

การออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้หนึ่งเฟสที่พิกัดกำลัง 7 kVA

Design and Construction of 1-Phase Auto Transformer at Rated Power 7 kVA

พูนศรี วรรณการ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 โทรศัพท์ : 0-2913-2424 E-mail: v_poonsri555@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้ที่พิกัดการจ่ายกำลังไม่เกิน 7 กิโลวัตต์แอมป์ โดยใช้วิธีผลคูณพื้นที่ในการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้หนึ่งเฟส และมีการคำนวณหาขนาดแกนเหล็กและจำนวนรอบของตัวนำที่ใช้พันบนแกนเหล็ก ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าที่ออกแบบนี้สามารถทำงานจ่ายโหลดที่แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตสูงสุด 250 โวลต์ ที่พิกัดการจ่ายกำลังไม่เกิน 7 kVA ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้ , ผลคูณพื้นที่

Abstract

This article presents the design and construction of 1-phase auto transformer at rated power 7 kVA by using the area product in the design and construction of 1-phase auto transformer and was calculated the core size and number turn of winding. The 1-phase auto transformer was proposed to can be work on load at the maximum output voltage 250 volt at rated power 7 kVA which appears satisfactory.

Keywords: auto transformer , area product

1 บทนำ

เนื่องด้วยในห้วงปฏิบัติการของสถาบันการศึกษาที่มีการเรียนการสอนที่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับค่าได้ที่มีขนาดการจ่ายกำลังสูงๆ เช่นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับเลื่อนแท็ปหรือแบบอโต้จำเป็นต้องสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิตในราคาที่แพง และเสียเวลาในการสั่งซื้อนาน ดังนั้นหากมีการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ทางด้านไฟฟ้า ก็จะทำให้ประหยัดงบประมาณในการสั่งซื้อ โดยในการออกแบบนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอโต้ 1 เฟสจะมีความเหมาะสมในการใช้งาน เพราะมีพิถกการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ใช้งานง่าย ต้นทุนสร้างต่ำกว่าหม้อแปลงแกนเหล็กแบบพันด้วยขดลวด 2 ชุดแยกกัน และมีน้ำหนักเบากว่าถ้าเปรียบเทียบกับพิถกการจ่ายกำลังเท่ากัน

2. วิธีการออกแบบ

2.1 หาพิถกกำลังของหม้อแปลงทางด้านเอาต์พุต

กำหนดให้แรงดันทางด้านอินพุต = 220 โวลต์

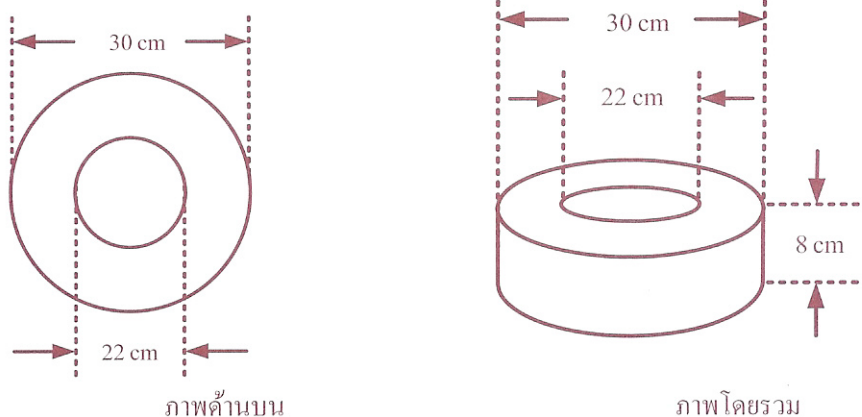
กำหนดให้แรงดันทางด้านเอาต์พุต = 0 - 250 โวลต์

กำหนดพิถกกระแสทางด้านเอาต์พุต = 28 แอมป์

ดังนั้นพิถกกำลังทางด้านเอาต์พุต = $250 \text{ V} \times 28 \text{ A} = 7 \text{ kVA}$

2.2 กำหนดขนาดแกนเหล็กที่ใช้พันขดลวด

ขนาดแกนเหล็กที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น พื้นที่ในการใช้งาน พิกัดการจ่ายกำลัง เป็นต้น โดยสมมุติแกนเหล็กมีขนาดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดแกนเหล็กชนิด Electrical iron ที่ใช้พันขดลวด

2.3 การขึ้นรูปแกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอโต้ 1 เฟส

หาความยาวแผ่นเหล็กที่ใช้ โดยกำหนดแผ่นเหล็กหนา 0.27 mm กว้าง 80 mm

หาความยาวของแผ่นเหล็กที่ม้วนขึ้นรูปทำแกนเหล็กหม้อแปลงแบบอโต้ จากสมการที่ (1)

$$\sum_{n=1}^{n=k} l_n = n \times \pi \times (D + nT) \quad (1)$$

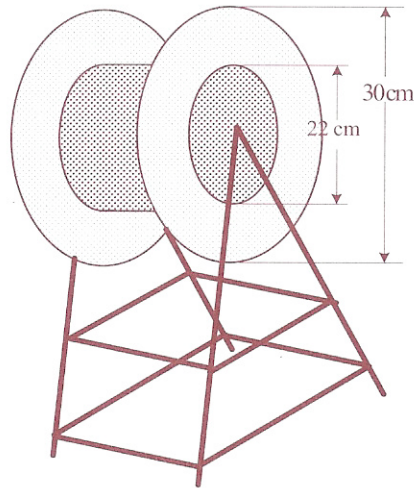
เมื่อ

I_n คือ ความยาวทั้งหมดของแผ่นเหล็กที่ม้วน

n คือ จำนวนชั้นในการพัน

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของแกนในเท่ากับ 220 mm

T คือ ความหนาของแผ่นเหล็กที่ม้วนเท่ากับ 0.27 mm



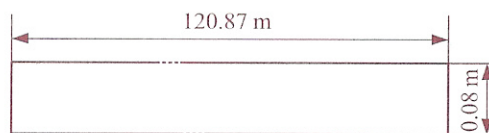
รูปที่ 2 แสดงแบบในการขึ้นรูปแกนเหล็ก

กำหนดความหนาของแผ่นเหล็กที่ม้วนซ้อนรวมกันมีค่าเท่ากับ 40 mm และแผ่นเหล็กมีความหนาเท่ากับ 0.27 mm
 คำนวณหาจำนวนชั้นของแผ่นเหล็กได้ดังนี้

$$n = \frac{40 \text{ mm}}{0.27 \text{ mm}} = 148 \text{ layer}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} I_n &= 148 \times \pi \times (220 + (148 \times 0.27)) \\ &= 120.87 \text{ m} \end{aligned}$$



รูปที่ 3 แสดงขนาดแผ่นเหล็กที่ใช้ขึ้นรูปแกนเหล็กหม้อแปลงอโต้

2.4 หาความต้านทานแม่เหล็กในแกนเหล็ก

จากสมการที่ (2) หาความต้านทานแม่เหล็ก [1] ในวงจรแม่เหล็ก ได้ดังนี้

$$\mathfrak{R} = \frac{l_{C(Ave)}}{\mu_o \mu_c A} \quad (2)$$

เมื่อ

- R คือ ความต้านทานแม่เหล็กในแกนเหล็ก
- $l_{C(Ave)}$ คือ ความยาวเฉลี่ยของวงจรมแม่เหล็ก
- μ_0 คือ ความซึมซาบสัมพัทธ์ในแกนนอกอากาศ ($4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)
- μ_C คือ ความซึมซาบสัมพัทธ์ในแกนเหล็ก (Electrical iron = 2200)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

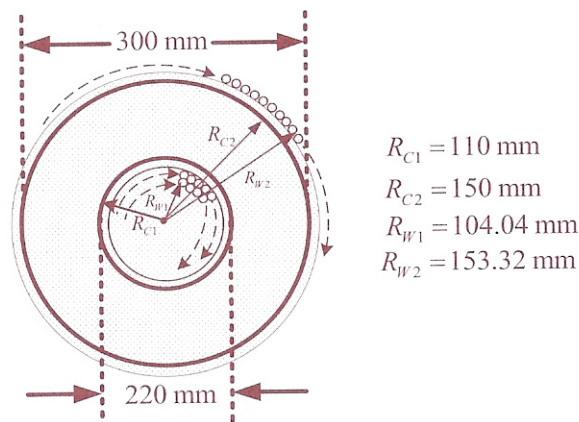
จากรูปที่ 1 แทนค่า

$$\begin{aligned} l_{C(Ave)} &= 2\pi r_{C(Ave)} \\ &= 2 \times 3.14 \times 0.13 \text{ m} \\ &= 0.8168 \text{ m} \end{aligned}$$

หาความต้านทานแม่เหล็กได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R &= \frac{l_{C(Ave)}}{(\mu_0 \times \mu_r)(A_C)} \\ &= \frac{0.8168 \text{ m}}{(4 \times \pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \times 2,200)(0.04 \text{ m} \times 0.08 \text{ m})} \\ &= 92,327.95 \text{ A.t / Wb} \end{aligned}$$

2.5 หาจำนวนรอบสูงสุดที่สามารถพันตัวนำลงได้



รูปที่ 4 การวางลวดตัวนำลงบนแกนเหล็ก

รายละเอียดของลวดตัวนำที่ใช้พันแกนเหล็ก

- ใช้ลวดตัวนำทองแดงเบอร์ SWG 12
- ทนกระแสได้ 30 A
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง = 2.64 mm
- พื้นที่หน้าตัดลวดตัวนำ = 3.296 mm²
- น้ำหนักลวด = 2.965 kg / 100 m
- ความต้านทาน = 0.335 Ω .kg / 100 m

หาจำนวนตัวนำสูงสุดที่พันรอบแกนเหล็กด้านนอกได้ดังนี้

$$N_{\max} = \frac{2\pi r_{\text{out(max)}}}{\phi_{\text{wire}}} = \frac{2 \times \pi \times 153.32 \text{ mm}}{2.64 \text{ mm}} = 365 \text{ Turn}$$

หมายเหตุ : เมื่อให้รัศมีจากแกนกลางถึงด้านนอกแกนรวมกับความหนาฉนวนและรัศมี

$$\text{ลวดตัวนำเท่ากับ } 115 + 2 + \left(\frac{2.64}{2}\right) = 153.32 \text{ มิลลิเมตร}$$

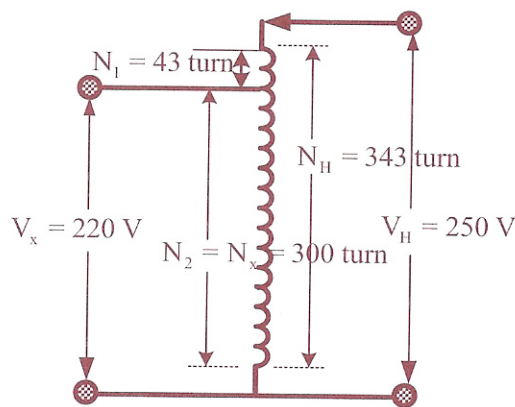
2.6 หาจำนวนรอบที่พันจริง

- เลือกพันขดลวดทางด้านอินพุตจำนวน 300 รอบ
 จำนวนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อรอบเท่ากับ

$$E_{\text{ind/turn}} = \frac{220 \text{ V}}{300 \text{ turn}} = 0.73 \frac{\text{V}}{\text{turn}}$$

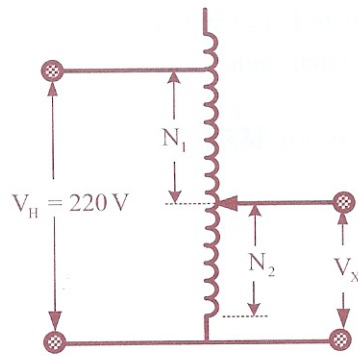
- หาจำนวนรอบสูงสุดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ

$$T = \frac{250 \text{ V}}{0.73 \frac{\text{V}}{\text{turn}}} = 343 \text{ turn}$$



รูปที่ 5 จำนวนรอบการพันทางด้านอินพุตและเอาต์พุต

ผลการคำนวณหาแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยน Tap



รูปที่ 6 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงแบบอโต้ที่ใช้คำนวณ

จากสมการ

$$\frac{V_H}{V_X} = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

ดังนั้นหาแรงดันค้ำด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงอโต้ [2] ได้ดังนี้

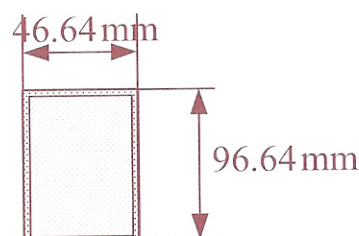
$$V_X = V_H \times \frac{N_2}{N_1 + N_2} \quad (3)$$

ตารางที่ 1 สรุปผลการคำนวณหาแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยน Tap ครั้งละ 60 รอบทางด้านเอาต์พุต

N_1 (turn)	300	240	180	120	60	0
N_2 (turn)	0	60	120	180	240	300
V_H (volt)	220	220	220	220	220	220
V_X (volt)	0	44	88	132	176	220

คำนวณหาความต้านทานลวดทางด้าน $V_H = 220$ V

- หาความยาวลวดต่อรอบที่ใช้พันด้าน $V_H = 220$ V



รูปที่ 7 ภาพตัดแกนเหล็กรวมฉนวนของหม้อแปลงอโต้ที่เผื่อฉนวนข้างละ 2 mm รวมรัศมีลวดตัวนำ 1.32 mm โดยด้านบนและล่างเผื่อฉนวนด้านละ 5 mm ด้วย

จากรูปที่ 7 หาความยาวรอบวงด้านนอกได้ดังนี้

$$I_{\text{outside}} = (2 \times 46.64) + (2 \times 96.64) \\ = 286.56 \text{ mm / turn}$$

- หาความยาวลวดทั้งหมดที่ใช้พันด้าน $V_H = 220 \text{ V}$ มี 300 รอบ ได้ดังนี้

$$I_{\text{total wire}} = 286.56 \frac{\text{mm}}{\text{turn}} \times 300 \text{ turn} \\ = 86 \text{ m}$$

จากข้อมูลลวดตัวนำทองแดง SWG เบอร์ 12

- น้ำหนักลวด = 2.965 kg / 100 m

- ความต้านทาน = 0.335 Ω .kg / 100 m

ถ้าลวดตัวนำทองแดงยาว 68.4 เมตร จะมีค่าความต้านทาน

$$R = 0.335 \frac{\Omega \cdot \text{Kg}}{100 \text{ m}} \times 86 \text{ m} \times 2.965 \frac{\text{Kg}}{100 \text{ m}} \times 86 \text{ m} \\ = 0.73 \Omega$$

คำนวณหากระแสอินพุตทางด้าน $V_H = 220 \text{ V}$ ขณะไม่มีภาระ

เมื่อ

$$R = 0.73 \Omega$$

และ

$$L = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \\ = \frac{(300 \text{ turn})^2}{92,328 \text{ A.t / Wb}} \\ = 0.975 \text{ H}$$

ดังนั้น

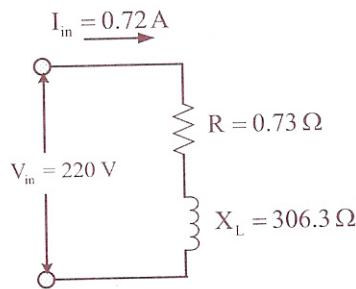
$$X_L = 2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 0.975 \text{ H} \\ = 306.3 \Omega$$

คำนวณกระแสอินพุต ได้ดังนี้

$$I_{\text{in}} = \frac{V_{\text{in}}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \\ = \frac{220}{\sqrt{0.73^2 + 306.3^2}} = 0.72 \text{ A}$$

คำนวณหาเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลในแกนเหล็กได้จากสมการที่ 4

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{NI}{\mathcal{R}} \\ &= \frac{300 \text{ turn} \times 0.72 \text{ A}}{92,327.95 \text{ A.t / Wb}} \\ &= 2.34 \text{ mWb}\end{aligned}$$



รูปที่ 8 วงจรสมมูลทางด้านอินพุตของหม้อแปลงออโต้ขณะยังไม่จ่ายโหลด

3. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้ที่พิถีพิถันการจ่ายกำลังไม่เกิน 7 กิโลวัตต์แอมป์ โดยใช้วิธีผลคูณพื้นที่ในการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้หนึ่งเฟส โดยแสดงให้เห็นในสมการว่าในการเลือกชนิดแกนเหล็ก ขนาดแกนเหล็กขนาดลวดตัวนำ และจำนวนรอบตัวนำที่พันบนแกนเหล็ก จะมีผลต่อค่าความต้านทานแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลในแกนเหล็กเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้กระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้ 1 เฟสที่นำเสนอในบทความนี้เปลี่ยนแปลงได้

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์บุญชู สมบุญเพ็ญ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง และคำชี้แนะในการค้นคว้าข้อมูลในการเขียนบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chapman, Stephen J, "Electric Machinery Fundamentals", Mc Graw-Hill, Inc., 1985.
- [2] Mulukutla S. Sarma, "Electric Machines", West Publishing Company, 1994.