บทที่ 4

วิธีออกแบบหม้อแปลง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ

a = ความกว้างของขาแกนเหล็ก

A_{col} = พื้นที่หน้าตัดจริงของขดปฐมภูมิ

A_{Fe} = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

A_g = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์

b = ความหนาของแกนเหล็ก

B_c = ความหนาแน่นฟลักซ์ในแกนเหล็ก

C = ตัวเก็บประจุไฟฟ้า, ตัวคงที่สัมพันธ์

δ_o = ความหนาแนนกระแสของขดลวด

E_1 = แรงดันชักนำชุดอินพุท

E_{21} = แรงดันชักนำชุดหักล้างแรงดัน

E_{22} = แรงดันชักนำชุดเอ้าท์พุท

E_c = แรงดันชักนำชุดรักษาสภาพแรงดัน

f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

I_c = กระแสของขดรักษาสภาพแรงดัน

K = อัตราส่วนของฟลักซ์ที่ผ่านแกนเอ้าท์พุทต่อช่องอากาศ

K_f = สแตคกิ้ง แฟคเตอร์

l = ความยาวเฉลี่ยทางเดินแม่เหล็กครบรอบ

l_1 = ความยาวเฉลี่ยทางเดินแม่เหล็กด้านอินพุทวัดจากกึ่งกลางแกนแบ่งฟลักซ์

l_2 = ความยาวเฉลี่ยทางเดินแม่เหล็กด้านเอ้าท์พุทวัดจากกึ่งกลางแกนแบ่งฟลักซ์

l_g = ระยะห่างของอากาศ

M_c = ค่ามิวชวลอินดักแตนซ์ของขดรักษาสภาพแรงดัน

μ_{max} = ค่าสูงสุดของความซึมซาบแม่เหล็กในแกน

μ_o = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กในอากาศ

N_1 = รอบของขดอินพุท

N_{21} = รอบของขดหักล้างแรงดัน

N_{22} = รอบของขดเอ้าท์พุท

N_c = รอบของขดรักษาสภาพแรงดัน

R_2 = รีลัคแทนซ์ของแกนด้านเอ้าท์พุท

R_g = รีลัคแทนซ์ของช่องอากาศ

S = กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ

V_o = แรงดันเอ้าท์พุท

X_c = ค่าคาปาซิทีฟ รีแอคแตนซ์

X_{Lc} = ค่าอินดัคทีฟ รีแอคแตนส์ของขดรักษาสภาพแรงดัน

w = ความเร็วเชิงมุม

ϕ_c = ฟลักซ์แม่เหล็กในแกนด้านเอ้าท์พุท

การออกแบบหม้อแปลงแรงดันคงที่ ได้นำเอาผลสรุปจากการวิเคราะห์ตัวแปรในบทที่ 3 ใช้เป็นแนวทางการออกแบบ โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. เลือกชนิดของแกนเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลง และนำมาทดสอบหา B - H, μ - H curve

2. <u>คำนวณพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก</u>[1] ตามสมการ 4.1

$$A_{Fe} = C\sqrt{\frac{S}{f}} \qquad (4.1)$$

เมื่อ

$$C = \sqrt{\frac{1}{4.44\, B_c \delta_o}} \cdot \sqrt{\frac{A_{Fe}}{A_{coi}}}$$

3. <u>กำหนดอัตราส่วนของแกนเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลง</u>

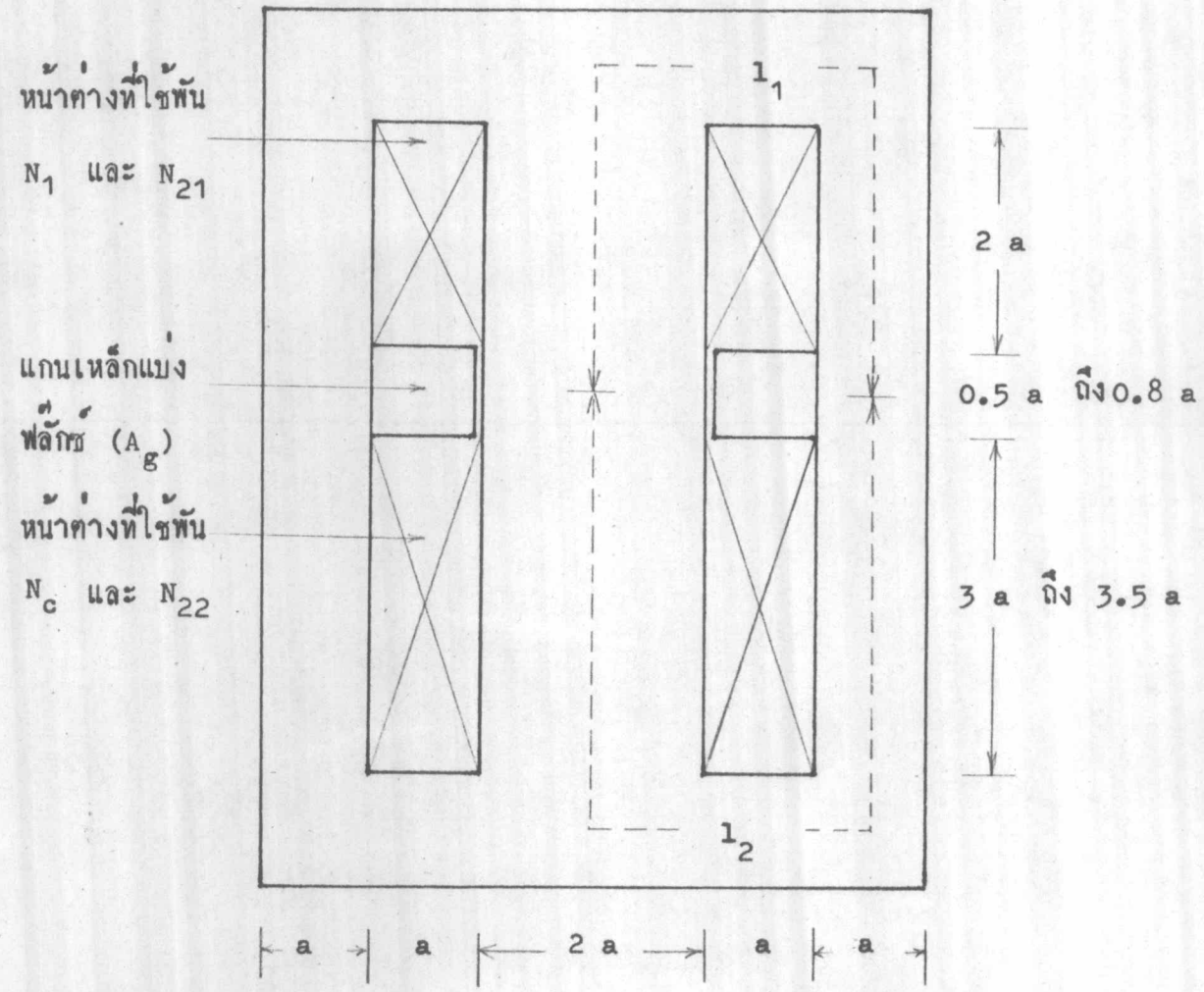
ตามปกติแกนมาตรฐานแบบเชลล์ (shell type) จะมีขนาดความกว้างของขาแกนเหล็กสัมพันธ์กับความกว้างของหน้าต่าง (window) โดยมีอัตราส่วนะะทั้งนี้เป็นการคำนึงถึงผลทางเศรษฐกิจ สำหรับสัดส่วนความยาวที่กำหนดขึ้นดังรูป 4.1 ได้จากข้อมูลการทดลอง ขณะที่ให้ความหนาแน่นกระแส (δ_o) ในขดลวดทุกชุด = 300 A/cm^2 ในการออกแบบที่ดี ควรให้ δ_o ของขด N_c ต่ำกว่าชุดอื่น เพราะกระแส I_c ขณะต่อโหลดและไม่ต่อโหลด มีค่าเกือบคงที่ จึงทำให้ความร้อนสะสมเกิดจากขดลวดชุดนี้มากกว่าชุดอื่น นอกจากเหตุผลดังกล่าวแล้ว จำนวนรอบ N_c ที่สูงยังมีผลดีต่อแรงดันเรกกูเลชั่น (voltage regulation) ของหม้อแปลงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดความยาวของแกนช่วงนี้จึงให้มีค่าตั้งแต่ 3 a ถึง 3.5 a สำหรับความหนาของแกน (b) กำหนดให้อัตราส่วน b/2a มีค่าประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

$$b = \frac{A_{Fe}}{2a\, K_f}$$

ค่าของตัวคูณสแตคกิ้ง (stacking factor) K_f ขึ้นอยู่กับความหนาของเหล็กแผ่นที่ใช้ดูจากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวคูณสแตคกิ้ง(2)

ความหนาของเหล็กแผ่น (นิ้ว)	ตัวคูณสแตคกิ้ง
0.025	0.95
0.020	0.94
0.014	0.91
0.007	0.80
0.004	0.70
0.002	0.60



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนของแกนเหล็ก

I15492370

4. พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์

เนื่องจากอัตราการแบ่งฟลักซ์ผ่านแกนเหล็กที่สอดคั่น ขึ้นอยู่กับค่ารีลัคแตนซ์ของช่องอากาศเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กนั้น มีผลต่อฟลักซ์ที่ผ่านน้อยมาก เพราะค่ารีลัคแตนซ์ของแกนเหล็กต่ำกว่าช่องอากาศมาก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด ควรให้ความกว้างของแกนเหล็กที่ใช้สอดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 a ถึง 0.8 a ก็เป็นการเพียงพอ เพราะจะช่วยให้ขนาดของหม้อแปลงไม่ยาวเกินไป

5. หาระยะห่างของช่องอากาศ (l_g)

สาเหตุที่แกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ต้องมีช่องอากาศ ก็เพราะต้องการให้ฟลักซ์แม่เหล็กรั่วผ่านไปยังแกนนี้ได้น้อยกว่าการเดินตามทางแม่เหล็ก ถ้าฟลักซ์รั่วผ่านได้มากจะทำให้แรงดันเรกกูเลชั่นต่ำ ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลง เพื่อให้แรงดันเรกกูเลชั่นไม่ต่ำกว่า 5 % จะยอมให้ฟลักซ์ผ่านช่องอากาศได้ไม่เกิน 0.5 % เมื่อเทียบกับฟลักซ์ที่ผ่านแกนทางด้านเอ้าท์พุทที่ฟลักซ์เริ่มอิ่มตัว หรือแทนค่าฟลักซ์ที่ค่า μ_{max} ดังนั้นการหาระยะห่างของช่องอากาศจึงคำนวณได้จากค่ารีลัคแตนซ์ของแกนเหล็กด้านเอ้าท์พุท (R_2) เทียบกับค่ารีลัคแตนซ์ของช่องอากาศ (R_g) ดังสมการที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu_{max} A_{Fe}} \qquad (4.2)$$

$$R_g = K R_2 \qquad (4.3)$$

เมื่อ K = อัตราส่วนของฟลักซ์ที่ผ่านแกนเอ้าท์พุทต่อช่องอากาศ

$$l_g = R_g \mu_o A_g \qquad (4.4)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. <u>หารอบของขดอินพุท</u> (N_1)

จำนวนรอบที่จะต้องพันทางด้านอินพุท คำนวณได้จากสมการ 4.5

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44\ f\ B_c\ A_{Fe}} \qquad (4.5)$$

ในการเลือกความหนาแน่นฟลักซ์ B_c และแรงดันอินพุท E_1 ควรมีค่าขีดจำกัด ทั้งนี้เพราะหม้อแปลงแรงดันคงที่นี้ ถ้าให้ B_c อิ่มตัวที่ E_1 ค่าต่ำ ๆ จะทำให้ได้ผ่านแรงดันคงที่กว้างกว่าเมื่อกำหนด E_1 ค่าสูง แต่ถ้ากำหนด E_1 ต่ำมากเกินไปจะต้องใช้กระแสกระตุ้น (exciting current) สูงมาก ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงต่ำ ดังนั้นการเลือกค่า E_1 ควรอยู่ระหว่าง 80 ถึง 110 โวลท์ เมื่อพิกัดแรงดันอินพุท = 220 โวลท์ และให้ใช้ค่า B_c ที่ μ_{max}

7. <u>กำหนดรอบของขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) และขดเอ้าท์พุท (N_{22})</u>

ขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) ที่มีคาปาซิเตอร์ (C) ต่อคร่อมอยู่จะทำหน้าที่เก็บและจ่ายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนวงจร L - C ทั่วไป กระแส I_c ที่ไหลผ่านขด N_c จะทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ_c) ให้กับขดเอ้าท์พุท (N_{22}) ด้วย ทำให้แรงดันชักนำในขดเอ้าท์พุท (E_{22}) แปรตามสมการ 4.6

$$E_{22} = E_c \frac{N_{22}}{N_c} \qquad (4.6)$$

จากสมการ 4.6 จะเห็นว่า แรงดันเอ้าท์พุท (E_{22}) มีความสัมพันธ์กับจำนวนรอบ N_{22} และ N_c กล่าวคือ ถ้าให้ N_{22} มีรอบสูง อิมพีแดนซ์ (impedance) ของเอ้าท์พุทจะสูง ทำให้แรงดันเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) ของหม้อแปลงไม่ดี แต่ถ้าเลือก N_{22} ต่ำจะต้องเลือก N_c สูง ซึ่ง E_c ก็จะสูงตาม ทำให้ยุ่งยากในการหาค่า C ที่ต้องทนแรงดันสูง เพราะไม่มีขายทั่วไป สำหรับการออกแบบที่ต้องการให้แรงดันเรกกูเลชั่น 2 % ดังที่ทำการวิจัยนี้ เป็นสิ่ง

ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้ C ที่ทนแรงดันสูงมาก

สำหรับหม้อแปลงที่ต้องการให้แรงดันเรกกูเลชั่นอยู่ระหว่าง 2 - 5 % ควรกำหนดให้ N_c สูงกว่า N_1 ประมาณ 4 - 5 เท่า และรอบ N_{22} ควรให้มีค่าประมาณ $N_1 \pm 10\ \%$ ซึ่งค่า $\pm$ นี้ ขึ้นอยู่กับการเลือก N_c ถ้าเลือก N_c สูงก็ควรเลือก N_{22} มีค่าน้อยกว่า N_1 หรือใช้ค่าลบ และในทำนองกลับกันจะต้องใช้ค่าบวก ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถคำนวณค่าที่แน่นอนลงไปได้ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทดลอง (trial) บ้างเล็กน้อยจึงจะได้ค่าที่เหมาะสมจริง ๆ

อย่างไรก็ตามค่ามิวชวลอินดัคแตนซ์ (M_c) ของขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) มีความสัมพันธ์อยู่กับค่า C ที่จะนำไปต่อ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่ามิวชวลอินดัคแตนซ์ (M_c) และค่าอินดัคทีพ รีแอคแตนซ์ (X_{Lc}) ก่อนที่จะกำหนดพิกัดของคาปาซิเตอร์ (C) ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4.7 และ 4.8

$$M_c = \frac{N_1 N_c \mu_{max.} A_{Fe}}{l} = \frac{(4 - 5) N_1^2 \mu_{max.} A_{Fe}}{l} \qquad (4.7)$$

เมื่อ $l = l_1 + l_2$

และ $X_{Lc} = w M_c \qquad (4.8)$

8. <u>เลือกค่าคาปาซิเตอร์</u> (C)

คาปาซิเตอร์ (C) ที่นำมาต่อกับขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) จะเกิดรีโซแนนซ์ขึ้น 2 ครั้ง ขณะแปรแรงดันอินพุทจาก 0 ถึงค่าสูงสุด การเกิดรีโซแนนซ์ครั้งแรก กระแสอินพุท (I_{in}) จะมีค่าสูงสุด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นเร็วหมายถึงฟลักซ์ในวงจรถึงจุดอิ่มตัวเร็ว จะทำให้ย่านแรงดันคงที่กว้าง แต่รีโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นครั้งที่ 2 จะทำให้กระแสอินพุทต่ำที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะดีที่สุดที่จุดนี้ ดังนั้น ในการออกแบบจึงควรเลือกจุดนี้ให้เกิดขึ้นตรงกับค่าพิกัดแรงดันอินพุทด้วย จากเหตุผลดังกล่าว แสดงว่าคาปาซิเตอร์ที่จะนำมาต่อ ต้องมีขีดจำกัด จากการทดลองพบว่า การ

การที่จะให้รีโซแนนซ์ครั้งที่ 2 เกิดใกล้กับค่าพิกัดแรงดันอินพุท ควรให้ X_{Lc} มากกว่า X_c ที่จะนำมาต่อประมาณ 8 ถึง 10 เท่า เมื่อเลือกค่า X_c โดยประมาณได้แล้ว นำไปหาค่า C ตามสมการ 4.9

$$C = \frac{1}{w X_c} \qquad (4.9)$$

นำค่า C ที่คำนวณได้ไปเทียบกับค่าใกล้เคียงที่มีการผลิตขาย สำหรับพิกัดแรงดันของ C ที่ต้องใช้จะขึ้นอยู่กับ E_c อาจหาได้จากผลคูณของแรงดันอินพุทที่แปรสูงสุดกับอัตราส่วน N_c/N_1

9. <u>คำนวณรอบชุดหักล้างแรงดัน</u> (N_{21})

ในทางปฏิบัติชุดหักล้างแรงดัน จะคำนวณหารอบในภายหลังจากพล็อตกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ E_{22} แล้ว เพราะชุดนี้ทำหน้าที่หักล้างแรงดันส่วนเกินออกจากขดเอ้าท์พุท ถ้าให้ V_o คือแรงดันเอ้าท์พุทที่ต้องการ ดังนั้นแรงดันที่จะต้องใช้หักล้างหาได้จากสมการ 4.10

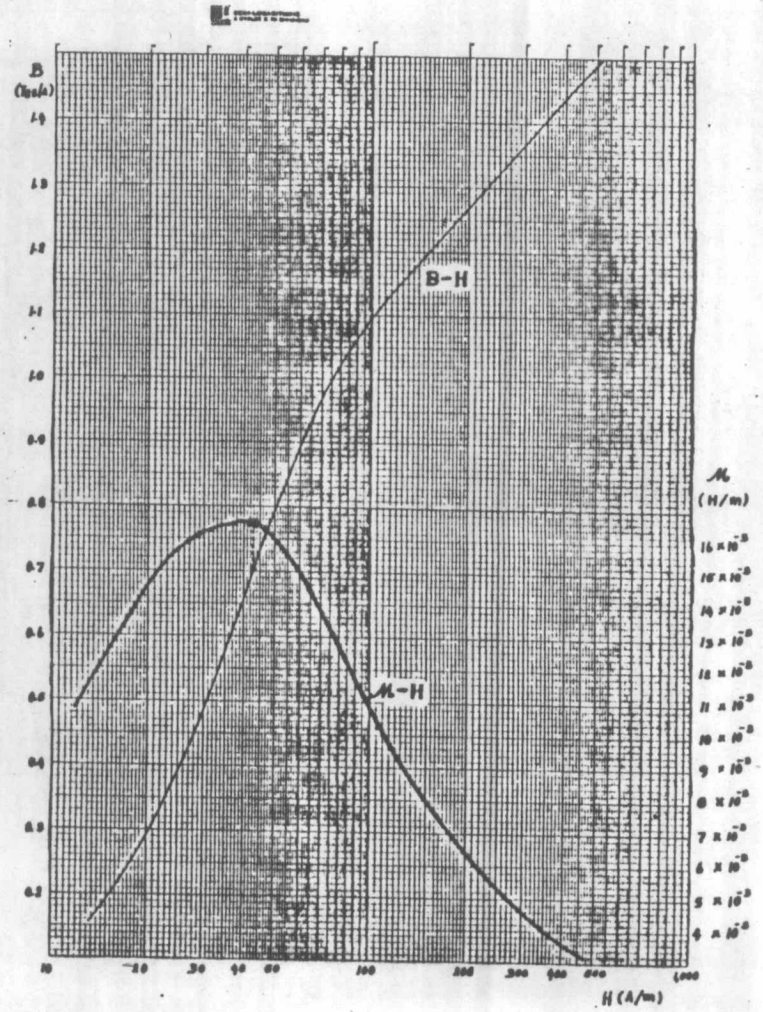
$$E_{21} = E_{22} - V_o \qquad (4.10)$$

เนื่องจากแรงดัน E_{21} แปรตามแรงดันอินพุท E_1 จะสามารถหา N_{21} จากสมการ 4.11

$$N_{21} = \frac{E_{21}}{E_1} \cdot N_1 \qquad (4.11)$$

ลำดับขั้นการออกแบบหม้อแปลงแรงดันคงที่ ขนาด 1 เควีเอ. 220 โวลต์ 50 เฮิทซ์

1. ทดสอบแกนเหล็ก (ในกรณีที่ไม่มี B - H curve ของแกนเหล็ก) ที่จะออกแบบหม้อแปลง เพื่อหา B - H และ μ - H curve ในที่นี้ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2



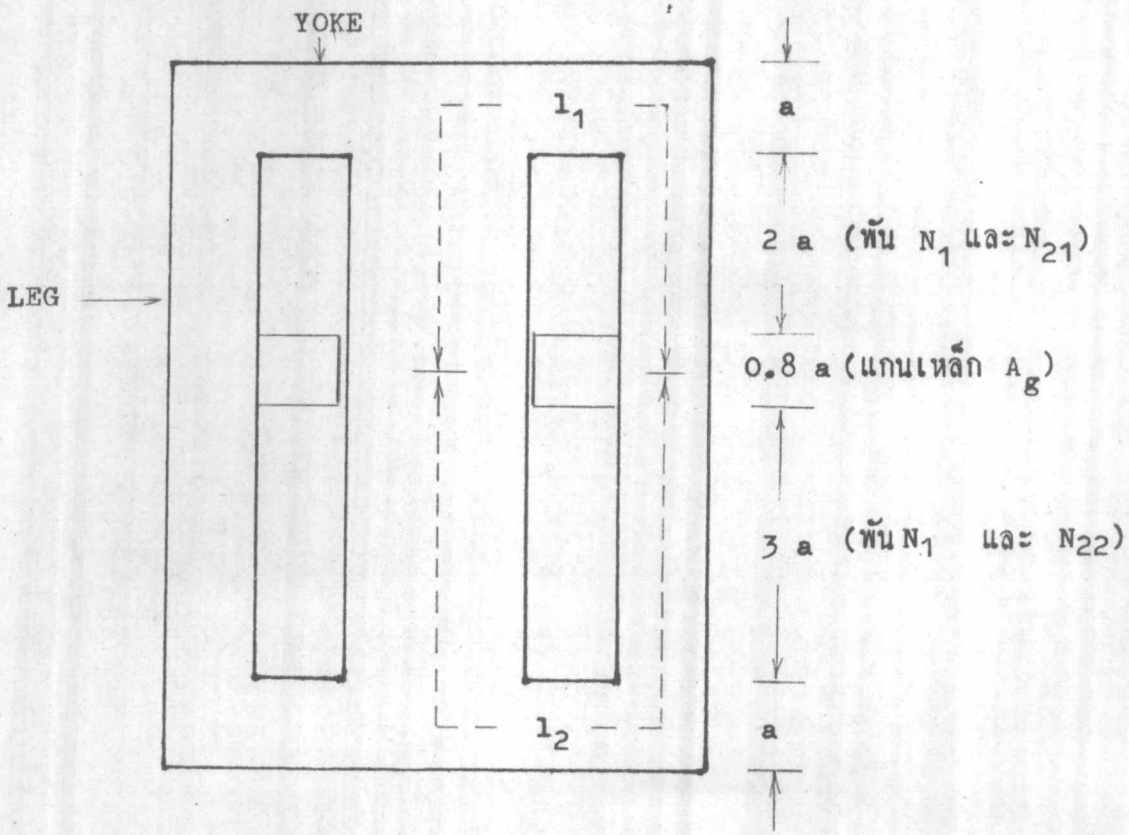
รูปที่ 4.2 B - H และ μ - H curve ของแกนเหล็กที่ได้จากการทดสอบ

2. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ตามสมการ 4.1 โดยใช้ค่า B_c (ที่ μ_{max}) = 0.702 T , δ_o = 300 A/cm^2,
A_{Fe} / A_{coi} = 5.5 (ในที่นี้พื้นที่ของแกนเหล็กต่างกับพื้นที่ของขดอินพุทประมาณ 5.5 เท่า)

$$C = \sqrt{\frac{1}{4.44\ B_c\ \delta_o}} \cdot \sqrt{\frac{A_{Fe}}{A_{coi}}} = 7.66 \times 10^{-4}$$

$$A_{Fe} = C\sqrt{\frac{S}{f}} = 34.25 \times 10^{-4} \quad \text{ม}^2$$

3. กำหนดอัตราส่วนของแกนเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลง ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 อัตราส่วนแกนเหล็กที่ออกแบบ

เนื่องจากความหนาของแกนเหล็ก (b) มีอัตราส่วน b/2a ประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า จึงเลือกแกนเหล็กที่มีความกว้าง (a) = 2.5 ซ.ม. แต่เหล็กแผ่นที่ใช้มีความหนา 0.015 นิ้ว ดังนั้นตัวคูณสแตคกิ้ง (K_f) = 0.91

หา ความหนาของแกนเหล็ก $b = \frac{A_{Fe}}{2a\ K_f} = 7.52 \times 10^{-2}$ ม.

ความยาวเฉลี่ยของขา (leg) $= \frac{(5.8 + 7.8)}{2} a = 17$ ซ.ม.

ความยาวเฉลี่ยของโยค (Yoke) $= 2.5\ a = 6.25$ ซ.ม.

ความยาวเฉลี่ย $l_1 = 2.5\ a + 2(2.9\ a) = 20.75$ ซ.ม.

ความยาวเฉลี่ย $l_2 = 2.5\ a + 2(3.9\ a) = 25.75$ ซ.ม.

ความยาวเฉลี่ยทางเดินแม่เหล็กครบรอบ $l = l_1 + l_2 = 46.5$ ซ.ม.

4. คำนวณระยะห่างของช่องอากาศ (lg)

กำหนดให้ฟลักซ์จากอินพุทผ่านช่องอากาศได้ไม่เกิน 0.5 % ขณะที่ฟลักซ์เริ่มอิ่มตัว (หรือที่ค่า $\mu_{max.}$) ดังนั้นฟลักซ์ที่เหลือ 99.5 % จะเดินผ่านแกนเหล็กด้านเอ้าท์พุท จากกราฟค่า $\mu_{max.} = 16.439 \times 10^{-3}$

ต้องคำนวณหาค่ารีลัคแตนซ์ของแกนเหล็กด้านเอ้าท์พุทก่อน

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu_{max.} A_{Fe}} = 4,573.42$$

หาอัตราส่วนของฟลักซ์ที่ผ่านแกนเอ้าท์พุทต่อของอากาศ

$$K = \frac{99.5}{0.5} = 199$$

ดังนั้นค่ารีลัคแตนซ์ของช่องอากาศจะมีค่า

$$R_g = K R_2 = 910,110.58$$

คำนวณหาระยะห่างของช่องอากาศได้จากสูตร

$$l_g = R_g \mu_o A_g$$

$$= R_g \mu_o 0.8 A_{Fe}$$

$$= 2.35 \times 10^{-3} \quad \text{ม.}$$

ค่าที่ใช้จริง

$$l_g = 2.2 \quad \text{ม.ม.}$$

5. คำนวณหาจำนวนรอบของขดอินพุท (N_1)

ออกแบบให้ฟลักเริ่มอิ่มตัว (ที่ μ_{max}) เมื่อแรงดันอินพุท (E_1) = 90 โวลต์ และ $B_c = 0.702$ T

จำนวนรอบของอินพุทคำนวณได้จากสูตร

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44 f B_c A_{Fe}} = 168.6$$

ค่าที่ใช้จริง

$$N_1 = 169 \quad \text{รอบ}$$

6. กำหนดจำนวนรอบของขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) และขดเอ้าท์พุท (N_{22})

ตามที่ได้สรุปผลมาแล้วว่า การกำหนดค่า N_c ควรอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 เท่าของ N_1 และในที่นี้ได้กำหนดค่า N_c ไว้ค่อนข้างสูง คือ

ให้ $N_c = 4.8 N_1 = 811.2$ รอบ

ค่าที่ใช้จริง

N_c = 815 รอบ

สำหรับค่า N_{22} ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $N_1 \pm 10\ \%$
ซึ่งในที่นี้ให้ $N_{22} = N_1 = 169$ รอบ แต่เมื่อได้ทำการทดลองแล้ว จำเป็นต้องลดจำนวนรอบลงเหลือเพียง 164 รอบ นั่นคือ

ค่าที่ใช้จริง

N_{22} = 164 รอบ

คำนวณหาค่ามิวชวลอินดักแตนซ์ และอินดักทีฟ รีแอคแตนซ์ของขดรักษาสภาพแรงดัน เพื่อนำไปคำนวณหาค่า C ในภายหลัง

$$M_c = \frac{N_1 N_c \mu_{max.} A_{Fe}}{l} = 16.67 \quad \text{เฮนรี่}$$

$$X_{Lc} = w M_c = 5237 \quad \text{โอห์ม}$$

7. คำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ (C)

ตามผลสรุปที่กล่าวไว้แล้ว ควรให้ค่า X_{Lc} ที่ μ_{max} มากกว่า X_c ประมาณ 8 ถึง 10 เท่า
ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ X_{Lc} มากกว่า X_c ประมาณ 8.2 เท่า

ดังนั้น $X_c = \frac{X_{Lc}}{8.2} = 638.65$ โอห์ม

นำไปหาค่า C ได้ดังนี้

$$C = \frac{1}{w X_c} = 4.98 \times 10^{-6} \text{ ฟารัด}$$

แรงดันคร่อม C โดยประมาณ ขณะที่แปรแรงดันอินพุท 240 โวลต์

$$E_c = E_1 \cdot \frac{N_c}{N_1} = 1157 \text{ โวลต์}$$

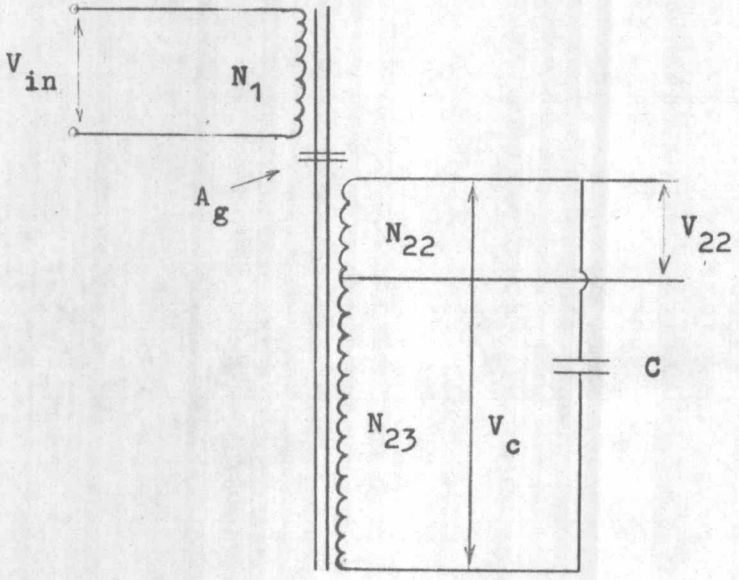
ค่าที่ใช้จริง

$$C = 5\,\mu F$$

เนื่องจากหาค่า C ที่มีพิกัดแรงดันสูงไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องใช้ C ที่มีค่า $10\,\mu F$ มีพิกัดแรงดัน 700 VAC จำนวน 2 ตัวต่ออันดับกัน

8. คำนวณรอบของขดหักล้างแรงดัน (N_{21})

ขณะที่ต่อวงจรดังรูป 4.4 โดยใช้ค่าต่าง ๆ ตามที่คำนวณไว้แล้ว เมื่อแปรแรงดันอินพุทที่ 220 โวลต์ วัดแรงดัน V_{22} ได้ 271 โวลต์



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการวางขดลวดและต่อวงจร

ในที่นี้ N_1 = 169 รอบ

N_{22} = 164 รอบ

N_{23} = 651 รอบ

$N_c = N_{22} + N_{23}$ = 815 รอบ

C = 5 μF

l_g = 2.2 m.m

A_{Fe} = 34.25 X 10^{-4} m^2

A_g = 0.8 A_{Fe}

เนื่องจากต้องการให้แรงดันเอ้าท์พุท (V_o) ขณะไม่ต่อโหลด = 225 โวลต์

ดังนั้น แรงดัน $V_{21} = V_{22} - V_o$ = 46 โวลต์

สามารถคำนวณหา N_{21} ได้จากสูตร

$$N_{21} = \frac{V_{21}}{V_1} \cdot N_1 = 35.3 \text{ รอบ}$$

ค่าที่ใช้จริง

N_{21} = 36 รอบ