

แหล่งจ่ายแรงดันแบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ศิศิโรตม์ เกตุแก้ว¹

มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

รับเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2548 ตอรับเมื่อ 17 มิถุนายน 2548

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแหล่งจ่ายแรงดันแบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาช่วยในการควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ให้มีการปรับตั้งระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ที่พิกัด 1kVA 220/10~220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ โดยมีโวลต์เตจเร็กกูเลชันต่ำกว่า 5% และแรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าสูงสุด 33 โวลต์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า และนำแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุทของหม้อแปลงไฟฟ้าป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ปรับตั้งไว้ จากนั้นชุดควบคุมจะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของหม้อแปลงไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ปรับตั้งไว้ ถ้าแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน ชุดควบคุมจะทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของหม้อแปลงไฟฟ้าจนกระทั่งเท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตั้งไว้ ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับนี้ จะมีเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเร็กกูเลชันที่ต่ำ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

Regulated AC Voltage Source

Siseerot Ketkaew ¹

Ramkhamhaeng University, Hua-Mark, Bangkok, Bangkok 10240

Received 15 February 2005 ; accepted 17 June 2005

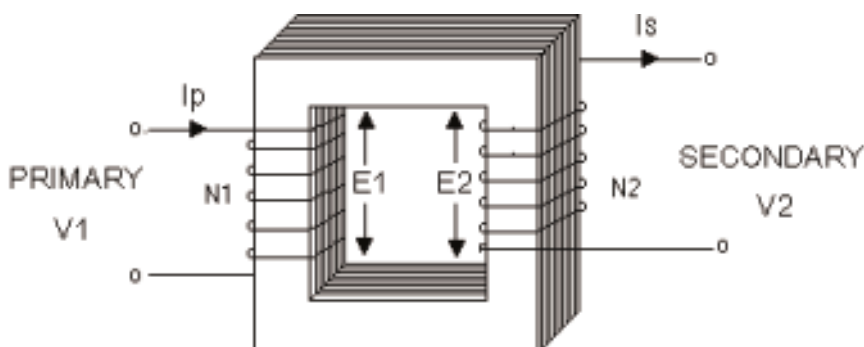
Abstract

This paper presents “Regulated AC Voltage Source” which bringing up microcontroller to support the controlling a phase of transformer in order to adjust and set the AC Voltage at rate 1 kVA 220/10~220 V 50 Hz with Voltage Regulation less than 5% at 33 maximum voltage drop with the objective of making the transformer to be an Regulated AC Voltage Source by using the principle of magnetic field changing which effects to the changing AC Voltage of transformer and then bringing output voltage of transformer to feedback in order to compare with voltage level that setting before then the controller set will be compared with the output voltage of the transformer and the voltage that setting before, if voltage is unequalled, the controller set will adjust the output voltage of transformer until it is equalled to the voltage level that setting before. The experimental result from the Regulated AC Voltage Source will be the lower Voltage Regulation percentage, and it is suitable for any kinds of work that needed constant voltage when the load is changed.

¹ Lecturer, Department of Computer Engineering.

1. บทนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้นเป็นแบบที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ (Constant-potential transformer) มีขดลวดพันอยู่รอบๆ แกนเหล็ก 2 ชุด โดยแต่ละชุดอาจจะมีจำนวนรอบเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการนำไปใช้งาน แกนเหล็กนั้นเป็นแผ่นเหล็กบางๆ ที่แต่ละแผ่นถูกเคลือบไว้ด้วยสารบางอย่างที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสีย (loss) ภายในแกนเหล็กอันเนื่องมาจากผลการเหนี่ยวนำไฟฟ้า หม้อแปลงที่ใช้ปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ แบบแรกนั้นใช้สำหรับเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำให้กลายเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงเรียกว่า “Step-up transformer” ส่วนอีกแบบหนึ่งนั้นใช้เปลี่ยนจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงให้ลดลงเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำเรียกว่า “Step-down transformer” และหม้อแปลงที่ใช้ถ่ายเทพลังงานข้ามวงจรโดยไม่มีการเปลี่ยนแรงดันเรียกว่า “One to One Transformer” หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีขดลวดที่ทำหน้าที่เหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และสร้างฟลักซ์แม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็ก ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ N_1 (primary winding) เป็นขดลวดที่รับแรงดันไฟฟ้าและทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และสร้างฟลักซ์แม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็ก ส่วนขดลวดทุติยภูมิ N_2 (secondary winding) เป็นขดลวดที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าไปสู่ภาระทางไฟฟ้าภายนอก



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

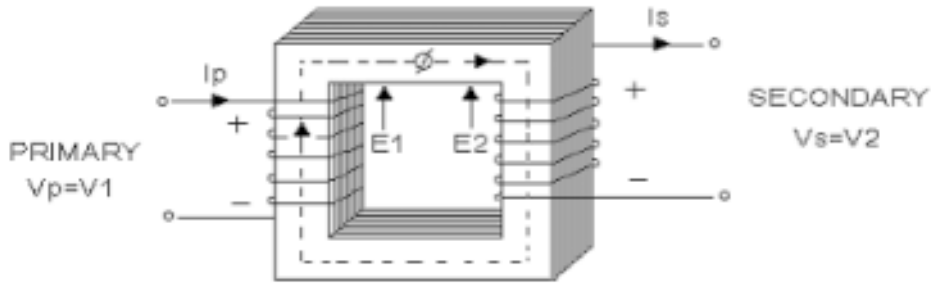
2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีและหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Theory and Principle)

2.1.1 หลักการของหม้อแปลง (Transformer's Principle)

เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงดันไฟฟ้า V_1 เข้าไปที่ขดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (รูปที่ 2) ขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มี load มาต่อก็ตาม ในกรณีเช่นนี้ $V_s = E_2 = V_2$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromotive Force) ที่เกิดขึ้นนั้น มีหลักการคือ เมื่อขดลวดด้านปฐมภูมิได้รับแรงดันไฟฟ้าสลับ V_1 กระแสไฟฟ้า I_p จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และแหล่งกำเนิดพลังงานแม่เหล็กในรูปของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) ขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ แรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กรวม (fm) เคลื่อนตัวตัดกับขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_2 ขึ้น



รูปที่ 2 หลักการเบื้องต้นของหม้อแปลง

2.1.2 อัตราส่วนของแรงเคลื่อนและกระแสไฟ (Voltage and Current Ratio)

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสลับให้กับขดลวดปฐมภูมิจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น เส้นแรงแม่เหล็กส่วนใหญ่ (f) จะไปคล้อง (link) ขดลวดทุติยภูมิ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ (E_2) ซึ่งค่าของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับจำนวนรอบของขดลวดแต่ละขด ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ตามกฎของการเหนี่ยวนำ ตามกฎของฟาราเดย์

เมื่อ E_1 และ E_2 คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ตามลำดับ N_p กับ N_s ก็คือจำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิและทุติยภูมิเช่นกัน สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของปฐมภูมิและทุติยภูมิ ทั้ง 2 ข้างนั้น แตกต่างจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ถ้าหากว่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากภายในหม้อแปลงนั้นมีเป็นจำนวนเล็กน้อยก็ตัดค่าที่เสียนั้นทิ้งไปได้นั้นก็คืออาจพิจารณาได้ว่ากำลังที่ได้รับ (power output) กับกำลังที่ใส่เข้าไป (power input) มีค่าเท่ากัน นั่นก็คือ

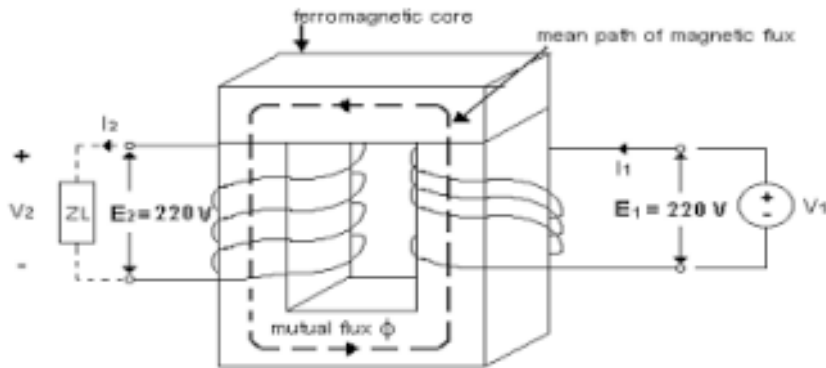
$$V_p I_p \cos \theta_p = V_s I_s \cos \theta_s \tag{1}$$

ค่า $\cos \theta_s$ นั้นหาได้จากชนิดของ load แต่เนื่องจากว่า power factor ของทางปฐมภูมิและทุติยภูมิมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า

$$V_p I_p = V_s I_s \tag{2}$$

หม้อแปลงนั้นจะทำหน้าที่ก็ต่อเมื่อไฟที่ใส่เข้าไปทางด้านปฐมภูมินั้นเป็นไฟฟ้าสลับหรือไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะๆ (pulse) ถ้าเป็นไฟตรงก็เป็นแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงการกระเพื่อมขึ้นลง (fluctuating) หรือมิฉะนั้นก็ให้มีการเปิดปิดไฟตรงด้วยอัตราเร็วอัตราใดอัตราหนึ่งหรือหลายอัตราก็ได้ จึงจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น อันเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรง (flux change) นั้น ฉะนั้นถ้าไฟตรงที่ใส่เข้าไปทางปฐมภูมิมิมีค่าคงที่ตลอดเวลาจะทำให้ไม่มีไฟเกิดขึ้นทางทุติยภูมิ ดังนั้นจึงทำให้หม้อแปลงมีลักษณะเด่นในการเปลี่ยนค่าของแรงเคลื่อนและกระแสไฟในวงจรกระแสไฟสลับเท่านั้น

2.1.3 ทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Theory)



รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) ขึ้นและเมื่อขณะจ่ายโหลดแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromotive Force : emf) จะถูกสร้างขึ้นโดยมีค่าดังนี้

$$V_1 = e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt}; \lambda_1 = N_1\phi \quad (3)$$

โดยที่ e_1 = induced voltage ของขดลวดปฐมภูมิ (V)
 V_1 = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิ (V)
 λ_1 = flux linkage ของขดลวดปฐมภูมิ (Wb-t)
 N_1 = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
 ϕ_1 = เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก (Wb)

ในทางอุดมคติ จะไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลเกิดขึ้น ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) ที่เกิดขึ้นจะไปเกี่ยวค้ำขดลวดทุติยภูมิทั้งหมด เป็นจำนวน N_2 รอบทำให้เหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า e_2 ขึ้น

$$e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

หากมีการะโหลดต่อเข้ากับขั้วของขดลวดทุติยภูมิ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดทุติยภูมิ V_2 จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I_2 ไหลออกไปยังภาระโหลด เนื่องจากหม้อแปลงในทางอุดมคติความต้านทานของขดลวดมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า V_2 คือมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e_2 นั่นคือ

$$V_2 = e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (5)$$

และจากกฎของแอมแปร์คือ ผลรวมเส้นแรงแม่เหล็กโดยรอบทางเดินจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นำมาประยุกต์จะได้ว่า

$$\begin{aligned} N_1 i_1 - N_2 i_2 &= 0 \\ \therefore N_1 i_1 &= N_2 i_2 \end{aligned} \quad (6)$$

จากสมการที่ (3) (5) และสมการที่ (6) จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1} = a \quad (7)$$

โดยที่ $a = \text{turn ratio}$ หรืออัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง

เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามลักษณะรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก ก็จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะรูปคลื่นไซน์ ภายใต้เงื่อนไขทางอุดมคติด้วย ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นที่เวลา t จะได้ว่า

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

เมื่อ $\phi_m = \text{maximum magnetic flux}$

$$\text{จาก } e = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$e = \omega N \phi_m \cos \omega t$$

เมื่อ $\omega = 2\pi f$

$$\therefore e = 2\pi f N \phi_m \cos \omega t$$

จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ ในเทอมขององศากำลังสองเฉลี่ย (root mean square : rms) จะเห็นว่า induced voltage (e_1) มีมุนำหน้า (leading) magnetic flux (ϕ) เป็นมุม 90 องศา

กำหนดให้ $E = \text{induced voltage}$ ในเทอม rms

จาก

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_p}{2}$$

$$E = \frac{e}{2} = \frac{2\pi f N \phi_m}{2}$$

$$E = 4.44 f N \phi_m \tag{8}$$

เมื่อนำสมการที่ 7 มาเขียนในเทอม rms จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \tag{9}$$

2.2 สเต็ปิ่งมอเตอร์

สเต็ปิ่งมอเตอร์ เป็นดีซีมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องอาศัยแปรปรณ ในการทำงานของสเต็ปิ่งมอเตอร์ จะใช้วงจรซีควีนเชียล เป็นตัวกำเนิดสัญญาณขับผ่านภาค Power drive เข้าสู่สเต็ปิ่งมอเตอร์ ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะลูปเปิด (open loop)

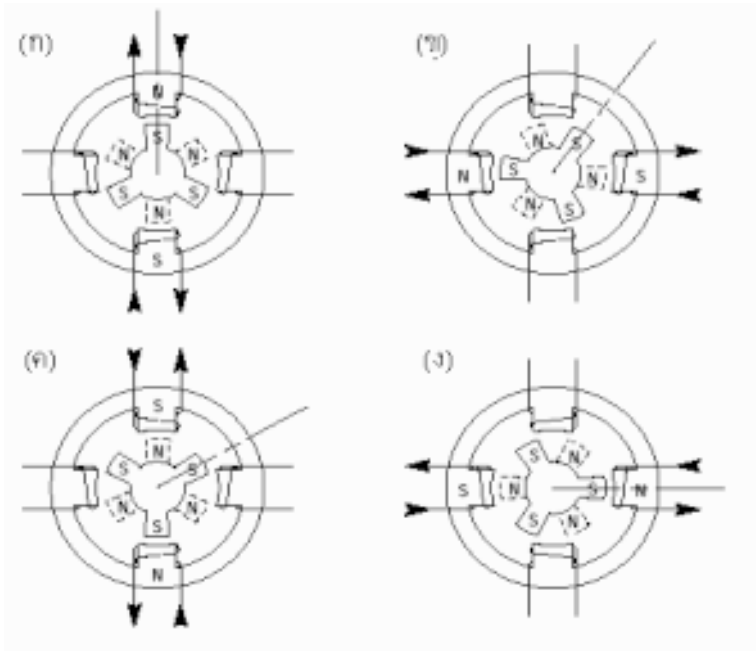
ถ้าแบ่งสเต็ปิ่งมอเตอร์ ออกตามลักษณะโรเตอร์จะแบ่งได้เป็น

1. แบบ Active ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นแบบ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet หรือ PM) กับแบบ Dc Energize
2. แบบ Variable reactive หรือแบบ VR
3. แบบ Hybird ซึ่งรวมทั้งแบบ PM และแบบ VR เข้าด้วยกัน

2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสเต็ปิ่งมอเตอร์ แบบ VR

ช่องอากาศ (air gap) ระหว่างสเตเตอร์ ซึ่งจะผกผันกับ Torque และความแน่นอนของตำแหน่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้สเต็ปิ่งมอเตอร์มีแรงบิดสูง และตำแหน่งแน่นอนก็จะต้องมีช่องอากาศช่องแคบๆ

การทำงานของสเต็ปิ่งมอเตอร์นั้น ตำแหน่งของมอเตอร์จะไม่หยุดทันทีที่มอเตอร์หมุนจนเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านมากที่สุด เนื่องจากโรเตอร์ขณะที่หมุนจะมีแรงเฉื่อย จึงทำให้เกิด shoot ของตำแหน่ง จากนั้นโรเตอร์จะหมุนกลับตัวให้อยู่ในตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านมากที่สุด จากรูปที่ 4 แสดงถึงการเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละสเต็ป ว่าเป็นแบบใด



รูปที่ 4 การเคลื่อนที่ทีละสเตปเมื่อกระตุ้น 1 เฟส

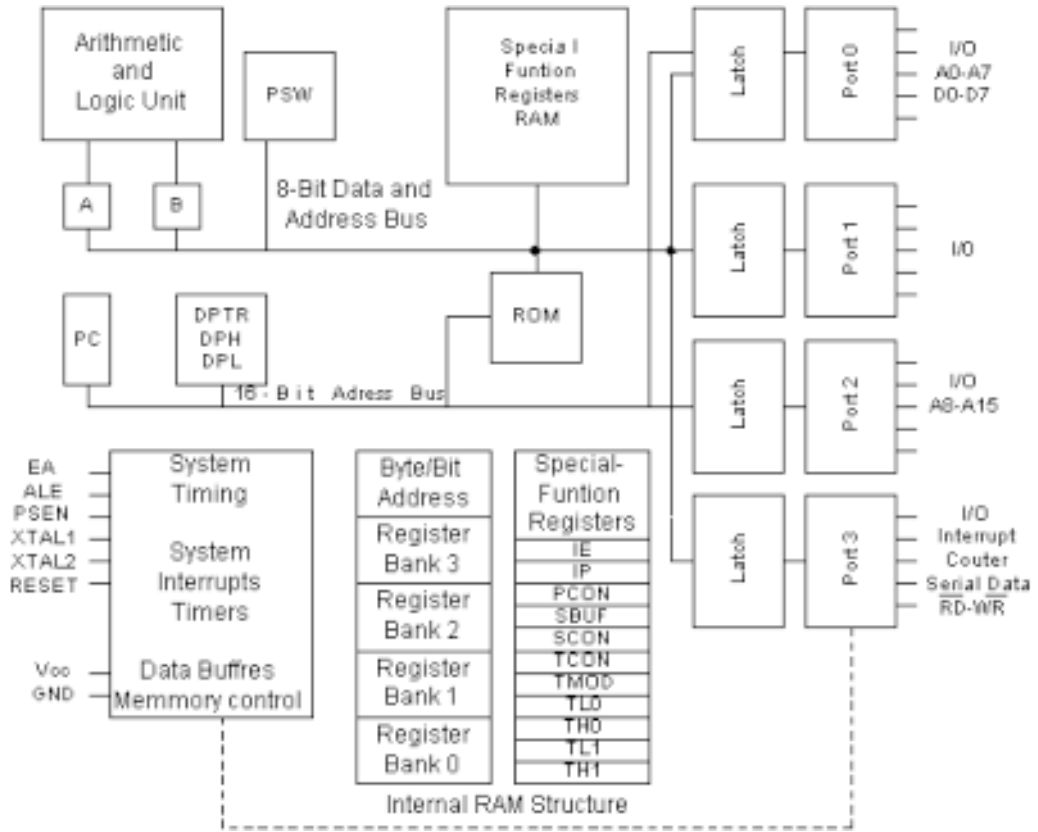
2.2.2 การกระตุ้นเฟสของสเตเตอร์

ในการให้สเตปิ่งมอเตอร์หมุนได้นั้นจะต้องกระตุ้นเฟสของขดลวดสเตเตอร์ให้เรียงกันไปเรื่อยๆ ทางใดทางหนึ่ง ถ้าต้องการให้หมุนกลับทางจะต้องกระตุ้นเฟสในทิศทางกลับกัน ซึ่งการกระตุ้นเฟสของสเตเตอร์ ไม่จำเป็นที่จะต้องกระตุ้นเฟสเพียงแค่เฟสเดียว อาจกระตุ้นทีละสองเฟสก็ได้ ในบทความนี้ใช้การกระตุ้นเฟสสเตเตอร์แบบการกระตุ้นโดยใช้แบบที่ 1 และแบบที่ 2 สลับกันเรียกว่าแบบ One – Two phase excitation หรือแบบ Half step excitation

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 8 บิตที่นิยมใช้กันมากได้แก่ตระกูล MCS-51 ซึ่งผลิตออกมาหลายรุ่น ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ไปของ MCS-51 โดยจะเน้นที่ตัว 8031 เพื่อคู่มือสำหรับการทดลองและประยุกต์ใช้งานต่างๆ ส่วนรายละเอียดจะหาอ่านได้จากคู่มือของ MCS-51 โดยตรง

ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบมี ROM หรือมี EPROM บนชิพเดียวกันโดยจะมีโครงสร้างคล้ายกัน และมีการจัดตำแหน่งขาเหมือนกัน



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมภายใน MCS-51

2.4 Voltage Regulator

อุปกรณ์ที่ใช้ในการ Regulate โฟ ac นิยมเรียก Induction Regulator ใช้สำหรับงานปรับระดับแรงดันมานานแล้ว ก่อนมี Power Electronic Technology

ข้อดี

- มีความทนทานต่อการลัดหรือและ Overloading
- THD ต่ำ ถ้าไม่มี Saturation เข้ามาเกี่ยวข้อง
- ง่ายต่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาส่วนลัดหรือเล็กน้อย

ข้อเสีย

- Response ต่ำมาก ขึ้นอยู่กับความเร็วของตัว Actuator (stepping motor ในกรณี) ดังนั้นจึงไม่สามารถปรับชดเชยหรือลดระดับแรงดันขณะเกิด transient แม้ไม่เร็วนักก็ได้
- ถ้าเสียหายมากการบำรุงรักษาอาจทำไม่ได้ จำเป็นต้องเปลี่ยนทั้งตัว ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก
- มีขนาดและน้ำหนักมาก

3. การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าและชุดควบคุม

3.1 การออกแบบหม้อแปลง

ข้อกำหนดในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

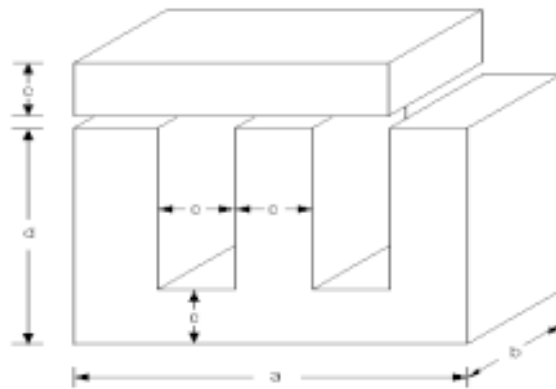
ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า	1 kVA
แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ	220 โวลท์
แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ	10 ~ 220 โวลท์
ความถี่	50 เฮิร์ตซ์

$$\text{ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก} \frac{\overline{VA}}{5.58} = 5.67 \text{ นิ้ว}^2$$

$$\therefore A = 5.67 \text{ นิ้ว}^2 = 35 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้แกนเหล็ก ที่พื้นที่หน้าตัด = $(3.8 \times 8.8) \text{ ซม.}^2$ เป็นแกนเหล็กแบบ EI

$$a = 19 \text{ ซม.}, b = 8.8 \text{ ซม.}, c = 3.8 \text{ ซม.}, d = 15.2 \text{ ซม.}$$



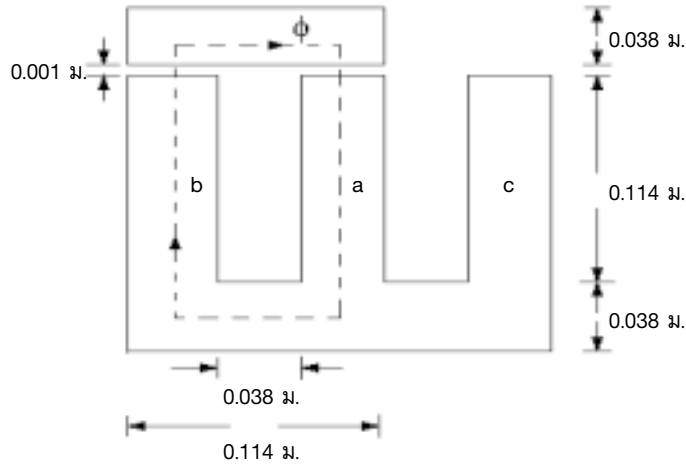
รูปที่ 6 ขนาดของแกนเหล็กที่ออกแบบ

ในการคำนวณนั้น ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) จะได้จาก DC Magnetizing curve ของแกนเหล็ก ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้ได้มีการพันหม้อแปลงขึ้นมาครั้งหนึ่งแล้ว โดยการประมาณค่า B ขึ้นมาค่าหนึ่ง แล้วนำหม้อแปลงที่ได้ไปทำการทดสอบ เพื่อหาคุณลักษณะ DC Magnetizing curve ของแกนเหล็ก เพื่อจะได้ทราบค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่นำมาใช้ในการออกแบบครั้งนี้

ความยาวเฉลี่ยของแกนเหล็ก จะคิดตามการเคลื่อนตัวของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลในแกนเหล็ก ดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กส่วนใหญ่จะคล่องแกน a กับแกน b เส้นแรงแม่เหล็กที่คล่องแกน c นั้นจะน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างแกน l กับแกน c มีช่องว่างอากาศมากทำให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้อย่าง ดังนั้นความยาวเฉลี่ยของแกนเหล็ก คือ

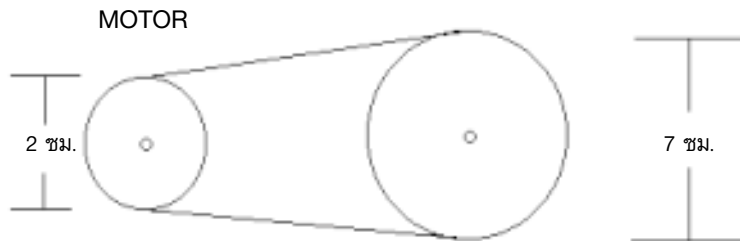
$$= [(2 \times 0.19) + (2 \times 0.114)] / 2 + [(2 \times 0.114) + (2 \times 0.038)] / 2$$

$$= 456 \times 10^{-3} \text{ ม.}$$



รูปที่ 7 แกนเหล็กที่นำมาใช้งาน

3.2 การเลือกขนาดสแตปป์มอเตอร์



รูปที่ 8 การเลือกขนาดสแตปป์มอเตอร์

อัตราทด = (เส้นผ่านศูนย์กลางกลางตาม / เส้นผ่านศูนย์กลางซ้าย)

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางตาม = 2 ซม.

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางซ้าย = 7 ซม.

∴ อัตราทด = 0.29

การคำนวณหาค่าแรงบิด

แรงขับ / แรงตาม = อัตราทด

จากแรงตาม = 3 กก.

∴ แรงขับ = 0.86 กก.

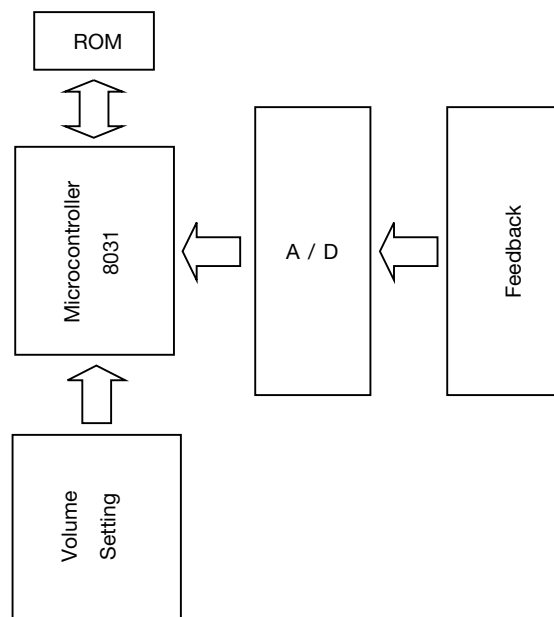
จะได้แรงบิด = แรงขับ / รัศมีตาม

= 0.86 กก.ซม.

∴ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์จะต้องมีค่ามากกว่า 0.86 กก.ซม.

3.3 การออกแบบภาคเปรียบเทียบระดับแรงดันโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์

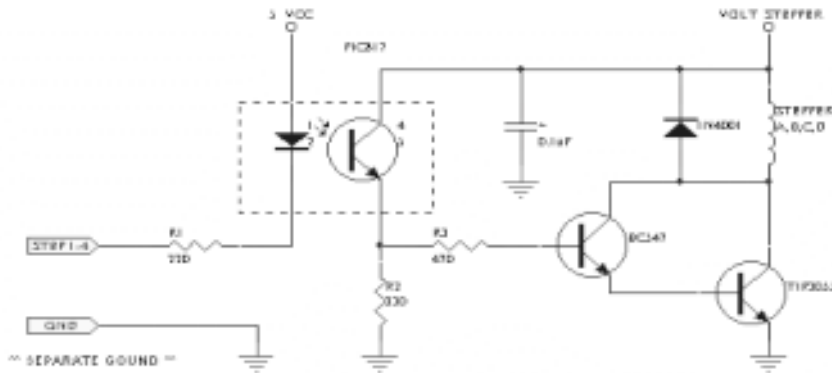
เป็นภาคที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า ระหว่างค่าแรงดันอ้างอิงกับค่าที่ได้จากภาคป้อนกลับ (feedback control system) โดยภาคนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031



รูปที่ 9 บล็อกไดอะแกรมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4 การออกแบบวงจร Drive Stepping Motor

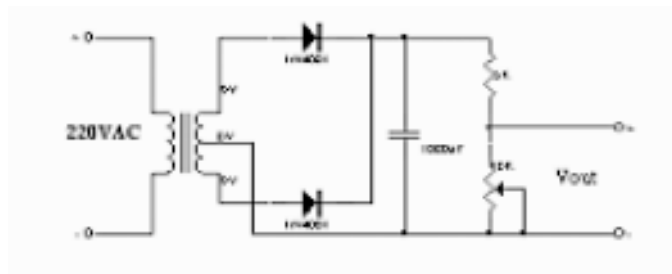
เป็นวงจรกระตุ้นเฟสของสเตปป์มอเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ TIP3055 เพื่อจ่ายแรงดันต้นกำลัง ผ่านไปยังขดลวดแต่ละเฟสทั้ง 4 เฟสของมอเตอร์โดยอาศัยสัญญาณพัลส์ผ่านพอร์ต P1 ของ Microcontroller ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวทำงานเพื่อขับขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์ ในรูปที่ 8 เป็นวงจรขับสเตปป์ต่อเฟส



รูปที่ 10 วงจรภาคขับสแต็ปมอเตอร์ต่อเฟส

3.5 วงจรภาคป้อนกลับ

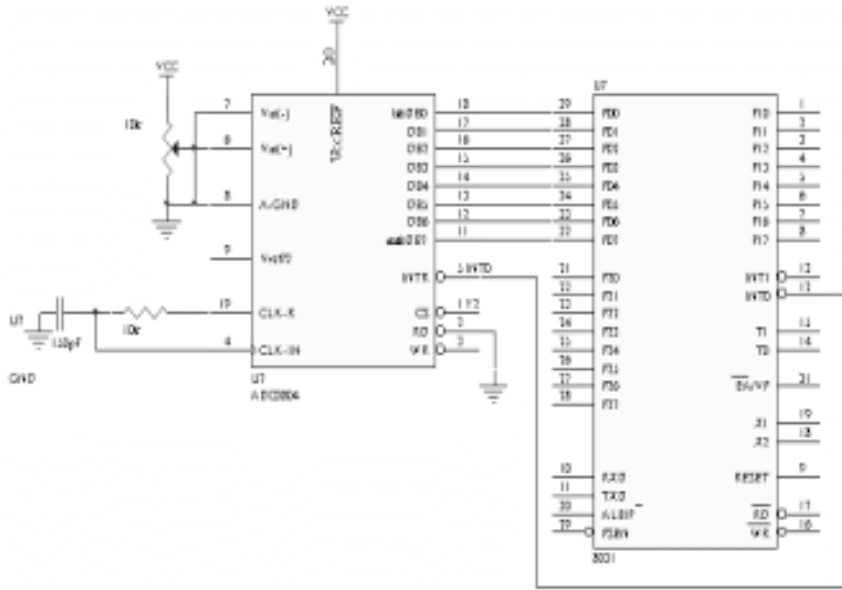
ในภาคป้อนกลับจะนำเอาสัญญาณจากเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดัน แล้วผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสตรงแล้วต่อไปยังวงจรแปลงอะนาลอกเป็นดิจิตอล



รูปที่ 11 วงจรภาคป้อนกลับ

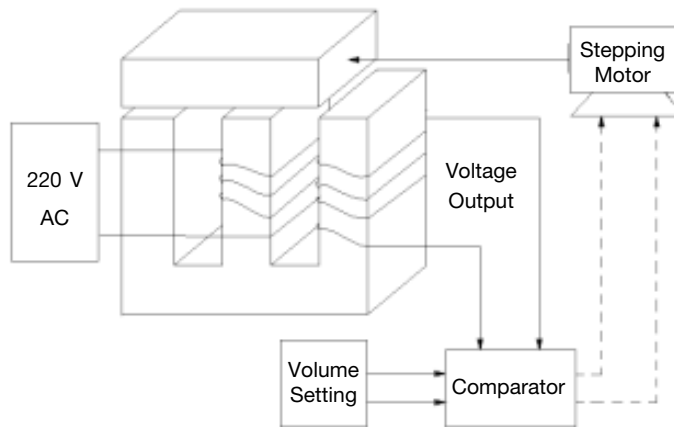
3.6 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

ในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์นั้นต้องแปลงสัญญาณให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-5 โวลต์ ก่อนจึงจะสามารถติดกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ในโครงการนี้เลือกใช้ไอซี A/D 0804 เป็นไอซี A/D ขนาด 8 บิตซึ่งต่อเข้ากับพอร์ท P1 ของไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งเป็นแบบ 8 บิต [3]



รูปที่ 12 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

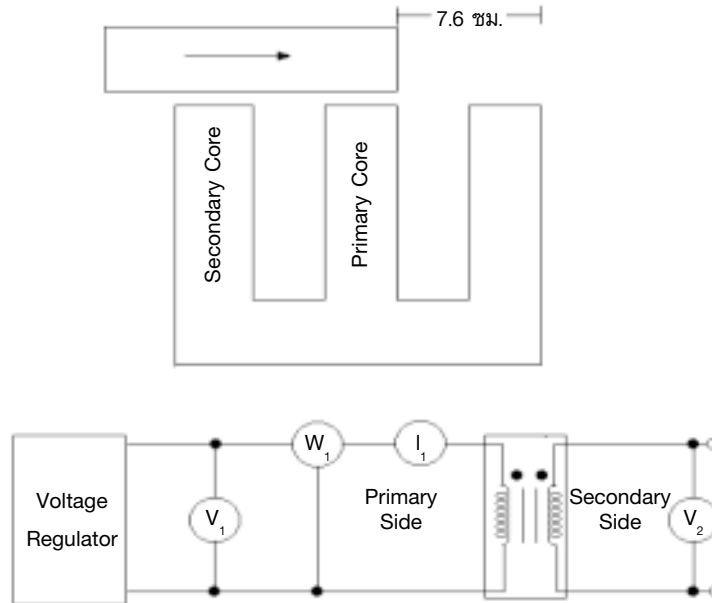
3.7 โครงสร้างการทำงานของเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 13 โครงสร้างการทำงานของเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

4. การทดสอบ

4.1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 14 วงจรสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันทางด้านทุติยภูมิ

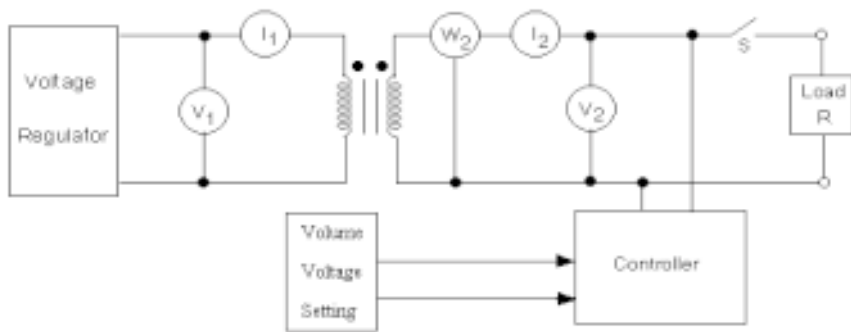
ระยะแกน I (ซม.)	V_1 (V)	I_1 (A)	W_1 (W)	V_2 (V)	ϕ_{11} (mWb)	ϕ_{21} (mWb)
0	220	0.93	65	280	3.347	3.100
1	220	0.94	65	279	3.347	3.100
2	220	0.94	61	279	3.347	3.100
3	220	0.87	44	279	3.347	3.100
4	220	0.83	39	271	3.347	3.000
5	220	0.80	38	192	3.347	2.120
6	220	0.79	36	136	3.347	1.500
7	220	0.89	46	83	3.347	0.920
8	220	1.17	74	23	3.347	0.254
9	220	1.20	81	16	3.347	0.180
10	220	1.02	62	12	3.347	0.136
11	220	1.01	66	11	3.347	0.122

$$\phi_{11} = V_1 / (4.44 \times f N_1)$$

$$\phi_{21} = V_2 / (4.44 \times f N_2)$$

กำหนดให้ ϕ_{11} เป็นเส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องขดลวดปฐมภูมิ ที่เกิดจากกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ
 ϕ_{21} เป็นเส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องขดลวดทุติยภูมิ ที่เกิดจากกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ
 $N_1 / N_2 = 296 / 407$ Turn

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพและโวลท์เตจเร็กกูเลชันของเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 15 วงจรสำหรับทดสอบเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

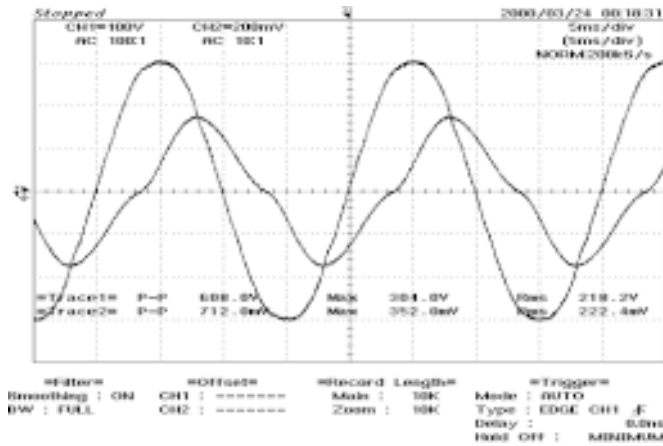
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องจ่ายแรงดันควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

โวลต์ตลอดไฟ (จำนวนดวง)	V ₁ (V)	I ₁ (A)	P ₁ (W)	Cosθ ₁	V ₂ (V)	I ₂ (A)	P ₂ (W)	Cosθ ₂	V _d (V)	% VR	% η
0	220	0.67	30	0.21	220	0.00	0.00	-	29.0	-	-
1	220	0.94	117	0.56	219	0.42	90	0.99	30.3	0.45	76.9
2	220	1.50	230	0.70	219	0.83	182	0.99	31.4	0.45	79.1
3	220	2.13	350	0.74	218	1.25	270	1.00	31.0	0.90	77.1
4	220	2.70	450	0.77	218	1.68	360	1.00	32.0	0.90	80.0
5	220	3.34	580	0.80	218	2.09	460	1.00	32.0	0.90	79.3
6	220	4.05	710	0.79	219	2.52	550	1.00	32.0	0.45	77.4
7	220	4.61	830	0.81	219	3.03	661	1.00	33.0	0.45	79.6

- V₁ คือ แรงดันอินพุทของหม้อแปลง, I₁ คือ กระแสไฟฟ้าอินพุทของหม้อแปลง
- P₁ คือ กำลังไฟฟ้าอินพุทของหม้อแปลง, Cosθ₁ คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุทของหม้อแปลง
- V₂ คือ แรงดันเอาต์พุทของหม้อแปลง, I₂ คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุทของหม้อแปลง
- P₂ คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุทของหม้อแปลง, Cosθ₂ คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์เอาต์พุทของหม้อแปลง

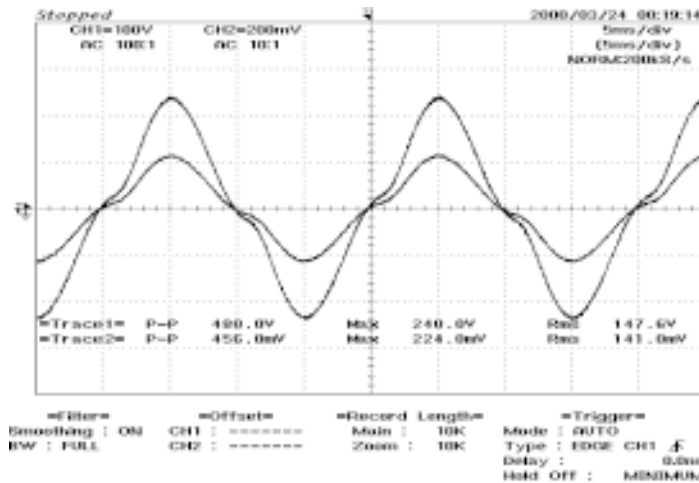
V_d คือ แรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลง, % VR คือ เปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเร็กกูเลชัน
 % η คือ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

4.3 รูปสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุทของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลดตลอดไฟ



รูปที่ 16 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุท

4.4 รูปสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุทของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลดตลอดไฟ



รูปที่ 17 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุท

5. สรุป

การนำหม้อแปลงไฟฟ้ามาใช้เป็นเครื่องปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่นจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ จะเห็นได้จาก Variac หรือ Auto Transformer หรือจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องขดลวดทุติยภูมิทำให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเปลี่ยนแปลง ดังเช่นหม้อแปลงไฟฟ้าในบทความนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ

$$e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt}$$

โดยที่ $\lambda = N\phi$ นั่นคือ เมื่อจำนวนรอบหรือเส้นแรงแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่คดลวด (λ) เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะมีเปลี่ยนแปลงด้วย

จากการจัดทำบทความนี้จะทำให้เห็นว่า เครื่องปรับระดับแรงดันที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวปรับระดับแรงดันไม่จำเป็นจะต้องใช้การปรับตั้งจำนวนรอบของขดลวดเพียงอย่างเดียว อาจจะใช้ตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงค่าสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย

เพราะฉะนั้นแหล่งจ่ายแรงดันแบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้น สามารถคงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ และโวลต์เตจเร็กกูเลชันมีค่าต่ำกว่า 5% เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้มากหรือน้อยนั้น ทำได้โดยการเลื่อนแกน I ของหม้อแปลงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาค่า Short Turn ของวาริแอก ซึ่งจะช่วยให้เกิดความสะดวกและความปลอดภัยในการนำไปใช้งานมากกว่าวาริแอก นั่นคือ สามารถจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ละเอียดกว่าและยังสามารถนำไปใช้งาน ณ ที่ๆ มีก๊าซได้ดี จึงก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจหม้อแปลงไฟฟ้าแบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ศิริโชค ปรีดโตทกพร และภาคีวิศวกรกรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. ประวัติ ช่วยทวี และคณะ, 2541, *โครงการวิศวกรรม แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบอัตโนมัติ*.
2. A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, Jr. and S. D. Umans, *Electric Machinery*, McGraw-Hill Book Company.
3. I. S. Mackenzic, 1997, *The 8051 Microcontroller*, Prentice Hall, pp. 300-333.
4. M. S. Sarma, *Electric Machines*, West Publishing Company, Minneapolis/ST.PAUL New York, Los Ageeles, San Francisco.

