

รายการอ้างอิง

1. วิภา ทังโพสลา. การออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 500 kVA 12 kV ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
2. มนตรี ไทยมานะ. การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบ 100 kV 10 kVA ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
3. Fitzgerald, A.E. , Kingsley, O.Jr. , and Umans, S.D. Electric machinery. 5th ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1992.
4. Fink, Donald G. and Beaty, H. Wayne Standard Handbook for Electrical Engineers. McGraw Hill Book Company, 11th ed.
5. Kind, D. and Karner, H. High-voltage insulation technology. Translated by Narayana Rao, Y. Germany: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1985.
6. William, D. Stewenson, Jr. Elements of power system analysis, 4th ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1982.
7. ตำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
8. Greenwood, A. Electrical transient in power system. 2nd ed. USA: Jonh Wiley & Sons, Inc., 1991
9. Alston, L.L. High-voltage technology. Great Britain: Spottiswoode, ballantyne and Co. Ltd., 1968.
10. IEC Publication 376. Specification and acceptance of new sulphur hexafluoride. ,1971.
11. Meidensha Electric Mfg. Co., Ltd. SF₆-gas insulation transformers (technical information). Feb., 1983
12. Sato, T. ,Ina, T. and Matsumoto, M. Cooling effect by gas density of SF₆ gas insulation transformer. In IEEE PES 1981 transmission and distribution conference and exposition, Minneapolis, Minnesota, Sep. 20-25, 1981

13. Fiangan, W.M. Handbook of transformer design and applications. 2nd ed. USA: McGraw-Hill, Inc., 1991
14. Voson, Dipl.-Ing. Gas-immersed transformers. In 4th German technology symposium & exhibition, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Nov. 16-19, 1993.
15. IEC Publication 76. Power transformer. ,1993.
16. Nippon Steel Corporation, Tokyo, Japan

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติที่สำคัญของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มที่ใช้เป็นฉนวนในหม้อแปลง
คุณสมบัติทางฟิสิกส์

1 คุณสมบัติความคงทนของโพลีเอสเตอร์ฟิล์ม

GAUGE	ความคงทนต่อแรงดึง (psi)		การยืดตัว (%)
	ค่าต่ำสุด	ค่าทั่วไป	
50	20,000	23,000	65
88	20,000	25,000	75
92	20,000	25,000	75
142	20,000	26,000	85
200	20,000	26,000	90
300	20,000	27,000	90
500	20,000	26,000	90

2. จุดหลอมเหลว

จุดหลอมเหลวสูงกว่า 245°C

3. การดูดซับความชื้น

0.75 % โดยน้ำหนัก

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

GAUGE	50	88	92	142	200	300	500
<u>ค่าคงทางไฟฟ้า (AC)</u>							
แรงดันทดสอบ AC วิกฤติ (kV)	-	3.8	4.0	5.5	7.7	10.0	13.5
จำนวนของตัวอย่างที่ทดสอบ	-	37	37	37	37	37	37
<u>แฟกเตอร์สูญเสีย (25°C)</u>							
100 Hz	.0044	.0044	.0044	.0044	.003	.003	.003
1 kHz	.0069	.0069	.0069	.0069	.0055	.005	.0055
<u>ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (GAGUE 50-500)</u>							
25°C, 100 Hz และ 1 kHz				การทดสอบใช้วิธีเดียวกับการหาแฟกเตอร์สูญเสีย			
ค่าต่ำสุด 3.0							
ค่าสูงสุด 3.4							

ความหนาของฟิล์ม

GAGUE	ช่วงความคลาดเคลื่อนของไมโครมิเตอร์ (MILS)*	
	ต่ำสุด	สูงสุด
50	0.41	0.57
88	0.77	0.99
92	0.80	1.04
142	1.25	1.59
200	1.75	2.18
300	2.63	3.31
500	4.37	5.44

* 1 MILS = 1/1000"

ภาคผนวก ข.

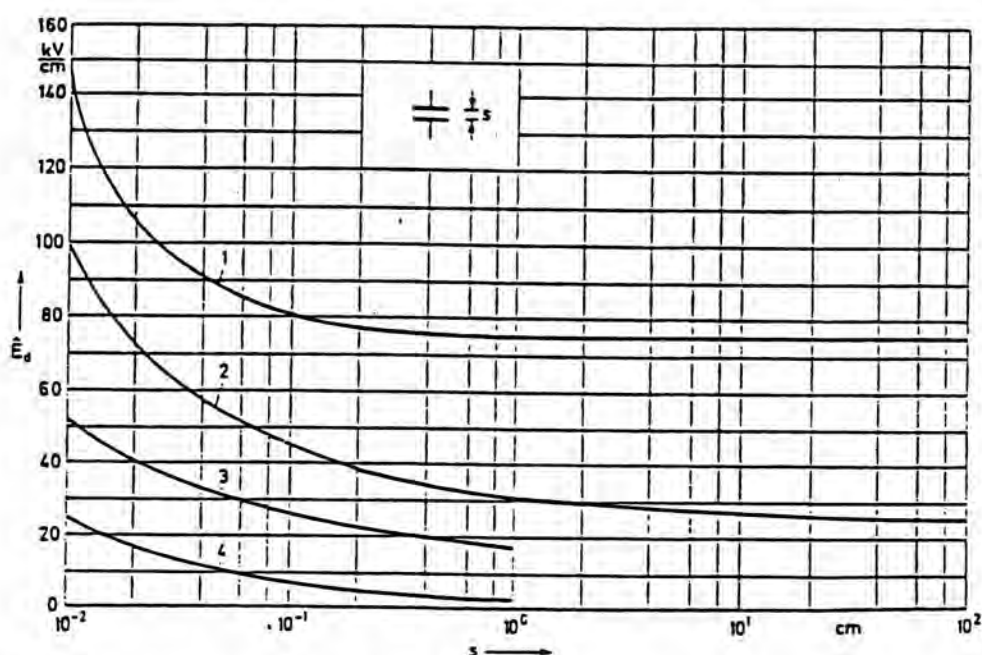
ความคงทนทางไฟฟ้าของลักษณะอิเล็กโตรดในฉนวนก๊าซ (Kind and Karner, 1985)

ความคงทนสนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรด ระนาบ ทรงกระบอกและทรงกลม

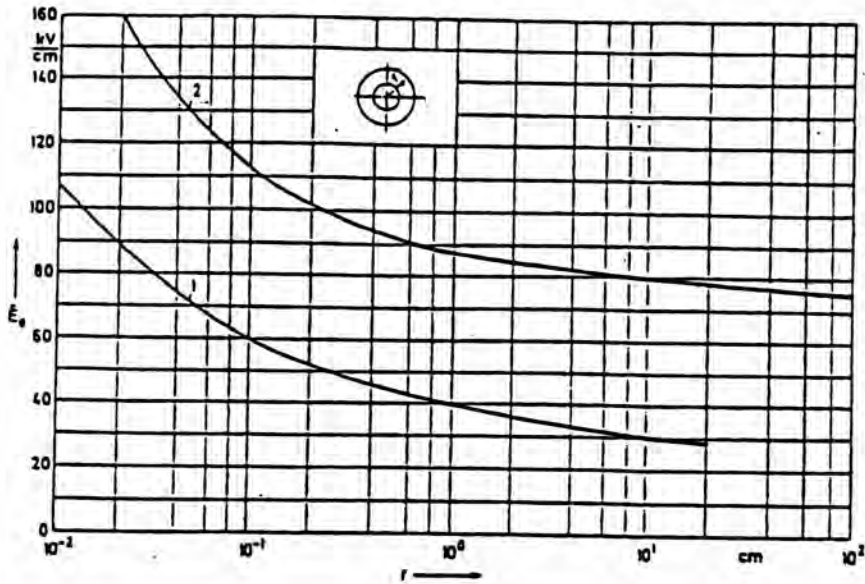
ความคงทนสนามไฟฟ้า \hat{E}_d ของก๊าซ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความดันและชนิดของ ก๊าซอย่างเดีว แต่ยังขึ้นกับมิติรูปทรงของอิเล็กโตรด สำหรับในทางปฏิบัติเหมาะที่จะเปรียบเทียบ รูปทรงกับอิเล็กโตรดตัวอย่าง เส้นกราฟที่แสดงเป็นค่าสำหรับความดัน $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ และ อุณหภูมิสมบูรณ์ $T_0 = 293 \text{ K}$ สำหรับค่าอื่นของ p และ T ในช่วง $1 \dots 10 \text{ bar}$ สามารถประมาณได้ ดังนี้

$$\hat{E}_d = \hat{E}_{d0} \left(\frac{p/p_0}{T/T_0} \right)^\alpha \quad \text{เมื่อ} \quad \alpha = 0.7 \dots 0.8$$

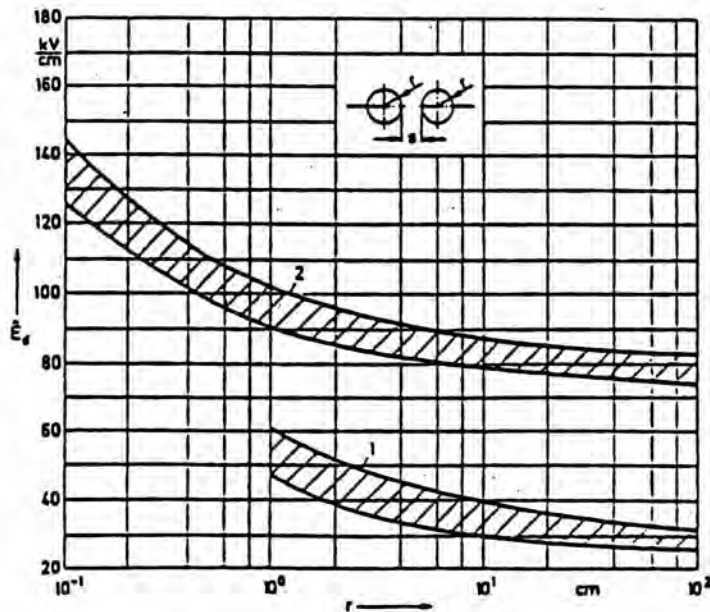
สำหรับรูปร่างใช้งานจริงที่ความดันสูง อิเล็กโตรดที่ไม่เรียบ (จุดแหลม, ขอบหรือร่อง) และอนุภาค (ฝุ่น, เศษโลหะ) มีผลในการลดแรงดันเบรกดาวน์



รูปที่ ข-1 ความคงทนสนามไฟฟ้า \hat{E}_d ของก๊าซต่างๆ ในอิเล็กโตรดระนาบ-ระนาบ ที่ 20°C และ 1013 mbar 1 SF₆, 2 Air, 3 H₂, 4 Ne



รูปที่ ข-2 ความคงทนสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดทรงกระบอกซ้อน ที่ 20°C และ 1013 mbar
 ค่านี้ใช้ได้กับทรงกระบอกขนานกันหรือทรงกระบอกตัด เมื่อทรงกระบอกไม่เท่ากัน
 และรัศมีเล็ก 1 Air, 2 SF₆

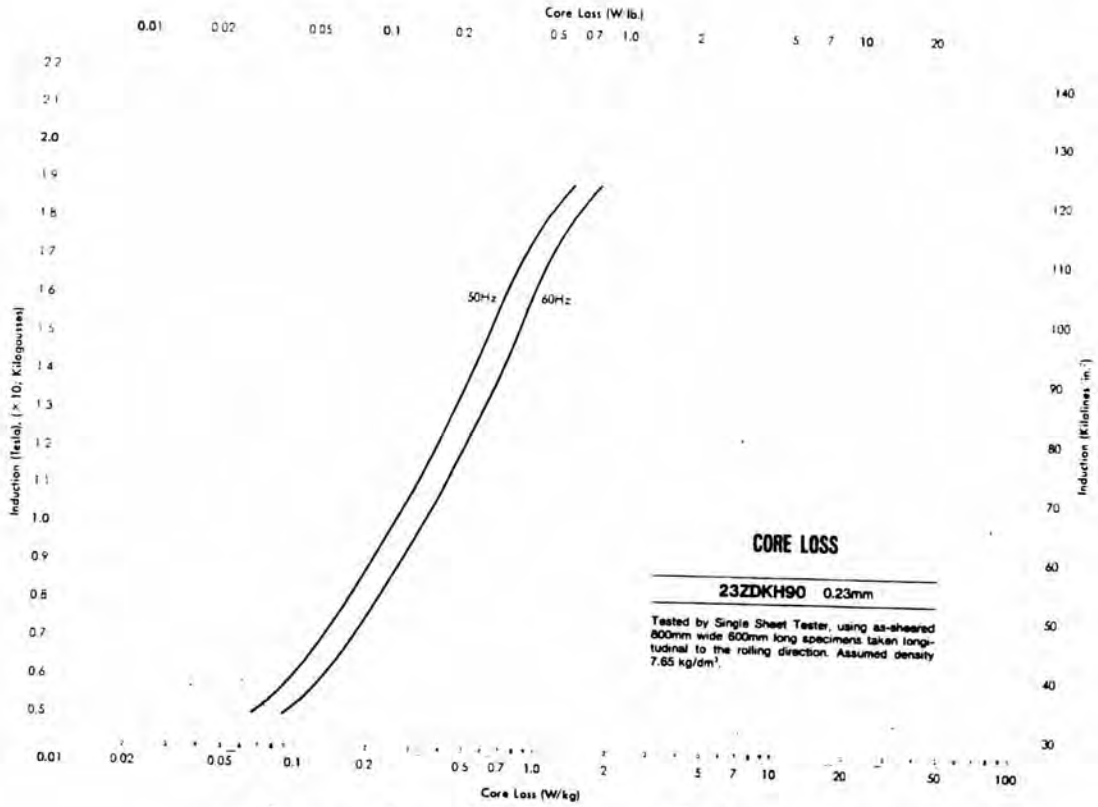


รูปที่ ข-3 ความคงทนสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดทรงกลม ในระยะ $s/r = 0.1...1$ ที่ 20°C และ
 1013 mbar 1 Air, 2 SF₆

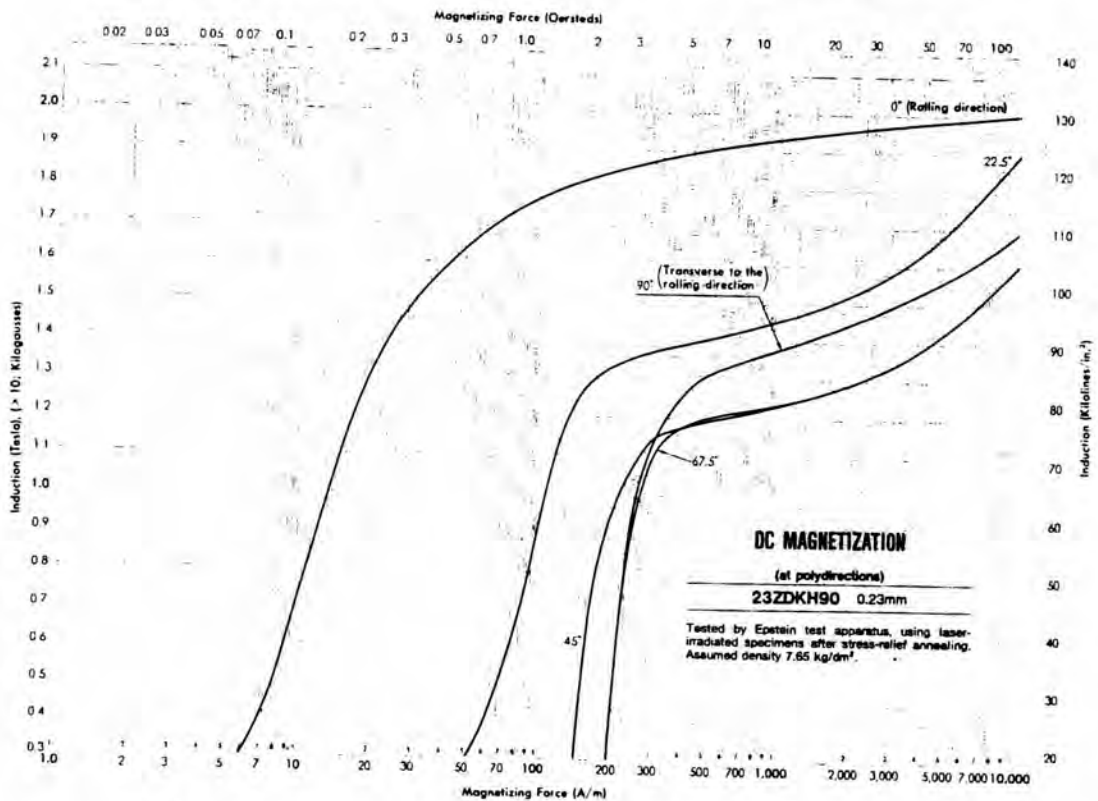
สำหรับอิเล็กโตรดต่างกัน ความคงทนสนามไฟฟ้า E_d ขึ้นกับรัศมีของทรงกลมและระยะ
 แยก ในฟังก์ชัน $E_d = f(r)$ โดย s เป็นพารามิเตอร์ ซึ่งได้เส้นกราฟต่อๆ กันในบริเวณส่วนแรก
 สำหรับ $s/r = 0.1...1$

ภาคผนวก ค.

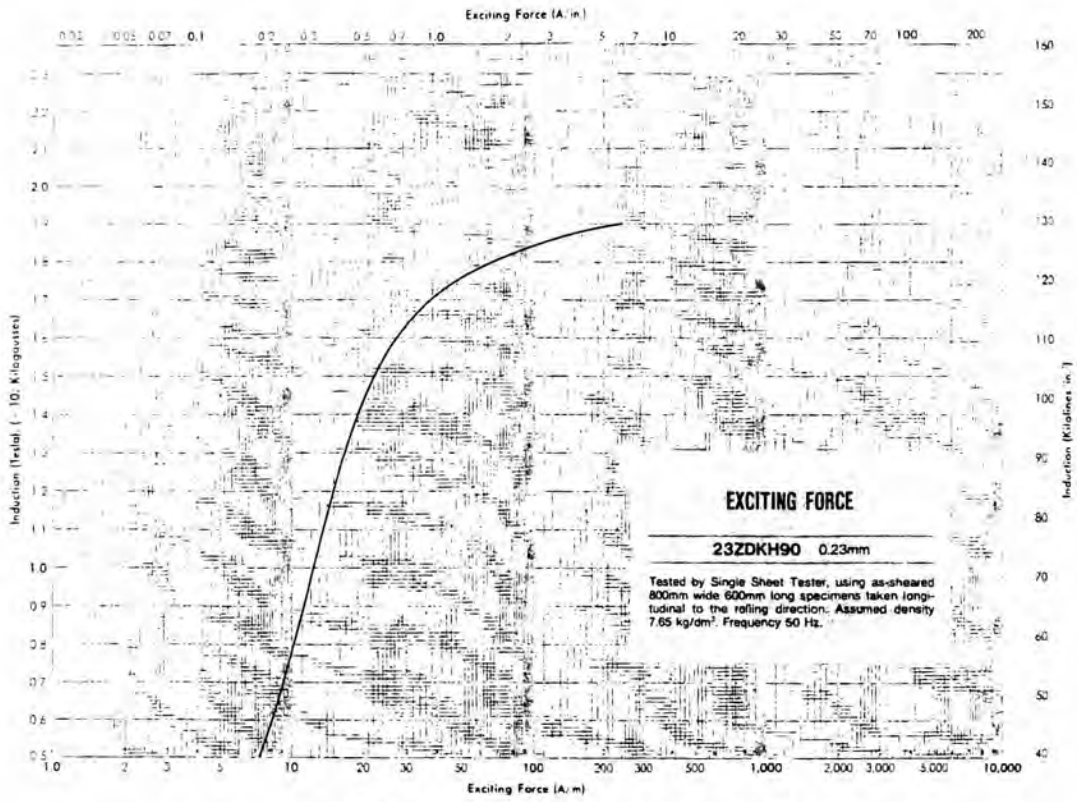
กราฟแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของแกนเหล็ก



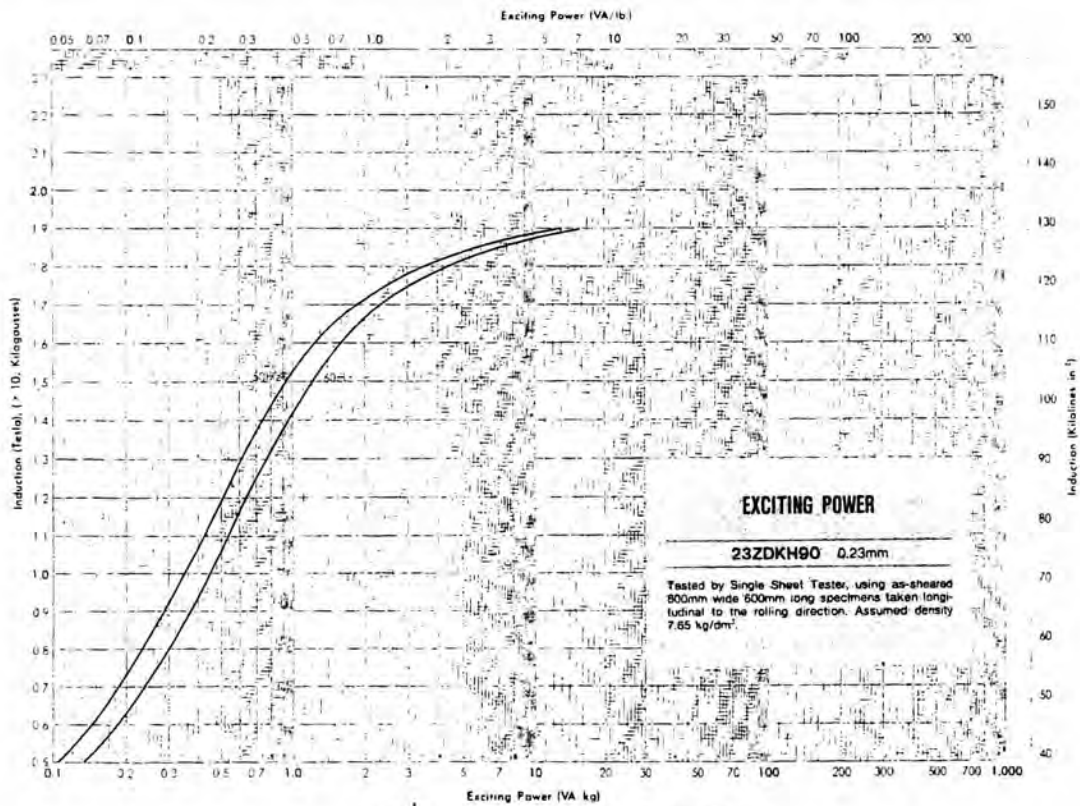
รูปที่ ค-1 กราฟแสดงกำลังสูญเสียในแกนเหล็กที่ 50 และ 60 Hz



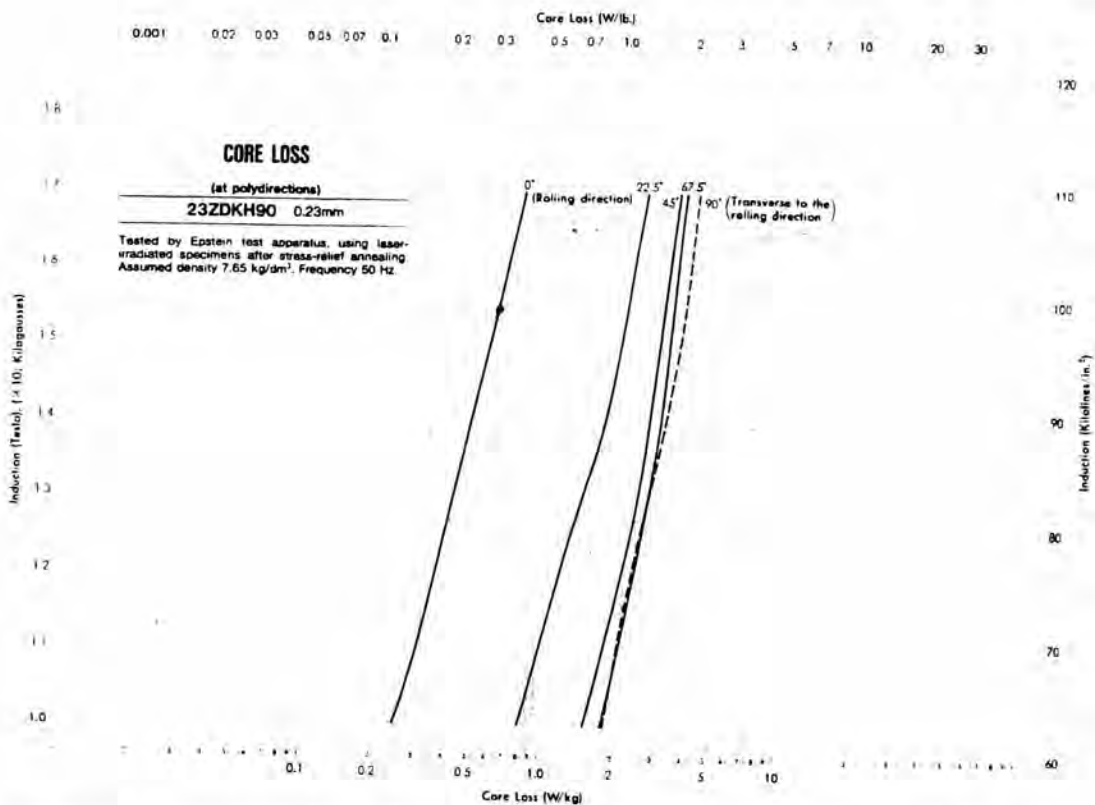
รูปที่ ค-2 กราฟแสดงการกระตุ้นทางแม่เหล็กและค่าความซึมซาบกระแสตรง



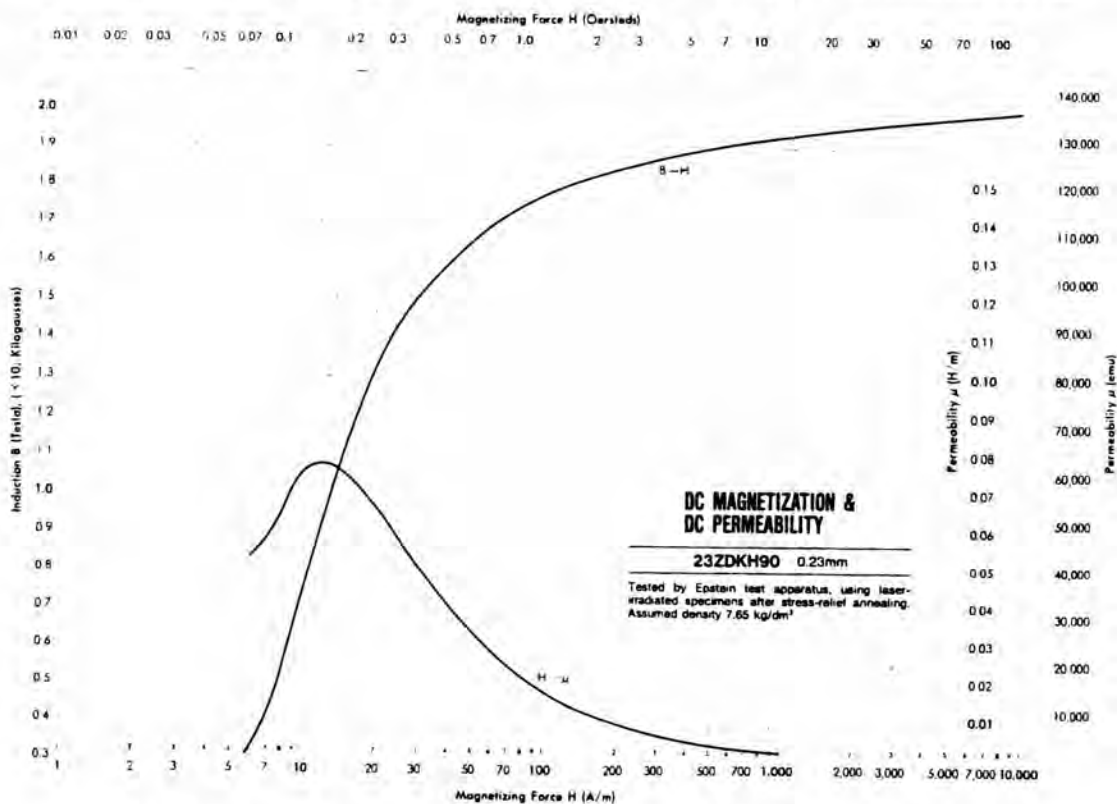
รูปที่ ค-3 กราฟแสดงแรงกระตุ้นทางแม่เหล็ก



รูปที่ ค-4 กราฟแสดงกำลังกระตุ้น



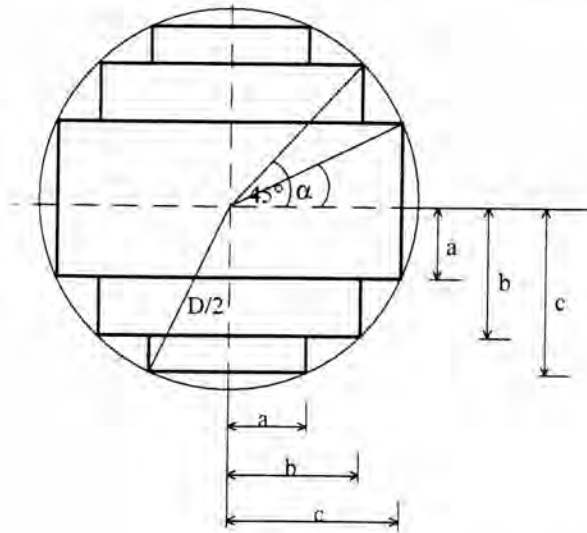
รูปที่ ค-5 กราฟแสดงกำลังสูญเสียของแกนเหล็กในทิศทางต่างๆ ของฟลักแม่เหล็กที่ 50 Hz



รูปที่ ค-6 กราฟแสดงการกระตุ่นทางแม่เหล็กกระแสดงในทิศทางต่างๆ

ภาคผนวก ง.

การคำนวณด้านแต่ละด้านของรูปเหลี่ยมอัดในวงกลม เมื่อทราบเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ต้องการ สามารถคำนวณได้ดังนี้ (3-step core type)



A_c : พื้นที่ภาคตัดขวางของแกนเหล็ก

K_{la} : ค่าแฟกเตอร์เนื้อเหล็ก

D : เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม

รูปที่ ง-1 แกนเหล็กแบบ 3 ชั้น
จากรูปจะได้

$$\frac{A_c}{K_{la}} = 2a2c + 2(b-a)2b + 2(c-b)2a = 8ac - 8ab + 4b^2$$

$$a = \frac{D}{2} \sin \alpha ; b = \frac{D}{2} \sin 45^\circ \text{ และ } c = \frac{D}{2} \cos \alpha$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \frac{A_c}{K_{la}} &= 2D^2 \sin \alpha \cos \alpha - 2D^2 \sin \alpha \sin 45^\circ + D^2 \sin^2 45^\circ \\ &= D^2 \left(2 \sin \alpha \cos \alpha - \sqrt{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \right) \end{aligned}$$

ค่าของมุม α ที่ทำให้พื้นที่ภาคตัดขวางมีค่ามากที่สุดสามารถหาได้โดยการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับ α แล้วให้เท่ากับศูนย์ จะได้

$$\frac{d(A_c / K_{la})}{d\alpha} = D^2 (4 \cos^2 \alpha - \sqrt{2} \cos \alpha - 2) = 0$$

$$\cos \alpha = 0.9056 \text{ และ } \alpha = 25.1^\circ$$

ฉะนั้น $2a = D \sin 25.1^\circ = 0.424D$; $2b = D \sin 45.0^\circ = 0.707D$; $2c = D \cos 25.1^\circ = 0.906D$

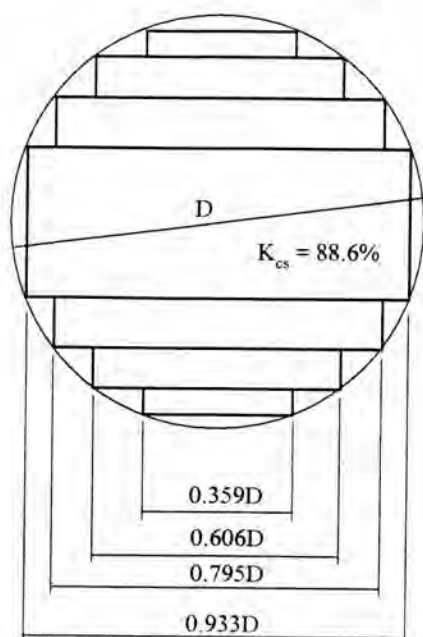
เมื่อ

$$K_{cs} = \frac{4A_c}{K_{la} \pi D^2}$$

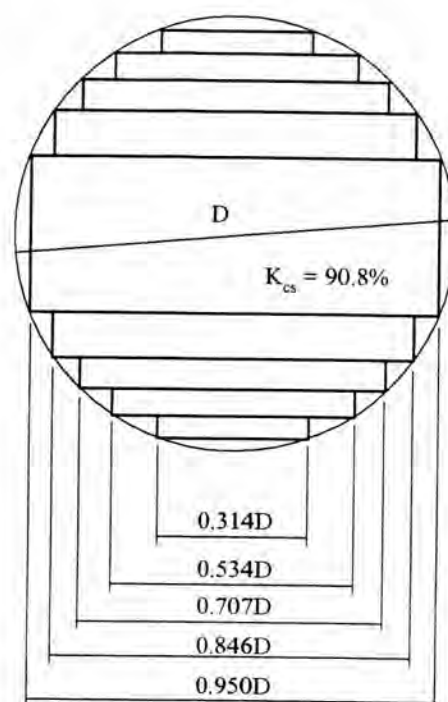
ดังนั้น

$$K_{cs} = \frac{4}{\pi} \left(2 \sin 25.1^\circ \cos 25.1^\circ - \sqrt{2} \sin 25.1^\circ + \frac{1}{2} \right) = 85.1\%$$

วิธีการตั้งแสดงข้างต้นเป็นแนวทางที่จะหาด้านแต่ละด้านโดยตรง ในทางปฏิบัติรูปเหลี่ยมอัดในวงกลมมีมากกว่า 3 ชั้น ซึ่งในการคำนวณนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่า



รูปที่ ง-2 แกนเหล็กแบบ 4 ชั้น



รูปที่ ง-3 แกนเหล็กแบบ 5 ชั้น

รูปที่ ง-2 และ ง-3 แสดงด้านต่างๆ ของรูปเหลี่ยมอัดในวงกลมที่คำนวณค่าแฟกเตอร์พื้นที่แกนเหล็ก, K_{cs} ให้แล้ว

ประวัติผู้เขียน

นายสารศ ดิภาพร เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ.2515 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2537