หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. IEC Publ. No.71, "Insulation Co-ordination," 1967.
2. Thunyapongchai, P., "Design and Construction of A 100 kV High Voltage Testing Transformer, "Master thesis, Chulalongkorn University, 1977.
3. มนตรี ไทยมานะ, "การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบ 100 kV 10 kVA ใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน, " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
4. สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2528.
5. MWB MESSWANDLER-BAU AG, "Test Tranformers," Catalogue No.B 12/1e, Bamberg.
6. A. K. Sawhney, Electrical Machine Design, Dhanpat Rai and Sons, Delhi, 1984.
7. Shirai, M., and Matsumoto, M., " SF_6 Gas Insulated Transformer," IEEE-Symposium November'84, Bangkok, 1984.
8. IEC Publ. No.76, "Power Transformers," 1976.
9. Greenwood, A., Electrical Transients in Power Systems, Wiley-Inter-science, Pennsyvania, 1971.
10. Mc Donald, D., Power Transformers for High-Voltage Transmission, Jesse Broad & Co., Ltd., Manchester, 1957.
11. M. Kostenko, L. Piotrousky, Electrical Machines, Foreing Languages Publishing House, Moscow, 1967.
12. Kuffel, E., and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering, Pergamon Press, Oxford, 1984.
13. ไสว ฐานีพานิชสกุล, หม้อแปลง, หจก.พันนี พับลิชชิ่ง, 2525.
14. บริษัทลวดอาบน้ำยาไทย จำกัด, "ข้อมูลและเทคนิคของลวดอาบน้ำยา", กรุงเทพมหานคร
15. Nippon Steel Corporation, "Silicon Steel," Catalogue No.EXE 320, Tokyo, 1976.

16. Banspach, H., Transformer Design, Lecture Notes, Thai German Technical Teacher College, Bangkok, 1st ed., 1975.

17. Kuhlman, John H., Design of Electrical Apparatus, Wiley & Sons Inc., New York, 3rd ed., 1950.

18. Alston, L. L., High Voltage Technology, Oxford University Press, 1968.

19. IEC Publ. No.156, "Method for The Determination of The Electric Strength of Insulating Oils", 1963.

20. บริษัทอุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด, "ท่อน้ำไทย", กรุงเทพมหานคร

21. IEC Publ. No. 270, "Partial Discharge Measurements," 1981.

22. Abekawa paper's "Insulatings Papers (Kraft) and Press Boards," Tokyo.

23. J.P. Halman, Heat Transfer, McGraw-Hill, Singapore, 5th ed., 1984.

24. Bean, Richard L., Chackan Jr., Nicholas, Moore, Harold R., and Wentz, Edward C., Transformer for the Electric Power Industry, Westinghouse Electric Coorporation, 1959.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างขนาดขดลวดทองแดงและกระดาษฉนวน

ก.1 ตัวอย่างขนาดลวดทองแดงและชั้นการเคลือบของฉนวนมาตรฐาน มอก. 82-2527

ตารางที่1 ตัวอย่างขนาดขดลวดทองแดงและชั้นการเคลือบของฉนวน

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเปลือย มม.			ชั้น 0 มม.		ชั้น 1 มม.		ชั้น 2 มม.	
ระบุ	ต่ำสุด	สูงสุด	ก.	ข.	ก.	ข.	ก.	ข.
0.080	0.077	0.083	0.024	0.116	0.016	0.105	0.009	0.098
0.250	0.246	0.254	0.048	0.320	0.031	0.301	0.020	0.284
0.315	0.311	0.319	0.053	0.391	0.034	0.371	0.022	0.352
0.950	0.940	0.960	0.082	1.070	0.058	1.041	0.039	1.017
2.360	2.336	2.384	0.105	2.522	0.076	2.488	0.051	2.459
3.150	3.118	3.182	0.113	3.330	0.082	3.294	0.056	3.263

ก. คือ สองเท่าของความหนาต่ำสุดในการเคลือบ

ข. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของลวดเคลือบ

ก.2 ตัวอย่างคุณสมบัติของกระดาษคร๊าฟท์ และกระดาษอัดแรง [22] มาตรฐาน JIS

ตาราง ก.2.1 คุณสมบัติของกระดาษคร๊าฟท์มาตรฐาน JIS

ความหนา มม.	ความหนาแน่น กรัม/ลบ.ซม.	กำลังดึง (Tensile strength) กก./ตร.มม.		ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด กิโลโวลต์/มม.
		แนวยาว	แนวขวาง	
0.045	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5
0.050	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5
0.080	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5
0.130	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5
0.250	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5
0.380	0.60 ~ 850	Min 4.5	Min 1.5	Average 5.5

ตาราง ก.2.2 คุณสมบัติของกระดาษอัดแรงมาตรฐาน JIS

ความหนา มม.	ความหนาแน่น กรัม/ลบ.ซม.	กำลังดึง กก./ตร.มม.		ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด กิโลโวลต์/มม.
		แนวยาว	แนวขวาง	
0.8	0.90-1.25	Min 5.0	Min 2.0	Min 7.0
1.6	0.90-1.25	Min 5.0	Min 2.0	Min 7.0
2.4	0.90-1.25	Min 5.0	Min 2.0	Min 7.0
3.2	0.95-1.25	Min 4.5	Min 2.0	Min 6.0

ภาคผนวก ข.

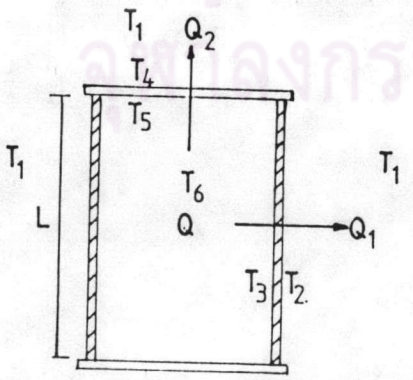
การหาอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดและของน้ำมันหม้อแปลง เพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสสำหรับออกแบบขดลวด

จากเอกสารอ้างอิง [17] ขดลวดหม้อแปลงที่ใช้กระดาษและผ้าเป็นฉนวนจุ่มอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดจะต้องไม่เกิน 55 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมันหม้อแปลงเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40 °C การระบายความร้อนอาศัยการหมุนเวียนของน้ำมันตามธรรมชาติ กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อพื้นที่ของขดลวด จะมีค่าประมาณ 700 w/m^2

หม้อแปลงทดสอบที่ออกแบบสร้าง ใช้ท่อฉนวนพีวีซีเป็นตัวถัง ซึ่งจะเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิประมาณ 76 °C [20] จึงกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันหม้อแปลงไม่ควรเกิน 70 °C หม้อแปลงทดสอบเป็นหม้อแปลงที่ใช้ภายในอาคาร ซึ่งมีอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ประมาณ 30 °C ดังนั้นอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันเทียบกับอากาศโดยรอบจะมีค่า 40 °C ซึ่งเป็นไปตามเอกสารอ้างอิงที่กล่าวถึง

ข.1 <u>คำนวณปริมาณความร้อนสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในถังหม้อแปลงทดสอบ</u>

ถังฉนวน พีวีซี ปิดหัวท้ายด้วยโลหะเหล็ก ดังรูป ข.1 ปริมาณความร้อนถ่ายเทจากถังฉนวน โดยผ่านรอบตัวถัง พีวีซี มีปริมาณเท่ากับ Q_1 และผ่านฝาโลหะด้านบน มีปริมาณเท่ากับ Q_2 ส่วนฝาโลหะด้านล่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมีน้อยมาก จะไม่คำนึงถึง



T_1 = อุณหภูมิอากาศโดยรอบ = 30 °C

T_2 = อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของถังพีวีซี

T_3 = อุณหภูมิที่ผิวด้านในของถังพีวีซี

T_4 = อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของฝาโลหะเหล็ก

T_5 = อุณหภูมิที่ผิวด้านในของฝาโลหะเหล็ก

T_6 = อุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง = 70 °C

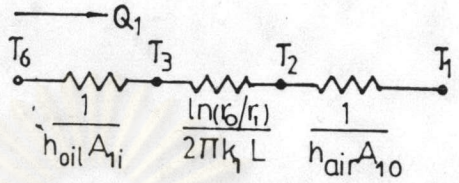
Q = ปริมาณความร้อนทั้งหมดภายในถังหม้อแปลง

Q_1 = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านถังพีวีซี Q_2 = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านฝาโลหะด้านบน

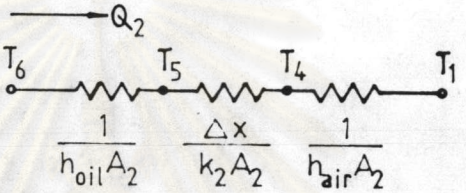
รูป ข.1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากถังหม้อแปลง และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การไหลของปริมาณความร้อนจากภายในถังหม้อแปลงไปสู่อากาศรอบ ๆ สามารถเขียนเทียบเป็นวงจรไฟฟ้าได้ดังนี้ [23]

โดยรอบตัวถัง



ด้านบนฝาถัง



ปริมาณความร้อน $Q_1 = (T_6-T_1)/[\{1/h_{oil}.A_{1i}\}+\{\ln(r_o/r_1)/2\pi k_1 L\} + \{1/h_{air}.A_{1o}\}]$ w

ปริมาณความร้อน $Q_2 = (T_6-T_1)/[(1/h_{oil}.A_2)+(\Delta x/k_2.A_2)+(1/h_{air}.A_2)]$ w

T_1 = 30 °C

T_2 = 70 °C

h_{air} = สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของอากาศ [7] = 10 w/m² - °C

h_{oil} = สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของน้ำมันหม้อแปลง [7] = 80 w/m² - °C

k_1 = สภาพการนำความร้อนของ พีวีซี [20] = 0.145 w/m - °C

k_2 = สภาพการนำความร้อนของโลหะเหล็ก [23] = 67 w/m - °C

r_1 = รัศมีภายในของท่อ พีวีซี = 0.195 m

r_o = รัศมีภายนอกของท่อ พีวีซี = 0.210 m

L = ความสูงของท่อ พีวีซี = 0.65 m

A_{1i} = พื้นที่ผิวด้านในของท่อ พีวีซี = $2\pi r_1 L$ = 0.796 m²

A_{1o} = พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อ พีวีซี = $2\pi r_o L$ = 0.858 m²

A_2 = พื้นที่ผิวของโลหะเหล็ก = πr^2 = 0.173 m² (r = 0.235 m)

Δx = ความหนาของแผ่นโลหะเหล็ก = 0.013 m

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเททั้งหมด = $Q_1 + Q_2$

หลังจากแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการแล้ว จะได้

$$Q_1 = 227 \text{ w}$$

$$Q_2 = 49 \text{ w}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในถัง พีวีซี จึงไม่ควรเกิน 227+49=276 w

จากการออกแบบในบทที่ 3 กำหนดความหนาแน่นของกระแสในขดลวดแรงดันต่ำเท่ากับ 265 A/cm² มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากับ 52.73 w และกำหนดความหนาแน่นของกระแสในขดลวดแรงดันสูงเท่ากับ 64 A/cm² มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากับ 21.51 w และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กเท่ากับ 54.26 w รวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในถังหม้อแปลง 52.73+21.51+54.26 = 128.5 w มีค่าน้อยกว่า 276 w ดังนั้นอุณหภูมิของหม้อแปลงเท่ากับจะมีค่าต่ำกว่า 70 °C ซึ่งปลอดภัยต่อท่อ พีวีซี ที่นำมาใช้งาน

ข.2 <u>ขดลวดแรงดันต่ำ</u>

จากข้อมูลการออกแบบในหัวข้อ 3.3.1 และ 3.3.4 กำหนดค่าความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ 265 A/cm² มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดแรงดันต่ำเท่ากับ 52.73 w คิดเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อพื้นที่ผิวระบายความร้อนของขดลวดแรงดันต่ำได้ดังนี้

พื้นที่ผิวระบายความร้อนของขดลวดแรงดันต่ำ = $2x(l_1 x b_1)$

l_1 = ความยาวรอบเฉลี่ยของขดลวดแรงดันต่ำ = 0.3782 m

b_1 = ความกว้างของขดลวดแรงดันต่ำ = 0.176 m

พื้นที่ผิวระบายความร้อน = 2x(0.3782x0.176)

= 0.1331 m^2

ดังนั้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของขดลวดแรงดันต่ำ/พื้นที่ผิวระบายความร้อน

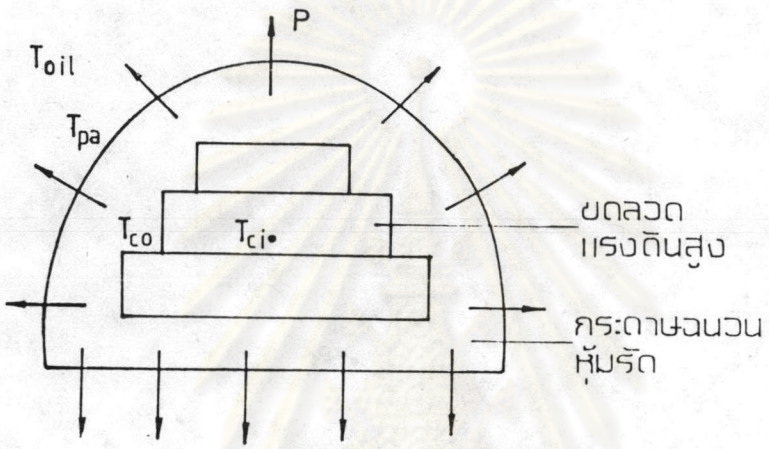
= 52.73/0.1331

= 396 w/m^2

ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 700 w/m^2 ความหนาแน่นของกระแสในขดลวดแรงดันต่ำเท่ากับ 265 A/cm² จึงเป็นค่าที่ใช้ได้

ข.3 ขดลวดแรงดันสูง

ขดลวดแรงดันสูงมีความหนามากและมีฉนวนกระดาษห่อหุ้มอย่างมิดชิด การหาอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงดันสูง จึงต้องคำนึงถึงความหนาของกระดาษที่ห่อหุ้มด้วย โดยพิจารณาจากรูป ข.2



รูป ข.2 การหาอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมันหม้อแปลง

ข.3.1 การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{ci} กับ T_{co}

อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{ci} กับ T_{co} คำนวณจากความสัมพันธ์ [3]

$$T_{ci} - T_{co} = D_w^2 J^2/8 x k_{res} x 6$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวด, w

D_w = ความหนาของขดลวด, mm

6 = สภาพการนำไฟฟ้าของทองแดงที่ 75 °C [16] = 46 m/Ω - mm^2

J = ความหนาแน่นกระแส, A/mm^2 กำหนด = 0.64 A/mm^2

k_{res} = $(D_w/d_{pa}) \times k_{pa}$

k_{pa} = สภาพนำความร้อนของกระดาษ [7] = 0.128 w/m - °C

d_{pa} = ความหนารวมของฉนวนระหว่างชั้นทั้งหมด, mm

D_w = จำนวนชั้นขดลวดแรงดันสูงx เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดแรงดันสูง

ขดลวดแรงดันสูงชั้นที่ 1 กว้าง = 160 mm

ชั้นที่ 2 กว้าง = 130 mm

ชั้นที่ 3 กว้าง = 110 mm

คิดความกว้าง เฉลี่ยของขดลวดแรงดันสูง = (160+130+110)/3

= 133 mm

ขดลวดแรงดันสูงมี เส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.38 mm

ในหนึ่งชั้นจะมีจำนวนรอบขดลวด = 133/0.38

= 350 รอบ

ขดลวดแรงดันสูงมีจำนวนรอบทั้งหมด = 45115 รอบ

ดังนั้น จำนวนชั้นของขดลวดแรงดันสูง = 45115/350

= 129 ชั้น

D_w = 129x0.38

= 49 มม.

d_{pa} = จำนวนชั้นขดลวด x ความหนาฉนวนในแต่ละชั้น

= 129 x 0.16

= 20.64 mm

K_{res} = (49x0.128)/20.64

= 0.3039 w/m- °C

$T_{ci} - T_{co}$ = $(49)^2x(0.64)^2/(8x0.3039x46)$

= 8.79 °C

ข.3.2 <u>การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{co} กับ T_{pa}</u>

อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{co} กับ T_{pa} คำนวณจากความสัมพันธ์ [24]

$$T_{co} - T_{pa} = (Pxd)/(AxK)$$

P = กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวด (w)

d = ความหนาเฉลี่ยของกระดาษฉนวนหุ้ม (m)

K = สภาพการนำความร้อนของกระดาษฉนวน = 0.128 w/m - °C

A = พื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมดของกระดาษฉนวน

จากหัวข้อ 3.3.2 และ 3.3.4 ได้กำหนดค่าความหนาแน่นกระแสในขดลวดแรงดันสูง เท่ากับ 64 A/cm² มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดแรงดันสูง เท่ากับ 21.51 w

ดังนั้น P = 21.51 w

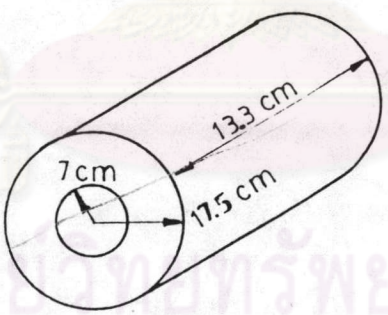
d = จำนวนชั้นของฉนวนทั้งหมด x ความหนาของชั้นฉนวน

= 129 x 0.16

= 20.65 mm

= 0.0206 m

การหาพื้นที่ผิวของกระดาษที่หุ้ม ทำโดยการประมาณพื้นที่ผิวเป็นรูปทรงกระบอก ดังในรูป ข.3 ขนาดตัวเลขเป็นค่าโดยประมาณ



รูป ข.3 พื้นที่โดยประมาณของกระดาษฉนวนที่หุ้มขดลวดแรงดันสูง

$A = 2\pi[(17.5)^2 - 7^2] + 2\pi \times 17.5 \times 13.3 + 2\pi \times 7 \times 13.3$

$= 3664 \quad cm^2$

$= 0.3664 \quad m^2$

ดังนั้น $T_{co} - T_{pa} = (21.51 \times 0.0206)/(0.3664 \times 0.128)$

$= 9.44 \quad °C$

ข.3.3 <u>การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{pa} กับ T_{oil}</u>

อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{pa} กับ T_{oil} คำนวณจากความสัมพันธ์ [24]

$$T_{pa} - T_{oil} = P/(h_{oil} \times A_{pa})$$

P = กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดแรงดันสูง = 21.51 w

A_{pa} = พื้นที่ผิวทั้งหมดของฉนวนหุ้ม = 0.3664 m^2

h_{oil} = สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของน้ำมันโดยประมาณ = 80 $w/m^2 - ^{\circ}C$

$$T_{pa}-T_{oil} = 21.51/(80 \times 0.3664)$$

$$= 0.73 \ ^{\circ}C$$

$$\simeq 1 \ ^{\circ}C$$

ดังนั้น อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงดันสูง เนื่องจากอุณหภูมิน้ำมันมีค่า เท่ากับ $T_{c1}-T_{oil}$

$$T_{c1}-T_{oil} = (T_{c1}-T_{co}) + (T_{co}-T_{pa}) + (T_{pa}-T_{oil})$$

$$= 8.79 + 9.44 + 1$$

$$= 19.23$$

อุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันจากอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ กำหนดไว้ไม่เกิน 40 $^{\circ}C$ ดังในหัวข้อ ข.1

ดังนั้นอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิอากาศโดยรอบ

$$= 19.23+40$$

$$= 59.23 \ ^{\circ}C > 55 \ ^{\circ}C$$

กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อความร้อนภายในถัง พีวีซี มีค่าเท่ากับ 276 w แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถังจากการออกแบบ มีค่าเท่ากับ 128.5 w อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงดันสูงจะมีค่าไม่ถึง 55 $^{\circ}C$ ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสในขดลวดแรงดันสูง กำหนดค่าเท่ากับ 64 A/cm^2 จึงเป็นค่าที่ใช้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การคำนวณขนาดการฉนวนของขดลวดแรงดันสูง

คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าของขดลวดแรงดันสูงส่วนที่อยู่ภายในแกนเหล็ก ซึ่งจะมีความเครียดสูง คำนวณความเครียดสนามไฟฟ้า 2 บริเวณด้วยกัน คือ

- บริเวณใกล้โย้กด้านข้างของแกนเหล็ก
- บริเวณใกล้โย้กด้านล่างของแกนเหล็ก

ค.1 หาความเครียดสนามไฟฟ้าของขดลวดที่อยู่ใกล้โย้กด้านข้างของแกนเหล็ก

ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด คำนวณได้จากสมการ [3]

$$E_m = (2/\pi)x\{U/(d+r)\}/\sqrt{-[\{d/(d+r)\}^2 - 1]}$$

โดยที่

E_m = ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

U = ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด

r = รัศมีความโค้งของขอบของชั้นขดลวด

d = ระยะแก็ประหว่างอิเล็กโทรด

<u>แรงดันสูงชั้นที่ 1</u> จากรูป ค.1 ระยะของขดลวดแรงดันสูงชั้นที่ 1 กับแกนเหล็กส่วนที่เป็นโย้ก คือ $d_1 = 2$ cm

ขดลวดชั้นที่ 1 ของขดลวดแรงดันสูงจะมีแรงดันสูงสุด

= จำนวนรอบ x แรงดันต่อรอบ

= 20,160 x 2.66

= 53.71 kV

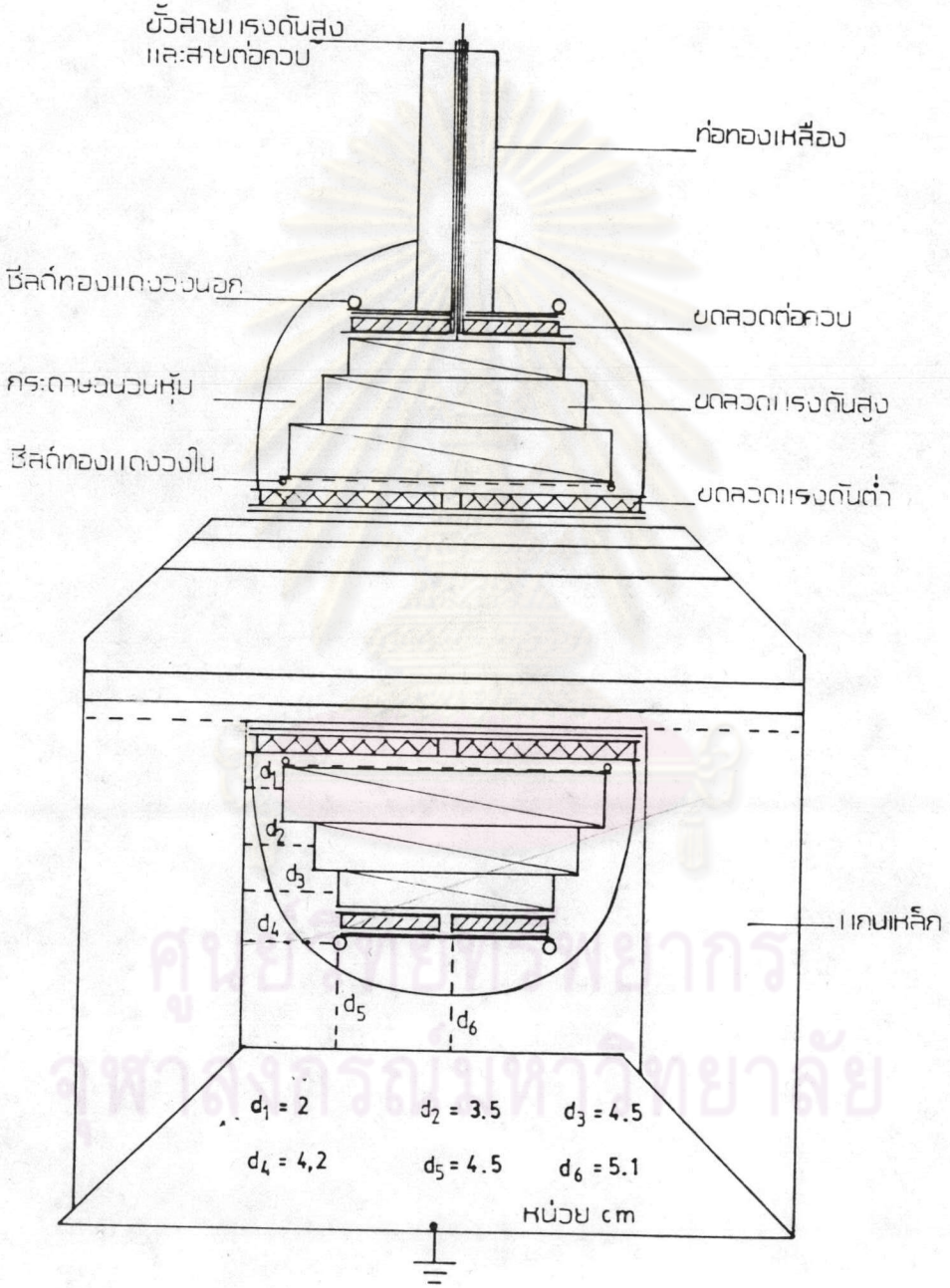
r = รัศมีภาคตัดของขดลวดแรงดันสูง

= 0.01575 cm

จะได้ E_m = 135.96 kV/cm

ใช้ แฟาเตอร์ลดทอน = 0.5 [3]

จะได้ E_m = 67.98 kV/cm



รูป ค.1 ภาพตัดขวางของขดลวดที่ประกอบใส่แกนเหล็ก

การฉนวนเป็นเนื้อไดอิเลคตริกซ้อนกันระหว่างกระดาษฉนวนจุ่มน้ำมันกับฟิล์มน้ำมันหม้อแปลง โดยที่ค่าคงที่ไดอิเลกตริกของกระดาษจุ่มน้ำมัน เท่ากับ 3.5 ค่าคงที่ไดอิเลกตริกของน้ำมันหม้อแปลง เท่ากับ 2.2 หากการฉนวนเป็นเนื้อกระดาษล้วน ๆ จะได้ความเครียดสูงสุดในกระดาษฉนวน $E_{m\ pa} = E_m$

$$E_{m\ pa} = 67.98 \quad kV/cm$$

เมื่อการฉนวนเป็นไดอิเลกตริก 2 ชนิด ระหว่างกระดาษกับน้ำมันหม้อแปลง จะเกิดความเครียดสูงสุด ในน้ำมันหม้อแปลงดังนี้ $E_{m\ oil} = (\epsilon_{rpa}/\epsilon_{roil}) \cdot E_{m\ pa}$

$$= 108.15 \quad kV/cm$$

<u>แรงดันสูงขั้นที่ 2</u> $d_2 = 3.5$ cm

ขดลวดขั้นที่สองจะมีแรงดันสูงสุด = (20,160+16,027)x2.66

= 96.26 kV

จะได้ E_m = 184.35 kV/cm

แฟกเตอร์ลดทอน = 0.5

E_m = 92.18 kV/cm

ทำนองเดียวกัน จะได้ว่า

E_{pa} = 92.18 kV/cm

E_{oil} = 146.65 kV/cm

<u>แรงดันสูงขั้นที่ 3</u> $d_3 = 4.5$ cm

ขั้นที่ 3 จะมีแรงดันสูงสุด = 120 kV

จะได้ E_m = 202.73 kV/cm

แฟกเตอร์ลดทอน = 0.5

E_m = 101.36 kV/cm

ทำนองเดียวกัน จะได้ว่า

E_{pa} = 101.36 kV/cm

E_{oil} = 161.26 kV/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 <u>หาความเครียดสนามไฟฟ้าที่ขอบของชีลด์ทองแดงกับแกนเหล็ก</u>

ขอบของแผ่นชีลด์ทองแดง เชื่อมติดด้วยลวดทองแดงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ระยะห่างจากกแกนเหล็กด้านข้าง d_4 = 4.2 cm รัศมีความโค้งขอบของทองแดง r = 0.3 mm แรงดันสูงสุดที่ชีลด์ทองแดง U = 120 kV เมื่อคำนวณความเครียดสูงสุด จากสูตรคำนวณ E_m จะได้ ความเครียดที่เกิดขึ้นบนกระดาษฉนวนและน้ำมันหม้อแปลงดังนี้

$$E_{pa} = 47.28 \text{ kV/cm}$$

$$E_{oil} = 94.56 \text{ kV/cm}$$

ความเครียดสนามไฟฟ้า เนื่องจากขอบแผ่นชีลด์ทองแดงที่มีต่อแกนเหล็กด้านล่าง จะมีค่าน้อยกว่าด้านข้าง เพราะว่าระยะห่างด้านล่างแกนเหล็กมีค่ามากกว่าระยะห่างด้านข้างแกนเหล็ก คือ d_5 = 4.5 cm > d_4 = 4.2 cm

ค.3 <u>หาความเครียดสนามไฟฟ้าของขดลวดที่อยู่ใกล้โย้กด้านล่างของแกนเหล็ก</u>

การกระจายของสนามไฟฟ้าระหว่างขดลวดแรงดันสูงกับโย้กด้านล่างของแกนหลักจะเป็นแบบสม่ำเสมอ ซึ่งหาได้จากสูตร E_m = แรงดันสูงสุด/ระยะแก็บ

ระยะจากขอบชีลด์แรงดันสูง ถึง โย้ก d_6 = 5.1 cm

E_m = 120/5.1

= 23.53 kV/cm

จะได้ว่า $E_{pa} = E_m$ = 23.53 kV/cm

E_{oil} = 37.43 kV/cm

ค.4 <u>สรุปผล</u>

ความเครียดสนามไฟฟ้าของกระดาษฉนวนและน้ำมันหม้อแปลงตามเอกสารอ้างอิง [4] มีค่าดังนี้

E_{pa} = 400 kV/cm

E_{oil} = 200 kV/cm เมื่อน้ำมันได้ผ่านการกรองแล้ว

จะเห็นว่า ระยะฉนวนที่ออกแบบสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นายปริพนธ์ พัฒนสัตยวงศ์ เกิดที่จังหวัดยะลา เมื่อวันที่ 7 กันยายน 2498

วุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2522

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย