

Received: December 2, 2023; Revised: October 29, 2024; Accepted: November 12, 2024

การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย MATLAB App Designer Study of transformer performance with MATLAB App Designer

วิชชากร เฮงศรีธวัช¹ และรุจิพรรณ สัมปันนา^{2*}Vichakorn Hengsitawat¹ and Rujipan Sampanna^{2*}¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร¹Faculty of Engineering, Sripatum University, Bangkok²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี²Faculty of Engineering, Bangkok University, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : rujipan.s@bu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การออกแบบโปรแกรม MATLAB App Designer เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ตามขอบเขตการเรียนรู้ที่สำคัญของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ระดับปริญญาตรี เช่น การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว แบบจำลองทางไฟฟ้า การทดสอบหม้อแปลง คุณลักษณะการจ่ายโหลด ประสิทธิภาพการทำงาน การควบคุมแรงดัน หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส และกลุ่มเวกเตอร์ เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะมีลักษณะการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเชิงรูปภาพ ทำให้มีความสะดวกและง่ายสำหรับผู้เรียนใช้เป็นเครื่องมือ ช่วยในการเรียนรู้หลักการทำงานและการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าของการเรียนรายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้ โดยผู้เรียนสามารถเลือกหัวข้อที่สนใจศึกษา และป้อนข้อมูลจำเพาะตามคุณลักษณะการทำงานของหม้อแปลง โปรแกรมจะคำนวณผลตามขอบเขตที่ออกแบบไว้ และถูกแสดงทั้งแบบตัวเลขและแบบกราฟ ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือ โดยจะทำให้เกิดความเข้าใจหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนเชิงสถิติ พบว่า ส่วนใหญ่เห็นว่าการใช้โปรแกรม ทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจ (คะแนนเฉลี่ย 3.84) รวมถึงช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี (คะแนนเฉลี่ย 3.97) และทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น (คะแนนเฉลี่ย 3.97) จนสามารถใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ผล หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้

คำสำคัญ: MATLAB App Designer สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง การทดสอบหม้อแปลง

Abstract

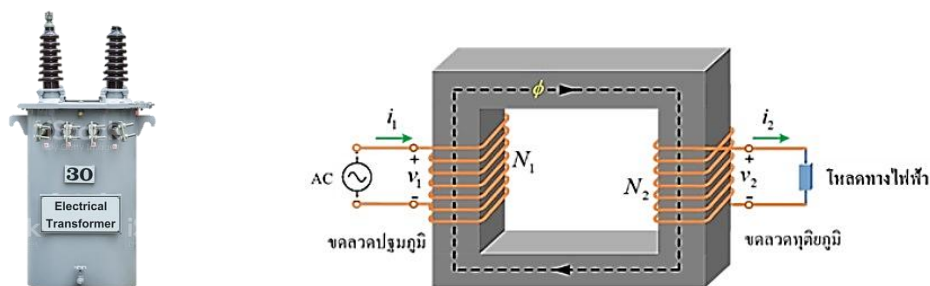
This article presents the design of a MATLAB App Designer program for studying the performance of electrical transformers. The program was designed to meet the important learning objectives of undergraduate electrical engineering students, such as the operation of single-phase transformers, electrical models, transformer testing, load characteristics, efficiency, voltage regulation, three-phase transformers and vector groups. The developed program featured a user-friendly graphical interface, making it easy for students to use as a tool to learn the principles of operation and analysis of transformers in the electrical machinery course. Students could select the topic they were interested in studying and entered the specifications according to the performance characteristics of the transformer. The program produced both

numerical and graphical outputs for the calculated results. These results could be used to compare with the results of manual calculations, leading to a better understanding of the principles of operation of electrical transformers. Statistical results of a student satisfaction survey showed that most students believed that the use of the program makes learning more interesting (average score 3.84), helps to check calculation results well (average score 3.97) and leads to a better understanding of the operation of transformers (average score 3.97). This can be used as a guideline for result analysis or applied to future work.

Keywords: MATLAB App Designer, Transformer performance, Transformer testing

บทนำ

วิชาทฤษฎีเครื่องจักรกลไฟฟ้า นับเป็นวิชาที่มีความสำคัญวิชาหนึ่งตามแผนการเรียนของหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ระดับปริญญาตรี เนื่องจากมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับหลักการทำงานและการวิเคราะห์เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่สำคัญทางภาคอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิ หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ประกอบกับการเรียนเชิงปฏิบัติที่มีเนื้อหาสอดคล้องกัน เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะ มีความรู้ความเข้าใจจนสามารถนำไปประกอบอาชีพทางด้านวิศวกรรมได้ ทั้งนี้เนื้อหาส่วนหนึ่งของการเรียน วิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้กล่าวถึงการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรกลที่มีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้า กำลัง ทำหน้าที่รับส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากวงจรด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งโดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ทำให้ สามารถปรับเปลี่ยนค่าระดับแรงดันไฟฟ้าตามความเหมาะสมของการใช้งานได้ โครงสร้างทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส แสดงตามรูปที่ 1 ภายในประกอบด้วยแกนเหล็กทรงสี่เหลี่ยม โดยมีขดลวดตัวนำพันร่วมกันบนแกนจำนวน 2 ชุด ขดลวดที่รับ พลังงานไฟฟ้ามีชื่อเรียกว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) ขดลวดที่ส่งพลังงานไฟฟ้าให้โหลดเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ทั้งนี้ ปริมาณการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะถูกกำหนดจากโหลด รวมถึงกำลังสูญเสียของหม้อแปลงซึ่ง ประกอบด้วย การสูญเสียในแกนและการสูญเสียในขดลวดตัวนำ โดยในสภาพการทำงานปกติการใช้กำลังงานของโหลดไม่ควร เกินค่าพิกัดของหม้อแปลง (Transformer rating) เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายของขดลวดจากกระแสสูงเกินได้



รูปที่ 1 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

ปัญหาสำคัญที่มักได้รับจากผู้เรียนบ่อยครั้ง คือ การทำความเข้าใจเนื้อหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากหลักการทำงานของ หม้อแปลงเกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในทางทฤษฎี การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง ค่าการ ทำงานต่าง ๆ จะถูกคำนวณผลจากแบบจำลองทางไฟฟ้า หรือวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ของหม้อแปลง ซึ่ง ประกอบด้วยค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของขดลวดทั้ง 2 ด้าน รวมถึงแกนเหล็ก อาศัยหลักการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าตามสภาวะเงื่อนไขของโหลด ทำให้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ในการทำงานได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วิธีการคำนวณดังกล่าวด้วยมือ อาจเกิดความไม่สะดวก ลำบาก และมีข้อผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากเป็นระบบการ แก่สมการของจำนวนเชิงซ้อนที่มีหลายขั้นตอน รวมถึงการคำนวณอาจพิจารณาจากวงจรสมมูลที่มีหลายแบบ ทั้งที่เป็นวงจร

การทำงานจริง และวงจรแบบประมาณที่มีการอ้างอิงกับด้านใดด้านหนึ่งของหม้อแปลงก็ได้ ทำให้ผู้เรียนอาจเกิดความสับสน คำนวณค่าการทำงานผิดพลาด ส่งผลให้การวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะการทำงานไม่ถูกต้อง

ดังนั้น ในมุมมองความช่วยเหลือด้านการเรียนรู้ผ่านเครื่องมือช่วยจำลองและคำนวณผลจึงมีประโยชน์มาก เช่น การใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นที่นิยมและยอมรับด้านความสามารถในการคำนวณทางวิศวกรรมมากขึ้น (Jose et al., 2017; Thomas et al., 2020; Ruslan et al., 2022; Ngo et al., 2023) บทความนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรม MATLAB App Designer เพื่อออกแบบใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ รวมถึงการศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง ในประเด็นที่สำคัญ โดยมีความครอบคลุมตามขอบเขตการศึกษาซึ่งต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา (วิชกร และคณะ, 2563; Suryasen et al., 2014; Nileema et al., 2015; Sunny et al., 2016; Praveen et al., 2019) ดังนี้

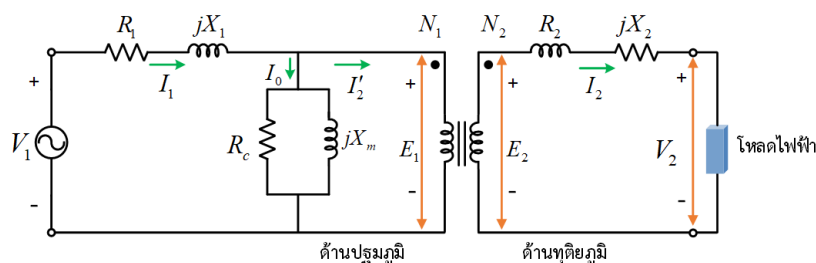
1. หม้อแปลงอุดมคติ (Ideal transformer)
2. แบบจำลองทางไฟฟ้าของหม้อแปลง (Transformer electrical model)
3. การทดสอบหม้อแปลง (Transformer testing)
4. คุณสมบัติการจ่ายโหลดของหม้อแปลง (Transformer loading characteristic)
5. ประสิทธิภาพตลอดวัน (All-day efficiency)
6. ขั้วสายของหม้อแปลง (Transformer polarity)
7. กลุ่มเวกเตอร์ (Vector groups)
8. หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (Three-phase transformer)

วัตถุประสงค์หลัก เพื่อให้นักศึกษาสามารถตรวจสอบหรือเปรียบเทียบผลการคำนวณ รวมถึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ได้ง่ายจากลักษณะของโปรแกรมที่มีการติดต่อกับผู้ใช้งานเชิงภาพ (Graphic user interface: GUI) โดยสามารถป้อนข้อมูลได้โดยสะดวก และมีการแสดงผลได้ทั้งแบบตัวเลขและกราฟ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจยิ่งขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. แบบจำลองทางไฟฟ้าของหม้อแปลง

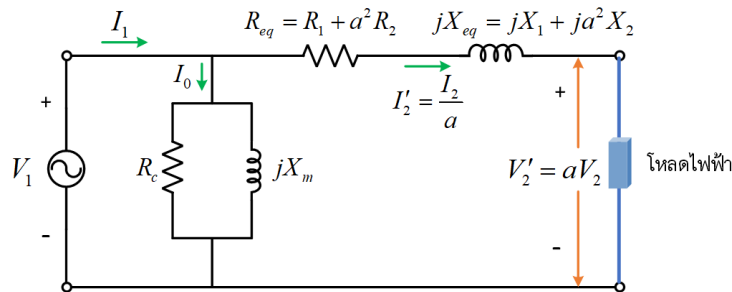
จากหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Stephen, 1976; Charles, 1991; Arthur et al., 1992; Peter, 1994) ตามโครงสร้างในรูปที่ 1 สามารถเขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าจริงของหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองด้าน รวมถึงแบบจำลองแกนหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ



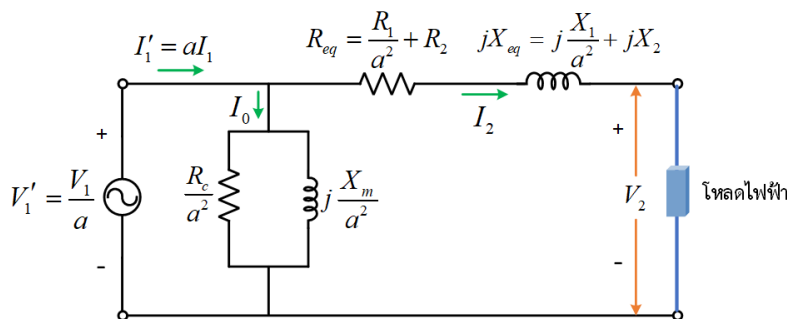
รูปที่ 2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าจริงต่อเฟสของหม้อแปลง

โดยที่	V_1, V_2	คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	E_1, E_2	คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	I_1, I_2	คือ กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	N_1, N_2	คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	R_1, jX_1	คือ ความต้านทานและรีแอคแตนซ์ของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	R_2, jX_2	คือ ความต้านทานและรีแอคแตนซ์ของขดลวดด้านทุติยภูมิ
	R_c, jX_m	คือ ความต้านทานและรีแอคแตนซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง

หน้าที่หลักของหม้อแปลง คือการรับส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ ซึ่งอาจมีระดับแรงดันที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าก็ได้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยหากแรงดันมีค่าสูงขึ้นจะเรียกว่า หม้อแปลงยกระดับแรงดัน แต่หากแรงดันมีค่าต่ำลงจะเรียกว่า หม้อแปลงลดระดับแรงดัน ซึ่งโดยทั่วไปการหาค่าสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง จะใช้วงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบประมาณที่มีการย้ายพารามิเตอร์ไปอ้างอิงอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของขดลวด ตามหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกพิจารณาจากการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบ (Turn ratio: a) สัมพันธ์กับค่าแรงดันและกระแสตามสมการที่ (1) ซึ่งผลคำนวณที่ได้จากวงจรสมมูลประมาณ จะมีความแตกต่างจากการใช้วงจรสมมูลจริงไม่มากนัก โดยการประมาณนี้จะย้ายแบบจำลองของแกนหม้อแปลงไปยังด้านหน้า ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดสามารถรวมกันได้ ดังแสดงวงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านปฐมภูมิ ในรูปที่ 3 และอ้างอิงด้านทุติยภูมิในรูปที่ 4



รูปที่ 3 วงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 4 วงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

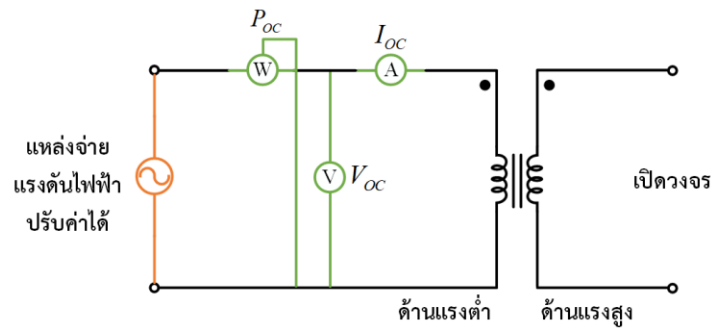
$$\text{Turn ratio: } a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

2. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการศึกษาคูณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของหม้อแปลง โดยทั่วไปจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การทดสอบแบบเปิดวงจร เพื่อหาค่ากำลังสูญเสียที่แกน (Core losses) หรือกำลังสูญเสียในขณะที่ยังไม่มีโหลด (No-load losses) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short-circuit test) เพื่อหาค่ากำลังสูญเสียในขดลวดทั้งหมดของหม้อแปลง (Copper losses) นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการทดสอบดังกล่าวมาใช้หาค่าอิมพีแดนซ์หรือค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันเป็นส่วนประกอบในวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลง

2.1 การทดสอบแบบเปิดวงจร (Open-circuit test)

การทดสอบแบบนี้ คือการให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในลักษณะที่ไม่มีโหลด โดยทั่วไปจะให้ขดลวดทางด้านแรงต่ำต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนขดลวดทางด้านแรงสูงให้เปิดวงจรไว้ โดยมีเครื่องวัดทางไฟฟ้าที่สำคัญต่ออยู่ด้วยประกอบด้วย วัดวัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร

จากรูปที่ 5 วิธีการทดสอบจะเริ่มจากการค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำให้ได้ตามค่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลง หลังจากนั้นบันทึกค่าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์ซึ่งจะหมายถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{OC}) ส่วนค่าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์จะหมายถึงแรงดันไฟฟ้าพิกัดด้านแรงต่ำ (V_{OC}) และค่าที่ได้จากแอมป์มิเตอร์ที่จะหมายถึงกระแสไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด (I_{OC}) ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบแบบเปิดวงจรทำให้สามารถคำนวณหาค่า R_C และ X_m ของแกนหม้อแปลงในวงจรสมมูลแบบประมาณได้ตามสมการที่ (2) ถึง (5)

$$|Y_C| = G_C - jB_m = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \quad (2)$$

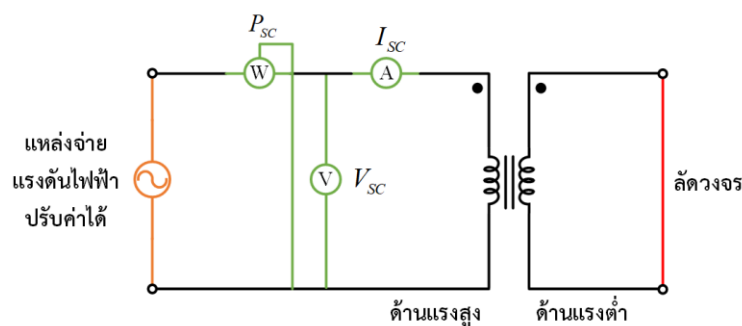
$$PF_{OC} = \cos \theta = \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}} \quad (3)$$

$$R_C = \frac{1}{G_C} = \frac{1}{|Y_C| \cos \theta} \quad (4)$$

$$X_m = \frac{1}{B_m} = \frac{1}{|Y_C| \sin \theta} \quad (5)$$

2.2 การทดสอบแบบลัดวงจร (Short-circuit test)

วิธีการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรคือ การให้ขดลวดทางด้านแรงสูงต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วปรับแรงดันให้ได้กระแสเท่ากับค่ากระแสพิกัดด้านแรงสูงของหม้อแปลง โดยขดลวดทางด้านแรงต่ำให้ลัดวงจรไว้ ซึ่งยังคงใช้เครื่องวัดทางไฟฟ้าเหมือนเดิมคือ วัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 6 ดังนั้นค่ากระแสที่ได้จากแอมป์มิเตอร์จะหมายถึงกระแสลัดวงจร (I_{SC}) ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงสูงนั่นเอง ส่วนค่าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดในขดลวดทั้งสองด้านของหม้อแปลง (P_{SC}) ส่วนค่าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์จะหมายถึงแรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจร (V_{SC})



รูปที่ 6 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

ในการทำนองเดียวกันจากข้อมูลการทดสอบแบบลัดวงจร สามารถคำนวณค่าอิมพีแดนซ์โดยรวมของหม้อแปลงแบบประมาณได้ตามสมการที่ (6) ถึง (8)

$$|Z_{eq}| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad (6)$$

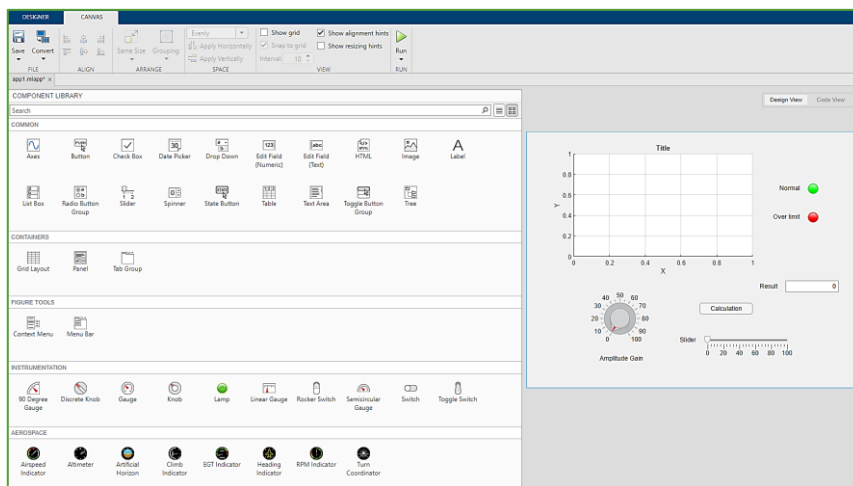
$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (7)$$

$$X_{eq} = \sqrt{|Z_{eq}|^2 - R_{eq}^2} \quad (8)$$

โดยที่ R_{eq}, X_{eq} คือ ความต้านทานและรีแอกแตนซ์รวมของขดลวดด้านแรงสูง
 Z_{eq} คือ อิมพีแดนซ์รวมของขดลวดด้านแรงสูง

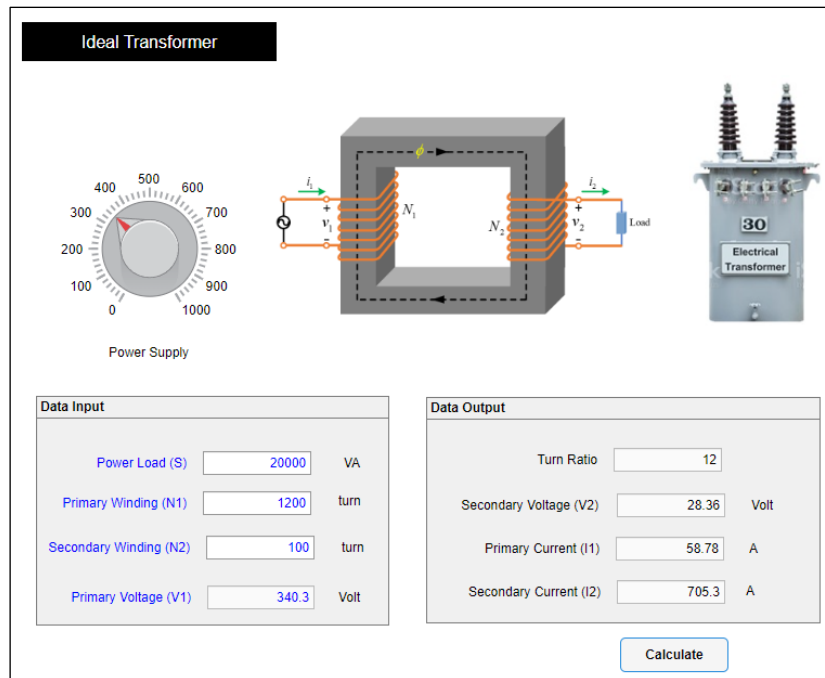
3. การออกแบบด้วยโปรแกรม MATLAB App Designer

การพัฒนาจากโปรแกรม MATLAB GUI เดิมมาเป็น App Designer ทำให้สามารถสร้างงานได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องเป็นนักพัฒนาซอฟต์แวร์มืออาชีพ ด้วยการลากวัตถุและวางส่วนประกอบภาพเพื่อจัดวางการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิกได้อย่างรวดเร็ว และด้วยฟังก์ชันการคำนวณที่มีประสิทธิภาพของ MATLAB ทำให้โปรแกรมที่สร้างด้วย App Designer นอกจากจะมีความสวยงามแล้ว ยังคงใช้ศักยภาพของฟังก์ชันเหล่านี้ในการช่วยคำนวณผลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงหน้าต่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีในโปรแกรม ตามรูปที่ 7



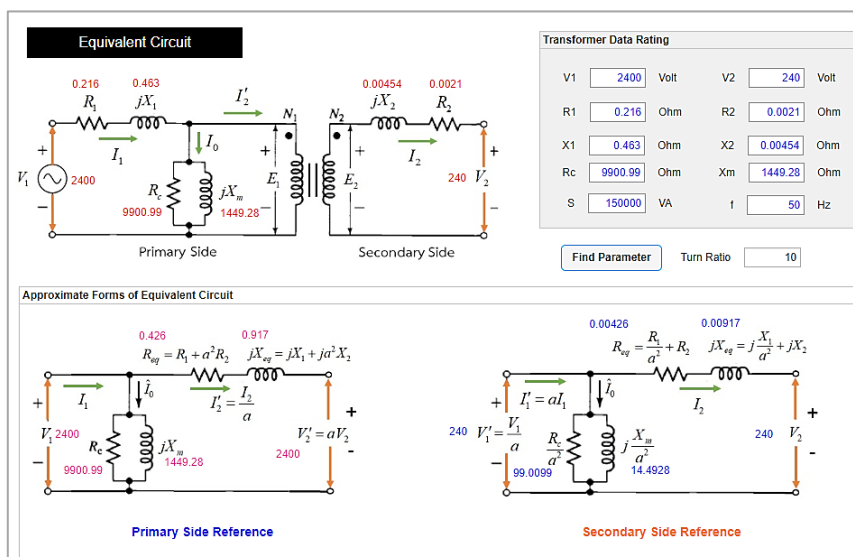
รูปที่ 7 หน้าต่างอุปกรณ์เครื่องมือของโปรแกรม MATLAB App Designer

หัวข้อการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้า จะเริ่มจากคุณลักษณะสมบัติของหม้อแปลงอุดมคติ ซึ่งละเลยค่ากำลังสูญเสียทั้งหมด ทำให้การผลิตแรงดันไฟฟ้าที่โหลดจะเป็นไปตามอัตราส่วนจำนวนรอบ ดังนั้นผู้เรียนจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแสได้ จากการป้อนข้อมูลจำนวนรอบขดลวดของหม้อแปลง รวมถึงค่ากำลังงานพิกัด และแรงดันด้านปฐมภูมิเพื่อสังเกตค่าแรงดันด้านโหลดได้ ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าต่างการเรียนรู้หม้อแปลงอุดมคติ

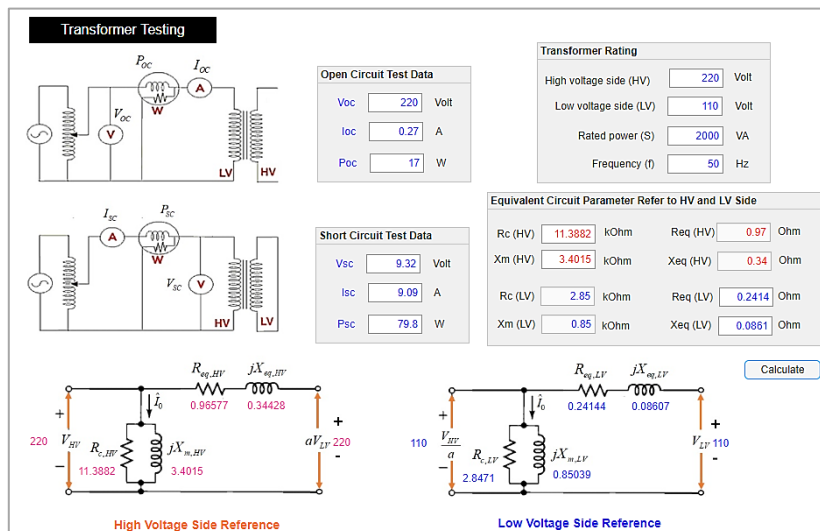
ในส่วนการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง จะต้องใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าที่มีความถูกต้อง ซึ่งการออกแบบโปรแกรมในส่วนนี้ เมื่อผู้เรียนป้อนข้อมูลพารามิเตอร์พิกัดของหม้อแปลง โปรแกรมจะแสดงจรรยาบรรณจริง และวงจรแบบประมาณที่อ้างอิงทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยจะแสดงค่าตัวเลขประกอบบนรูปภาพให้เห็นตำแหน่งอย่างชัดเจน เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไปได้ ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าต่างการเรียนรู้วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

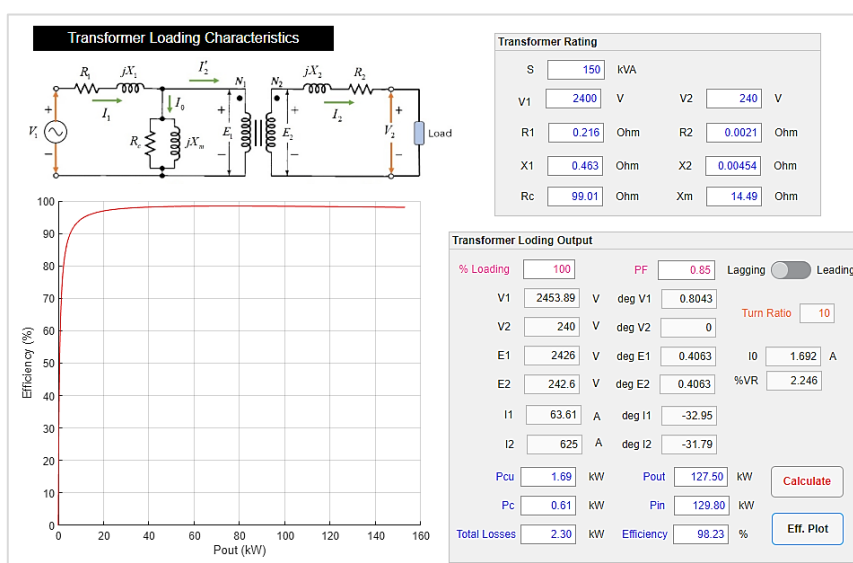
การหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงเพื่อสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้า จะใช้วิธีการทดสอบหม้อแปลงทั้งการทดสอบแบบเปิดวงจรและลัดวงจร ซึ่งการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ ผู้เรียนเพียงป้อนข้อมูลค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ รวมถึงค่าพิกัดของหม้อแปลง โปรแกรมจะประมวลผลและแสดงค่าพารามิเตอร์บนรูปวงจรสมมูลแบบประมาณที่มี

การอ้างอิงทั้งด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเลือกนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และมีความสะดวก ตามรูปที่ 10



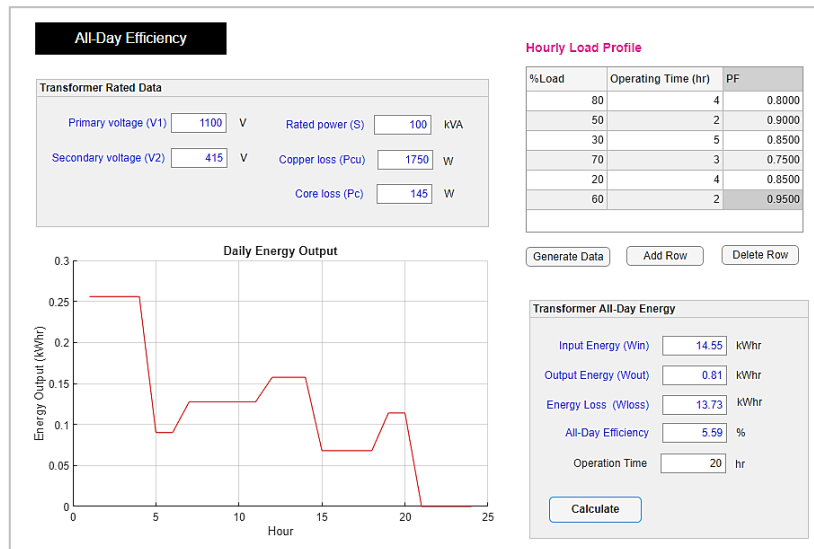
รูปที่ 10 หน้าต่างการเรียนรู้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

คุณลักษณะที่บอกถึงสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงเมื่อมีการจ่ายโหลดทางไฟฟ้า ก็คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด ค่ากำลังสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ ค่ากระแสทำงาน รวมถึงค่าแรงดันด้านเข้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน การประมวลผลของโปรแกรมส่วนนี้ จะคำนวณค่าการดำเนินงานดังกล่าวตามขนาดและเงื่อนไขของโหลดที่กำหนด รวมถึงค่าแรงดันกระแสทางเฟสเซอร์ในส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลอง และยังแสดงกราฟประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อหม้อแปลงมีการจ่ายโหลดที่ระดับต่าง ๆ ของค่าพิกัด เพื่อให้ผู้เรียนสังเกตเห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงตามขนาดโหลดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงเมื่อหม้อแปลงทำงานบริเวณใกล้ค่าพิกัด ดังรูปที่ 11



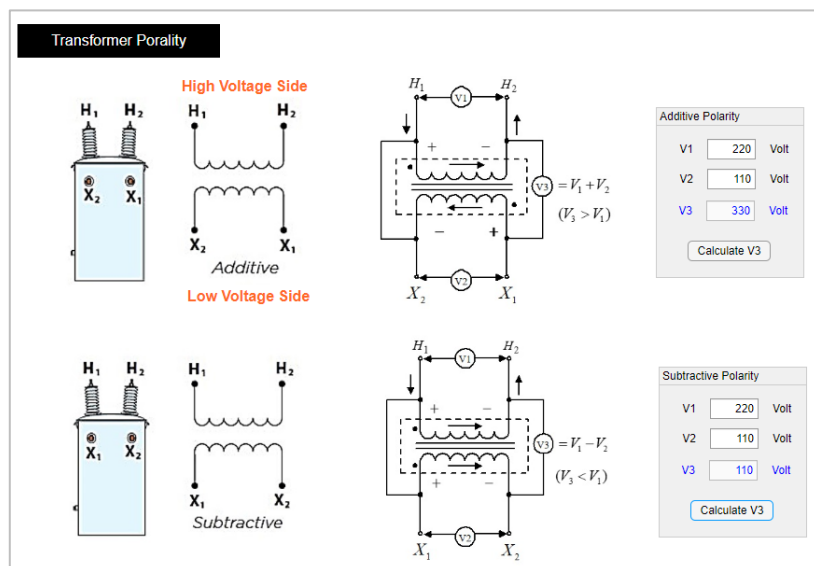
รูปที่ 11 หน้าต่างการเรียนรู้คุณลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ความสามารถในการทำงานตลอดวันของหม้อแปลง จะพิจารณาจากค่าพลังงานรายชั่วโมง (Hourly energy) ซึ่งหม้อแปลงอาจมีการจ่ายโหลดที่มีระดับความต้องการของกำลังงาน ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) และจำนวนชั่วโมงในการทำงานแตกต่างกัน การศึกษาในเรื่องนี้ โปรแกรมจะคำนวณค่าประสิทธิภาพตลอดวัน รวมถึงค่าพลังงานในการทำงาน พลังงานสูญเสีย และแสดงกราฟการใช้พลังงานทั้งวันของหม้อแปลง เมื่อผู้เรียนป้อนข้อมูลค่าพิกัดหม้อแปลง และโหลดรายชั่วโมงซึ่งสามารถเพิ่มระดับการทำงานได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 12



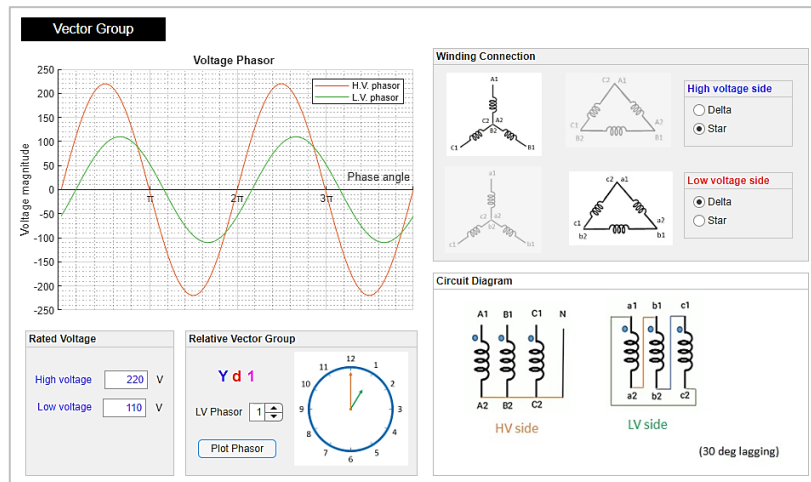
รูปที่ 12 หน้าต่างการเรียนรู้ประสิทธิภาพตลอดวันของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบหม้อแปลงเพื่อดูลักษณะการต่อขั้วสาย เป็นเรื่องสำคัญด้านความปลอดภัยในการทำงาน กรณีที่ต้องใช้หม้อแปลงมากกว่าหนึ่งตัวต่อขนานกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายกำลังงาน ซึ่งมี 2 แบบคือ ขั้วสายแบบเสริมกัน (Additive polarity) และขั้วสายแบบหักล้างกัน (Subtractive polarity) การศึกษาส่วนนี้ โปรแกรมจะแสดงรูปการต่อวงจรทดสอบ รวมถึงค่าแรงดันที่วัดระหว่างขดลวดด้านแรงสูงและแรงต่ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตามลักษณะของขั้วสาย ดังรูปที่ 13



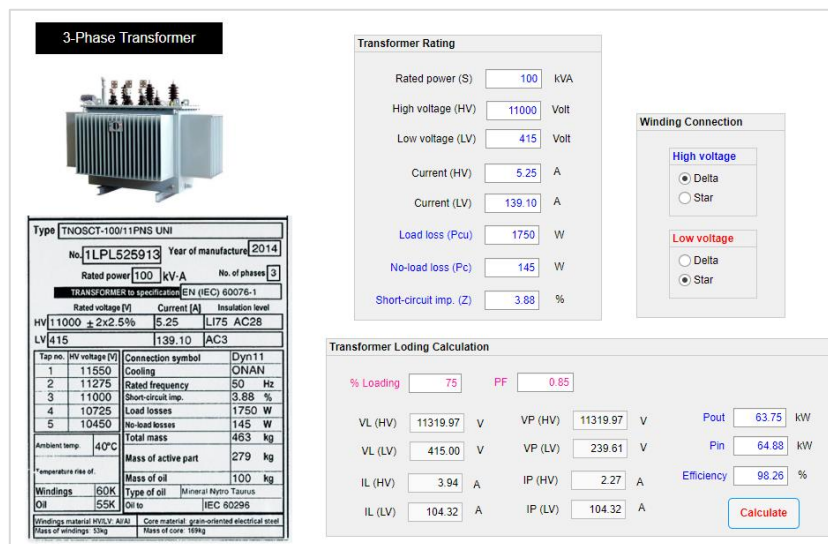
รูปที่ 13 หน้าต่างการเรียนรู้ขั้วสายหม้อแปลงไฟฟ้า

การศึกษากรุปเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีสร้างความสับสนให้กับผู้เรียน ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ จะช่วยให้มีความเข้าใจการต่อขดลวดหม้อแปลงสามเฟสแบบวายน์ (Wye) และเดลต้า (Delta) ตามกรุปเวกเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นกรุป Yy0, Yy6, Yd1, Yd11, Dd0, Dd6, Dy1 และ Dy11 เป็นต้น โปรแกรมจะแสดงภาพลักษณะการต่อขดลวด ความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับนาฬิกา รวมถึงเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงและแรงต่ำที่มีความสัมพันธ์ตามกรุปเวกเตอร์ ซึ่งอาจตรงกันหรือมีการนำหน้า (Leading) และล่าหลัง (Lagging) ได้ ตามรูปที่ 14



รูปที่ 14 หน้าต่างการเรียนรู้กรุปเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส มีบทบาทหน้าที่สำคัญในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส ซึ่งทั่วไปการใช้งานเป็นหม้อแปลงลดแรงดันจะต่อขดลวดแบบเดลต้า-วายน์ ($\Delta - Y$) สำหรับการใช้งานเป็นหม้อแปลงเพิ่มแรงดันจะต่อแบบวายน์-เดลต้า ($Y - \Delta$) โดยหลักการทำงานยังคงคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว ต่างกันที่การคำนวณจะพิจารณาเป็นระบบสามเฟส ดังนั้นในหัวข้อการเรียนรู้นี้ ผู้เรียนสามารถใช้ผลคำนวณเป็นแนวทางศึกษาคุณลักษณะการทำงานของหม้อแปลง จากค่าขนาดแรงดัน กระแส ทั้งที่เฟส (Phase) และที่สาย (Line) ของขดลวดแรงต่ำและแรงสูงตามลักษณะการต่อขดลวดที่กำหนด รวมถึงค่าประสิทธิภาพ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพิกัดของหม้อแปลง 3 เฟส ดังรูปที่ 15



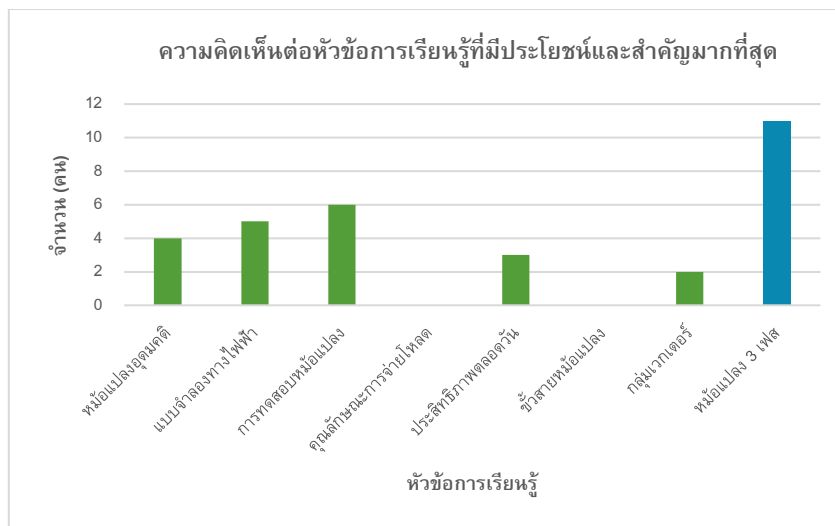
รูปที่ 15 หน้าต่างการเรียนรู้หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

ผลการวิจัย

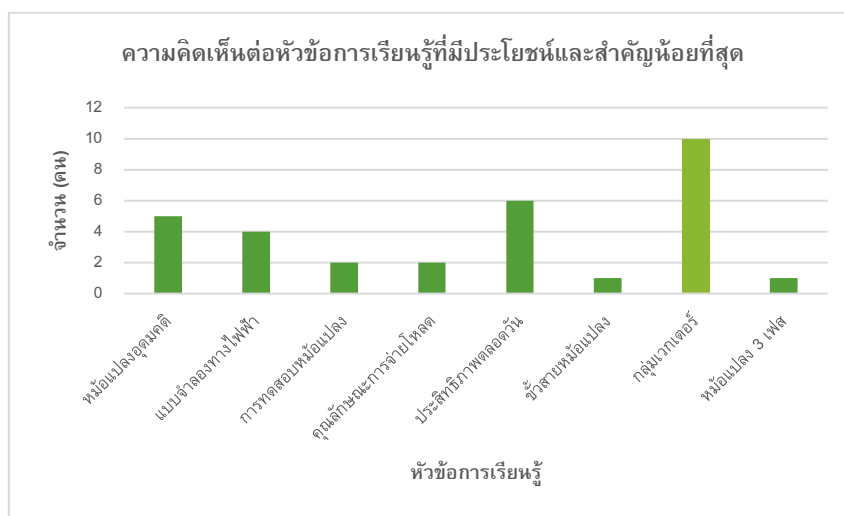
ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 และ 4 จำนวน 31 คน ที่มีต่อการใช้โปรแกรม MATLAB App Designer สำหรับการเรียนรู้สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อรับทราบความคิดเห็นของนักศึกษา ในการใช้เป็นแนวทางพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้รายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า ด้วยการวิเคราะห์ผลตอบของคะแนนจากคำถามที่ออกแบบไว้ทางสถิติเชิงพรรณนา (มนัสนันท์ และคณะ, 2564; อโรชา และคณะ, 2564) ประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 1 โดยผลสำรวจข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีคอมพิวเตอร์ส่วนตัว (29 คน) โดยมีคนที่รู้จักและเคยใช้งานโปรแกรม MATLAB จำนวน 2 คน รู้จักแต่ไม่เคยใช้งาน จำนวน 12 คน และไม่เคยรู้จัก จำนวน 17 คน

ตารางที่ 1 ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการใช้โปรแกรม

คำถาม	จำนวน (ร้อยละ)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
1. การใช้โปรแกรมทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจมากขึ้น	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	15 (48.4)	8 (25.8)	3.84	1.04
2. การใช้โปรแกรมสามารถช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	11 (35.5)	12 (38.7)	3.97	1.11
3. การใช้โปรแกรมทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น	2 (6.5)	2 (6.5)	3 (9.7)	12 (38.7)	12 (38.7)	3.97	1.17
4. สามารถนำผลจากโปรแกรมไปวิเคราะห์และสรุปผลได้ตามหลักวิชาการ	2 (6.5)	3 (9.7)	4 (12.9)	8 (25.8)	14 (45.2)	3.94	1.26
5. สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมในการทำงานด้านวิชาชีพได้ในอนาคต	2 (6.5)	2 (6.5)	4 (12.9)	13 (41.9)	10 (32.3)	3.87	1.15
6. การใช้โปรแกรมมีประโยชน์ต่อการเรียนรู้	2 (6.5)	1 (3.2)	5 (16.1)	10 (32.3)	13 (41.9)	4.00	1.15
7. การใช้โปรแกรมมีความจำเป็นต่อการเรียนรู้	1 (3.2)	3 (9.7)	6 (19.4)	13 (41.9)	8 (25.8)	3.77	1.06
8. โปรแกรมที่ออกแบบสวยงาม มีลักษณะการใช้งานง่ายและสะดวก	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	13 (41.9)	10 (32.3)	3.90	1.08
9. โปรแกรมแสดงผลตอบโต้แบบเข้าใจง่ายและชัดเจน	2 (6.5)	3 (9.7)	4 (12.9)	10 (32.3)	12 (38.7)	3.87	1.23
10. ควรมีโปรแกรมในลักษณะนี้กับหัวข้อการเรียนรู้เครื่องจักรกลไฟฟ้าอื่นด้วย	3 (9.7)	1 (3.2)	4 (12.9)	11 (35.5)	12 (38.7)	3.90	1.25



รูปที่ 16 ความคิดเห็นต่อหัวข้อการเรียนรู้ที่มีประโยชน์และสำคัญมากที่สุด



รูปที่ 17 ความคิดเห็นต่อหัวข้อการเรียนรู้ที่มีประโยชน์และสำคัญน้อยที่สุด

นอกจากนี้ นักศึกษายังให้ความคิดเห็นที่มีต่อหัวข้อการเรียนรู้ต่าง ๆ ของโปรแกรม ซึ่งมองว่าเป็นประโยชน์และมีความสำคัญมากที่สุดคือ เรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ดังรูปที่ 16 โดยให้เหตุผลว่า เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าหลักที่มีการใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังของทุกภาคส่วนตั้งแต่ระบบการผลิต ระบบส่งจ่าย รวมถึงระบบจำหน่ายให้กับภาคอุตสาหกรรม อาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย เป็นต้น ประกอบกับการคำนวณค่าการทำงานในเรื่องนี้มีความซับซ้อนมากกว่าเรื่องอื่น สำหรับหัวข้อที่เห็นว่าไม่ประโยชน์และมีความสำคัญน้อยที่สุดคือ เรื่องกลุ่มเวกเตอร์ ดังรูปที่ 17 โดยให้เหตุผลว่า ไม่เข้าใจว่าเรื่องนี้สอนถึงอะไร และจะนำไปใช้ประโยชน์อย่างไรในการทำงานจริง

บทสรุป

การศึกษามรรณะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยการพัฒนาโปรแกรม MATLAB App Designer สามารถช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจ หลักการวิเคราะห์คำนวณผลการทำงานของหม้อแปลง ตามขอบเขตเนื้อหาการเรียนในวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า และด้วยคุณลักษณะของโปรแกรมแบบ GUI ทำให้ผู้เรียนสามารถป้อนข้อมูลในเรื่องที่ต้องการศึกษา รวมถึงสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลได้ตลอดเวลา เพื่อสังเกตผลลัพธ์การทำงานของหม้อแปลงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดย

ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษา ส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าการใช้โปรแกรมทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจ (คะแนนเฉลี่ย 3.84) รวมถึงช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี (คะแนนเฉลี่ย 3.97) และทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น (คะแนนเฉลี่ย 3.97) จนสามารถใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ผล (คะแนนเฉลี่ย 3.94) หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้ (คะแนนเฉลี่ย 3.87) อย่างไรก็ตาม นักศึกษาส่วนใหญ่เห็นว่าโปรแกรมมีประโยชน์โดยให้คะแนนมากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.00) แต่อาจไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ซึ่งมีคะแนนต่ำสุด (คะแนนเฉลี่ย 3.77) โดยให้เหตุผลว่าโปรแกรมเป็นเพียงเครื่องมือสนับสนุนเท่านั้น ผู้เรียนคาดหวังความรู้ที่จะได้รับจากผู้สอนมากกว่า รวมถึงการมีทักษะและความเข้าใจมากขึ้นในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้าจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังเห็นว่าโปรแกรมที่ออกแบบมีลักษณะการใช้งานง่ายและสะดวก มีการแสดงผลตอบที่ชัดเจน และเสนอให้ควรมีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเรียนรู้ในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วย

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือสนับสนุนด้านการเรียนรู้ เรื่องการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้บางคนไม่เคยรู้จักหรือเคยใช้โปรแกรม MATLAB มาก่อน ด้วยคุณลักษณะของโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาให้มีการใช้งานง่าย มีการติดต่อกับผู้ใช้เชิงภาพ ทำให้สามารถป้อนข้อมูลได้สะดวกและมีการแสดงผลที่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ในมุมมองของผู้สอนก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอธิบายประกอบการสอนได้ เพื่อให้เห็นผลคำนวณที่รวดเร็วจากกรณีศึกษาต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ หัตถศักดิ์ และปิยวัฒน์ ดิลกสัมพันธ์. (2564). การศึกษาสภาพปัญหาและความพึงพอใจในการเรียนรู้แบบออนไลน์ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด19) ของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. วารสารวิจัยทางการศึกษา. 16(1): 202-213.
- วิชชากร เสงศรีธวัช, พศวีร์ ศรีโหมด, เต็มพงษ์ ศรีเทศ และมณฑล ดาลี. (2563). การจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ MATLAB/Simulink สำหรับการสอนรายวิชาปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบออนไลน์. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 15. วันที่ 18 ธันวาคม 2563. กรุงเทพฯ. 1684-1693.
- อโรชา ทองลาว, พัลลภ สุวรรณฤกษ์, สมเกียรติ ไทยปรีชา และศศิน เทียนดี. (2564). การศึกษาความพึงพอใจของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต่อการจัดการเรียนการสอนรูปแบบออนไลน์ ประจำปีภาคต้น ปีการศึกษา 2563. วารสารศิลปศาสตร์และอุตสาหกรรมบริการ. 4(2): 617-632.
- Arthur E.F., Charles K.Jr. and Stephen D.U. (1992). Electric Machinery. 5th Edition. McGraw-Hill Inc.
- Charles L.H. (1991). Electric Machines. Prentice Hall Inc.
- Fei L., Xiao M., Dajun L. and Xiangyan H. (2021). Design of DC motor operation monitoring system based on Matlab GUI. In 2021 IEEE 5th Advanced Information Technology. Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), 12-14 March 2021. Chongqing China. 1211-1215.
- Jose M.G.V., Juan C.C.G. and Enrique R.C. (2017). Electric vehicle monitoring system by using MATLAB/App Designer. In 2017 International Young Engineers Forum (YEF-ECE). 5 May 2017. Costa da Caparica. Portugal. 65-68.
- Ngo M.K. and Doan D.T. (2023). Design and implementation of real-time fault location experimental system for teaching and training university students. International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. 14(1): 109-118.
- Nileema P. and Jagadish. H.P. (2015). Design and analysis of transformer using MATLAB. International Journal of Scientific Research. 4(1): 122-124.
- Peter F.R. (1994). Electric Machinery. 2^{ed} Edition Prentice Hall Inc.
- Praveen G., Sudip B.D., Shishir A., Shailes S., Shahabuddin K. and Menaka K. (2019). Transformer Design using MATLAB. Proceedings of IOE Graduate Conference 2019 Winter December. Volume 7. 53-58.

- Ruslan M.M. and Nikita A.D. (2022). Creating a virtual semiconductor inverter laboratory with Matlab App Designer. In 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 25-28 January 2022. Saint Petersburg. Russian Federation. 772-775.
- Stephen J.C. (1976). Electric Machinery Fundamentals. 2^{ed} Edition. McGraw-Hill Inc.
- Sunny K. and Sunny K.G. (2016). Simulink analysis of vector groups of transformers installed at 132kV grid station Qasimabad, Hyderabad and their effects on system operation. International Journal of Scientific and Research. 5(1): 1697–1701.
- Suryasen K., Devadas K.V. and Harish A. (2014). GUI based testing tool for transformer. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 4(3): 359–365.
- Thomas M. and Christopher W. (2020). Development of a MATLAB App for improving student learning of the use of arrays. In 2020 ASEE Southeastern Section Conference 8-10 March 2020. Auburn University. Auburn. Alabama. USA.