 3 เครื่อง มอเตอร์ทั้งหมดเป็นสไคว์เรลเคจอินดักชั่นมอเตอร์ มีเซอร์วิสแฟคเตอร์ (SF) เท่ากับ 1.2 เริ่มเดินโดยผ่านรีแอกเตอร์ 380 โวลต์ 3 เฟส ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน มีเครื่องป้องกันกระแสโหลดเกินแยกจากมอเตอร์ ใช้สาย NYY พิกัดแรงดัน 450/750 ฉนวนเป็น PVC เดินในท่อฝังดิน มีอุณหภูมิโดยรอบ 40 องศาเซลเซียส และมีรายละเอียดอื่น ๆ ดังนี้

- มอเตอร์ตัวที่ 1 มีขนาด 10 แรงม้า กระแส 17 แอมแปร์ รหัสอักษร B
- มอเตอร์ตัวที่ 2 มีขนาด 50 แรงม้า กระแส 79 แอมแปร์ รหัสอักษร A
- มอเตอร์ตัวที่ 3 มีขนาด 40 แรงม้า กระแส 63 แอมแปร์ รหัสอักษร A

โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (ศิริชัย วัฒนาโสภณ, 2557) จะถูกคำนวณจากสมการดังนี้

$$error(\%) = \frac{\left| value_{theory} - value_{PDES-M} \right|}{value_{theory}} \times 100 \qquad (10)$$

4.2.1 ผลการออกแบบหาค่าขนาดกระแสและขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว และค่าขนาดกระแสและขนาดของสายป้อน เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ในการคำนวณหาค่าขนาดกระแสและขนาดของสายไฟฟ้าของวงจรย่อยและสายป้อน

	PDES-M (A)	Theory (A)	Error (%)	Cable size (mm^2) PDES-M	Cable size (mm^2) Theory	Error (%)
$I_{C,M1}$	18.4875	18.49	0.0135	1.5	1.5	0
$I_{C,M2}$	85.9125	85.91	0.0029	25	25	0
$I_{C,M3}$	68.5125	68.51	0.0036	16	16	0
$I_{C,main}$	155.5125	155.51	0.0016	70	70	0

จากตารางที่ 1 พบว่าผลการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ในการคำนวณหาค่าขนาดกระแสและขนาดของสายไฟฟ้าของวงจรย่อยและสายป้อนมีค่าสอดคล้องกัน โดยที่ค่าขนาดของกระแสของสายไฟฟ้าที่มอเตอร์ตัวที่ 1 ($I_{C,M1}$) มีผลการคำนวณผิดพลาดมากที่สุดคือร้อยละ 0.0135 แต่ขนาดของสายไฟฟ้าที่นำมาใช้งานมีขนาดตรงกัน

4.2.2 ผลการออกแบบคำนวณหาค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยและสายป้อน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีในการคำนวณหาค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสของวงจรย่อย

	PDES-M (A) Calculation	PDES-M (A) Usability	Theory (A) Calculation	Theory (A) Usability
$I_{CB,M1}$	34	40	34	40
$I_{CB,M2}$	118.5	125	118.5	125
$I_{CB,M3}$	94.5	100	94.5	100
$I_{CB,main}$	198.5	200	198.5	200

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการคำนวณค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย ($I_{CB,M1}, I_{CB,M2}, I_{CB,M3}$) และค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน ($I_{CB,main}$) ของโปรแกรม PDES-M Version 1.0 มีค่าตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี และตัวโปรแกรมสามารถระบุค่าที่ใช้งานจริงให้กับผู้ใช้งานได้พิจารณาอีกด้วย

4.2.3 ผลการคำนวณหาค่าขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน และค่าพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร โดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาค่าขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกินและค่าพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัว

	PDES-M (A)	Theory (A)
$I_{OL,M1}$	21.25	21.25
$I_{OL,M2}$	98.75	98.75
$I_{OL,M3}$	78.75	78.75
$I_{DS,M1}$	19.55	19.55
$I_{DS,M2}$	90.85	90.85
$I_{DS,M3}$	72.45	72.45

จากตารางที่ 3 พบว่าผลการคำนวณหาค่าขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์แต่ละตัวโดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 มีค่าตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณหาค่าขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์แต่ละตัวโดยใช้โปรแกรม PDES-M Version 1.0 มีค่าตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีเช่นเดียวกัน

4.3 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ

การทดสอบการใช้งานของโปรแกรม PDES-M Version 1.0 จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินโปรแกรม PDES-M Version 1.0 จากผู้เชี่ยวชาญ

ด้านที่	ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1.	ด้านโครงสร้าง	4.48	0.54	มาก
2.	ด้านการใช้งาน	4.56	0.53	มากที่สุด
3.	ด้านผลการคำนวณ	4.56	0.53	มากที่สุด
เฉลี่ยรวมทุกด้าน		4.53		มากที่สุด

ผลการประเมินพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นดังนี้ 1) ด้านโครงสร้างมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.48 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 2) ด้านการใช้งานมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.56 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 และ 3) ด้านการเรียนการสอนมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 4.53 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 โปรแกรม PDES-M Version 1.0 ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ฟังก์ชั่นจียูไอของแมทแล็ปสามารถออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ได้ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี มีค่าความคลาดเคลื่อน

ไม่เกินร้อยละ 0.05 เพราะการพัฒนาโปรแกรมดังกล่าวมีขั้นตอนการพัฒนาอย่างเป็นระบบตามหลักการออกแบบและพัฒนาของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.2 ผลการประเมินการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน พบว่าโปรแกรม PDES-M Version 1.0 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

สรุปได้ว่าการออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์โดยใช้จียูไอของแมทแล็ปเป็นฐานในการพัฒนาทั้งในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface : GUI) และในส่วนของไฟล์ที่ใช้ในการประมวลผล สามารถ

นำไปช่วยในการออกแบบได้ถูกต้อง และยังช่วยลดเวลาและความซับซ้อนในขั้นตอนการออกแบบ เพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน และลดค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธ์ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสอนวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า เรื่องการออกแบบวงจรมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี และในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดอื่นๆที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมให้หลากหลาย รวมถึงโปรแกรมสำหรับออกแบบระบบ สายส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (HVDC Transmission System) เพราะระบบดังกล่าวสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการส่งพลังงานไฟฟ้าและการเชื่อมต่อ โดยเฉพาะใช้ส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเข้าโครงข่ายต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้โครงข่ายไฟฟ้า ที่มีประสิทธิภาพ มีความมั่นคง มีเสถียรภาพ และเป็นระบบพลังงานที่ยั่งยืนต่อไป (บุญชัด เนติศักดิ์, 2554)

6. เอกสารอ้างอิง

บุญชัด เนติศักดิ์. (2555). เทคโนโลยีการส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อระบบพลังงานที่ยั่งยืน.**วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ตุลาคม 2554 – มีนาคม 2555**,หน้า 78-91.

ลือชัย ทองนิล. (2556). **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า.** ปรับปรุงครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2556). **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (EIT Standard 2001-56)**. สำนักพิมพ์: โกลบอล กราฟฟิค จำกัด, กรุงเทพฯ.

ศุลี บรรจงจิตร. (2556). **หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า.** สำนักพิมพ์: ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

ศิวดล นวลนภดล และสมมารถ ขำเกลี้ยง. (2557). “การวิเคราะห์และออกแบบวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์โดยใช้จียูไอของแมทแลปสำหรับการเรียนการสอนวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์”. **การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557**, หน้า 144-149.

ศิริชัย วัฒนาโสภณ. (2557). โปรแกรมออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2557**, หน้า 36-47.

สถาพร รุ่งรัตนาอุบล. (2557). มาตรฐานสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ไม่เกิน 450/750 โวลต์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 11-2553. Thailand Industrial Standards Institute (TISI), **เอกสารประกอบการฝึกอบรม,** 8 มีนาคม 2557.

Theodore R. Bosela. (2003). **Electrical Systems Design.** Prentice Hall.

I-TECH JOURNAL LPRU
Industrial Technology