# การออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 โดยใช้จียูไอของแมทแลป

# Design of Electrical System on Motor Load for Thai Electrical Code 2013 by using MATLAB GUIs

*สมมารถ ขำเกลี้ยง และ ไพศาล คงเรือง*

*โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*
*มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000*
*khamkleang@gmail.com, paisan-714@yahoo.com*

## บทคัดย่อ

*การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 เรียกว่า PDES-M รูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานด้วยโปรแกรมแมทแลปในฟังก์ชั่นจียูไอ (GUI) โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถ 1) คำนวณพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ที่มีเครื่องเดียว วงจรมอเตอร์หลายเครื่อง วงจรมอเตอร์รวมกับโหลดอื่น วงจรมอเตอร์ที่มีค่าคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย 2) คำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว วงจรย่อยที่มีมอเตอร์หลายเครื่องหรือมีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย 3) คำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน 4) คำนวณขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 5) กำหนดเครื่องควบคุมมอเตอร์ และ 6) กำหนดเครื่องปลดวงจร ผลการวิจัยพบว่า ผลการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามผลการคำนวณทางทฤษฎี และผลการประเมินของผู้ใช้งานจำนวน 13 คน มีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก*

**คำสำคัญ:** ระบบไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า จียูไอ แมทแลป

## Abstract

*This objective of this research was to development of program aide design of electrical system (PDES-M) on motor load for Thai Electrical Code 2013 by using MATLAB GUIs. The developed program can ;1) calculate the current size of the motor circuit cables with a single device, multiple motor circuits with other loads, motor circuit with the capacitor connected to it, 2) calculate the size of a small short circuit protection with a single motor, sub-circuits with multiple motors or other loads included, 3) calculate the size of the input string short circuit protection, 4) calculate the size adjustment over load protection 5) define a control motor and 6) define a disconnecting means. The research found that the results of the calculations are accurate according to the results of theoretical calculations. The evaluation of the use of 13 is appropriate at a high level.*

**Keyword**: Electrical system, Electric motor, GUI, MATLAB

## 1. บทนำ

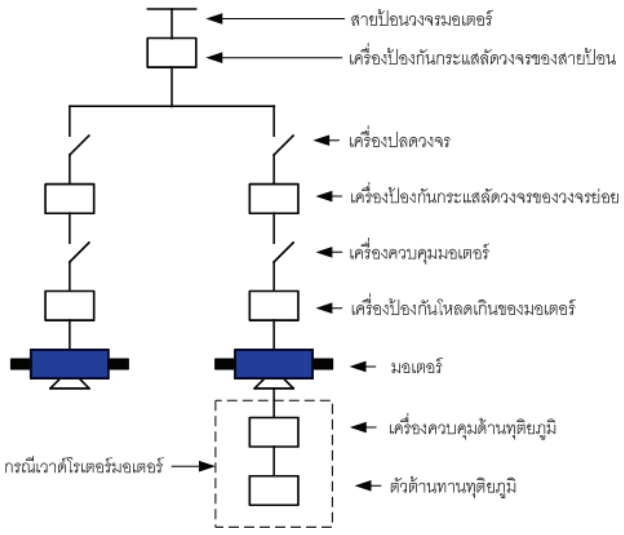
การออกแบบระบบไฟฟ้า [1] ของสถานประกอบการต่างๆ นั้นวิศวกรไฟฟ้าจะต้องออกแบบระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Electrical Distribution System) เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่บริภัณฑ์ต่างๆ อย่างเพียงพอและเชื่อถือได้ ขนาดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นหาได้จากรายการโหลด (Load Schedule) รายการสายป้อน (Feeder Schedule) และรายการวัสดุ อุปกรณ์ในการติดตั้ง สำหรับงานออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นงานที่วิศวกรไฟฟ้าหรือผู้ออกแบบจะต้องศึกษาและร่วมกันกับบุคคลหลายกลุ่ม เช่น สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรระบบเครื่องกล วิศวกรระบบสุขาภิบาลและ เจ้าของอาคาร นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงรายละเอียดของมาตรฐานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าประกอบด้วยวงจรย่อย สายป้อน เมนสวิตช์ และสายเมน การออกแบบระบบไฟฟ้าคือ การคำนวณโหลดเพื่อกำหนดขนาดของวงจรไฟฟ้า เครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้ารวมทั้งข้อกำหนดการติดตั้งที่เกี่ยวข้อง โหลดที่สำคัญที่ใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการต่างๆได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งโหลดที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า [2] การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินมีข้อแตกต่างไปจากโหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เนื่องจากในวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าปกติจะมีเครื่องป้องกันโหลดเกิน (Over Load Protection) ติดตั้งอยู่ในวงจรมอเตอร์แต่ละตัวแล้ว การออกแบบวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องรู้ชนิดของมอเตอร์ ชนิดของสายไฟฟ้า และชนิดของท่อ หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าของมอเตอร์ในวงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว หลายเครื่อง และมีการต่อกับโหลดอื่นๆ ขนาดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน เครื่องควบคุมมอเตอร์ และเครื่องปลดวงจร การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเป็นอย่างมาก การแก้ปัญหาวิธีการหนึ่งในปัจจุบันคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ [3-5] โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เช่น ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) แมทแลป (Matlab), Visual C# หรือโปรแกรมที่ออกแบบมาเฉพาะทาง โดยที่โปรแกรมเหล่านี้ผู้ออกแบบต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับซื้อลิขสิทธิ์

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 โดยใช้ Matlab GUI ในการพัฒนา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วงจรทั่วไปของมอเตอร์




**ภาพที่ 1** : วงจรทั่วไปของมอเตอร์

การออกแบบวงจรมอเตอร์ [1] จะมีส่วนประกอบหลักแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย สายป้อนวงจรมอเตอร์ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน วงจรย่อยมอเตอร์ เครื่องปลดวงจร เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย เครื่องควบคุมมอเตอร์ เครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ มอเตอร์ ในกรณีเป็นเวาด์โรเตอร์มอเตอร์ จะมีเครื่องควบคุมด้านทุติยภูมิ และตัวต้านทานทุติยภูมิ

### 2.2 การคำนวณขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

วงจรมอเตอร์อาจประกอบด้วยวงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียวหลายเครื่อง และวงจรที่มีมอเตอร์รวมอยู่กับโหลดอื่นที่ไม่ใช่มอเตอร์ การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถคำนวณได้ดังนี้ [6]

2.2.1 วงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว กรณีมอเตอร์ทั่วไป สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_C \geq 1.25 \times I_M \quad (1)$$

โดยที่ $I_C$ คือขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เป็นแอมแปร์ และ $I_M$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์

ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดเวาด์โรเตอร์ สามารถหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านปฐมภูมิได้จากสมการที่ (1) และขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างตัวมอเตอร์ด้านทุติยภูมิกับเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_{C,SEC} \geq 1.25 \times I_{M,SEM} \quad (2)$$

ในกรณีที่มอเตอร์มีตัวต้านทานแยกออกต่างหากจากเครื่องควบคุม สามารถหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทานได้ดังนี้

$$I_{C,SEC} \geq K_1 \times I_{M,SEM} \quad (3)$$

โดยที่ $I_{C,SEC}$ คือขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ $K_1$ คือค่าคงที่ของตัวต้านทานแต่ละประเภท และ $I_{M,SEC}$ คือพิกัดกระแสด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์

2.2.2 วงจรที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

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

โดยที่ $I_{M,MAX}$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เครื่องใหญ่ที่สุด เป็นแอมแปร์ และ $I_{M1...MN}$ คือกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์อื่นที่เหลือทั้งหมด เป็นแอมแปร์

2.2.3 วงจรที่มีมอเตอร์รวมกับโหลดอื่น สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_C \geq I_{CM} + I_L \quad (5)$$

โดยที่ $I_{CM}$ คือขนาดกระแสของสายสำหรับวงจรมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ และ $I_L$ คือขนาดกระแสของสายของโหลดอื่นที่คำนวณได้ เป็นแอมแปร์

### 2.3 การคำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

2.3.1 เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว [6] สามารถคำนวณดังจาก

$$I_{CB} = \frac{K_2 \times I_M}{100} \quad (6)$$

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

2.3.2 เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน สามารถคำนวณดังจาก

$$I_{CB1} = I_{CB1,MAX} + I_{M1...MN} \quad (7)$$

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

กรณีที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย สามารถคำนวณขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อนได้ดังนี้

$$I_{CB2} = I_{CB2,M} + I_{CB,L} \quad (8)$$

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

### 2.4 พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ระบบแรงต่ำ ต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 115 % ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ [6] เป็นดังนี้

$$I_{DS} \geq 1.15 \times I_M \quad (9)$$

โดยที่ $I_{DS}$ คือพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร เป็นแอมแปร์ และ $I_M$ คือพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์

## 3. การพัฒนาฟังก์ชั่นจียูไอ (GUI)

วงจรการพัฒนาฟังก์ชั่นจียูไอ (GUI) ของแมทแลป (MATLAB) ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนคือ

### 3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปแก้ปัญหาความยุ่งยากในการออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลด

เป็นมอเตอร์ โดยที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกจำลอง โดยที่การป้อนอินพุตจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์เป็นตัวเลข ผ่านเข้าไปประมวลผลตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละวงจร ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลข

### 3.2 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมจะใช้ผังงานอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มต้นการทำงานด้วยการเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลัก (Main menu) หลักจากนั้นทำการกำหนดชนิดของมอเตอร์ กำหนดวงจรมอเตอร์ กำหนดคุณสมบัติของมอเตอร์ เลือกชนิดของสายไฟฟ้า และวิธีการเดินสาย

### 3.3 เขียนโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้ เป็นการเขียนโปรแกรม โดยทำการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) หรือ GUI ในส่วนของการรับค่าทางอินพุตและการแสดงผลทางเอาต์พุต ในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึมโดยใช้เอ็มไฟล์ (M-Scrip) ของโปรแกรม MATLAB® 2012a จากสมการทางคณิตศาสตร์

### 3.4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

การทดสอบและแก้ไขโปรแกรมจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเปรียบเทียบกับทฤษฎี แล้วตรวจสอบดูผลลัพธ์ ทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม

### 3.5 การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน

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

### 3.6 การใช้งานจริง

นำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ตามสภาพแวดล้อมจริงกับนักศึกษาจำนวน 3 คน โดยผู้วิจัยทำการแนะนำการใช้และให้นักศึกษาใช้โปรแกรมในการออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ พบว่า นักศึกษาทั้ง 3 คนสามารถใช้โปรแกรมได้เป็นอย่างดี

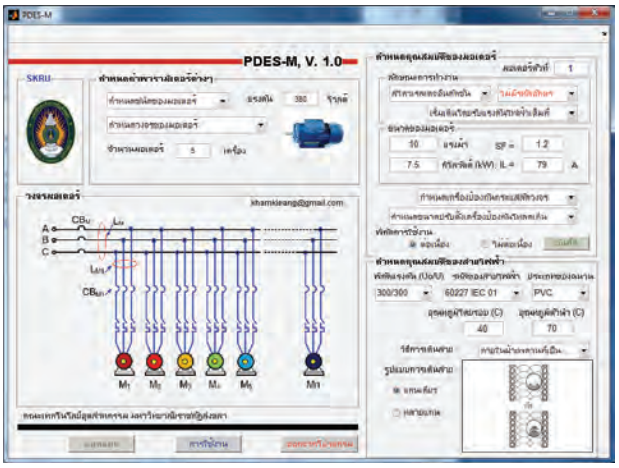
### 3.7 การปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม ตามคำแนะนำของนักศึกษาที่ใช้งานจริง โดยการเพิ่มรายละเอียดของตัวแปรและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณไว้ในตัวโปรแกรมของแต่ละวงจร

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม PDES-M Version 1.0

โปรแกรม PDES-M ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** โปรแกรม PDES-M Version 1.0 สำหรับออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์

### 4.2 ผลการคำนวณของโปรแกรม PDES-M Version 1.0

ในบทความวิจัยนี้จะยกตัวอย่างผลการออกแบบวงจรที่มีมอเตอร์จำนวน 3 เครื่อง โดยมอเตอร์ทั้งหมดเป็นสไคว์เรลเคจอินดักชั่นมอเตอร์ เริ่มเดินโดยผ่านรีแอกเตอร์ 380 โวลต์ 3 เฟส ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน มีรายละเอียดดังนี้

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

โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด [3] จะถูกคำนวณจากสมการดังนี้

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

4.2.1 การออกแบบคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว ( $I_{C,M1...M3}$ ) และขนาดกระแสของสายป้อน ( $I_C$ ) โดยใช้ โปรแกรม PDES-M เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ผลแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการออกแบบโดยใช้ โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีในการคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้า และขนาดกระแสของสายป้อน

| | PDES-M | Theory | Error (%) |
|---|---|---|---|
| $I_{C,M1}$ | 21.25 A | 21.25 A | 0 |
| $I_{C,M2}$ | 98.75 A | 98.75 A | 0 |
| $I_{C,M3}$ | 78.75 A | 78.75 A | 0 |
| $I_C$ | 178.75 A | 178.75 A | 0 |

จากตารางที่ 1 พบว่าผลการคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว ( $I_{C,M1...M3}$ ) และขนาดกระแสของสายป้อน ( $I_C$ ) โดยใช้ โปรแกรม PDES-M มีค่าตรงกับการคำนวณทางทฤษฎี

4.2.2 การออกแบบคำนวณหาค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย ( $I_{CB1,M1...M3}$ ) และขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน ( $I_{CB1}$ ) โดยใช้ โปรแกรม PDES-M เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 2 ผลการคำนวณพบว่าค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย ( $I_{CB1,M1...M3}$ ) และขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน ( $I_{CB1}$ ) มีค่าตรงกัน โดยที่มอเตอร์ตัวที่ 1 เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 แอมแปร์ มอเตอร์ตัวที่ 2 เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 125 แอมแปร์ และมอเตอร์ตัวที่ 3 เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 แอมแปร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนต้องเลือกขนาด 225 แอมแปร์ โดยขนาดกระแสของสายป้อนมีค่า 178.75 แอมแปร์

4.2.3 การออกแบบคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัว ( $I_{DS,M1...M3}$ ) โดยใช้ โปรแกรม PDES-M เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 2** ผลการออกแบบโดยใช้ โปรแกรม PDES-M Version 1.0 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีในการคำนวณหาค่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสของวงจรย่อย

| | PDES-M | Theory | Error (%) |
|---|---|---|---|
| $I_{CB1,M1}$ | 34 A | 34 A | 0 |
| $I_{CB1,M2}$ | 118.5 A | 118.5 A | 0 |
| $I_{CB1,M3}$ | 94.5 A | 94.5 A | 0 |
| $I_{CB1}$ | 205 A | 205 A | 0 |
| $I_C$ | 178.75 A | 178.75 A | 0 |

**ตารางที่ 3** การออกแบบคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัว ( $I_{DS,M1...M3}$ )

| | PDES-M | Theory | Error (%) |
|---|---|---|---|
| $I_{DS,M1}$ | 19.55 A | 19.55 A | 0 |
| $I_{DS,M2}$ | 90.85 A | 90.85 A | 0 |
| $I_{DS,M3}$ | 72.45 A | 72.45 A | 0 |

จากตารางที่ 3 พบว่าผลการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัว ( $I_{DS,M1...M3}$ ) โดยใช้ โปรแกรม PDES-M มีค่าตรงกับการคำนวณทางทฤษฎี

### 4.3 ผลการประเมินจากผู้ใช้งาน

การทดสอบการใช้งานของโปรแกรม PDES-M Version 1.0 จากผู้ใช้งานจริงจำนวน 13 ท่าน ประกอบด้วยอาจารย์ผู้สอนวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ท่าน นักศึกษาที่เรียนผ่านรายวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้าจำนวน 8 ท่าน และวิศวกรจำนวน 3 ท่าน ผลการประเมินจากแบบสอบถาม แสดงดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินโปรแกรม PDES-M Version 1.0 จากผู้ใช้งาน

| ด้านที่ | ความคิดเห็น | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับความเหมาะสม |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ด้านโครงสร้าง | 4.47 | 0.50 | มาก |
| 2. | ด้านการใช้งาน | 4.46 | 0.52 | มาก |
| 3. | ด้านผลการคำนวณ | 4.51 | 0.49 | มากที่สุด |
| เฉลี่ยรวมทุกด้าน | | 4.48 | | มาก |

ผลการประเมิน พบว่าผู้เชี่ยวชาญ มีความคิดเห็นดังนี้ 1) ด้านโครงสร้างมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.47 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.5 2) ด้านการใช้งานมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.46 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 และ 3) ด้านการเรียนการสอนมีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.49 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

## 5. สรุปผลการวิจัย

5.1 โปรแกรม PDES-M Version 1.0 ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ GUI ของ MATLAB 2012a สามารถออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ได้ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี เพราะการพัฒนาโปรแกรมดังกล่าวมีขั้นตอนการพัฒนาอย่างเป็นระบบตามหลักการออกแบบและพัฒนาของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.2 ผลการประเมินการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ 13 ท่าน พบว่าโปรแกรม PDES-M Version 1.0 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

สรุปได้ว่าการออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์โดยใช้ GUI MATLAB 2012a เป็นฐานในการพัฒนาทั้งในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface : GUI) และในส่วนของไฟล์ที่ใช้ในการประมวลผล สามารถนำไปช่วยในการออกแบบได้ถูกต้อง และยังช่วยลดเวลาในการออกแบบและลดค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธ์ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสอนวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า เรื่องการออกแบบวงจรมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] ลือชัย ทองนิล. การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., ปรับปรุงครั้งที่ 3, 2556.

[2] ศุลี บรรจงจิตร. หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า. สำนักพิมพ์:ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2556.

[3] ศิริชัย วัฒนาโสภณ. โปรแกรมออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2557, หน้า 36-47.

[4] Gary W. Chang, Sbou-Yung Chu, and Hung-Lu Wang., "Matlab-Based Graphical User Interface Development for Teaching Power System Harmonic Studies ," 2004 international Conference on Power System Technology - POWERCON 2004 Singapore, 21-24 November, pp. 1303 - 1308, 2004.

[5] Nourdine Aliane., A Matlab/Simulink-Based Interactive Module for Servo Systems Learning. IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 53, NO. 2, MAY 2010, pp.265-271, 2010.

[6] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. การออกแบบระบบไฟฟ้า. สำนักพิมพ์:ซีเอ็ดยูเคชั่น,กรุงเทพฯ, 2530.

## ประวัติผู้วิจัย

ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาไฟฟ้าศึกษา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2552 สนใจงานวิจัยทางด้านการวิเคราะห์วงจรคลื่นระนาบไมโครเวฟโดยใช้หลักการของคลื่น และการพัฒนา MATLAB GUI ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

อาจารย์ไพศาล คงเรือง จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สนใจงานวิจัยทางด้านการออกแบบระบบไฟฟ้า และการพัฒนาการเรียนการสอนทางด้านไฟฟ้า ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา