

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4 หม้อแปลงไฟฟ้า

หัวข้อเนื้อหา

1. บทนำ
2. หม้อแปลงไฟฟ้า
3. ชนิดหม้อแปลงไฟฟ้า
4. โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า
5. การคำนวณค่าของหม้อแปลงไฟฟ้า
6. การตรวจสอบข้อผิดพลาดหม้อแปลงไฟฟ้า
7. ข้อควรระวังในการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่ออธิบายทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้าได้
2. เพื่ออธิบายชนิดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า
3. เพื่อบอกถึงการประยุกต์ใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าได้
4. เพื่อคำนวณค่าแรงดันและกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้าได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
 - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
 - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
 - 1.3 วิธีสอนแบบปฏิบัติการ
 - 1.4 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
 - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า
 - 2.2 ทำการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้า

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. กระดานไวท์บอร์ด
3. โปรเจ็คเตอร์
4. บอร์ดทดลอง แหล่งจ่ายไฟ ตัวต้านทาน และหม้อแปลงไฟฟ้า

การวัดผลและการประเมินผล

1. การเข้าเรียน
2. การบ้าน
3. สอบกลางภาค
4. สอบปลายภาค

บทที่ 4

หม้อแปลงไฟฟ้า

(Transformers)

4.1 บทนำ

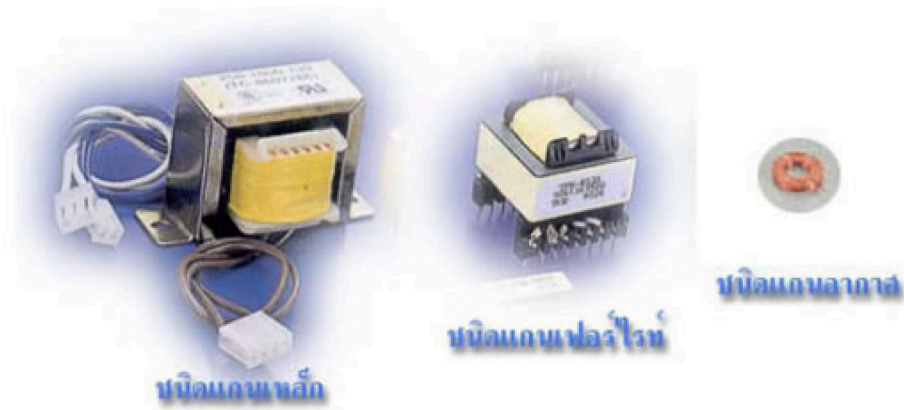
บทนี้ได้กล่าวถึงหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำหลักการเหนี่ยวนำฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำมาสร้างเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า แกนที่ใช้สร้างหม้อแปลงไฟฟ้ามี 3 แบบ ได้แก่ แกนเหล็ก แกนเฟอร์ไรต์ และแกนอากาศ ซึ่งแต่ละแบบจะเหมาะกับแรงดันที่มีความถี่ไม่เท่ากัน หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มและลดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เหมาะสมตามที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกออกแบบ บทนี้ยังได้กล่าวถึงการคำนวณค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ

4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) คืออุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้มีขนาดแรงดันตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าไปใช้ในงานหลายด้าน ทั้งในระบบการจ่ายไฟฟ้า หรือเป็นอุปกรณ์ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้กันตามบ้านเรือน ไม่ว่าจะเป็น โทรทัศน์ เครื่องขยายเสียง วิทยุเทป หรือ อะแดปเตอร์แปลงไฟเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ จึงนับว่ามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก

ระบบจ่ายไฟฟ้าจะมีการแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้มีขนาดสูงมาก ๆ เช่น ให้มีขนาดเป็น 48 kV หรือ 24 kV เพื่อลดขนาดของลวดตัวนำ ที่ต้องใช้ในการจ่ายไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล ๆ เมื่อถึงปลายทางก่อนที่จะจ่ายไฟฟ้าไปให้แก่บ้านเรือนต่างๆ ก็จะแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงเป็น 220 Vac เพื่อลดอันตรายที่จะเกิดแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า และเมื่อต้องการใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ระดับแรงดันต่ำ ๆ เช่น 6 V หรือ 9 V ก็จะต้องมีการแปลงแรงดันไฟฟ้า ตามบ้านจาก 220 V เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการ

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก



ภาพที่ 4.1 ลักษณะหม้อแปลงไฟฟ้า

4.3 ชนิดของหม้อแปลง

4.3.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก

หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก (Iron core transformer) หม้อแปลงแบบนี้จะใช้ แผ่นเหล็กอ่อน หลายๆแผ่นส่วนใหญ่จะใช้รูปทรงตัว E กับ ตัว I ประกอบกันเป็นแกนซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในงานทั่วไปที่มีความถี่ไม่สูงนัก เช่น หม้อแปลงในงานส่งกำลังไฟฟ้า หรือหม้อแปลงแปลง แรงดันไฟฟ้าตามบ้าน เป็นแรงดันต่ำๆตามที่ต้องการ หม้อแปลงชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

4.3.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์

หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core transformer) หม้อแปลงชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในงานที่มีความถี่สูง เช่น เครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ หรือในวงจรสวิตซิ่ง เพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดแกนเหล็กได้

4.3.3 หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ

หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (Air core transformer) หม้อแปลงชนิดนี้จะใช้ในงานความถี่สูงมาก ๆ เช่น เครื่องรับ เครื่องส่งวิทยุ ความถี่สูง เพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดอื่นได้เนื่องจากจะเกิดความสูญเสียอย่างมาก



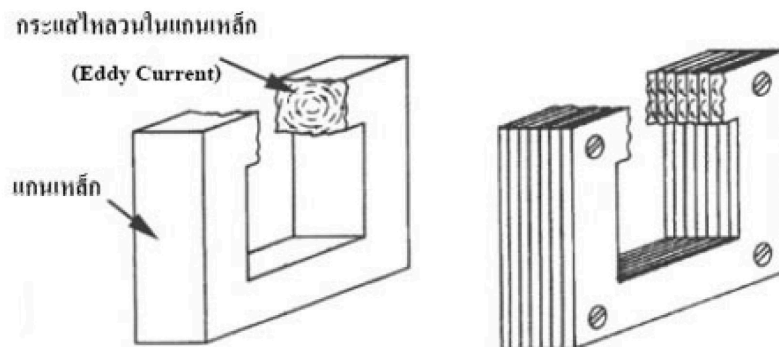
ภาพที่ 4.2 สัญลักษณ์หม้อแปลง

4.4 โครงสร้างของหม้อแปลง

โครงสร้างภายในของหม้อแปลงจะประกอบด้วยขดลวดจะพันรอบฟอรมพลาสติก โดยมีกระดาษฉนวนกันระหว่างแต่ละขดที่พัน และมีแกนเหล็กแผ่นบางๆที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ โดยส่วนหนึ่งจะเป็นลักษณะคล้ายตัว E และอีกส่วนจะมีลักษณะคล้ายตัว I สวมสลักกันบนฟอรม ที่ต้องใช้แกนที่เป็นแผ่นเหล็กอ่อนแทนที่จะใช้เป็นเหล็กตัน ก็เพื่อลดปัญหาของกระแสไหลวน (Eddy current) ในแกนเหล็กซึ่งจะเป็นตัวลดประสิทธิภาพของหม้อแปลง



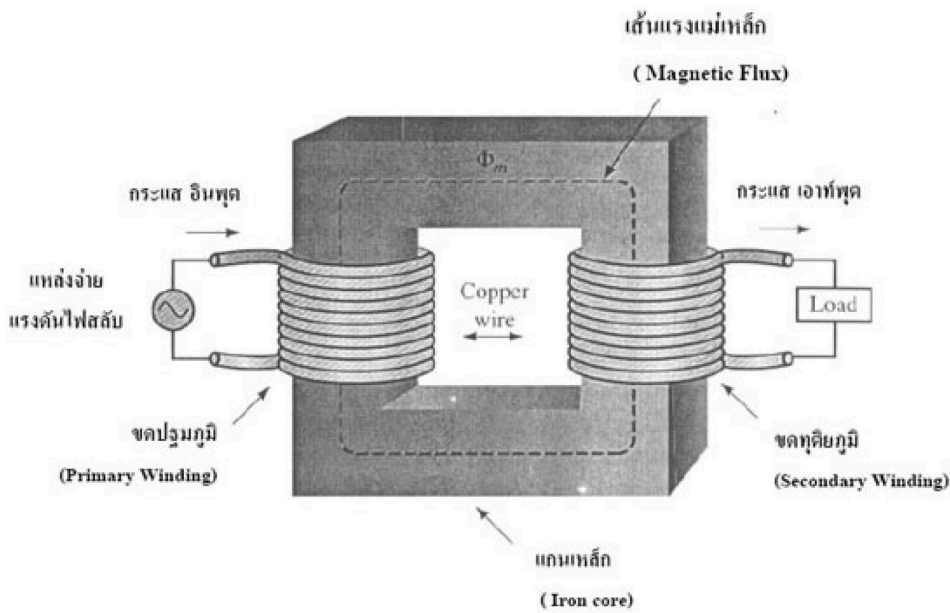
ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของหม้อแปลง



ภาพที่ 4.4 กระแสไหลวนในแกนเหล็ก

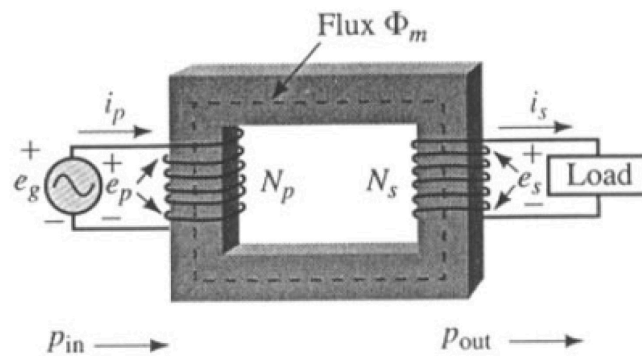
4.5 การคำนวณค่าในวงจรหม้อแปลง

ภาพที่ 4.5 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย ขดลวด 2 ขดพันรอบแกนที่เป็นสื่อกลางของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งอาจเป็นแกนเหล็ก แกนเฟอร์ไรต์ หรือแกนอากาศ ขดลวดที่เราจ่ายไฟเข้าไปเราเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary winding) และ ขดลวดอีกขดที่ต่อเข้ากับโหลด เราเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary winding)



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดปฐมภูมิ หม้อแปลงจะเกิดสนามแม่เหล็กที่ไหลตามเข็ม และทวนเข็มนาฬิกา สนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ไปตัดกับขดทุติยภูมิ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิที่ต่อกับโหลด โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและจำนวนรอบของขดลวด



ภาพที่ 4.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

การคำนวณค่าในวงจรหม้อแปลง จะอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น เราจะลองมาคำนวณค่าในวงจรหม้อแปลง โดยอาศัยสมการดังกล่าว

$$V_S = N_S \times \Delta\phi \quad (4.1)$$

$$V_P = N_P \times \Delta\phi \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2 เขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad (4.3)$$

และสมการที่ 4.3 แรงดันทุติยภูมิ (V_S) มีค่าเท่ากับ

$$V_S = \frac{N_S}{N_P} V_P \quad (4.4)$$

เมื่อ V_P คือ แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิ (โวลต์)

V_S คือ แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ (โวลต์)

N_P คือ แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิ (รอบ)

N_S คือ แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ (รอบ)

$\Delta\phi$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก

จากสมการ (4.4) จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิ จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ และขดปฐมภูมิ โดยถ้าเราพันขดลวดทุติยภูมิ ให้มีจำนวนรอบมากกว่าขดปฐมภูมิ แรงดันไฟฟ้าขาออกทางขดทุติยภูมิ ก็จะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้า ที่จ่ายเข้ามาทางขดปฐมภูมิ เราเรียกว่าเป็น หม้อแปลงชนิดแปลงแรงดันขึ้น (Step up transformer) แต่ถ้าเราพันขดทุติยภูมิ ให้มีจำนวนรอบน้อยกว่าขดปฐมภูมิ แรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิก็จะต่ำกว่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาทางขดปฐมภูมิ เราเรียกว่าเป็น หม้อแปลงชนิดแปลงแรงดันลง (Step down transformer)

สมมติให้ไม่เกิดการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_{OUT}) เท่ากับกำลังไฟฟ้าอินพุต (P_{IN}) ซึ่งเขียนสมการได้ว่า

$$I_S V_S = I_P V_P \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.6 เขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{V_P}{V_S} \quad (4.6)$$

สมการที่ 4.7 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

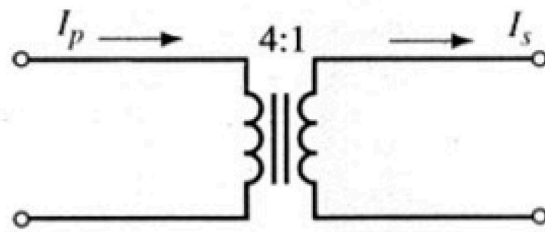
$$I_S = \frac{N_P}{N_S} I_P \quad (4.7)$$

เมื่อ I_P คือ กระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ (แอมแปร์)

I_S คือ กระแสที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิ (แอมแปร์)

จากสมการ (4.7) เราสามารถตีความหมายได้ดังนี้ คือ ถ้าโหลดมีการดึงกระแสทางขดทุติยภูมิมากขึ้น กระแสไฟฟ้าทางขดปฐมภูมิก็จะสูงขึ้นด้วย กรณีนี้เป็นหม้อแปลงชนิดแปลงขึ้น คือ $N_s > N_p$ กระแสทางขดทุติยภูมิ (I_s) ก็จะน้อยกว่าค่ากระแสทางขดปฐมภูมิ (I_p) ซึ่งหมายถึง ขนาดของลวดที่ใช้พันขดทุติยภูมิจะมีขนาดเล็กกว่า ขนาดของขดปฐมภูมิ กรณีที่เป็นหม้อแปลงชนิดแปลงลง คือ $N_s < N_p$ ค่าของกระแสทางขดทุติยภูมิ (I_s) ก็จะสูงกว่ากระแสทางขดปฐมภูมิ (I_p) ซึ่งหมายถึง ขนาดของลวดที่ใช้พันขดทุติยภูมิจะมีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของขดปฐมภูมิ

ตัวอย่างที่ 4.1 ภาพที่ 4.7 แสดงหม้อแปลงมี $N_p : N_s$ เท่ากับ 4 : 1 กำหนดให้แรงดันอินพุตเท่ากับ 220 Vac และกระแสอินพุตเท่ากับ 500 mA จงหาค่าแรงดัน และกระแสเอาต์พุต



ภาพที่ 4.7 หม้อแปลงไฟฟ้าจำนวนรอบ $N_p : N_s$

วิธีทำ แรงดันทุติยภูมิ (V_s) มีค่าเท่ากับ

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p \quad (4.8)$$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ 4.8 ได้ว่า

$$V_s = \frac{1}{4} \times 220V_{ac} \quad (4.9)$$

$$V_s = 55V_{ac}$$

กระแสทุติยภูมิ (I_s) มีค่าเท่ากับ

$$I_s = \frac{N_p}{N_s} I_p \quad (4.10)$$

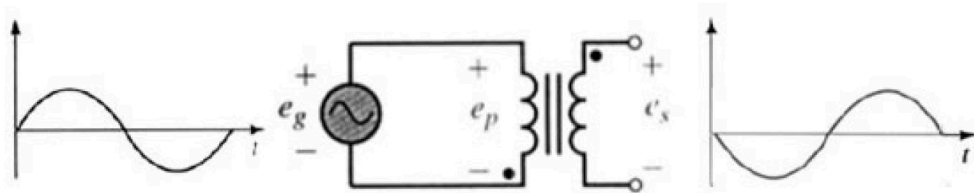
แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการ

$$I_s = \frac{4}{1} \times 0.5A \quad (4.11)$$

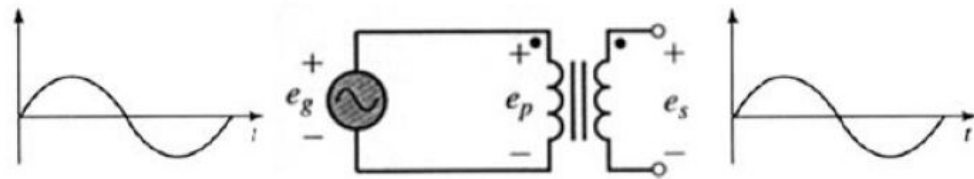
$$I_s = 2A$$

4.6 การตรวจสอบขั้วหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้านอกจากจะใช้ประโยชน์ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าแล้ว ยังใช้ในการสลับเฟส สัญญาณเพื่อใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆด้วย ลักษณะของแรงดันขาออกจะกลับเฟส กับสัญญาณขาเข้าหรือไม่ ขึ้นอยู่กับต่อขั้วของหม้อแปลง โดยจะใช้จุดเป็นตัวบ่งชี้ว่าหม้อแปลง ว่าเป็นด้านหัวสายหรือปลายสาย และสามารถใช้ต่อให้สัญญาณขาออก (Output signal) มีลักษณะกลับเฟส (Out of phase) หรือ ตามเฟส (In phase) กับสัญญาณขาเข้า (Input signal) ภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตกลับเฟสกับอินพุต ด้วยการพิจารณาจุดบอกรหัสของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิตรงกันข้ามกับด้านปฐมภูมิ เนื่องจากจุดบอกรหัสของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิด้านเดียวกันกับด้านปฐมภูมิ สัญญาณเอาต์พุตจึงมีเฟสเดียวกับอินพุตดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.8 สัญญาณเอาต์พุตกลับเฟสกับอินพุต

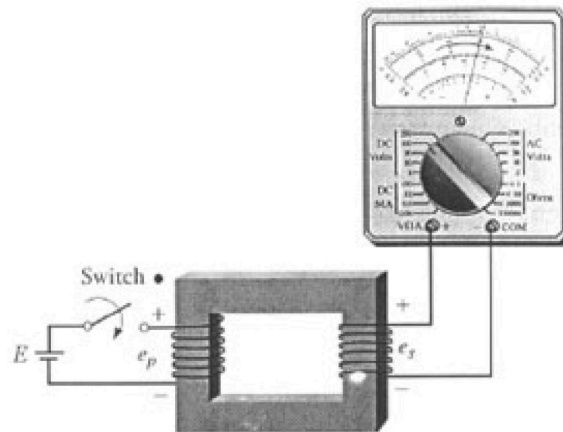


ภาพที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเดียวกับอินพุต

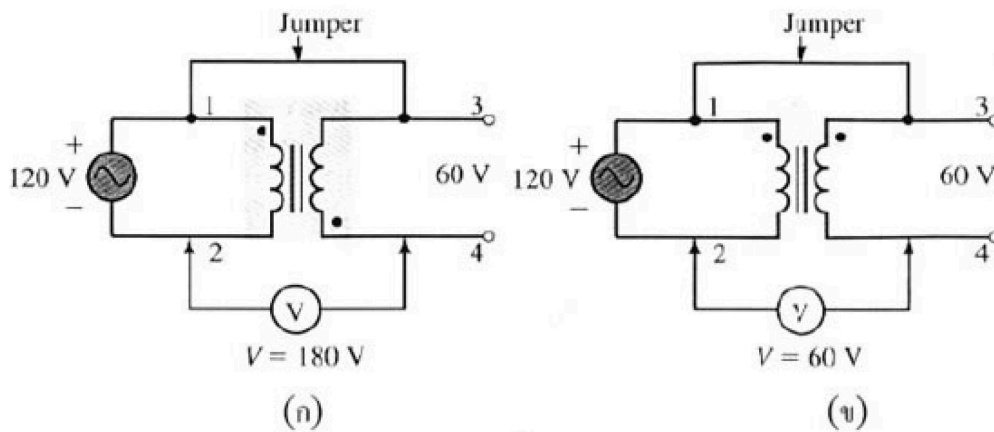
การหาขั้วหม้อแปลงสามารถทำได้ด้วยการใช้มิเตอร์ตั้งย่านวัตต์ซีโวลต์มิเตอร์ต่อที่ขดทุติยภูมิ แล้วนำแบตเตอรี่มาเชื่อมที่ขดปฐมภูมิดังแสดงในภาพที่ 4.10 ถ้าเข็มของมิเตอร์ตีขึ้น แสดงว่าเป็นขั้วแบบเฟสเดียวกัน โดยปลายสายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ต่อกับขั้วบวกของมิเตอร์ และปลายสายด้านปฐมภูมิ ที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ จะเป็นขั้วที่มีเฟส ตรงกัน สามารถกำหนดจุดที่ปลายสายทั้งสอง แต่ถ้าเข็มตีกลับ แสดงว่าขั้วจะเป็นตรงข้าม

การวัดหาขั้วหม้อแปลงสามารถทำได้อีกวิธีด้วยใช้ไฟสลับ โดยต่อขั้วหม้อแปลงด้านหนึ่งเข้าด้วยกันแล้วใช้ แล้วป้อน แรงดันแหล่งจ่ายไฟสลับ เข้าที่ขั้วด้านขาเข้าของหม้อแปลง จากนั้นใช้มัลติมิเตอร์ตั้งย่านวัตต์เอซีโวลต์มิเตอร์แล้ววัดแรงดันดังแสดงในภาพที่ 4.11

ถ้าค่าแรงดันที่อ่านได้มีค่าสูงกว่าแรงดันทางขาเข้า โดยมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก แสดงว่าขั้วที่ต่อมีลักษณะกลับขั้วกันดังแสดงในภาพที่ 4.11 (ก) แต่ถ้าค่าแรงดันที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าแรงดันทางขาเข้า โดยมีค่าเท่ากับผลลบระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก แสดงว่าขั้วที่ต่อมีลักษณะตรงกันดังแสดงในภาพที่ 4.11 (ข)



ภาพที่ 4.10 การทดลองหาขั้วหม้อแปลงด้วยแรงดันดีซี



ภาพที่ 4.11 การทดลองหาขั้วหม้อแปลงด้วยแรงดันเอซี

4.7 ข้อควรระวังในการใช้งาน

4.7.1 ควรเลือกชนิดหม้อแปลงให้เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้งาน

4.7.2 การใช้งานหม้อแปลงควรคำนึงถึงอัตราการทนกำลังของหม้อแปลงด้วย มิฉะนั้นจะทำให้หม้อแปลงไหม้ได้ เนื่องจากมีกระแสไหลสูงเกินไป

4.7.3 หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกับไฟสลับ จึงไม่ควรป้อนไฟตรงเข้าที่ขั้วหม้อแปลงเพราะอาจจะทำให้หม้อแปลงไหม้ได้

4.7.4 ถ้าต่อใช้งานหม้อแปลงในลักษณะ ออโต้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Auto transformer) ควรระวังถูกไฟฟ้าดูดด้วย เนื่องจากไม่มีการแยกการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟบ้าน เหมือนกับหม้อแปลงที่ใช้งานในลักษณะปกติ

4.7.5 หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ใช้งานจึงควรระวังไม่นำไปใกล้อุปกรณ์ที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก เช่น แผ่นดิสก์ เทปเสียง หรือ จอภาพโทรทัศน์

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร และทำหน้าที่อะไร
2. กำหนดหม้อแปลงมี $N_p : N_s$ เท่ากับ 11 : 1 กำหนดให้แรงดันอินพุตเท่ากับ 220 Vac และกระแสอินพุตเท่ากับ 100 mA จงหาค่าแรงดัน และกระแสเอาต์พุต
3. กำหนดหม้อแปลงมี $N_p : N_s$ เท่ากับ 1 : 5 กำหนดให้แรงดันอินพุตเท่ากับ 12 Vac และกระแสอินพุตเท่ากับ 1 A จงหาค่าแรงดัน และกระแสเอาต์พุต
4. กำหนดแรงดัน $V_p : V_s$ เท่ากับ 220 : 24 กำหนดให้กระแสอินพุตเท่ากับ 100 mA และจำนวนรอบ N_p เท่ากับ 5 รอบ จงหาค่า $N_p : N_s$ และกระแสเอาต์พุต