ชุดปรับแรงดันอัตโนมัติระบบ 1 เฟส 220 โวลต์ โดยใช้หลักการของหม้อแปลงชดเชยแรงดันแบบแยกขดลวด

A SINGLE-PHASE 220 V AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR BASED ON THE PRINCIPLE OF SPLIT COIL VOLTAGE COMPENSATION TRANSFORMER

นรงฤทธิ์ เสนาจิตร[1]*, ณัฐพงษ์ ประพฤติ[2], พนธกร ดำรงศักดิ์[2]

Narongrit Sanajit[1]*, Nuttapong Prapurt[2], Ponthakorn Damrongsak[2]

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[1]Faculty of Industrial Education and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya.

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

[2]Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology.

**Corresponding author, e-mail: Narongri@live.com*

Received: *18 August 2020;* ***Revised:*** *15 March 2021;* ***Accepted:*** *21 May 2021*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการออกแบบสร้างชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ 1 เฟส 220 โวลต์ ซึ่งสามารถควบคุมพิกัดแรงดันด้านออกให้คงที่แบบอัตโนมัติที่แรงดัน 220 โวลต์ ในขณะที่มีแรงดันด้านเข้าเปลี่ยนแปลงในช่วง 180 โวลต์ ถึง 260 โวลต์ โดยมีพิกัดการจ่ายภาระทางไฟฟ้าไม่เกิน 4 kVA ในการออกแบบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัตินี้ ได้ใช้หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติหนึ่งเฟสทำงานร่วมกับหม้อแปลงแบบแยกขดลวด และใช้การควบคุมแบบป้อนกลับประมวลผลด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อรักษาระดับแรงดันด้านออกให้มีค่าคงที่ จากการทดสอบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติที่ภาระโหลดความต้านทานที่มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 (Unity) ที่พิกัดกำลัง 1 kVA ถึง 4 kVA เมื่อจ่ายแรงดันด้านเข้าในช่วง 180 โวลต์ ถึง 260 โวลต์ พบว่าชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบสร้างนี้สามารถควบคุมรักษาระดับแรงดันด้านออกให้คงที่แบบอัตโนมัติได้ที่ 220 โวลต์ $\pm$1% และมีประสิทธิภาพรวมสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ โดยชุดปรับแรงดันอัตโนมัติมีเวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 1 วินาที และใช้เวลาสูงสุดในการรักษาระดับแรงดันด้านออกให้คงที่ไม่เกิน 10 วินาที อีกทั้งตัวเครื่องถูกออกแบบให้มีส่วนของชุดป้องกันส่วนต่าง ๆ ไว้ด้วย ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยทั้งตัวเครื่องและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ต่อพ่วง

คำสำคัญ: ชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ หม้อแปลงปรับค่าอัตโนมัติ การควบคุมแบบป้อนกลับ

Abstract

This paper presents the design and construction of a single-phase automatic voltage regulator, controlling electrical load at constant voltage 220 V and rated power 4 kVA. The design relied on the

principle of split coil voltage compensation transformer. A single-phase auto-transformer was connected to the isolate transformer. Feedback control methodology was used to maintain the constant voltage when the voltage input varies from 180-260 V. A purely resistive load (unity power factor) was examined in this research. The result shows that the implementation of the design can regulate voltage output at 220 V with a tolerance of 1% at the rated power range from 1 kVA to 4 kVA and the voltage input can vary as expectation. It demonstrates that over 95% efficiency responds to any voltage variation in 1 second maximum. The design can regulate voltage output in less than 10 second of time, and safety in use was also the concern of the design.

Keywords: Automatic voltage regulator, Automatic-transformer, Feedback control

บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันโดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่ต้องการเสถียรภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่ามีหลายสาเหตุที่ทำให้ระดับแรงดันไม่คงที่ จากแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกิน การจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดของอุปกรณ์ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์มากขึ้น และ อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อความผิดปกติและต้องการเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ในทางตรงกันข้ามการจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานได้และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบหรืออุตสาหกรรมได้ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอาจเกิดจากหลายสาเหตุ สาเหตุที่ทำให้แรงดันเพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดจากมีการต่อใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อยและอยู่ใกล้แหล่งจ่ายไฟฟ้า หรือมีการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือเกิดจากการปรับแทปหม้อแปลงไม่เหมาะสมกับระบบทำให้มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้น ส่วนสาเหตุที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าต่ำลงนั้น อาจเกิดจากมีการต่อใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ากับหม้อแปลงหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ามากจนเกินไป รวมถึงสาเหตุที่การส่งจ่ายไฟฟ้าในระยะไกลจากหม้อแปลงก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกได้ จากปัญหาดังกล่าวเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับความเสียหายเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบ เมื่อแรงดันตกกระแสมอเตอร์เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดผลเสียทางด้านโรเตอร์และสเตเตอร์ ทำให้อุณหภูมิของขดลวดสูงขึ้น และทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง

ปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าแบบควบคุมอัตโนมัติ (Stabilizer) [1-2] โดยมีส่วนประกอบหลักคือ หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส และอุปกรณ์ชุดควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้านี้โดยทั่วไปมีหลักการทำงานโดยมีข้อจำกัดหากจะทำการรักษาระดับแรงดันที่ขนาดโหลดเท่าใดต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบควบคุมอัตโนมัติ (Stabilizer) พิกัดนั้น ๆ ซึ่งหากต้องชดเชยที่พิกัดโหลดขนาดใหญ่จะมีราคาแพงและมีน้ำหนักมาก ทำให้เกิดข้อจำกัดในการเข้าถึงของภาคประชาชนโดยทั่วไป

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบสร้างชุดปรับแรงดันอัตโนมัติ 1 เฟส ที่พิกัดแรงดันคงที่ 220 โวลต์ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติต่อร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวด โดยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติจะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวด โดยใช้โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) เป็นสวิตซ์ในการกำหนดทิศทางการไหลของกระแส [3-4] ทำให้สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้ในกรณีแรงดันตกและทำให้ลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงได้กรณีแรงดันไฟฟ้าเกิน โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกแล้วส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ

ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า [1, 5] ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่ต่อกับด้านเข้ากับหม้อแปลงชุดอนุกรม เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตให้มีค่าอยู่ที่ระดับ 220 โวลต์คงที่ตลอดช่วงการทำงาน

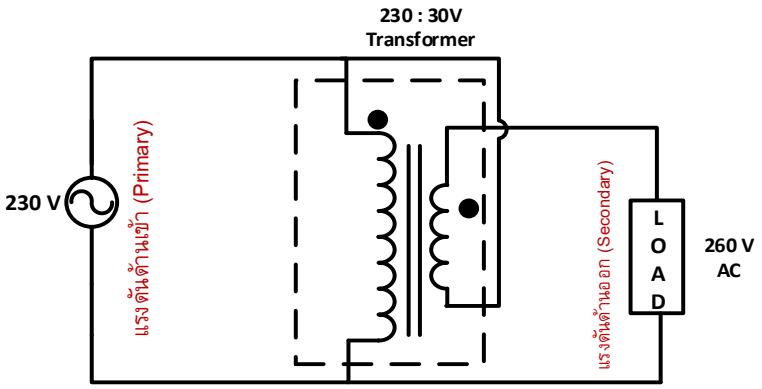
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อออกแบบสร้างชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติระบบ 1 เฟส 220 โวลต์โดยใช้หลักการของหม้อแปลงชดเชยแรงดันแบบแยกขดลวด ซึ่งสามารถทำการควบคุมแรงดันด้านออกที่ 220 โวลต์คงที่ตลอดช่วงการทำงานที่มีแรงดันด้านเข้าเปลี่ยนแปลงในช่วง 180 โวลต์ ถึง 260 โวลต์ โดยสามารถจ่ายภาระทางไฟฟ้าไม่เกิน 4 kVA พร้อมทำการทดสอบการทำงานและการตอบสนองของตัวเครื่องที่ได้ทำการออกแบบสร้าง

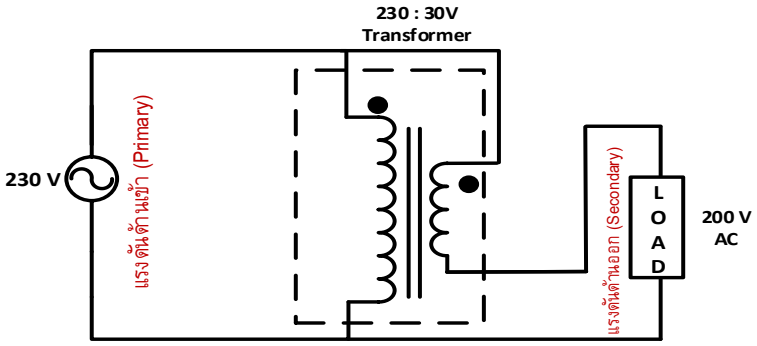
วิธีดำเนินการวิจัย

หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องรักษาระดับแรงดันแบบหม้อแปลงต่ออนุกรม

เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าใช้แก้ปัญหาแรงดันตกและแรงดันเกินของระบบไฟฟ้า [6-9] โดยการทำงานจะแบ่งเป็นสองลักษณะคือการเพิ่มแรงดันและการลดแรงดัน เมื่อแรงดันด้านเข้า (Primary) เปลี่ยนแปลงไป หลักการทำงานของเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในการเพิ่มแรงดันหรือลดแรงดันจะเกี่ยวข้องกับการเสริม (Adding) หรือหักล้าง (Subtracting) ของแรงดันจากแหล่งจ่ายโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าต่ออนุกรม โดยจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน จากภาพที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่าแรงดันด้านออก (Secondary) จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไหลออกจากขั้วหม้อแปลงด้านออกซึ่งจะทำให้แรงดันทางด้านออกเสริมกับแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่าย ส่วนในภาพที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่าแรงดันด้านเข้าจะลดลงเนื่องจากกระแสไหลออกจากขั้วหม้อแปลงด้านออก ซึ่งจะทำให้แรงดันทางด้านออกหักล้างกับแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่าย



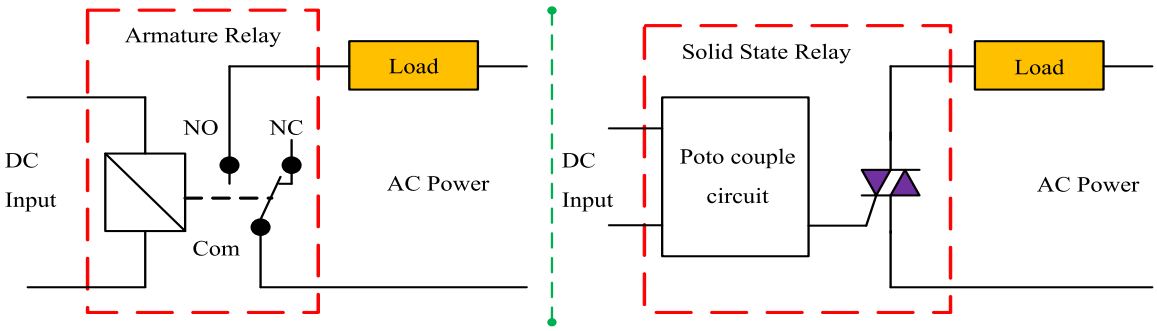
ภาพที่ 1 ตัวอย่างการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดันด้านออก (Adding)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบลดแรงดันด้านออก (Subtracting)

โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay)

Solid State Relay เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับวงจรไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ทั้งสองจะมีระบบกราวนด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้ SSR อาจถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์ [3-4] แต่มีข้อดีกว่าคือมีขนาดเล็กกว่ามีความไวในการทำงานที่สูงกว่าและมีอายุการทำงานที่นานกว่า เป็นต้น



ภาพที่ 3 วงจรการต่อใช้งานแบบพื้นฐานของอาร์เมเจอร์รีเลย์และโซลิดสเตตรีเลย์

การดำเนินการออกแบบ

ในการออกแบบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Variac) ซึ่งมีการขับเคลื่อนด้วยการทำงานของมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแขนสัมผัสที่เปลี่ยนไปตามขดลวดที่อยู่ด้านออกของทุติยภูมิและมีอุปกรณ์คอยตรวจจับแรงดันไฟฟ้าด้านออกตลอดเวลา หากแรงดันไฟฟ้าด้านออกผิดไปจากค่าที่ตั้งไว้จะส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมสั่งการให้มอเตอร์ทำงานขับเคลื่อนหน้าสัมผัสของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติผ่านหม้อแปลงชุดอนุกรม จนได้แรงดันด้านออกตามที่ตั้งไว้ ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Variac) จะต่ออยู่กับด้าน Primary ของหม้อแปลงชุดอนุกรมและมีสวิตช์ในการกำหนดโหมดการไหลของกระแสซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มหรือลดระดับแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำจากด้าน Primary ไปยังด้าน Secondary ของหม้อแปลงชุดอนุกรม ทำให้ได้แรงดันด้านออกคงที่ แม้ว่าจะมีการปรับแรงดันด้านเข้าเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

การออกแบบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ซึ่งใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติในการเพิ่มและลดแรงดันเพื่อชดเชยโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลและสั่งการทำงานให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ทั้งนี้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า 180-260V ส่วนด้านออกมีแรงดัน 220 $\pm$ 1% ที่พิกัดกำลังด้านออกสูงสุด 4 kVA

การออกแบบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์

การออกแบบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ที่พิกัด 4 kVA 220 V (Line to Neutral) กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลในวงจร หาได้จากสมการ

$$|I_{max}| = \frac{|S|}{|V_{an}|} \quad (1)$$

$$I_{max} = 18.18 \text{ A}$$

ในการเพิ่มแรงดันและลดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าอนุกรมมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ด้านออก (Secondary) 40 V ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าอนุกรม หาได้จากสมการ

$$|S_{series}| = |V_{an}|.|I_{max}| \quad (2)$$

$$S_{series} = 727.20 \text{ VA}$$

หม้อแปลงอนุกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 4 kVA ใช้พิกัดกำลังที่ 727.20 VA

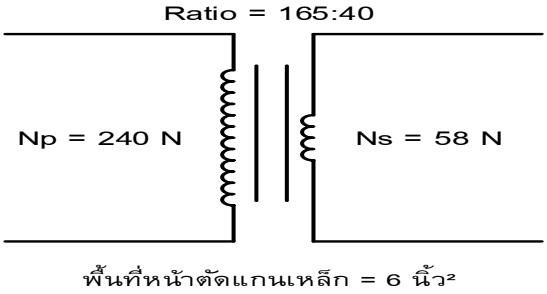
การออกแบบหม้อแปลงชุดอนุกรม

ออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวดหม้อแปลงอนุกรมหาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก [8] จากสมการ

$$A_i = \frac{\sqrt{S}}{5.58} \quad (3)$$

$$A_i = 5.66 \text{ (นิ้ว)}^2 \approx 6 \text{ (นิ้ว)}^2$$

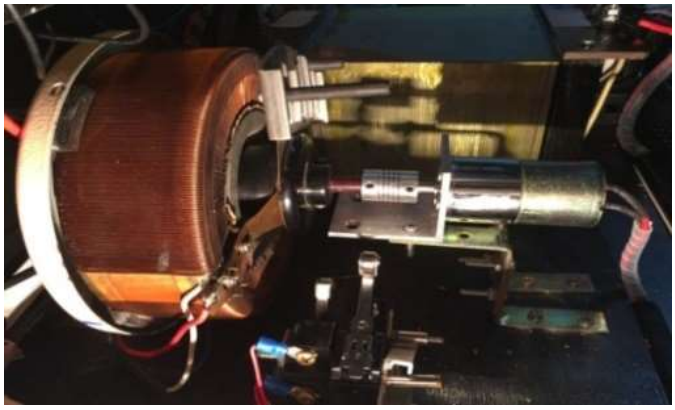
ในการออกแบบพิกัดแรงดันไฟฟ้าหม้อแปลงชุดอนุกรมด้านเข้ามีแรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ 165 V เนื่องจากต้องออกแบบให้รองรับกับแรงดันด้านเข้าที่อาจต่ำกว่า 180 V ระบบก็ยังคงรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ โดยมีแรงดันต่อรอบอยู่ที่ 0.69 V/Turn ดังนั้นจำนวนรอบของขดลวดตัวนำทองแดงที่จะต้องพันลงบนแกนเหล็กมีจำนวนเท่ากับ 240 รอบ และพิกัดแรงดันที่ต้องชดเชยหรือหักล้างสูงสุดของหม้อแปลงชุดอนุกรมด้านออก 40 V เพื่อให้รอบรับการชดเชยหรือหักล้างกับภาวะแรงดันฉุกเฉิน ของระบบแรงดัน 220 โวลต์และ 230 โวลต์ (Line to Neutral) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวงได้ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนรอบของขดลวดตัวนำทองแดงที่จะต้องพันลงบนแกนเหล็กมีจำนวนเท่ากับ 58 รอบ



ภาพที่ 4 ส่วนของการออกแบบหม้อแปลงชุดอนุกรมแบบแยกขดลวด

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงชุดอนุกรมด้าน Primary โดยมีพิกัดแรงดันด้านเข้าในช่วง 180 V–260 V โดยออกแบบพิกัดแรงดันด้านออกที่สามารถปรับได้ 0 V–280 V กระแสพิกัดสูงสุดทางด้านออกจะเท่ากับกระแสสูงสุดด้านเข้า (Primary) ของหม้อแปลงชุดอนุกรมซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.41 A

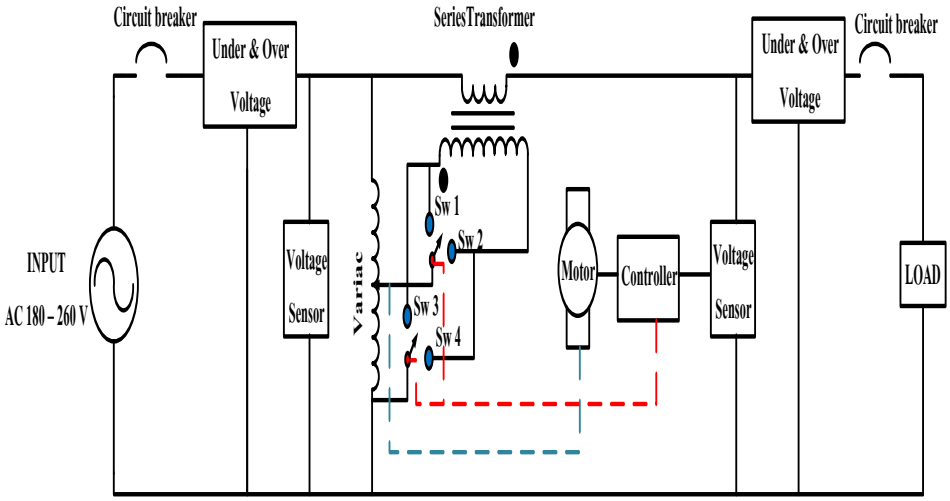


ภาพที่ 5 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Variac) ที่ใช้ปรับแรงดันให้กับหม้อแปลงชุดอนุกรมแบบแยกขดลวด

การออกแบบอุปกรณ์ชุดสวิตช์อัตโนมัติ (Solid-State Relay) และชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการปรับเปลี่ยนทิศทางของกระแส [10-12] ได้เลือกใช้สวิตช์อัตโนมัติ (Solid-State Relay) รุ่น SSR-25DA-H ที่พิกัดกระแส 10 A การทำงานแบบ Zero Crossing และเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบ Arduino mega 2560 R3 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เนื่องจากมีจำนวนช่องสัญญาณอนาล็อก 16 ช่อง และช่องสัญญาณดิจิตอล 54 ช่อง ซึ่งเพียงพอและสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่ตั้งไว้

ภาพที่ 6 ชุดควบคุมการทำงานของสวิตช์อัตโนมัติ (Solid-State Relay) ที่ใช้ในการออกแบบสร้าง

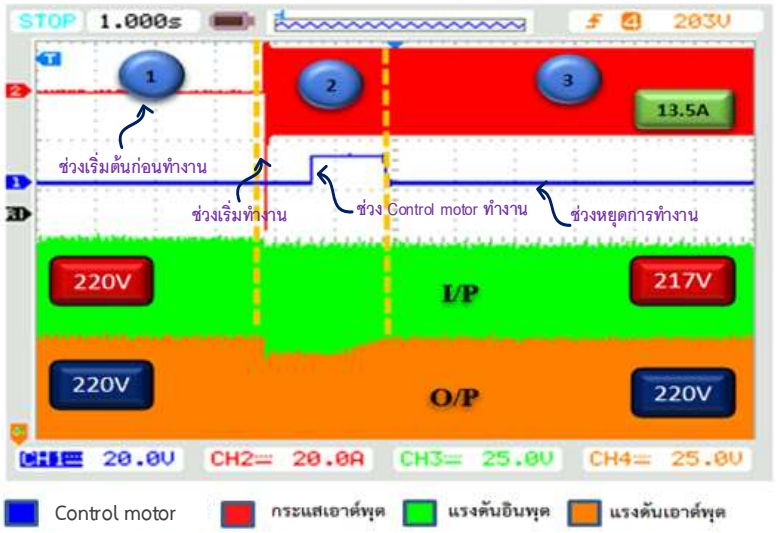


ภาพที่ 7 วงจรรวมชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ที่ออกแบบสร้าง

ผลการวิจัย

การทดสอบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ 1 เฟส 220 โวลต์ โดยทำการทดสอบเพื่อเก็บผลสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส เวลาในการตอบสนองต่อเวลาทำงานและทดสอบประสิทธิภาพ ในสภาวะในการทำงานไร้โหลดและในสภาวะการทำงานในพิกัดต่าง ๆ จนถึงที่พิกัด Full load โดยแบ่งการทดสอบดังนี้

ผลการทดสอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าของชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติแบบ 1 เฟส 220 โวลต์

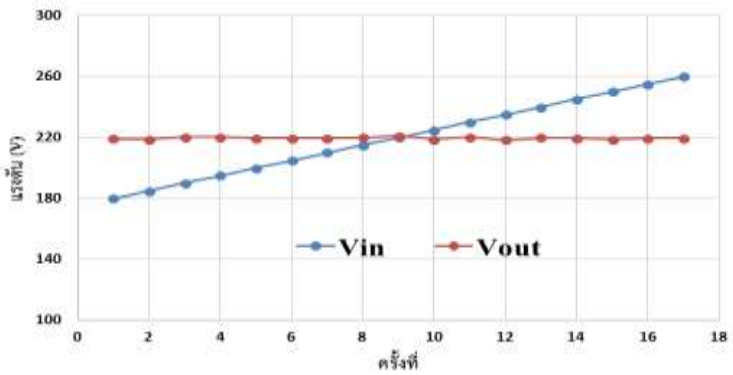


ภาพที่ 8 ผลการตอบสนองการทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า

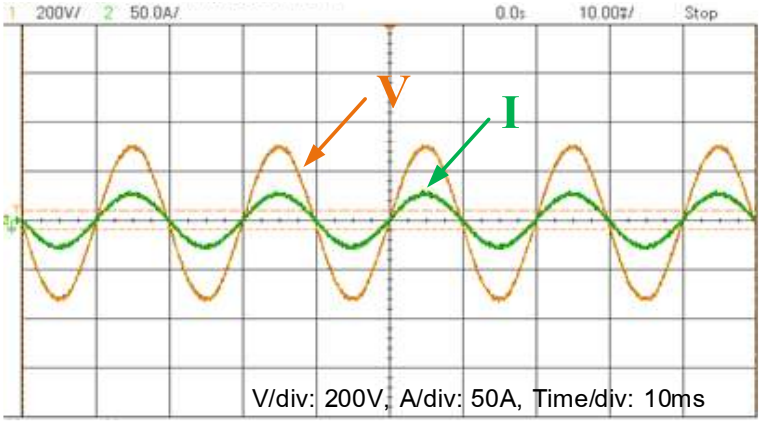
จากภาพที่ 8 เป็นผลการทดสอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า โดยทดสอบการตอบสนองของชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ เมื่อทำการเปลี่ยนจากสภาวะไร้โหลดเป็นสภาวะมีโหลดทางไฟฟ้า เมื่อทดสอบการทำงานในการรักษาแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ 220 โวลต์ จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการตอบสนองในช่วงดังกล่าว น้อยกว่า 1 วินาที ซึ่งเป็นผลตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถทำงานได้อย่างดี

ผลการทดสอบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ 1 เฟส 220 โวลต์ ในสภาวะมีโหลด

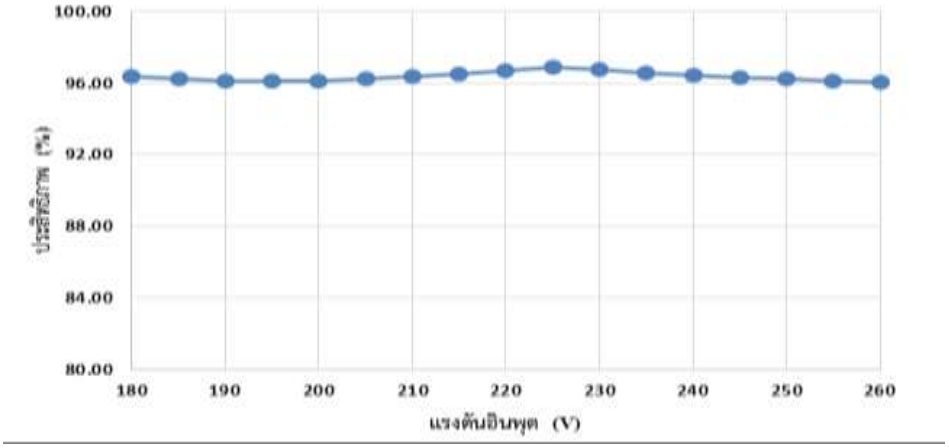
การทดสอบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติในสภาวะมีโหลดเพื่อทดสอบการทำงานที่ระดับพิกัดโหลดต่าง ๆ ที่โหลด R โดยเปรียบเทียบระหว่างระดับแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้พร้อมสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านออก ดังแสดงผลในภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ส่วนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับประสิทธิภาพของหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 11 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุต ขณะต่อโหลด R ที่พิกัด 4 kVA



ภาพที่ 10 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของชุดปรับแรงดันอัตโนมัติ ที่แรงดันด้านอินพุต 180 V ขณะต่อโหลด R ที่พิกัด 4 kVA ที่ปรับค่าแล้ว



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับประสิทธิภาพของชุดหม้อแปลงปรับแรงดันอัตโนมัติขณะต่อโหลด R ที่พิกัด 4 kVA

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบที่พิกัดโหลด 1 kW, 2 kW, 3 kW และ 4 kW ที่โหลดความต้านทาน (R) โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าอยู่ในช่วงแรงดัน 180-260 โวลต์ จากภาพที่ 8 ถึง 11 สรุปได้ว่าชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบสร้างสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยสามารถใช้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางสำหรับควบคุมและตัดสินใจในการทำงานของสวิตซ์อัตโนมัติ (Solid State) รวมถึงควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแขนสัมผัสที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงอัตโนมัติ โดยชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติสามารถปรับแรงดันออกให้คงที่ 220 $\pm$ 1% และมีประสิทธิภาพรวมสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ตลอดช่วงปรับแรงดันที่พิกัดโหลดสูงสุด 4 kVA โดยตัวเครื่องสามารถตอบสนองการทำงานน้อยกว่า 1 วินาที และใช้เวลาสูงสุดในการรักษาระดับแรงดันด้านออกให้คงที่ไม่เกิน 10 วินาทีต่อการทำงานในแต่ละช่วง ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของตัวเครื่องที่ออกแบบสร้างได้ดังตารางที่ 1 และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยทั้งตัวเครื่องและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ต่อพ่วงอีกด้วย

ตารางที่ 1 สรุปคุณสมบัติของชุดปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ 1 เฟส 220 โวลต์

Input Voltage	180 V – 260 V
Output Voltage	220 V ± 1%
Power Rating	4000 VA @ 220 V
Efficiency	> 95 %
Frequency	50Hz
Response Time	< 1 sec
Protection	Over-Under Voltage, Overload, Short Circuit
Cooling	Air cooling
Dimensions (W x H x D)	60x32x40 cm
Weight	25 kg

เอกสารอ้างอิง

[1] C. M. Wang, C. H. Su, C. H. Lin, M. Y. Liu, and K. F. Fang. (2007). High performance single-phase voltage regulator with a simple circuit topology. in *Proceedings IEEE Conference PEDS'07*, 1456-1460.

[2] M. Hojo, Y. Mitani, and K. Tsuji. (1998). Voltage and power swing stabilization by decoupled control with AVR and phase shifter. in *Proceedings IEEE EMPD'98*, *1*, 183-188.

[3] Ashfaq Ahmed. (1999). *Power Electronics for Technology*. New Jersey: Prentice-Hall International.

[4] J. M. Jacob. (2001). *Power Electronics: Principles and Applications*. New York: Delmar Cengage Learning.

[5] H. Park, S. Park, J. Park, and C. Kim. (2001). A novel high-performance voltage regulator for single-phase AC sources. *IEEE Transactions on Induction Electronics*, *48*, 554-562.

[6] R. Echavarría, G. Acosta-Villarreal, and C. Nunez. (2009). An unbalance voltage compensator using a fast on load tap changing regulator. *13th European Conference on Power Electronic and Applications*, pp. 1-7.

[7] R. Echavarría, A. Claudio, and M. Cotorogea. (2007). Analysis, design, and implementation of a fast on-load tap changing regulator. *IEEE Transactions on Power Electronic*, *22*, 527-534.

[8] K. Shyu, M. Yang, J. Hong, and B. Lin. (2004). Automatic voltage regulator using a novel phase-shifted PWM single-phase inverter. in *Proceedings IEEE IECON'04*, *2*, 1851-1855.

[9] I. Colak, S. Ertike. (2010). A new type single phase switching voltage regulator. in *Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE'10),* 1778-1785.

[10] Guorong Zhu, Minzu Li, Xiaodong Liu, and Tingting Wang. (2002). Voltage Regulation Method in Series Thyristor of Distribution Transformer transformer. *Transformer*, *22*(5), 1001-8425.

[11] G.H. Cooke, and K.T. Williams. (1992, November). New Thyristor Assisted Diverter Switch for on Load Transformer Tap Changers. *IEE Proceedings B (Electric Power Applications), 139*(6), 507-511.

[12] Hongzhong Ma, Suwen Gu, Huafang Wang, Honghua Xu, Chunning Wang, and Hao Zhou. (2017). On-load automatic voltage regulation system designed via thyristor for distribution transformer. in *2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Sydney, Australia.