

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วิธีการวัดหาค่าความสูญเสียในแผ่นแกนแม่เหล็กโดยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

METHOD OF MEASUREMENT OF CORE LOSS OF MAGNETIC STEEL

SHEET BY SINGLE SHEET TESTER

ผู้จัดทำ

1. นาย นรากร กักโสภณ 44015111
2. นาย สมเกียรติ ยมราช 44015128
3. นาย สมโชค ญาติสกุลกาญจน์ 44015129
4. นาย วิทยา แก้วเอียด 44015167

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชิต ดำยง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวัดค่าความสูญเสียในแผ่นแกนแม่เหล็กโดยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

นายนรากร กักโสภณ

นายสมเกียรติ ยมราช

นายสมโชค ญาติสกุลกาญจน์

นายวิทยา แก้วเอียด

ผศ. พิเชฐ ล้ำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเทคนิคการวัดค่าคุณลักษณะการแมกนีไทซ์เซชันด้วยไฟฟ้ากระแสสลับของแผ่นแกนแม่เหล็ก โดยวิธีการทดสอบแบบการทดสอบแผ่นแกนแม่เหล็กแผ่นเดี่ยว ระบบการวัดแผ่นแกนแม่เหล็กแผ่นเดี่ยวนี้จะพัฒนาจากมาตรฐานของ JIS C2556-1996[1]. โดยโครงการนี้จะนำเสนอและพิจารณาผลการแมกนีไทซ์เซชันด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ และเทคนิคการวัดความสูญเสียของแกนเหล็ก โดยการแยกความสูญเสียจากกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระบบการทดสอบเพื่อสามารถกำหนดค่าความสูญเสียของแผ่นทดสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**METHOD OF MEASUREMENT OF CORE LOSS OF MAGNETIC STEEL SHEET
BY SINGLE SHEET TESTER**

NARAKORN KAKSOPHON

SOMKEIRT YOMMARAT

SOMCHOK YATSAKULKAN

WITTAYA KAEWEIT

Assist. Prof. PICHIT LUMYONG Advisor

2003

ABSTRACT

The project presents about a study of core loss tester by single sheet tester method. The measuring system of single tester has been developed for test standard of JIS C2556-1996[1] This project work is focused on separated power losses from total input in order to specific the core loss in specimen. The results of measurement for determined the magnetization characteristics of magnetic steel sheet are illustrated and discussed

กิตติประกาศ

ทางกลุ่มโปรเจกต์ต้องขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือให้โปรเจกต์ของเราในครั้งนี้ได้สำเร็จ
คล่องไปได้ด้วยดี ทั้งผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือโดยตรงและโดยอ้อมก็ตาม ดังรายนามต่อไปนี้

อาจารย์พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษากลุ่มโปรเจกต์ ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้
ต่างๆที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนคอยช่วยเหลือดูแลพวกเราเป็นอย่างดีจนเสร็จสิ้น โปรเจกต์

คุณเฉลิมชัย เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาและวิจัยทางวิศวกรรม ผู้ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ
เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมในการคำนวณ และแนะนำเกี่ยวกับการทดลองโปรเจกต์

เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาและวิจัยทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็น คุณเปี่ยมภูมิ คุณเชษฐา ฯลฯ ที่
คอยมาช่วยเปิดประตูห้องโปรเจกต์ แนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ และดูแลเราเป็นอย่างดีในแต่ละ
วัน

เพื่อนๆกลุ่มโปรเจกต์เครื่องกล ที่คอยช่วยเหลือร่วมทุกข์ร่วมสุขและคอยเป็นแรงใจให้กันและ
กันตลอด 2 เทอมที่ผ่านมา

พี่เล็ก พี่โย่ง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อให้ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานจนเสร็จคล่องมาได้ด้วยดี

และที่สำคัญคือ บุพการี ผู้ให้กำเนิดพวกเราจนทำให้พวกเราได้มาขึ้นอยู่ ณ ตรงจุดนี้ จน
ประสบความสำเร็จในที่สุด

ทางกลุ่มของเราต้องขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้ประกาศนามที่มี
ส่วนช่วยเหลือพวกเรา พวกเรามีความซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง

นายนรากร กักโสภณ

นายสมเกียรติ ชมราช

นายสมโชค ญาติสกุลกาญจน์

นายวิทยา แก้วเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ตารางการทำงาน	3
บทที่ 2 แม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.1 สนามแม่เหล็ก	5
2.2 สนามแม่เหล็กรอบขดลวดตัวนำ	9
2.3 เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล	10
2.4 การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า	11
2.5 ความเข้มสนามแม่เหล็ก	12
2.6 ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก	12
2.7 แรงแล่งแม่เหล็ก	13
2.8 ความซึมซาบได้	13
2.9 ความซึมซาบได้สัมพัทธ์	13
2.10 วัสดุแม่เหล็ก	14
2.11 ความต้านทานแม่เหล็ก	15
2.12 เส้นโค้งแสดงความเป็นแม่เหล็ก	16
2.13 ฮีสเทอรีซิส	19
2.14 การสูญเสียเนื่องจากฮีสเทอรีซิส	20
2.15 การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน	21
บทที่ 3 วงจรแม่เหล็ก	23
3.1 Magnetic circuits	23
3.2 Inductance	28
3.3 Self-inductance and Mutual-inductance	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 Energy storage in magnetic fields	29
บทที่ 4 ทฤษฎีเกี่ยวกับทดสอบหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กด้วยวิธี	
การทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว	31
4.1 นิยามและสัญลักษณ์	31
4.2 หลักการทดสอบ	31
4.3 เงื่อนไขการทดสอบ	32
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ	32
บทที่ 5 โครงสร้างของชุดทดสอบ	34
5.1 โครงสร้าง	34
บทที่ 6 การวัดค่าต่างๆ จากการทดสอบ	38
6.1 การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก	38
6.2 การวัดค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	39
6.3 การวัดค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก	40
บทที่ 7 การทดสอบหาค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว	41
7.1 วัตถุประสงค์	41
7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
7.3 วิธีการทดลอง	41
7.4 ผลการทดลอง	44
บทที่ 8 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดสอบ	58
8.1 วัตถุประสงค์	58
8.2 การทดลองเพื่อหาค่าความสูญเสียใน Yoke	58
8.3 ผลการทดสอบค่าความสูญเสียในแกนสี่เหลี่ยม	59
8.4 การทดลองเพื่อหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละจุดในแกนทดสอบ	60
8.5 สรุป	61
บทที่ 9 สรุปผลและวิจารณ์	62
9.1 สรุปผลการทดลอง	62
9.2 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการนี้	62
9.3 แนวทางในการศึกษาต่อ	62
ภาคผนวก ก	63
บรรณานุกรม	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแสดงการทดลองของเออสเตด	5
รูปที่ 2.2 รูปแสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ	6
รูปที่ 2.3 รูปแสดงกฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก	6
รูปที่ 2.4 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ	7
รูปที่ 2.5 รูปแสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวด	7
รูปที่ 2.6 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามในตัวนำที่วางขนานกัน	8
รูปที่ 2.7 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางเดียวกันในตัวนำที่วางขนานกัน	8
รูปที่ 2.8 รูปแสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด	9
รูปที่ 2.9 รูปแสดงเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล	10
รูปที่ 2.10 รูปแสดงแสดงลักษณะของทอรอยด์	16
รูปที่ 2.11 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($B-H$ Curve) เมื่อ $H < 400$ แอมแปร์ต่อเมตร	18
รูปที่ 2.12 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($B-H$ Curve) เมื่อ $H > 400$ แอมแปร์ต่อเมตร	18
รูปที่ 2.13 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความซึมซาบได้กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($\mu-H$ Curve)	19
รูปที่ 2.14 รูปแสดงวงของฮิสเตอรีซิสและเส้นโค้งการเกิดสนามแม่เหล็ก	20
รูปที่ 2.15 รูปแสดงการเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก	22
รูปที่ 3.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ของค่า $B-H$ ของ Ferromagnetic material ชนิดต่างๆ	24
รูปที่ 3.2 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็ก	25
รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบทอรอยด์	25
รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กที่มีช่องอากาศ	26
รูปที่ 3.5 รูปแสดงปรากฏการณ์ Fringing	26
รูปที่ 3.6 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กที่ขดลวด 2 ชุด	28
รูปที่ 3.7 รูปแสดงพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็ก	29
รูปที่ 4.1 รูปแสดง Yokogawa Oscillographic Recorder	33
รูปที่ 5.1 รูปแสดงโครงสร้างของการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว	34
รูปที่ 5.2 รูปแสดงภาพตัดขวางการพันขดลวด และการวางแผ่นทดสอบ	35
รูปที่ 5.3 รูปแสดงภาพตัดด้านหน้าของการพันขดลวด และการวางแผ่นทดสอบ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.4 รูปแสดง Yoke วางอยู่บนฉนวนที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก	36
รูปที่ 5.5 รูปแสดงชุด Coil ซึ่งประกอบด้วย Exciting Coil พันทับ B Coil	36
รูปที่ 5.6 รูปแสดงการพันขดลวด H Coil	37
รูปที่ 5.7 รูปแสดงชุดทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว	37
รูปที่ 6.1 รูปแสดงการต่อวงจรทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว	38
รูปที่ 7.1 รูปแสดงวงจรการทดลองและการวัดค่าต่างๆ	42
รูปที่ 7.2 รูปแสดงการต่อชุดทดลองของการทดสอบ	42
รูปที่ 7.3 รูปแสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้น แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก ที่ $B = 0.8 \text{ T}$	44
รูปที่ 7.4 รูปแสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้น แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก ที่ $B = 1.5 \text{ T}$	44
รูปที่ 7.5 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของแรงดันขาเข้า ที่ $B = 0.8 \text{ T}$	45
รูปที่ 7.6 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของกระแสกระตุ้น ที่ $B = 0.8 \text{ T}$	45
รูปที่ 7.7 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของแรงดันขาเข้า ที่ $B = 1.5 \text{ T}$	46
รูปที่ 7.8 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของกระแสกระตุ้น ที่ $B = 1.5 \text{ T}$	46
รูปที่ 7.9 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90	47
รูปที่ 7.10 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) กับ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90 เทียบกับ ผลการทดสอบจากโรงงาน	47
รูปที่ 7.11 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90	48
รูปที่ 7.12 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับค่า ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90 เทียบกับผล การทดสอบจากโรงงาน	48
รูปที่ 7.13 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) กับค่า ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90	49
รูปที่ 7.14 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90	49
รูปที่ 7.15 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90 เทียบกับผล การทดสอบจากโรงงาน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.16 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90 คิดค่า SF=0.945 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน	50
รูปที่ 7.17 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100	51
รูปที่ 7.18 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100	51
รูปที่ 7.19 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน	52
รูปที่ 7.20 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100 คิดค่า SF=0.945 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน	52
รูปที่ 7.21 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100	53
รูปที่ 7.22 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100	53
รูปที่ 7.23 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100 เทียบกับ ผล การทดสอบจาก โรงงาน	54
รูปที่ 7.24 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA / kg) กับ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100 คิดค่า SF=0.945 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน	54
รูปที่ 7.25 รูปกราฟแท่งแสดงค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) ที่ค่าความหนาแน่น เส้น แรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.5 T เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน ของแผ่นแกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100	56
รูปที่ 7.26 รูปกราฟแท่งแสดงค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W / kg) ที่ค่าความหนาแน่น เส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.7 T เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงานของแผ่น แกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100	56
รูปที่ 7.27 รูปกราฟแท่งแสดงค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ที่ค่าความเข้มสนาม แม่เหล็กเท่ากับ 800 A / m เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 8.1 รูปแสดงขนาดของแกนสี่เหลี่ยม และ Yoke ตามลำดับ	58
รูปที่ 8.2 รูปกราฟแสดงผลการทดสอบการหาค่าความสูญเสีย (W / kg) ใน Yoke	59
รูปที่ 8.3 รูปแสดงช่วงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก	60
รูปที่ 8.4 รูปแสดงผลการทดสอบค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1-1 ตารางการทำงานเทอม 1	3
ตาราง 1-2 ตารางการทำงานเทอม 2	3
ตาราง 2-1 ตารางแสดงค่าชิมซาบได้ของสารต่างๆ	15
ตาราง 7-1 ตารางแสดงขนาดของแกนเหล็กแต่ละเกรด	43
ตาราง 7-2 ตารางแสดงผลการทดสอบของแผ่นแกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากการพัฒนาอุตสาหกรรมต่างๆภายในประเทศ เครื่องจักรกลไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิต และเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม แกนเหล็กซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้านี้เป็นปัจจัยสำคัญของการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ดังนั้นการวัดค่าความสูญเสียของแกนเหล็กที่ใช้ทำแกนเครื่องจักรกลไฟฟ้า จึงเป็นเรื่องสำคัญต่อการพัฒนา และออกแบบสร้างเครื่องจักรกลไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

การวัดค่าคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแผ่นแกนแม่เหล็กนี้ สามารถที่จะกระทำได้หลายวิธี ดังเช่น การทดสอบแบบแอสทิน (Epstein method) และการทดสอบแบบแผ่นทดสอบแบบวงแหวน (Ring specimen method) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบดั้งเดิม ซึ่งในปัจจุบันวิธีการดังกล่าวจะถูกทดแทนโดยการใช้วิธีการทดสอบแบบแผ่นแกนแม่เหล็กแผ่นเดี่ยว เนื่องจากสะดวกในการทดสอบ การทดสอบโดยวิธีการดังกล่าวจะใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบแผ่นแกนแม่เหล็ก เพื่อคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น กราฟการแมกนีไทซ์เซชัน และค่าความสูญเสียแกนเหล็ก เป็นต้น

โครงการนี้ได้ปรับปรุงและนำเสนอเทคนิคการวัดแผ่นแกนแม่เหล็กจากมาตรฐาน JIS C2556-1996. โดยในการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าวมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรขยายสัญญาณ วงจรคูณสัญญาณ จากปัญหาของการใช้วงจรดังกล่าว เมื่อการต่อวงจรทำได้ไม่ดีจะทำให้การวัดมีข้อผิดพลาดสูงมาก เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดดังกล่าว ในโครงการนี้จึงใช้การวัดรูปสัญญาณโดยตรง โดยการใช้เครื่องวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาหาค่าความสูญเสียของแผ่นแกนแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว
- 1.2.2 ศึกษาหาค่า ac magnetizing characteristics ของแผ่นแกนแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและวงจรแม่เหล็ก
- 1.3.2 ศึกษาการหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กตามแบบมาตรฐาน JIS
- 1.3.3 ทดสอบหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแผ่นเหล็กทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว เพื่อนำไปกำหนดค่า ac magnetizing characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นเหล็กทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว เพื่อนำไปกำหนดค่า Core loss characteristics

1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรแม่เหล็ก เป็นหัวใจหลัก โดยจะศึกษาทฤษฎีที่ว่าควบคู่ไปกับวิธีการทดสอบตามแบบมาตรฐาน JIS C2556-1996 ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

จากนั้นก็เข้าสู่วิธีการสร้างชุดทดสอบ โดยโครงสร้างของชุดทดสอบจะอ้างอิงมาจากมาตรฐาน JIS เป็นหลัก ซึ่งจะมีการแก้ไขและเปลี่ยนแปลงบ้างในบางส่วนเพื่อความสะดวกเหมาะสมและได้ผลการทดลองที่แม่นยำขึ้น รายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทที่ 4

ในการทดสอบจะใช้แผ่นเหล็กทดสอบทั้งหมด 4 เกรด ด้วยกัน ได้แก่ 23ZDKH90, 23RGH90, 27ZH100, 27RGH1100 ซึ่งแผ่นเหล็กทั้ง 4 เกรด นี้ได้ทำการทดสอบมาจากโรงงานผู้ผลิตแล้ว ซึ่งเราจะนำผลการทดสอบที่ได้ไปเทียบกับผลการทดสอบดังกล่าว เพื่อให้ผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกันหรือไม่ โดยผลการทดสอบจะกล่าวไว้โดยละเอียดในบทที่ 7

และเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดสอบที่ได้ เราจะทำการทดสอบหาค่าความสูญเสียใน Yoke ว่ามีค่าตามมาตรฐานที่กำหนดจริง รวมทั้งการทดสอบค่าความสม่ำเสมอภายในแกนทดสอบว่ามีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาแกนทดสอบ รายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทที่ 8

สำหรับบทสุดท้ายจะเป็นสรุปเกี่ยวกับการทดสอบที่ได้ทำมา และแนวทางในการศึกษาต่อ

1.5 ตารางการทำงาน

ตาราง 1-1 ตารางการทำงานทอม 1

เวลา	ก.ค.				ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
รายการ																
1.ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ สนามแม่เหล็ก																
2.รวบรวมข้อมูล และสรุปเกี่ยวกับ ทฤษฎีสานแม่เหล็ก																
3.ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ วงจรแม่เหล็ก																
4.รวบรวมข้อมูล และสรุปเกี่ยวกับ ทฤษฎีวงจรแม่เหล็ก																
5.ศึกษาการทดสอบ ตามแบบมาตรฐาน JIS																
6.รวบรวมข้อมูลและ สรุปเกี่ยวกับการทดสอบ ตามแบบมาตรฐาน JIS																
7.จัดเตรียมชุดทดสอบ Single sheet tester																
8.ทำเอกสาร พิมพ์ราย งาน ,ตรวจสอบแก้ไข																
8.ทำเอกสาร พิมพ์ราย งาน ,ตรวจสอบแก้ไข																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1-2 ตารางการทำงานทอม 2

เวลา	พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
รายการ																				
1.ทดสอบเกี่ยวกับชุดทดสอบเพื่อให้ได้ชุดทดสอบที่ตรงตามมาตรฐาน																				
2.ทดสอบหาค่า ac magnetizing characteristics ของแผ่นเหล็กทดสอบ																				
3. ทดสอบหาค่า core loss characteristics ของแผ่นเหล็กทดสอบ																				
4.รวบรวมข้อมูลสรุปผลการทดสอบ																				
5.แก้ไขข้อผิดพลาดเก็บข้อมูลเพิ่มเติมบางส่วน																				
6.จัดทำเอกสาร																				
7.นำเสนอโครงการ																				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

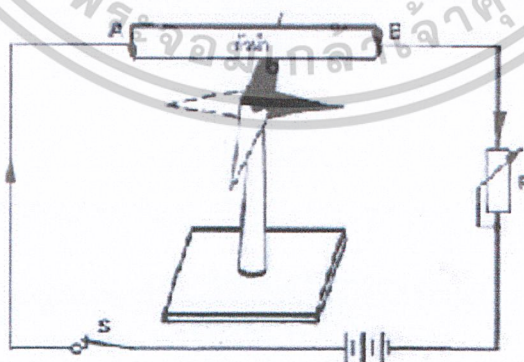
แม่เหล็กไฟฟ้า

2.1 สนามแม่เหล็ก

ในปี ค.ศ. 1819 แฮนส์ คริสเตียน เอออสเตด (Hans Christian Oersted) นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์ก ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการไหลของกระแสไฟฟ้า และพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเสมอ

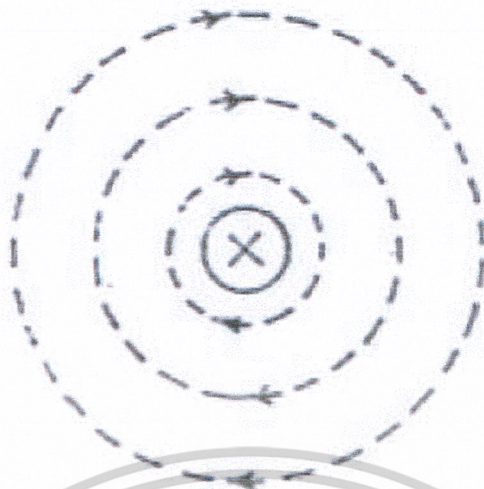
การทดลองของเอออสเตดนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยการนำเอาลวดตัวนำไฟฟ้า AB ต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้า และให้ตัวนำนั้นวางขนานกับเข็มทิศที่วางอยู่ใต้ตัวนำนั้น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำจะทำให้เข็มทิศเกิดการเบี่ยงเบนไปจากแนวขนานเดิม โดยเข็มทิศจะตั้งฉากกับตัวนำ AB แต่เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับทาง เข็มทิศจะเกิดการเบี่ยงเบนกลับทางไปอีกทางหนึ่ง ซึ่งทำมุมกับตำแหน่งเดิม 180 องศา และยังพบอีกว่าถ้าให้ลวดตัวนำทำมุม 90 องศากับเข็มทิศแล้ว เข็มทิศจะไม่เบี่ยงเบนไปในทิศทางใดๆ เลย

เอออสเตดยังได้ค้นพบอีกว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งจัดเรียงเป็นวงรอบๆ ตัวนำที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านนั้น โดยตัวนำจะเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมเหล่านั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำนี้ถ้ายังอยู่ห่างตัวนำมากอำนาจแม่เหล็กก็ยิ่งน้อย การเกิดสนามแม่เหล็กนี้สามารถแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ในแนวตั้งทะลุผ่านกระดาษแข็ง แล้วนำเข็มทิศวางไว้บนกระดาษแข็งตามตำแหน่งต่างๆ จะสังเกตเห็นว่าทิศทางจะหันเหเรียงตามกันไปเป็นวงกลมรอบตัวนำ โดยให้สีตำแหน่งด้วยขั้วเหนือ และสีขั้วแทนด้วยขั้วใต้ หรืออาจใช้ผงเหล็กโรย โดยจะสังเกตเห็นว่าผงเหล็กเรียงตัวเป็นวงกลม



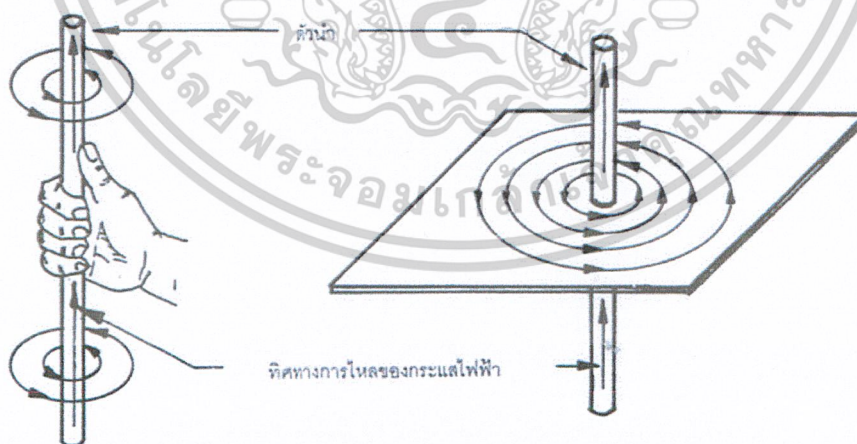
รูปที่ 2.1 รูปแสดงการทดลองของเอออสเตด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ

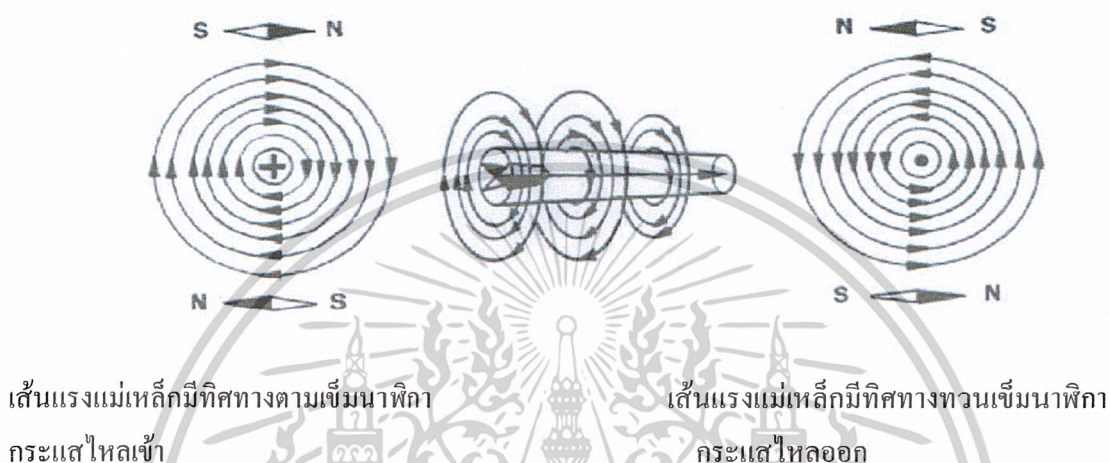
ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำไฟฟ้ากับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ สามารถหาได้โดยการใช้กฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก คือให้ใช้มือขวากำรอบตัวนำไฟฟ้า โดยให้หัวแม่มือชี้ไปตามความยาวของตัวนำ แทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และให้นิ้วทั้งสี่ที่เหลือกำรอบตัวนำ โดยนิ้วทั้งสี่นั้นจะแทนทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแสดงกฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

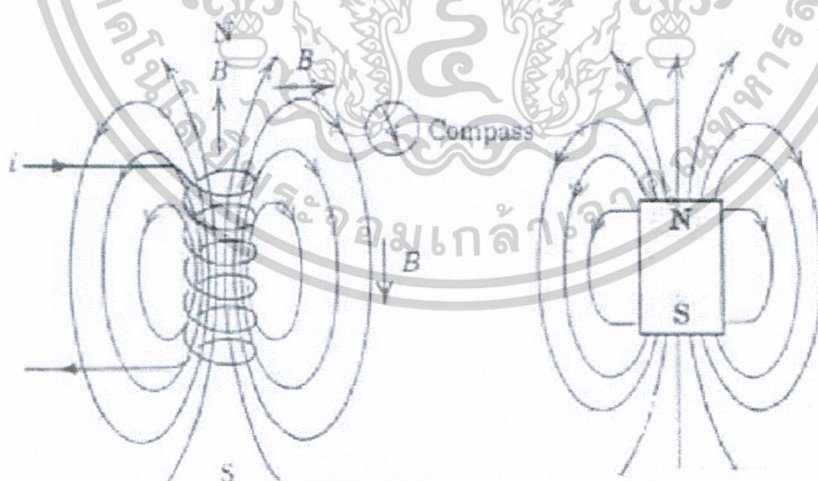
ลูกศรที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าจะใช้แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าไปตามความยาวของตัวนำไฟฟ้า โดยจะกำหนดให้ที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าซึ่งเห็นกับลูกศรนั้นแทนด้วยเครื่องหมายกากบาท (+) ส่วนด้านที่กระแสไฟฟ้าไหลออกซึ่งเห็นเป็นหัวลูกศรแทนด้วยเครื่องหมายจุด (·) และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.4 และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดแสดงได้ดังรูป 2.5



เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา
กระแสไหลเข้า

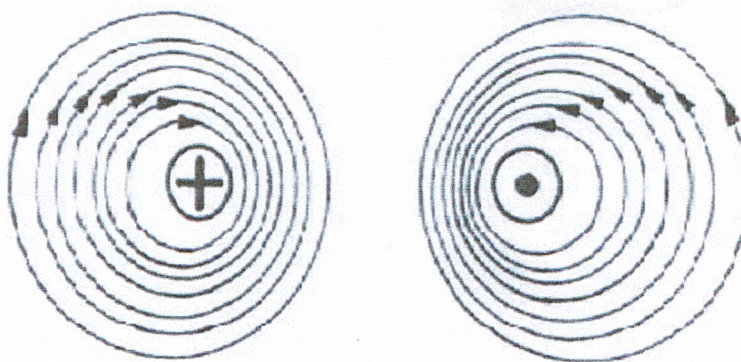
เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
กระแสไหลออก

รูปที่ 2.4 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ

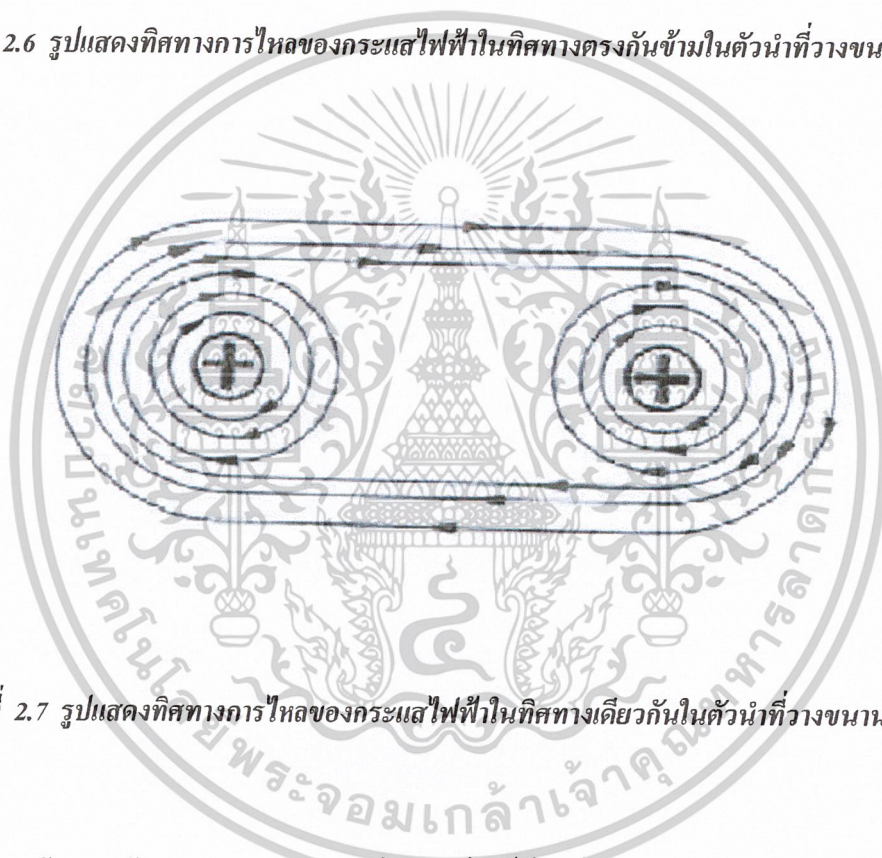


รูปที่ 2.5 รูปแสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามในตัวนำที่วางขนานกัน



รูปที่ 2.7 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางเดียวกันในตัวนำที่วางขนานกัน

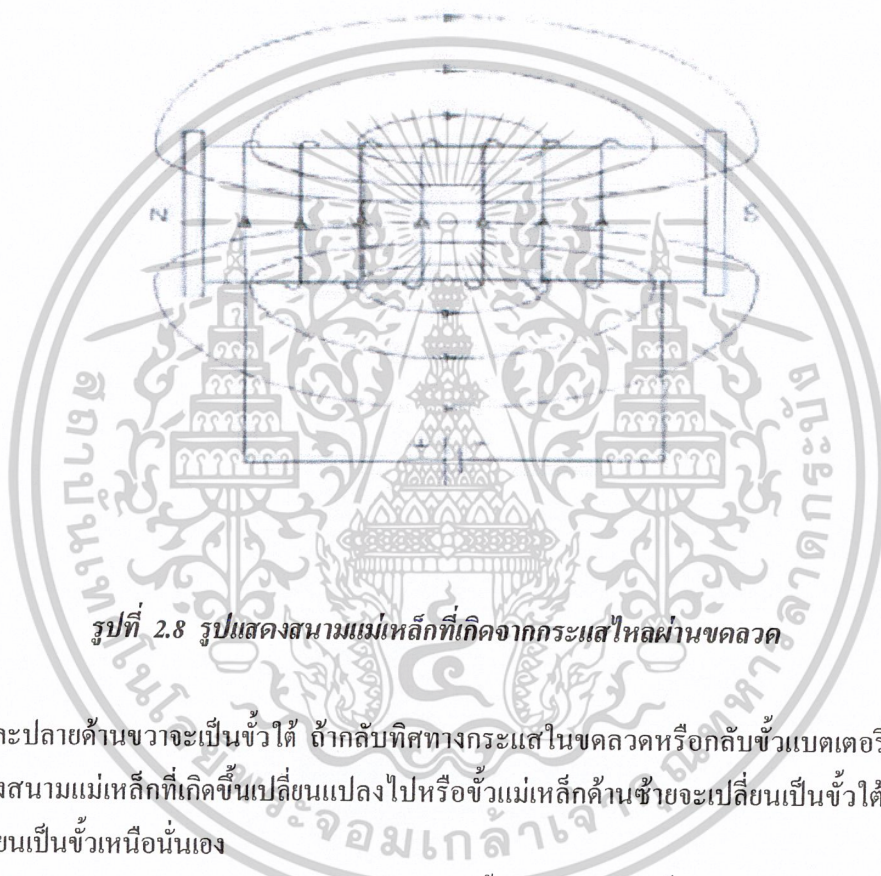
เมื่อนำตัวนำ 2 ตัวมาวางขนานกัน และมีกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน แสดงในรูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำทั้งสองสามารถหาได้จากกฎมือขวา โดยกระแสไฟฟ้าไหลออกแสดงด้วยจุด คือตัวนำด้านซ้ายมือ และตัวนำด้านขวาให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าแสดงด้วยเครื่องหมายกากบาท ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำด้านซ้ายมือ จะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนตัวนำทางด้านขวาที่กระแสไหลเข้าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นจะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำทั้งสองนั้นมีทิศทางไปในทางเดียวกันทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหมือนกัน จึงเกิดแรงผลักกันขึ้นระหว่างตัวนำทั้งสองที่วางขนานกันนั้น

แต่ถ้าตัวนำทั้งสองที่วางขนานกันมีกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกัน แสดงในรูป 2.7 โดยสมมุติให้กระแสไหลเข้ามีทิศทางตามเข็มนาฬิกาและเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำทางด้านขวาก็เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกันทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กต่างกัน เป็นเหตุให้เกิดแรงดูดกันขึ้น ตัวนำทั้งสองถูกดึงเข้ามาใกล้กัน

2.2 สนามแม่เหล็กรอบขดลวดตัวนำ (Magnetic field around a coil)

ถ้าเราพันขดลวดรอบแกนเหล็กดังรูป 2.6 และต่อปลายขดลวดเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ แกนเหล็กจะกลายเป็นแม่เหล็กและคุณสมบัติคล้ายกับแม่เหล็กถาวร ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นแทนด้วยหัวลูกศร โดยปลายของแกนเหล็กด้านซ้ายจะเป็น



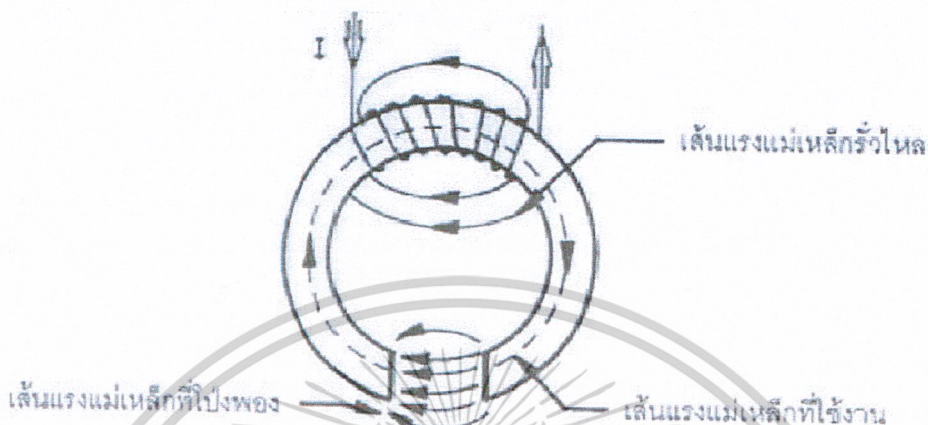
รูปที่ 2.8 รูปแสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด

ขั้วเหนือและปลายด้านขวาจะเป็นขั้วใต้ ถ้ากลับทิศทางกระแสในขดลวดหรือกลับขั้วแบตเตอรี่ จะทำให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปหรือขั้วแม่เหล็กด้านซ้ายจะเปลี่ยนเป็นขั้วใต้ และด้านขวาจะเปลี่ยนเป็นขั้วเหนือนั่นเอง

เมื่อทิศทางกระแสไหลในขดลวด เราสามารถหาขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้โดยใช้กฎมือขวาของขดลวด (Right hand rule for coil) ซึ่งกล่าวว่า ให้กำขดลวดด้วยมือขวาโดยให้นิ้วทั้งสี่กำขดลวดซึ่งทิศทางกระแสในขดลวด นิ้วหัวแม่มือซึ่งยื่นออกไปขนานกับแกนของขดลวดจะชี้ไปทางขั้วเหนือ (ทิศทางแม่เหล็กภายในขดลวด)

2.3 เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Magnetic Leakage or Leakage Flux)

เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลเป็นเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งที่ไม่ไหลไปตามความต้องการดังแสดงในรูป เส้นแรงแม่เหล็กที่ต้องการและใช้ประโยชน์จริงๆ ได้ก็คือเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านช่องอากาศเท่านั้น



รูปที่ 2.9 รูปแสดงเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล

ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลที่ไม่ไหลผ่านช่องว่างตามต้องการเรียกเส้นแรงแม่เหล็กนี้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ถ้าต้องการให้เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลน้อยที่สุดนั้นต้องให้ขดลวดขดที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ใกล้ช่องว่างหรือจุดที่ต้องการใช้เส้นแรงแม่เหล็กนั้นๆ ซึ่งเราจะสามารถทราบได้ว่าการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก ได้จากการเอาเข็มทิศไปวางไว้ในบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล และก็จะเป็นการยากมากที่จะไม่ให้มีการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดที่อาศัยอำนาจแม่เหล็ก เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์อย่างดี จะมีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลประมาณ 15–20 %

ถ้ากำหนดให้

ϕ_i = เส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างขึ้น หรือเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทั้งหมด

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กที่สามารถใช้งานได้จริงๆ

จากการทดลองของฮอปคินสัน (Hopkinson) พบว่าสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างขึ้นมา ต่อ เส้นแรงแม่เหล็กที่สามารถใช้งานได้จริงๆ โดยสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วนี้ จะใช้สัญลักษณ์ λ และสามารถหาได้จากสมการดังนี้

สัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลทั้งหมด / จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leakage coefficient (λ) = Total flux / Useful flux

$$\text{Leakage coefficient } (\lambda) = \frac{\phi_l}{\phi}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลนี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของฮอปกินสัน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลมาก นั้นแสดงว่าการออกแบบเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นไม่ดี แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลต่ำ แสดงว่าการออกแบบไฟฟ้านั้นดี โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลประมาณ 1.1 ถึง 1.25

นอกจากจะมีเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลแล้ว จากรูปจะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนกระจายออกนอกช่องอากาศ เส้นแรงแม่เหล็กนี้เรียกว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากการโป่งออก (Fringing flux) เส้นแรงแม่เหล็กส่วนนี้ไม่เกิดประโยชน์เช่นเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหล เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กได้แพร่กระจายออกไปบนพื้นที่ที่เกี่ยวข้องที่โตกว่า ดังนั้นจึงมีผลทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กได้แพร่กระจายออกไปบนพื้นที่ที่เกี่ยวข้องที่โตกว่า ดังนั้นจึงมีผลทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศมีค่าลดลง

2.4 การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction)

ในปี ค.ศ. 1831 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบหลักฐานสำคัญเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ถ้ามีขดลวด C ปลายของขดลวดต่อกับกัลวานอมิเตอร์ G (แอมมิเตอร์ที่มีความไวสูง) แล้วนำแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่เข้าไปในขดลวด เข็มของกัลวานอมิเตอร์ จะบ่ายเบนไปทิศทางหนึ่งแสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด C หลังจากการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวรหยุดลง เข็มของกัลวานอมิเตอร์ จะกลับมายังที่ ศูนย์ตามเดิมผลการทดลองพิสูจน์ได้ว่ามีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ เมื่อเทียบกับขดลวด C

ถ้าเราจับขั้วแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ ออกจากขดลวด C เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะบ่ายเบนไปทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรกแสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด C มีทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรกเช่นกัน ถ้าเราจับแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน จะพบว่ายังมีความเร็วมากเข็มของกัลวานอมิเตอร์ก็ยิ่งบ่ายเบนมาก ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ก็ต้องมากขึ้นด้วย

ผลที่ได้รับจากการทดลองเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า สรุปได้ดังนี้

ก. เมื่อลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก หรือ เส้นแรงแม่เหล็ก เคลื่อนที่ตัดลวดตัวนำจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด

ข. ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็ก และขึ้นอยู่กับทิศทางของลวดตัวนำที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก

ค. ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราความเร็วที่ลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัด หรือถูกตัดโดยเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity) ใช้สัญลักษณ์ H

คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวของวงจรมแม่เหล็ก วงจรมแม่เหล็กที่มีเส้นแรงแม่เหล็กสม่ำเสมอจะมีค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวคงที่ตลอดแนวของเส้นแรงแม่เหล็กนั้น นั่นหมายความว่าความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ตลอดแนวความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นด้วย หน่วยของความเข้มสนามแม่เหล็ก คือแอมแปร์/เมตร (A/m) ความเข้มสนามแม่เหล็กเราสามารถวัดได้หรือหาได้จาก การนำเอาขั้วเหนือเดี่ยว (N) ที่มีแรงแม่เหล็ก 1 หน่วยขั้วไปวางไว้ ณ จุดใดจุดหนึ่งในสนามแม่เหล็ก ค่าของแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของขั้วเหนือเดี่ยวกับสนามแม่เหล็กจะเป็นค่า ความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นๆ

ความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถหาได้จากสมการคือ

$$H = \frac{\mathfrak{N}}{l} = \frac{Ni}{l} \quad (\text{A/m})$$

H = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

l = ความยาวของวงจรมแม่เหล็ก

หมายเหตุ คำว่าขั้วเดี่ยวนี้จะใช้ได้เฉพาะในทางทฤษฎีเท่านั้น ซึ่งหมายถึงเป็นขั้วเหนือเดี่ยวๆ หรือขั้วใต้เดี่ยวๆ แต่ในทางปฏิบัติขั้วเหนือเดี่ยวๆ ไม่มีแต่ถ้ามีขั้วเหนือด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งจะเป็นขั้วใต้ควบคู่กันไป และในทางกลับกัน ถ้ามีขั้วใต้ด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งจะเป็นขั้วเหนือ

2.6 ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) ใช้สัญลักษณ์ B

เพื่อให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของเส้นแรงแม่เหล็ก จึงต้องกำหนดพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่าน ปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่า ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) ดังนั้นหน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ เวเบอร์/ตารางเมตร (wb/m^2) หรือเทสลา (Tesla)

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กหาได้จากสมการ

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (\text{wb/m}^2)$$

B = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force) ใช้สัญลักษณ์ \mathfrak{F}

หมายถึง ความสามารถในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเหล็ก เป็นแหล่งที่ทำให้หน้าตัดเส้นแรงแม่เหล็ก ให้เคลื่อนที่ผ่านไปในวงจรแม่เหล็กซึ่งคล้ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ส่งกำลังให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในโหลด หรือส่วนต่างๆ ของวงจร โดยแรงดันแม่เหล็ก นั้นเป็นงาน (work done) ที่มีหน่วยวัดเป็นจูล (Joules) ซึ่งได้จากการนำเอาขั้วเหนือเดี่ยวส่งผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็ก หน่วยของงานคิดเป็น จูล แต่หน่วยของแรงดันแม่เหล็ก ใช้ แอมแปร์เทอน (A-T) ซึ่งได้จากการเอากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดคูณกับจำนวนรอบของขดลวดที่พันไว้เพื่อให้เกิดสนามเส้นแรงแม่เหล็ก แรงดันแม่เหล็กสามารถหาได้จากสมการคือ

$$\begin{aligned}\mathfrak{F} &= \text{m.m.f.} & \text{A-T} \\ &= Ni & \text{A-T} \\ \mathfrak{F} &= \text{แรงดันแม่เหล็ก เป็นแอมแปร์เทอน (A-T)} \\ i &= \text{กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเป็น แอมแปร์ (A)} \\ N &= \text{จำนวนรอบขดลวดเป็นรอบ (T)}\end{aligned}$$

2.8 ความซึมซาบได้ (Permeability) ใช้สัญลักษณ์ μ

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ที่แท้จริงมันจะขึ้นอยู่กับโมเลกุล ของแกนเหล็กว่าจะสามารถวางตัวในแนวเดียวกันได้ง่ายเพียงใด เรียกว่าความซึมซาบได้ ความซึมซาบได้นี้เป็นอัตราส่วนของ ความหนาแน่นแห่งเส้นแรงแม่เหล็กต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mu = \frac{B}{H} = \mu_0 \mu_r \quad (\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7})$$

ความซึมซาบได้ คือ ความยินยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน ความซึมซาบของสุญญากาศเป็น 1 โดยปกติทั่วไปจะกล่าวถึงเฉพาะความซึมซาบได้สัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึงตัวกลาง เช่นเหล็กยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้เป็นที่เท่าของอากาศ เมื่อมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากัน

2.9 ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability) ใช้สัญลักษณ์ μ_r

คืออัตราส่วนของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผลิตได้ในวัสดุสารแม่เหล็กต่อความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผลิตได้ในสุญญากาศ (หรือในแกนที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก) โดยใช้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กค่าเดียวกัน เช่น ในอากาศ $\mu_r = 1$ แต่ในโลหะผสม เช่น นิกเกิล-เหล็ก (nickel - iron alloys) มี μ_r สูงถึง 100000

2.10 วัสดุแม่เหล็ก

2.10.1 ไดอะแมกเนติก หมายถึงการที่สารแม่เหล็กมีการต่อต้านกับสนามแม่เหล็กจากภายนอก สารแม่เหล็กแบบนี้เราเรียกว่า สารแม่เหล็กไดอะแมกเนติก (Diamagnetic substances) ผู้ที่ค้นพบคือ ไมเคิลฟาราเดย์ เมื่อปี ค.ศ.1846

2.10.2 พาราแมกเนติก หมายถึง การที่สนามแม่เหล็กจากภายนอกทำให้อะตอมเกิดแรงคู่ควบ จัดเรียงขั้วคู่ให้หันไปในทิศทางที่เรียงตัวกันตามสนามแม่เหล็กจากภายนอกนั้น คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นแม่เหล็กแบบนี้คือ ค่าความเป็นแม่เหล็กของสารเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งสารนั้นวางอยู่ และเป็นสัดส่วนกลับกันกับ อุณหภูมิ ผู้ที่ค้นพบคือ ปีแอร์คูรี (Pierre Curie) เมื่อปี ค.ศ. 1895

2.10.3 เฟอร์โรแมกเนติก อะตอมของสารแม่เหล็กเฟอร์โร จะมีการจัดโมเลกุลขั้วคู่เหนี่ยวนำซึ่งกันและกันให้มีทิศทางไปทางเดียวกันภายใต้แรงกระทำซึ่งกันและกันคุณสมบัติที่สำคัญของสารแม่เหล็กเฟอร์โรคือ ค่าความเป็นแม่เหล็กของสารไม่เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก และสารอาจแสดงคุณสมบัติทางแม่เหล็กได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีสนามแม่เหล็ก สารแม่เหล็กเฟอร์โรมีอยู่ 5 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล กาโคลิเนียม และดิสโปรเซียม โดยสารทั้ง 5 นี้จะยังคงสภาพเป็นสารแม่เหล็กเฟอร์โร ตามที่อุณหภูมิยังไม่เกินค่าอุณหภูมิของคูรี (Curie temperature) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเปลี่ยนเป็นสารแม่เหล็ก พาราที่เหล็กมีอุณหภูมิของคูรี 1043 K คุณสมบัตินี้จะเกิดได้แม้ว่าอะตอมของธาตุทั้ง 5 นี้จะอยู่ในโครงสร้างของผลึก ซึ่งไม่ใช่มีแต่ธาตุทั้ง 5 นี้อย่างเดียว

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าซึมซาบได้ของสารต่างๆ

สาร	$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$
บิสมีท	0.99983
เงิน	0.99998
ทองแดง	0.99999
น้ำ	0.99999
อากาศ	1.0000004
อะลูมิเนียม	1.00002
โคบอลต์	250
นิกเกิล	600
เหล็กหล่อ	2000
เหล็กเส้น	5000
แกนเหล็กหม้อแปลง	7000
ซูเปอร์อัลลอย	1,000,000
48 เปอร์อัลลอย	6000
78 เปอร์อัลลอย	7000
โมเปอร์อัลลอย	9000
สินีแมก	3500
โมนีแมก	3500
มิวเมทอล	9000

2.11 ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance) ใช้สัญลักษณ์ \mathcal{R}

ความต้านทานแม่เหล็ก คือความต้านทาน ที่เกิดขึ้นในวงจรแม่เหล็กซึ่งอาจจะเป็นอากาศ หรือวัสดุอะไรก็ได้ที่อยู่บริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กส่งอำนาจ ไปถึงซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ นั้นๆ ความต้านทานนี้จะต้านทานการส่งเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกจากแหล่งกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กให้มีค่าลดลง ความต้านทานแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของแกนเหล็ก หรือวัตถุคือ l ที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน ไปเพื่อให้ครบวงจรของตัวเอง เป็นส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก คือ A ความต้านทานแม่เหล็กเป็นการแสดงคุณสมบัติของวัตถุที่มีการต้านต่อการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้าย ๆ กับคุณสมบัติของวัสดุที่มีการต้านต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าความต้านทาน ความต้านทานแม่เหล็กมีหน่วยวัดเป็น (A-t/Wb)

ถ้าพิจารณาแกนแม่เหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัด A ตารางเมตร และมีความยาวของเส้นรอบแกนโดยเฉลี่ย l เมตร พันด้วยขดลวดจำนวน N รอบ มีกระแสไหลผ่าน I แอมแปร์ ดังนั้น

$$\phi = BA \quad \text{เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมด}$$

$$\mathfrak{F} = HI \quad \text{แรงเคลื่อนแม่เหล็ก}$$

$$\frac{\phi}{\mathfrak{F}} = \frac{BA}{HI} = \mu_r \mu_0 \frac{A}{l}$$

$$\phi = \frac{\mathfrak{F} \mu_r \mu_0 A}{l}$$

$$\phi = \frac{\mathfrak{F}}{(l / \mu_r \mu_0 A)}$$

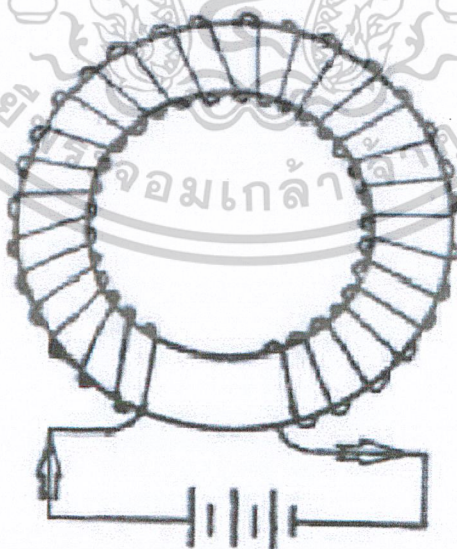
$$\frac{l}{\mu_r \mu_0 A}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A}$$

คือค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance) มีหน่วยเป็น (A/wb)

2.12 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์แม่เหล็ก (B-H Curve)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับ ความซึมซาบได้ คดียิ่งขึ้น จึงขอยกตัวอย่างของสนามแม่เหล็กที่เกิดกับขดลวดที่เป็นวงกลมเรียกว่า ทอรอยด์ (toroid)



รูปที่ 2.10 รูปแสดงแสดงลักษณะของทอรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ขดลวดโซลินอยด์ให้เป็นวงกลมนั้นมีความยาวเฉลี่ย 1 หน่วยความยาว สนามแม่เหล็กภายในไม่เปลี่ยนค่า ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก แต่ถ้านำเอาแกนเหล็กมาใส่ภายในขดลวดโซลินอยด์จะทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เปลี่ยนไปและค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะมีค่าเพิ่มเป็นหลายร้อยเท่าของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเดิม ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก จะมีค่าเท่ากับ μ_r ซึ่งหมายความว่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าของ μ_r หรือ $\frac{\mu}{\mu_0}$ ของสารนั้นๆ

เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์แม่เหล็ก เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จากรูปที่ 2.10 ขดลวดทอรรอยด์นั้น ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้ค่า ความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เพิ่มขึ้นตาม ถ้าเราเริ่มต้นจากกระแสเป็นศูนย์ และมีเครื่องมือวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กในแกนทอรรอยด์ เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จากรูปที่ 2.10 ถ้าเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีแกนเหล็กเช่นทอรรอยด์ เราจะได้เส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 แต่ความชันชันชันได้ จะไม่คงที่เมื่อมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ค่า μ จะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุด เมื่อค่า μ เพิ่มจนถึงค่าสูงสุดแล้ว การเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก ก็จะไม่ทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เพิ่มขึ้นมากนักจนกระทั่งเกิดการอิ่มตัว จะทำให้ค่า μ ลดลงเมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอีกดังแสดงในรูปที่ 2.13 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) บางครั้งเรียกว่า ($B-H$ curve) หรือเส้นโค้งการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือเส้นโค้งกำเนิดแม่เหล็ก

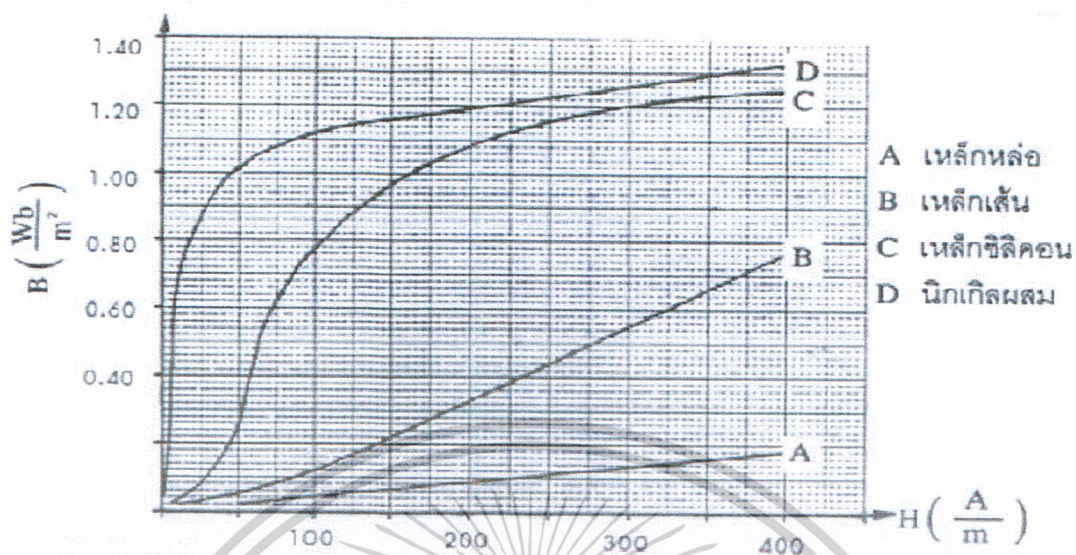
สารใดมีค่า μ_r มากกว่า 1 เล็กน้อยสารนั้นจัดเป็นชนิดพาราแมกเนติก (Paramagnetic) เช่น อากาศ ไม้

สารใดมีค่า μ_r น้อยกว่า 1 สารนั้นจัดเป็นชนิด ไดอะแมกเนติก (Diamagnetic) เช่น พวก อะลูมิเนียม หรือสารตัวนำสมบูรณ์ ซึ่งมี $\mu_r = 0$

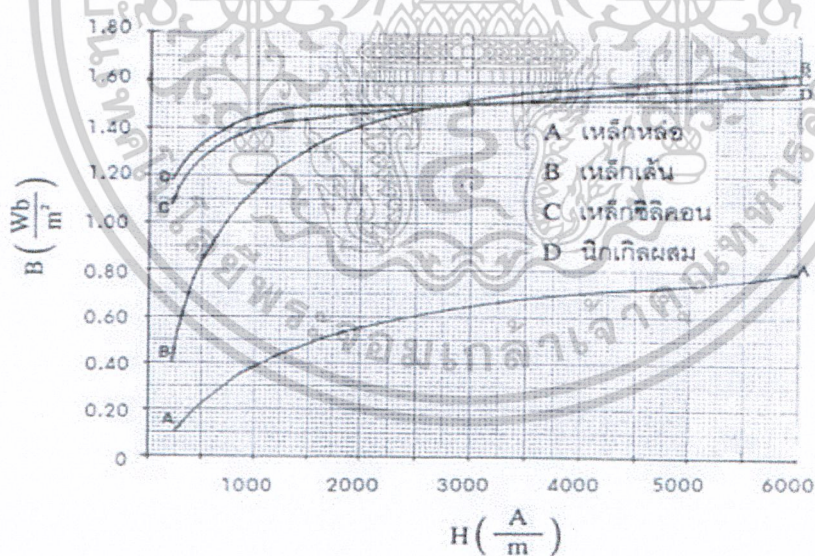
สารใดมีค่า μ_r สูงมากๆ จัดเป็นพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) โดยทั่วไปค่า μ_r จะอยู่ระหว่าง 1,000-1,000,000 โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารแม่เหล็ก และแม้แต่ในสารชนิดเดียวกันที่ค่าของความเข้มสนามแม่เหล็กต่างกัน ค่าของ μ_r จะไม่เท่ากัน

ค่าความสัมพันธ์จะไม่เป็นเส้นตรงและจะมีระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กให้มากขึ้นไปอีกแต่ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่เปลี่ยนแปลงจุดที่ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีกนี้ เราเรียกว่า จุดอิ่มตัวของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กของสารนั้นและค่าของ μ_r ที่มีขนาดสูงสุดของสารใดๆ จะสามารถหาจากการลากเส้นตรงไปสัมผัสกับเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H นี้เราเรียกว่าเส้นโค้งกำเนิดแม่เหล็ก หรือ เส้นโค้งการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก ณ จุดสัมผัสระหว่างเส้นตรงที่ลากจากจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งและเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งทำให้อ่านค่า B กับ H ได้ และนำค่า B และ H ที่อ่านได้ในแต่ละจุดนั้นไปแทนค่าในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

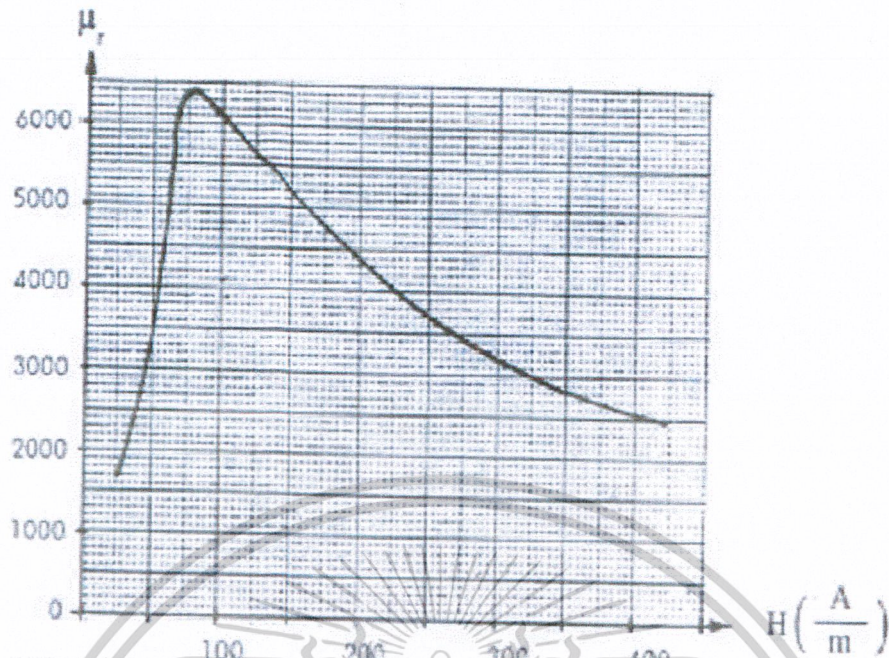


รูปที่ 2.11 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($B-H$ Curve) เมื่อ $H < 400$ แอมแปร์ต่อเมตร



รูปที่ 2.12 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($B-H$ Curve) เมื่อ $H > 400$ แอมแปร์ต่อเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแสดงเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความซึมซาบได้
กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ($\mu - H$ Curve)

2.13 ฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis)

ถ้าทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กของวงแหวนทอรอยด์เปลี่ยนแปลง โดยวัดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองแทนด้วยเส้นโค้ง OAC ถ้าลดความเข้มสนามแม่เหล็กลงเป็นศูนย์จะยังมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเหลืออยู่คือ OD มีชื่อเรียกว่า อำนาจแม่เหล็กตกค้าง (Residual magnetism) หรือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคงเหลือ (Remanent flux density)

ถ้าต้องการให้อำนาจแม่เหล็กตกค้างเป็นศูนย์ จะต้องเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะลดลง จนกระทั่งถึงค่า OE เส้นแรงแม่เหล็กจะลดลงเป็นศูนย์ ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็ก OE ที่ทำให้อำนาจแม่เหล็กตกค้างเป็นศูนย์มีชื่อเรียกว่า Coercive force การเพิ่มขึ้นต่อไปของความเข้มสนามแม่เหล็กจะเป็นเหตุให้เกิดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม ดังแทนด้วยเส้นโค้ง EF จะสังเกตเห็นว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กมากที่สุด ในทิศทางบวกคือ OK จะมีค่าเท่ากับ OL ในทิศทางลบ และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุด ในทิศทางบวกคือ KC จะมีค่าเท่ากับ LF ในทิศทางลบ

ถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงค่าจาก OL ไปเป็น OK ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงตามเส้นโค้ง FGC คล้ายกับเส้นโค้ง CDEF และรูปปิดของ CDEFGC มีชื่อเรียกว่า วงของฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis loop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาของฮิสเตอร์ซิสของวงแหวนเหล็กอันหนึ่ง จะสังเกตเห็นว่าค่าสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละค่าจะอยู่บนเส้นโค้งการเกิดสนามแม่เหล็กเส้นเดียวกัน จุดยอดของฮิสเตอร์ซิสแต่ละวงคือ ACD และ E จะวางอยู่บนเส้นโค้ง B-H Curve ที่หาได้โดยการเพิ่มค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก จะพบว่าอำนาจแม่เหล็กตกค้างขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนั้นในวง A อำนาจแม่เหล็กตกค้างคือ OX ส่วนวง E ค่าสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็กเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (saturation) อำนาจแม่เหล็กตกค้างคือ OY

อำนาจแม่เหล็กตกค้างที่ได้รับเมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุดถึงจุดอิ่มตัวของวัสดุมีชื่อเรียกว่า รีมาเนนซ์ (remanence) ของวัสดุนั้น



รูปที่ 2.14 รูปแสดงวงของฮิสเตอร์ซิสและเส้นโค้งการเกิดสนามแม่เหล็ก

2.14 การสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอร์ซิส

การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำวงจรคลวดที่พันรอบแกนเหล็ก ให้เกิดอำนาจแม่เหล็กในแต่ละรอบ (Cycle) การสูญเสียภายในแกนเหล็กอันเกิดจากฮิสเตอร์ซิส จะเท่ากับพื้นที่ภายในวงฮิสเตอร์ซิส นั้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก และชนิดของสารแม่เหล็กที่ใช้ทำแกน ดังนั้นค่าโดยประมาณของการสูญเสียจากฮิสเตอร์ซิสของสารแม่เหล็กที่ความถี่ f หาได้จาก

$$P_h = K_h f B_m^n$$

$$P_h = \text{การสูญเสียจากฮิสเตอร์ซิส} \quad \text{มีหน่วยเป็น W}$$

$$K_h = \text{ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็กที่ทำการทดลอง}$$

$$f = \text{ค่าความถี่ไฟฟ้าของแหล่งจ่าย} \quad \text{มีหน่วยเป็น Hz}$$

$$n = \text{สไตน์เมทซ์เอกซ์โพเนนต์ (steinmetz exponent)}$$

จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 แต่โดยทั่วไปใช้ $n = 1.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss)

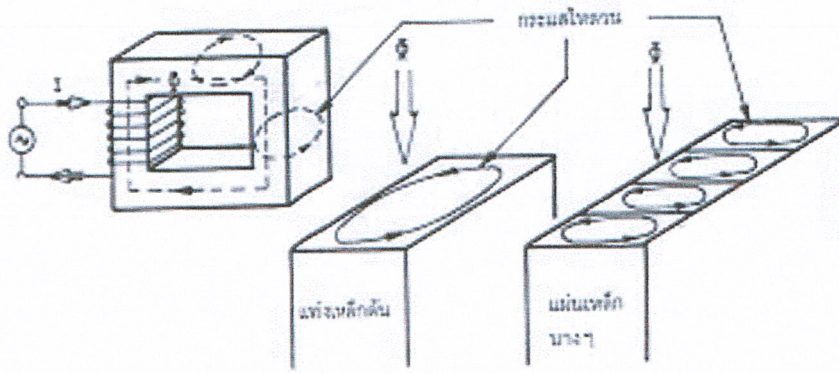
กระแสไหลวนจะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นเนื่องจากกระแสไหลวนอยู่ในสารแม่เหล็ก โดยถ้าทำให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านตัวนำ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในตัวนำนั้น แต่ถ้าเราใส่แกนเหล็กเข้าไปในขดลวดที่มีกระแสสลับไหลอยู่ ก็จะทำให้เกิด เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะของรูปคลื่นไซน์ด้วย การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในแกนเหล็ก และ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในแกนเหล็กนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดมีกระแสไหลวนภายในแกนเหล็กนั้น ซึ่งเรียกว่ากระแสไฟฟ้านี้ว่ากระแสไหลวน กระแสไหลวนจะเกิดขึ้นในแกนเหล็กทุกๆชนิดของสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้า กระแสนี้จะไหลผ่านความต้านทานไฟฟ้าของสารแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนเกิดขึ้นนี้เกิดจากกำลังสูญเสียซึ่งมีค่า I^2R และเนื่องจากความต้านทานของเหล็กมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นๆ ดังนั้นกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็กจึงมีค่าค่อนข้างสูง และขนาดของกระแสไหลวนจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของแกนเหล็ก การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบรูปคลื่นไซน์สามารถหาได้จากสมการข้างล่างดังนี้

$$P_e = K_e f^2 B_m^2$$

$$P_e = \text{การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน}$$

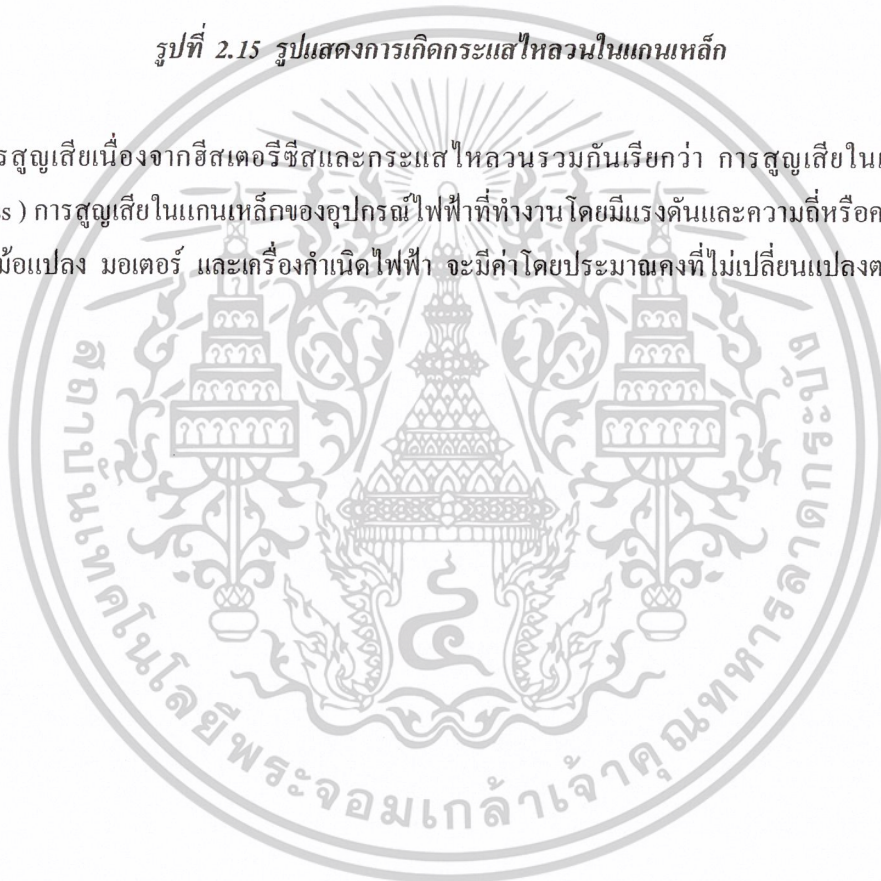
$$K_e = \text{ค่าคงที่ของวงจรมแม่เหล็ก}$$

ขนาดของกระแสไหลวนขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก ความถี่ และค่าความต้านทานไฟฟ้าของแกนเหล็ก การลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนทำได้โดยการใช้แกนเหล็กที่เป็นแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated sheet steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน โดยในแต่ละแผ่นจะใช้สารเคลือบผิวที่มีค่าความต้านทานสูง เช่น ฉาบด้วยน้ำมันวานิช ซึ่งจะทำให้กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กที่ใช้แผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันมีค่าลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงทำให้การกำลังการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนมีค่าลดลงหรือมีค่าน้อยลงตามไปด้วยกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กที่มีเนื้อเดียวกันตลอด ดังนั้นเราจึงไม่นำเอาแกนเหล็กที่มีเนื้อเดียวกันตลอดหรือแกนเหล็กตันมาใช้กับ แรงดันแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ และในแกนเหล็กที่ใช้แผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันแสดงดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 รูปแสดงการเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก

การสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสและกระแสไหลวนรวมกันเรียกว่า การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) การสูญเสียในแกนเหล็กของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงาน โดยมีแรงดันและความถี่หรือความเร็วคงที่ เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีค่าโดยประมาณคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามโหลด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรแม่เหล็ก

3.1 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic circuits)

คือ เส้นทางหรือแนวที่เส้นแรงแม่เหล็กส่วนใหญ่ไหลผ่าน ซึ่งได้แก่ส่วนที่เป็นสารแม่เหล็ก และ ส่วนที่เป็นอากาศ เส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่ไม่ได้ไหลตามทิศทางที่กำหนดไว้ เรียกว่า “ ลีคเกจฟลักซ์ ” (leakage flux)

วัสดุแม่เหล็ก

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

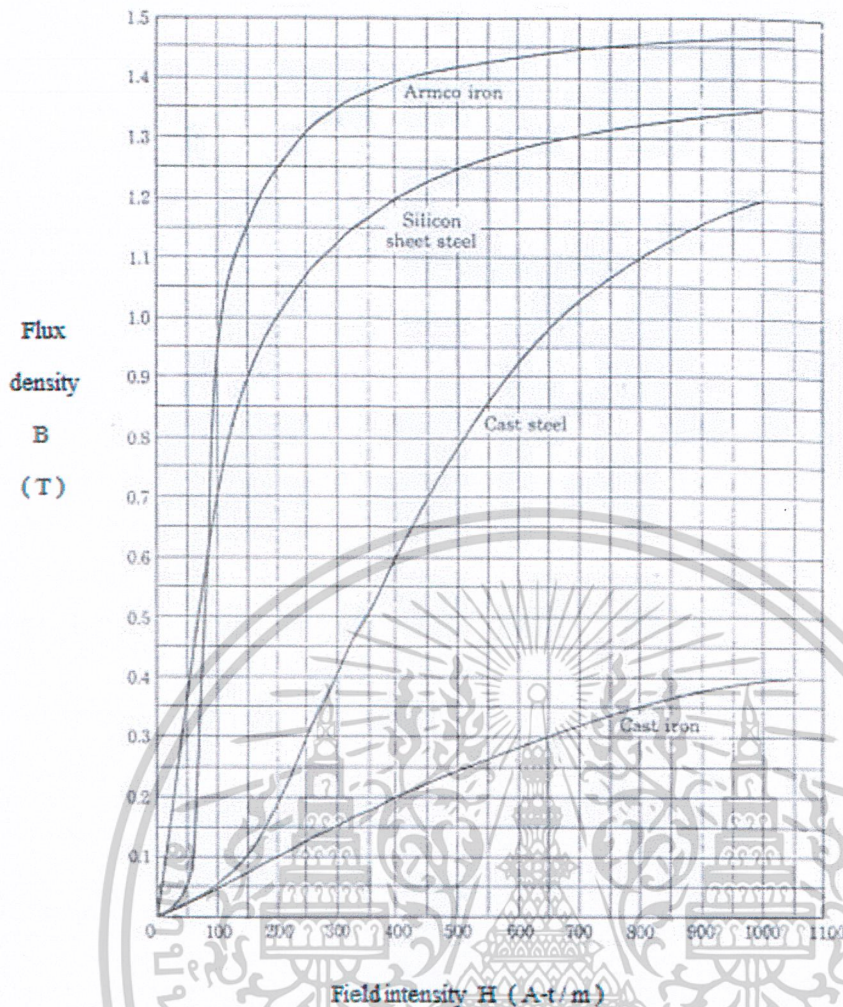
μ : Permeability (H/m)

μ_0 : Free-space permeability ($4\pi \times 10^{-7}$) (H/m)

μ_r : Relative permeability

- 1) พาราแมกเนติก ($\mu_r = 1.0$)
- 2) ไดอามแมกเนติก ($\mu_r < 1.0$)
- 3) เฟอร์โรแมกเนติก ($\mu_r \gg 1.0$)





รูปที่ 3.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ของค่า $B-H$ ของ Ferromagnetic material ชนิดต่างๆ

$B-H$ Curve

$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H$$

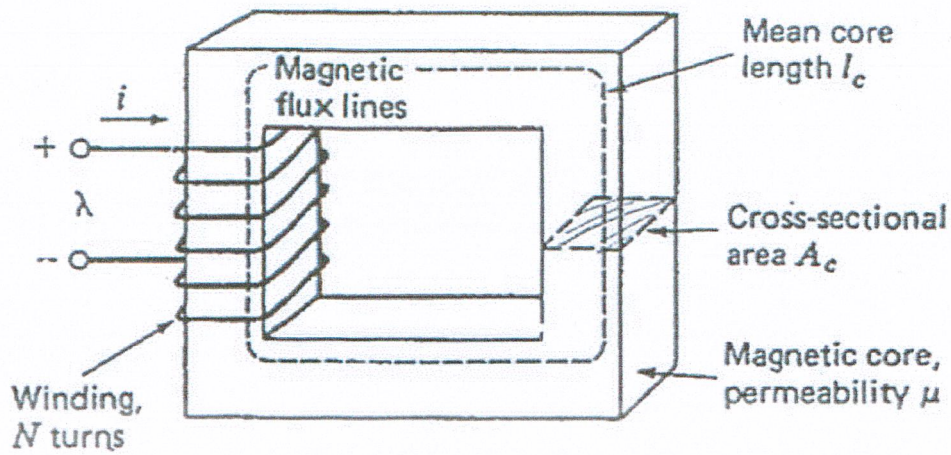
B : magnetic flux density (Tesla , weber/m²)

H : magnetic field intensity (A-t/m , A/m)

$$\mathfrak{N} = Ni = \oint H \cdot dl$$

\mathfrak{N} : magnetomotive force mmf (A-t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็ก

จากรูปจะเห็นว่า

$$\mathcal{F} = Ni = \oint H \cdot dl = Hl_c$$

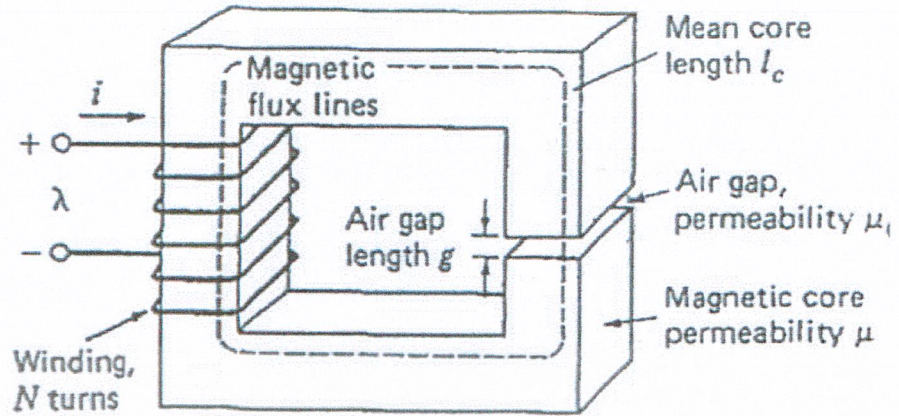


รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบทอรรอยด์

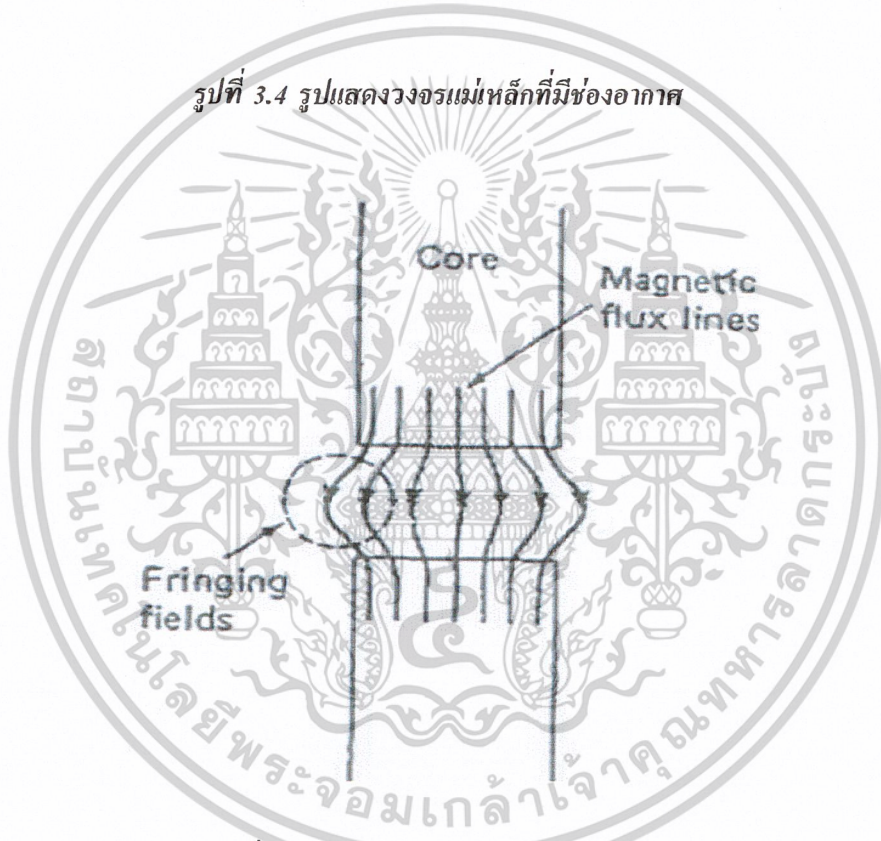
จากรูปจะเห็นว่า

$$\mathcal{F} = Ni = \oint H \cdot dl = H(2\pi r)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กที่มีช่องอากาศ



รูปที่ 3.5 รูปแสดงปรากฏการณ์ Fringing

จากรูปจะเห็นว่า $\mathfrak{F} = Ni = \oint H \cdot dl = H_c l_c + H_g g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ magnetic flux ϕ (weber)

$$\phi = \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\phi_c = B_c A_c$$

$$B_c = \frac{\phi}{A_c} \quad \text{core}$$

$$B_g = \frac{\phi}{A_g} \quad \text{air gap}$$

ไม่คิดปรากฏการณ์ fringing

$$B_g = B_c = \frac{\phi}{A_c}$$

$$\mathfrak{I} = Ni = \frac{B_c}{\mu} l_c + \frac{B_g}{\mu_0} g$$

$$\mathfrak{I} = Ni = \phi \frac{l_c}{\mu A_c} + \phi \frac{g}{\mu_0 A_g}$$

กำหนดให้ reluctance \mathfrak{R} (A-t/webers)

$$\mathfrak{R}_c = \frac{l_c}{\mu A_c}$$

$$\mathfrak{R}_g = \frac{g}{\mu_0 A_g}$$

$$\mathfrak{I} = Ni = \phi(\mathfrak{R}_c + \mathfrak{R}_g)$$

ถ้า $\mu \gg \mu_0$ แล้ว $\mathfrak{R}_c \ll \mathfrak{R}_g$

$$\phi \approx \frac{Ni}{\mathfrak{R}_g} = Ni \frac{\mu_0 A_g}{g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance)

λ : Flux linkage (Wb-t)

$$\lambda = N\phi$$

จากกฎของ Faraday

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$e = L \frac{di}{dt}$$

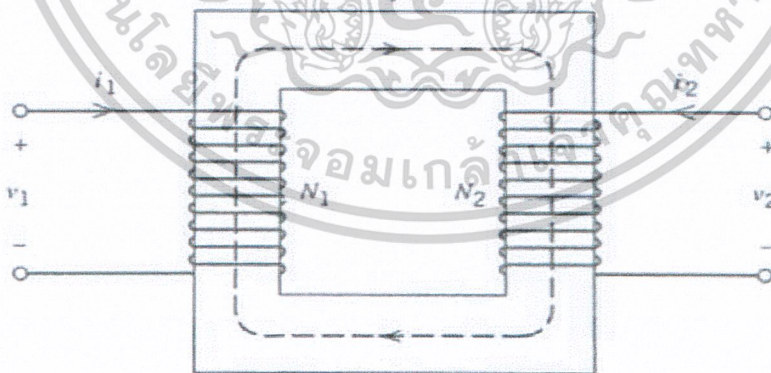
$$L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$L = N \frac{d\phi}{di} = \frac{d\lambda}{di}$$

ในช่วง linear

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{\lambda}{i}$$

3.3 Self - inductance and Mutual inductance



รูปที่ 3.6 รูปแสดงวงจรแม่เหล็กที่ขดลวด 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathfrak{I} = Ni = N_1 i_1 + N_2 i_2$$

$$\phi = (N_1 i_1 + N_2 i_2) \frac{\mu_0 A_c}{g}$$

ϕ : resultant flux

Flux linkage with coil 1 $\lambda_1 = N_1 \phi = N_1^2 \frac{\mu_0 A_c}{g} i_1 + N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_c}{g} i_2$

Flux linkage with coil 2 $\lambda_2 = N_2 \phi = N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_c}{g} i_1 + N_2^2 \frac{\mu_0 A_c}{g} i_2$

$$\lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2$$

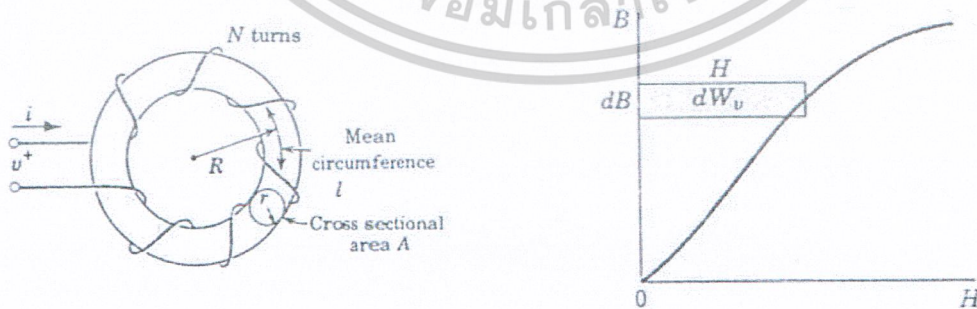
$$\lambda_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2$$

Self-inductance with coil 1 $L_{11} = N_1^2 \frac{\mu_0 A_c}{g}$

Self-inductance with coil 2 $L_{22} = N_2^2 \frac{\mu_0 A_c}{g}$

Mutual inductance of coil 1 and 2 $L_{12} = N_1 N_2 \frac{\mu_0 A_c}{g} = L_{21}$

3.4 พลังงานสะสมในสนามแม่เหล็ก (Energy storage in magnetic field)



รูปที่ 3.7 รูปแสดงพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p = ie = i \frac{d\lambda}{dt} \quad \text{joules/sec (w)}$$

$$W = \int_0^i \left(\frac{d\lambda}{dt}\right) i dt = \int_0^i \left(N \frac{d\phi}{dt}\right) i dt = \int_0^\phi (Ni) d\phi \quad \text{joules}$$

ถ้าความสัมพันธ์เป็นแบบ linear จะได้ energy storage

$$W = \int_0^\lambda \frac{\lambda}{L} d\lambda = \frac{1}{2L} \lambda^2 = \frac{1}{2} Li^2$$

$$W = \int_0^i \left(\frac{d\lambda}{dt}\right) i dt = \int_0^i \left(N \frac{d\phi}{dt}\right) i dt = \int_0^\phi (Ni) d\phi$$

จาก $\mathfrak{N} = Ni = HI$ และ $d\phi = AdB$

$$\text{ดังนั้น } Nid\phi = (HI)(AdB) = (IA)(HdB)$$

โดยที่ IA เป็นปริมาตรของแกนเหล็ก ฉะนั้นพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะเท่ากับ

$$\text{Energy density } W_v = \frac{W}{IA} = \int_0^B (H) dB \quad \text{joules/m}^3$$

ถ้าความสัมพันธ์เป็นแบบ linear จะได้

$$W_v = \int_0^B (H) dB = \int_0^B \frac{B}{\mu} dB = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$$

$$W_v = \int_0^B (H) dB = \int_0^H (\mu H) dH = \frac{1}{2} \mu H^2$$

$$W_v = \frac{1}{2} BH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีเกี่ยวกับทดสอบหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก

ด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

4.1 นิยามและสัญลักษณ์

H (magnetic field strength) - ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของแผ่นเหล็กทดสอบ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร (A / m) สามารถตรวจจับและวัดสัญญาณได้ผ่านทางขดลวดที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับผิวของแผ่นเหล็กทดสอบ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ขดลวด H (H coil)

B (magnetic flux density) - ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของแผ่นเหล็กทดสอบ มีหน่วยเป็น เทสลา (tesla) สามารถตรวจจับและวัดสัญญาณได้ผ่านทางขดลวดที่พันอยู่รอบแกนทดสอบ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ขดลวด B (B coil)

P (core loss) - ค่าความสูญเสียในแผ่นเหล็กทดสอบในขณะที่ได้รับการแมกนีไทซ์ซึ่ง ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

P_s (core loss per one kg) - ค่าความสูญเสียต่อ 1 กิโลกรัม ของแผ่นเหล็กทดสอบ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อกิโลกรัม (W / kg) สามารถเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) และค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (B_m)

เช่น $W_{15/50}$ หมายถึง ค่าความสูญเสียในแผ่นเหล็กทดสอบที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก 1.5 T และความถี่ 50 Hz

4.2 หลักการทดสอบ

การหาค่าความสูญเสียและค่า ac magnetizing ในแผ่นเหล็กทดสอบ สามารถทำได้โดยวิธีการวัดเส้นแรงแม่เหล็กในเวลาเดียวกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่จ่ายให้กับแผ่นเหล็กทดสอบ แผ่นเหล็กทดสอบนี้เป็นแผ่นแกนแม่เหล็กแผ่นเดี่ยว (Single steel sheet) ที่วางอยู่ภายในขดลวด 2 ขดพันทับกันอยู่ และถูกทำให้ครบวงจรทางแม่เหล็กด้วยไย้ก (Yoke) ขดลวด 2 ขดที่ว่างประกอบไปด้วย ขดลวดกระตุ้น (Exciting coil) ซึ่งพันอยู่ชั้นนอก และขดลวด B (B coil) ซึ่งพันอยู่ชั้นใน

ไย้ก (Yoke) จะเป็นตัวทำให้การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่จ่ายให้กับแผ่นเหล็กทดสอบและการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในแผ่นเหล็กทดสอบมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถวัดได้จากแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด H (H coil) ส่วนค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสามารถวัดผ่านทางขดลวด B (B coil) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เงื่อนไขการทดสอบ

1 Power Supply - ต้องมีเสถียรภาพสูงทั้งในเรื่องของการจ่ายแรงดันและความถี่ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำ ค่าความเบี่ยงเบนไม่ควรเกิน $\pm 0.2\%$

เพื่อให้แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด B เป็นรูปคลื่น Sinusoidal ควรจะใช้ Power supply ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในต่ำ และค่าความต้านทานขดลวดกระตุ้นต้องน้อยๆด้วย

2 อุณหภูมิ - การทดสอบจะทำในห้องที่มีอุณหภูมิ $23 \pm 5\text{ C}^\circ$

3 แผ่นเหล็กทดสอบ

1) ขนาด - ความยาวต่ำสุดต้องไม่น้อยกว่าความยาวด้านนอกของ yoke ความกว้างควรจะทำให้กว้างมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่ความกว้างสูงสุดไม่เกินความกว้างภายในของแกนทดสอบ

2) ในระหว่างการวัดค่าต่างๆ แผ่นเหล็กทดสอบควรจะต้องอยู่ตรงกลางของแกนทดสอบตามแนวความกว้าง

2) แผ่นเหล็กทดสอบควรมีค่าความเครียดทางกลน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้สำหรับมุมระหว่างแนวแกนยาวกับแนวด้านข้างเป็นดังนี้

Grain oriented magnetic steel sheet : $\pm 1^\circ$

Non - oriented magnetic steel sheet : $\pm 5^\circ$

4) ในส่วนของแผ่นเหล็กทดสอบที่อยู่ภายนอกสนามแม่เหล็กที่ทำการวัด แม้จะไม่ได้วัดแต่ก็ไม่ควรยาวเกินไป ควรจะสามารถใส่เข้าและเคลื่อนย้ายได้สะดวก ควรจะยาวเท่ากับความยาวด้านนอกของ yoke ความกว้างต่ำสุดของแผ่นเหล็กทดสอบไม่ควรจะน้อยกว่าความกว้างของ H coil

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ชุดทดสอบ ประกอบด้วย

- 1) Yoke
- 2) Exciting coil
- 3) B coil
- 4) H coil

2. แผ่นเหล็กทดสอบ

- 1) 23ZDKH90
- 2) 23RGH090
- 3) 27RGH100
- 4) 27ZH100

3. Yokogawa Oscillographic Recorder

4. Ammeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปแสดง *Yokogawa Oscillographic Recorder*

ในการทดลองจะทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆผ่านทาง *Yokogawa Oscillographic Recorder* และจะนำข้อมูลที่ได้ออกไปคำนวณจากโปรแกรม *Matlab* ต่อไป ดังนั้น *Yokogawa Oscillographic Recorder* จึงเป็นหัวใจสำคัญในการทดลองครั้งนี้

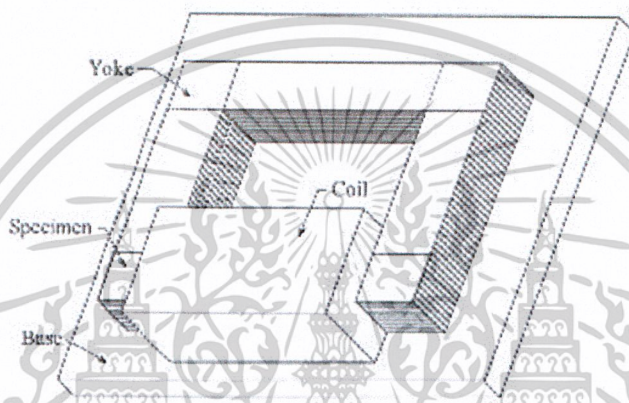
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โครงสร้างของชุดทดสอบ

5.1 โครงสร้าง

การทดสอบโดยวิธีการนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ โย้ก (Yoke) ขดลวดกระตุ้น (Exciting coil) ขดลวดบี (B coil) และขดลวดเอช (H coil) ดังแสดงในรูป 5.1



รูปที่ 5.1 รูป แสดงโครงสร้างของการทดสอบแบบแผ่นเดียว

Yoke - วางอยู่ในแนวราบขนานกับพื้นบนฉนวนที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ตัว Yoke ทำจากแผ่นเหล็ก Grain oriented หรือ Nickel iron alloy วางเรียงอัดซ้อนกัน โดยตรงมุมจะวางให้เหลื่อมกันสลับกันไปมา เพื่อทำให้ความเป็นวงจรมแม่เหล็กสมบูรณ์และเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ แผ่นแกนแม่เหล็กที่ใช้มีความสูญเสียต่ำ โดยที่ความสูญเสียของแผ่นแกนแม่เหล็กที่นำอัดซ้อนนี้จะถูกกำหนดไว้ที่ค่าความสูญเสียของแกนเหล็ก ไม่เกิน 1.0 w/kg ที่ความถี่ทางไฟฟ้า 50 Hz และค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.5 T.

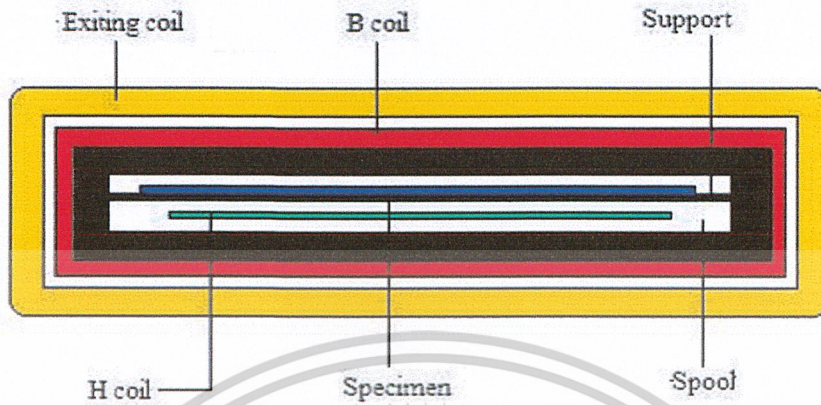
Exciting coil - พันด้วยลวดขนาด ϕ 1 mm อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวด้านในของแกนทดสอบ (294 mm) จำนวน 3 ชั้น ต่อขนานกัน ชั้นละ 240 รอบ

B coil - พันด้วยลวดขนาด ϕ 0.5 mm อย่างสม่ำเสมอชั้นเดียวภายใต้ช่วงความยาว 200 ± 0.2 mm ของแกนทดสอบ

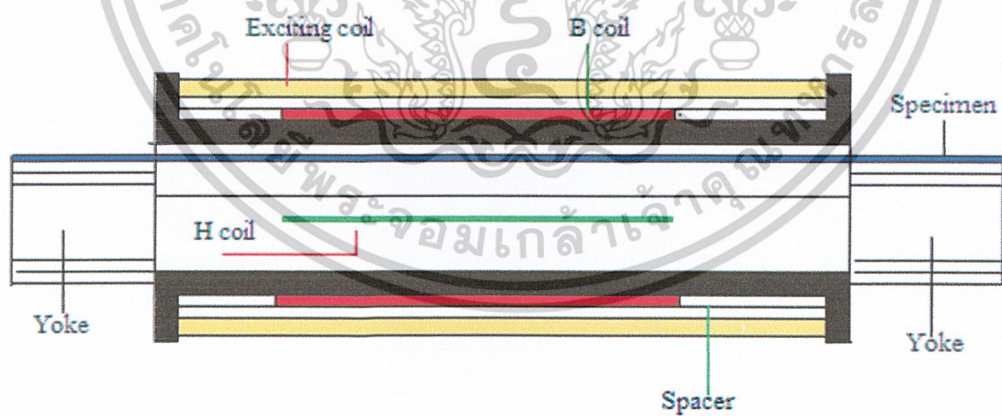
H coil - พันด้วยลวดขนาด ϕ 0.2 mm อย่างสม่ำเสมอชั้นเดียวบนฉนวนที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ยาว 200 ± 0.2 mm โดยฉนวนยาว 250 ± 1 mm กว้าง 85 ± 0.2 mm หนา 1 ± 0.1 mm

B coil และ H coil ต้องวางตัวอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 รูป แสดงภาพตัดขวางการพันขดลวด และการวางแผ่นทดสอบ



รูปที่ 5.3 รูป แสดงภาพตัดด้านหน้าของการพันขดลวด และการวางแผ่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

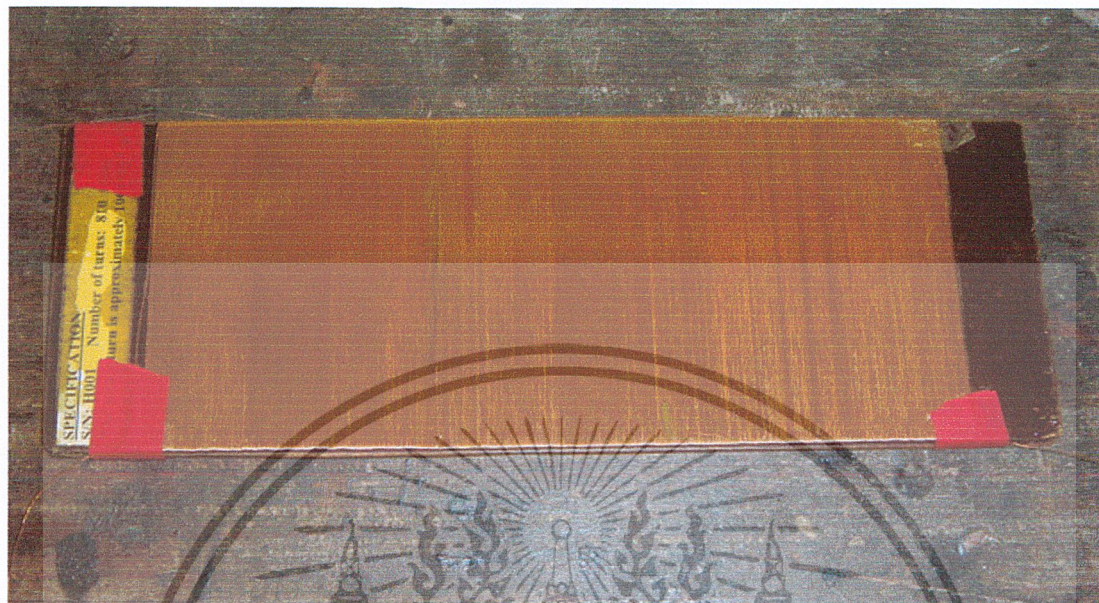


รูปที่ 5.4 รูปแสดง Yoke วางอยู่บนคานวนที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก



รูปที่ 5.5 รูปแสดงชุด Coil ซึ่งประกอบด้วย Exciting Coil พันทับ B Coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 รูปแสดงการพันขดลวด H Coil

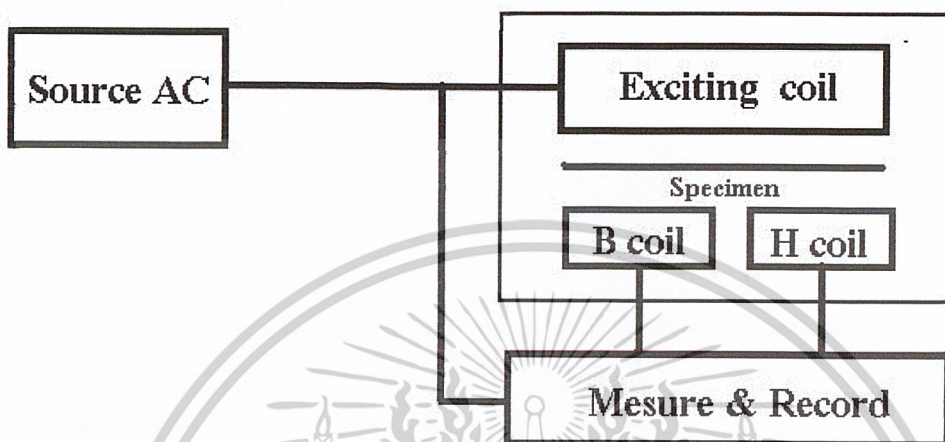


รูปที่ 5.7 รูปแสดงชุดทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวัดค่าต่างๆจากการทดสอบ



รูปที่ 6.1 รูปแสดงการต่อวงจรทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

6.1 การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กนี้กระทำได้โดยขดลวด H ซึ่งขดลวด H จะมีลักษณะการพันขดลวดชั้นเดียว จำนวน 810 รอบ บนแผ่นฉนวนซึ่งมีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้มีค่าจำนวนรอบ-พื้นที่ ประมาณ 1010×10^{-4} มิลลิเมตร² ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและศักดาไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำในขดลวด H จะมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$E_H = 4.44 f \mu_0 (N_H A_H) H$$

E_H	ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด H	(V)
H	ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก	(A/m)
f	ความถี่ไฟฟ้า	(Hz)
μ_0	ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กในอากาศ	(H/m)
$N_H A_H$	ค่าสำหรับพื้นที่ - จำนวนรอบ	(turn- m ²)

ค่าสนามแม่เหล็กในอากาศในการทดสอบสามารถวัดได้จากขดลวด H เช่นกันซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\phi_{airH} = \frac{E_H}{4.44 f N_H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การวัดค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

การวัดค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กนี้สามารถทำได้โดยอาศัยขดลวด B โดยการพันขดลวดนี้จะพันขดลวดอย่างสม่ำเสมอชั้นเดียว โดยพันให้เท่ากันจากตำแหน่งตรงกลางของทดสอบ จำนวน 140 รอบ จากการที่ขดลวดบีนี้ วัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดของข้างในแกนทดสอบซึ่งประกอบไปด้วยเส้นแรงแม่เหล็กของแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ และเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศ

ดังนั้นการคำนวณหาค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่แผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ จึงจำเป็นต้องพิจารณาความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในอากาศ เพื่อที่จะได้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบได้ถูกต้อง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเส้นแม่เหล็กในอากาศ และเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศ จะมีรูปแบบการพิจารณาดังนี้

$$B_{airH} = \frac{E_H}{4.44 f A_H N_H}$$

$$\phi_{air} = B_{airH} \times A_T$$

$$\phi_T = \frac{E_B}{4.44 f N_H}$$

$$\phi_s = \phi_T - \phi_{air}$$

จากสมการข้างต้น ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบจะมีสมการกำหนดดังนี้

$$B_s = \frac{\phi_s}{A_s}$$

เมื่อ :	A_s	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ (m^2)
	A_T	พื้นที่หน้าตัดของแกนทดสอบทั้งหมด (m^2)
	N_B	จำนวนรอบของขดลวด B (turn)
	ϕ_s	เส้นแรงแม่เหล็กแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ (wb)
	ϕ_T	เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมด (wb)
	ϕ_{air}	เส้นแรงแม่เหล็กในอากาศ (wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การวัดค่าความสูญเสียแกนเหล็ก

กำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขดลวดกระตุ้นสามารถที่จะแบ่งแยกการสูญเสียออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกคือผลการสูญเสียของขดลวดกระตุ้น ส่วนที่สองก็คือการสูญเสียของ York ซึ่งค่าความสูญเสียส่วนนี้จะมีค่าน้อยมาก และสุดท้ายก็คือการสูญเสียของแกนเหล็กของแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ จากเหตุผลดังกล่าวสามารถที่นำมาแสดงสมการการสูญเสียของของแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบ ได้ดังนี้

$$P_e = P_{cu} + P_y + P_s$$

เมื่อ :	P_e	กำลังไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวดกระตุ้น	(w)
	P_{cu}	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดกระตุ้น	(w)
	P_y	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของ Yoke	(w)
	P_s	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของแผ่นแกนแม่เหล็ก	(w)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบหาค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว

7.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบหาค่าความสูญเสีย (W / kg) ในแผ่นเหล็กทดสอบแต่ละชนิด
2. เพื่อทดสอบหาค่ากำลังงานไฟฟ้า (VA / kg) ในแผ่นเหล็กทดสอบแต่ละชนิด
3. เพื่อทดสอบหาค่า B – H Curve ของแผ่นเหล็กทดสอบ

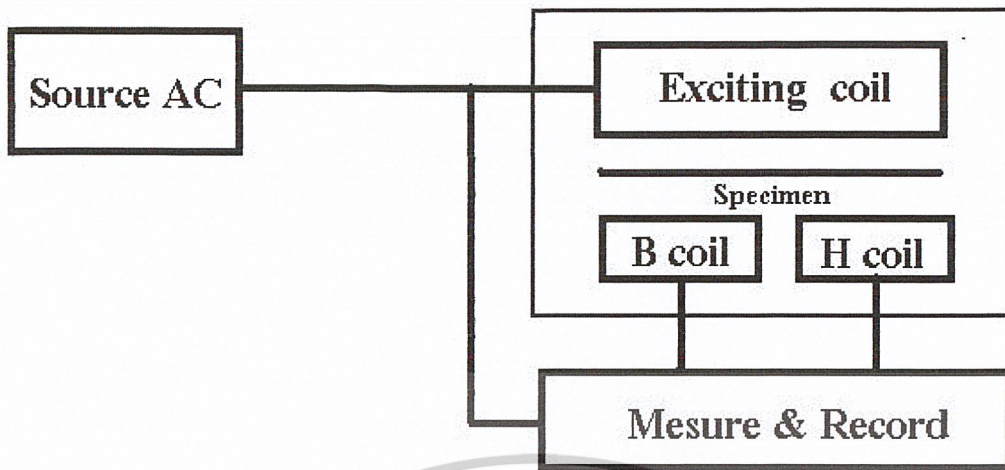
7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1 แกนเหล็กเกรด 23ZDKH90 , 23RGH90P90 , 27RGH100 , 27ZH100
- 2 ชุดทดสอบ
- 3 ชุดสายไฟทดลอง
- 4 Yokogawa Oscillographic Recorder
- 5 AC Ampmeter ย่านกระแสต่างๆ
- 6 Variac 0 – 220 V

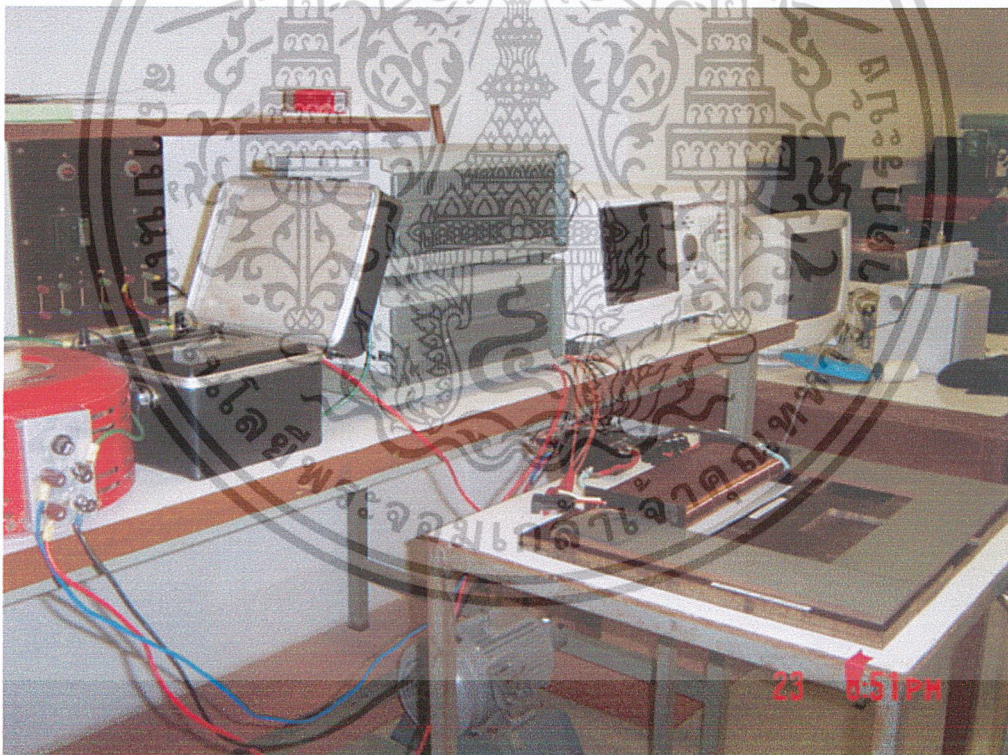
7.3 วิธีการทดลอง

1. ต่อบริการทดลองตามรูป 7.1
2. นำแผ่นเหล็กทดสอบใส่เข้าไปในชุดทดลอง
3. จ่ายกระแสเข้าไปในชุดทดสอบ โดยปรับกระแสตั้งแต่ 0.025 – 0.1 A โดยประมาณสำหรับแผ่นเหล็กแต่ละเกรด
4. เก็บผลการทดลองที่ได้โดยใช้ Recorder บันทึกลงแผ่นดิสก์
5. ทำการทดลองแผ่นเหล็กทดสอบแผ่นต่อไปด้วยวิธีการเดียวกัน
6. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาค่าต่างๆ ด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นในโปรแกรม Matlab

หมายเหตุ ในการทดลองจะใช้กระแสต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ความแม่นยำในการทดลองสูง



รูปที่ 7.1 รูปแสดงวงจรการทดลองและการวัดค่าต่างๆ



รูปที่ 7.2 รูปแสดงการต่อชุดทดลองของการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

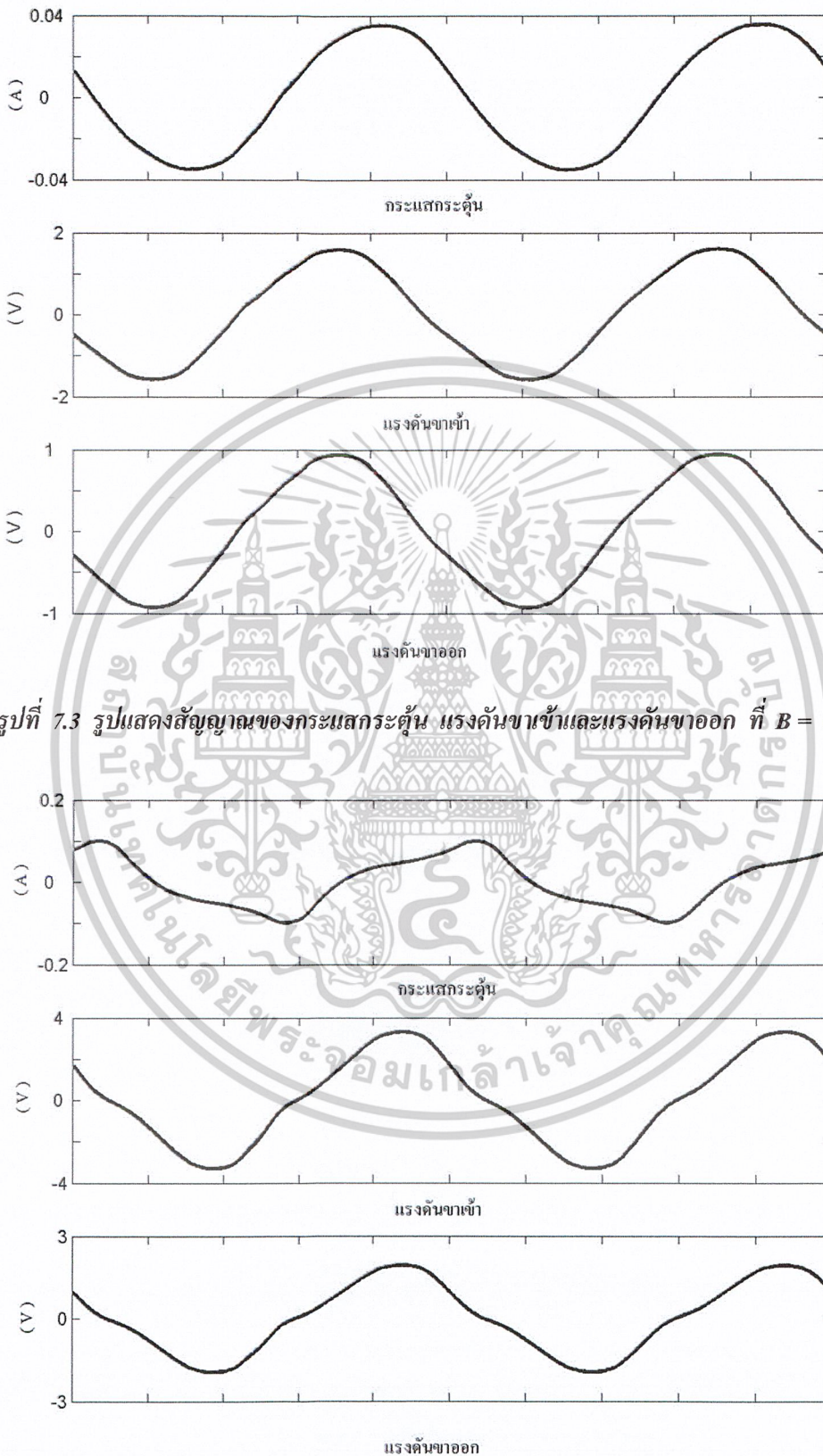
ตาราง 7-1 ตารางแสดงขนาดของแกนเหล็กแต่ละเกรด

เกรด	กว้าง (m)	ยาว (m)	ความหนา แน่น (kg / dm ²)	น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (10 ⁻⁵ m ²)
23ZDKH90	0.1	0.5	7.65	0.099	2.5882
23RGH90P90_No1	0.09	0.5	7.65	0.0746	1.9503
23RGH90P90_No2	0.09	0.5	7.65	0.0747	1.9529
23RGH90P90_No3	0.09	0.5	7.65	0.0745	1.9477
23RGH90P90_No4	0.09	0.5	7.65	0.075	1.9608
27RGH100_No1	0.1	0.5	7.65	0.0995	2.6013
27RGH100_No2	0.1	0.5	7.65	0.0998	2.6092
27RGH100_No3	0.1	0.5	7.65	0.1000	2.6144
27RGH100_No4	0.1	0.5	7.65	0.1004	2.6248
27RGH100_No5	0.1	0.5	7.65	0.0998	2.6092
27ZH100_No1	0.1	0.5	7.65	0.097	2.5359
27ZH100_No2	0.1	0.5	7.65	0.1009	2.6379
27ZH100_No3	0.1	0.5	7.65	0.1003	2.6222
27ZH100_No4	0.1	0.5	7.65	0.0994	2.5987
27ZH100_No5	0.1	0.5	7.65	0.0994	2.5987

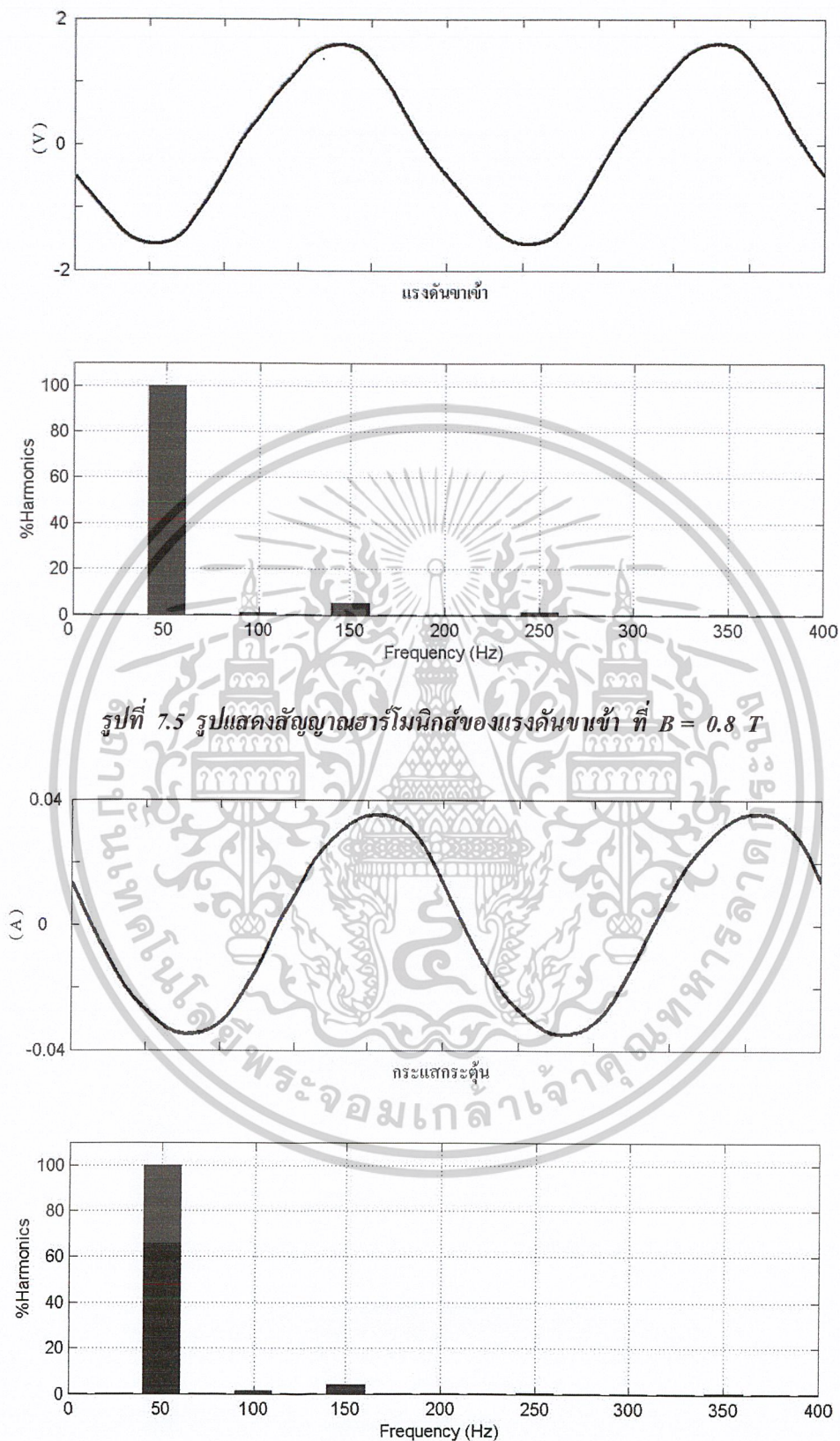
หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัด $A_s = m / (\rho_m l)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 ผลการทดลอง

รูปที่ 7.3 รูปแสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้น แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก ที่ $B = 0.8 \text{ T}$ รูปที่ 7.4 รูปแสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้น แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก ที่ $B = 1.5 \text{ T}$

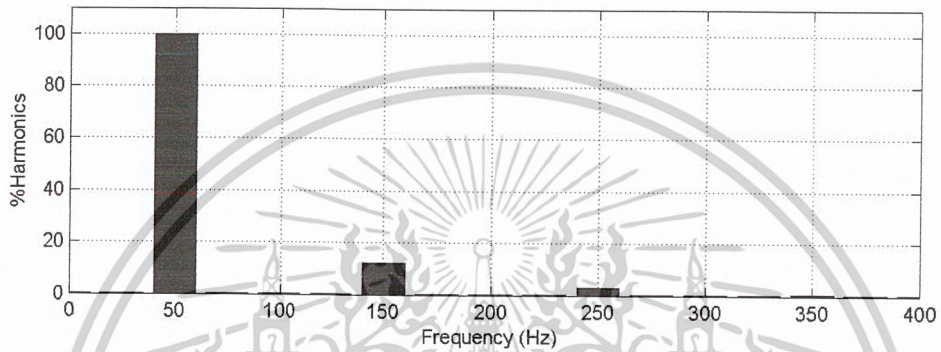
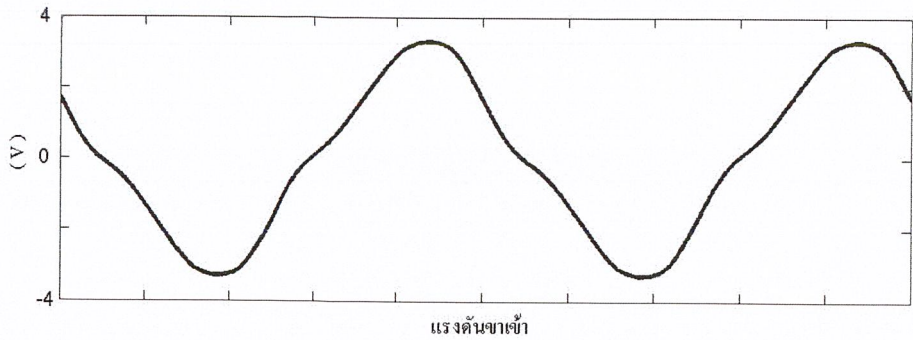
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



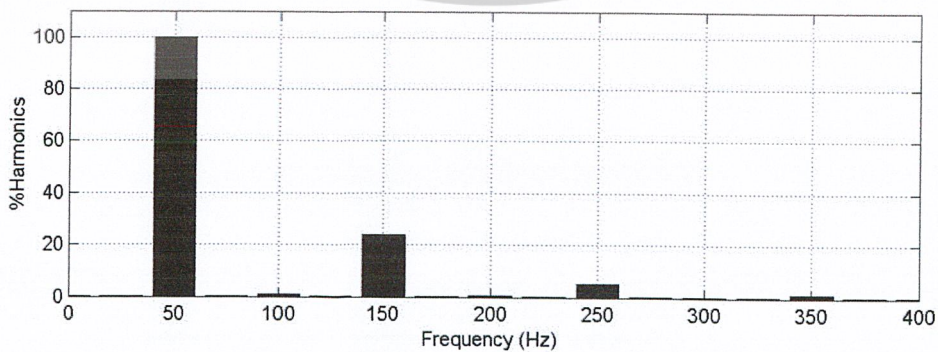
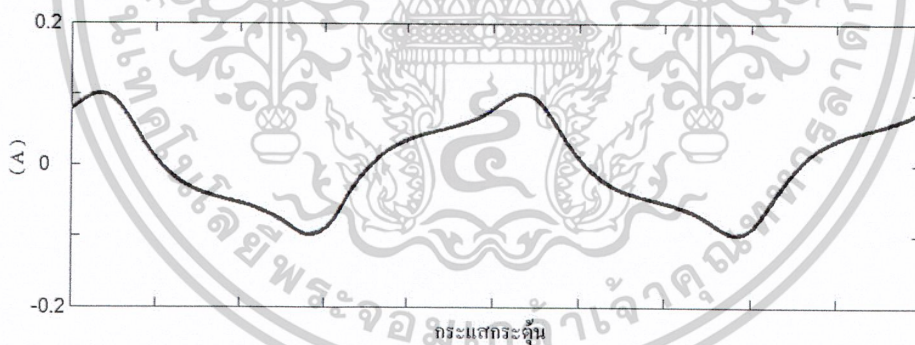
รูปที่ 7.5 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของแรงดันขาเข้า ที่ $B = 0.8 T$

รูปที่ 7.6 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของกระแสกระตุ้น ที่ $B = 0.8 T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

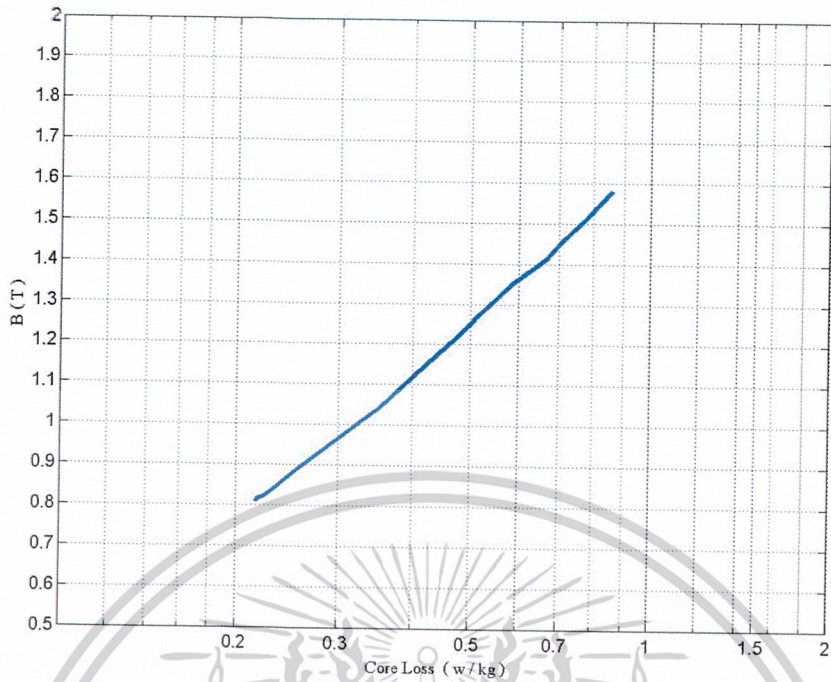


รูปที่ 7.7 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกของแรงดันขาเข้า ที่ $B = 1.5 T$

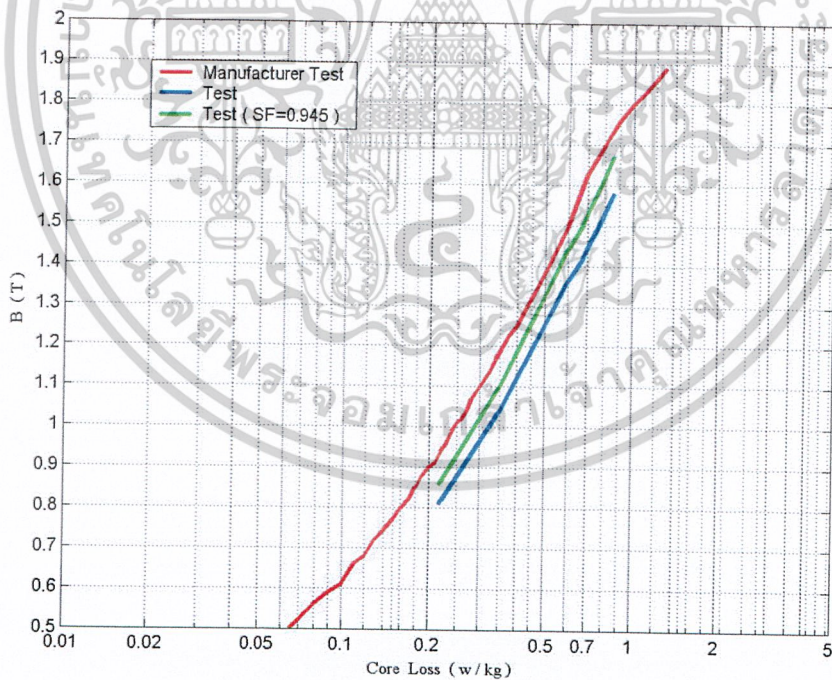


รูปที่ 7.8 รูปแสดงสัญญาณฮาร์มอนิกของกระแสกระตุ้น ที่ $B = 1.5 T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

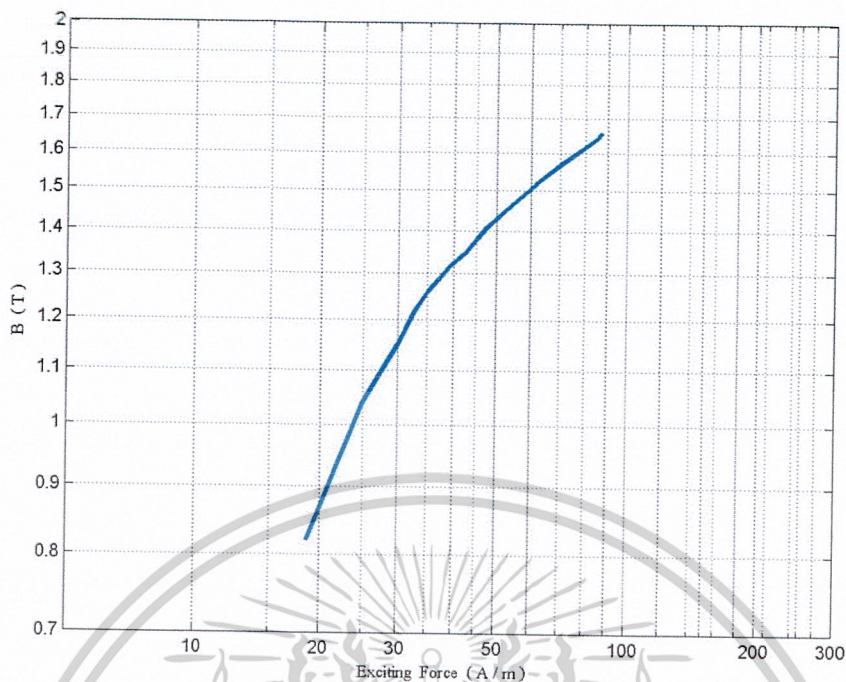


รูปที่ 7.9 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90

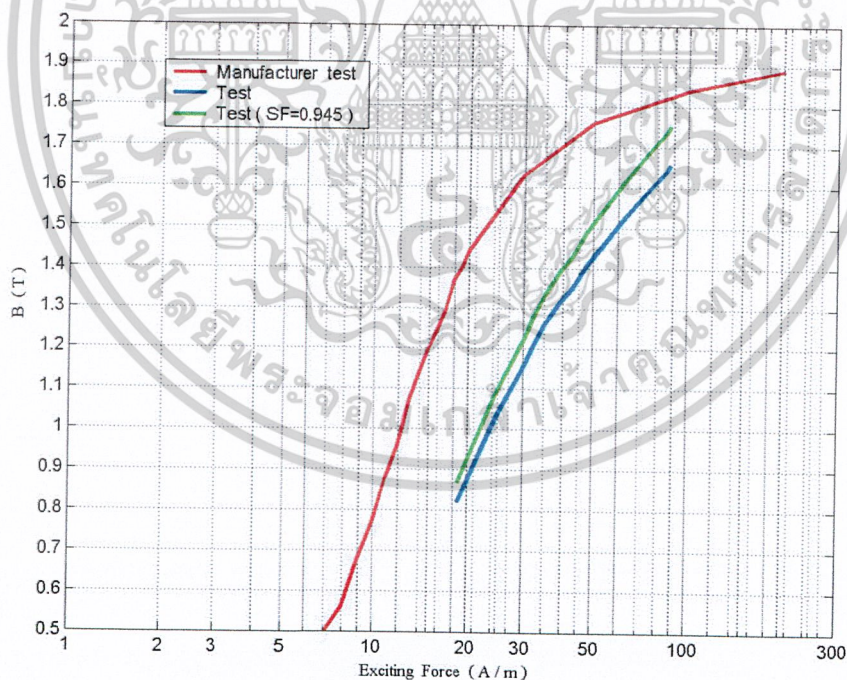


รูปที่ 7.10 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

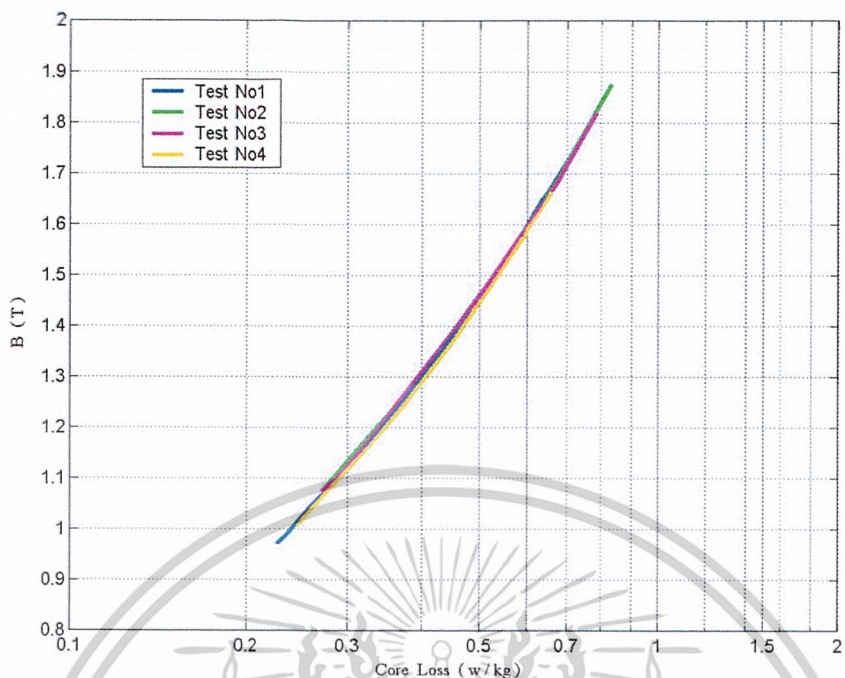


รูปที่ 7.11 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90

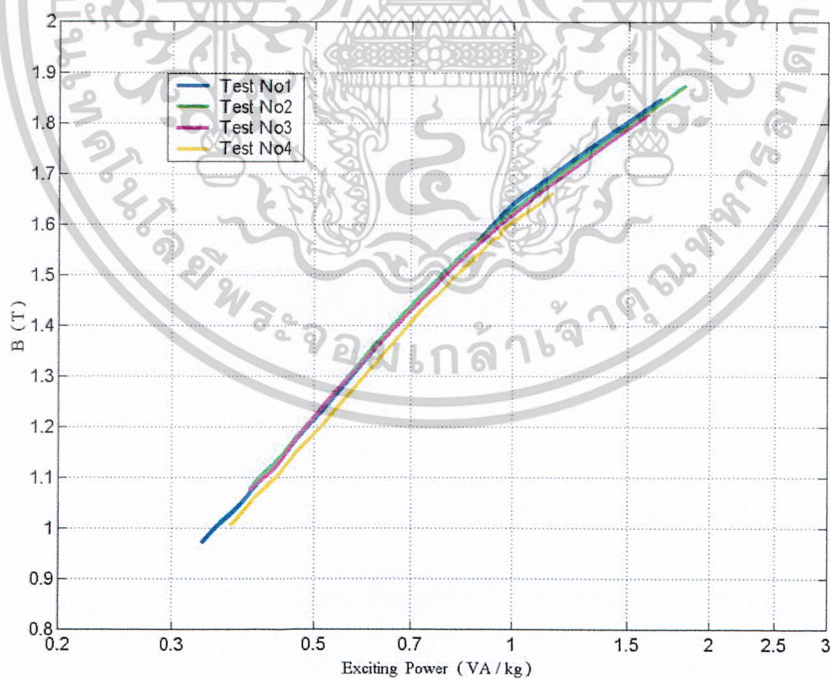


รูปที่ 7.12 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23ZDKH90 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

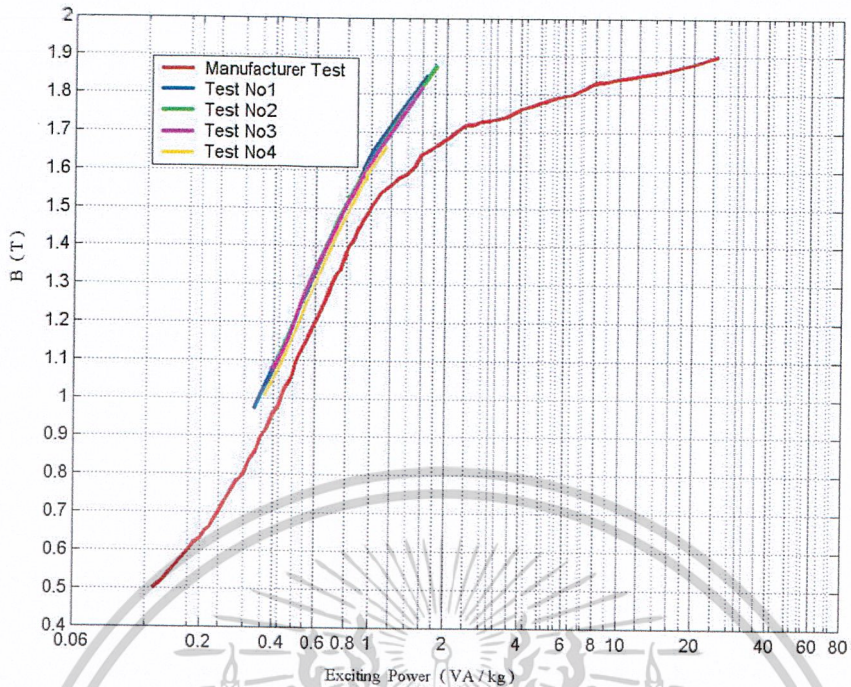


รูปที่ 7.13 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90

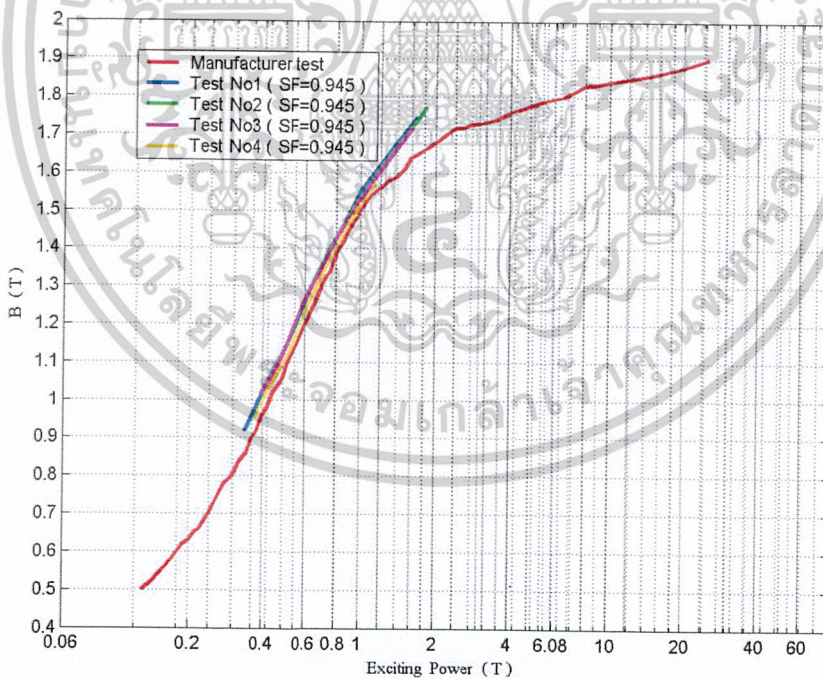


รูปที่ 7.14 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

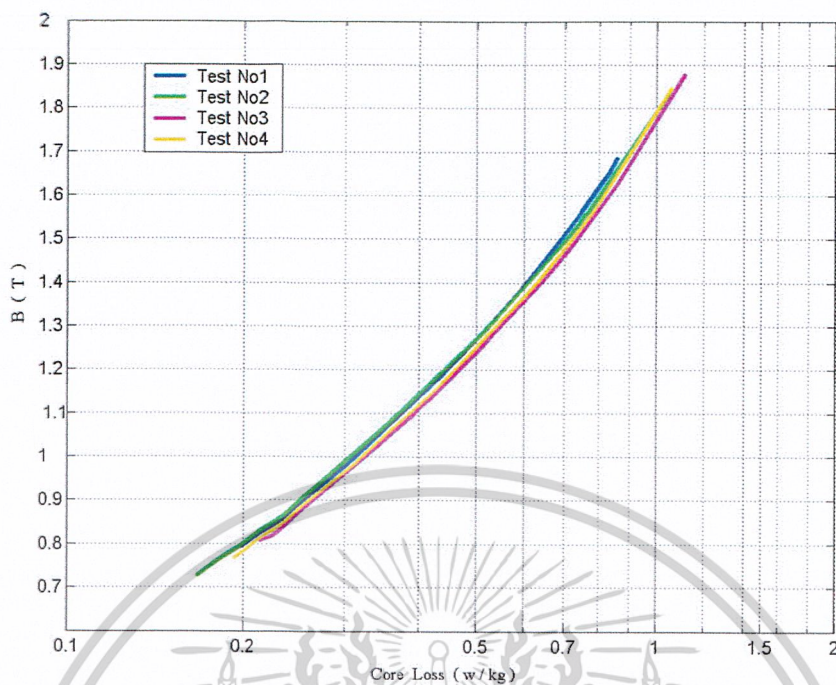


รูปที่ 7.15 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

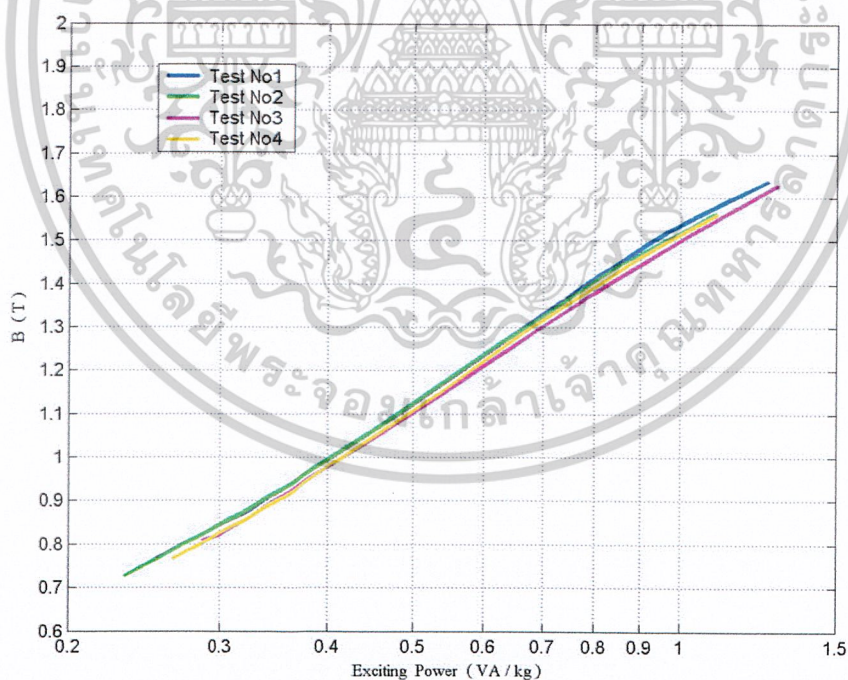


รูปที่ 7.16 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 23RGH90P90 คัดค่า $SF=0.945$ เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

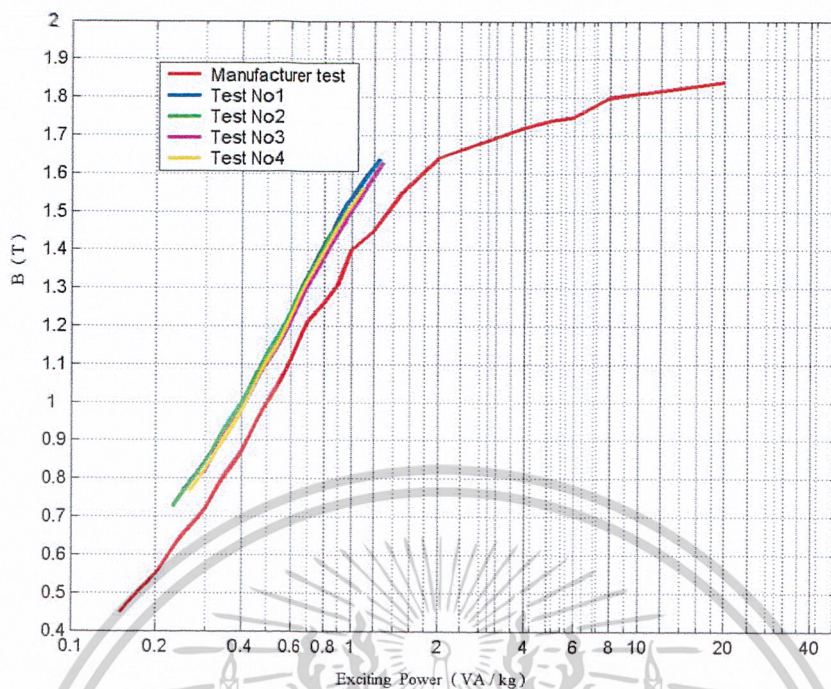


รูปที่ 7.17 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100

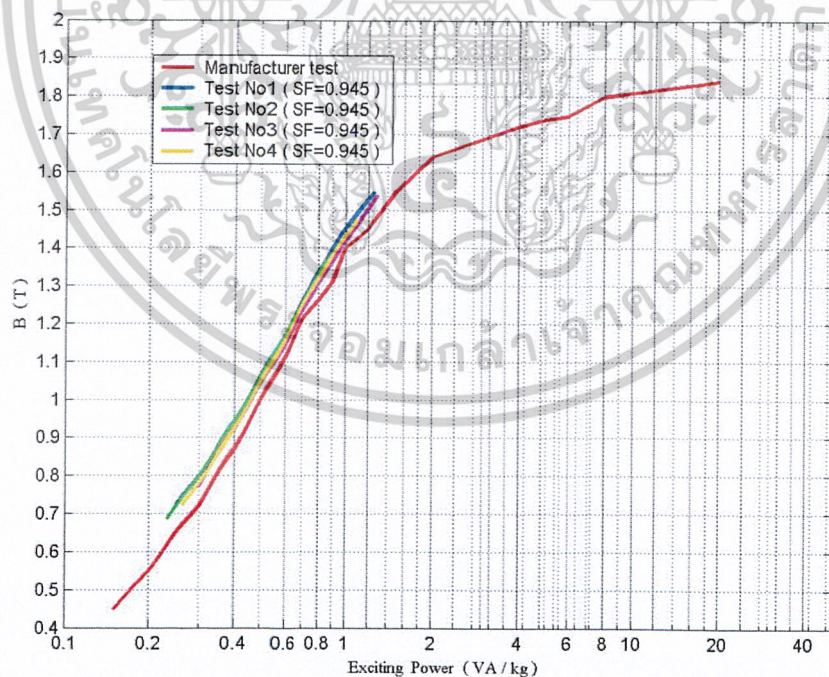


รูปที่ 7.18 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

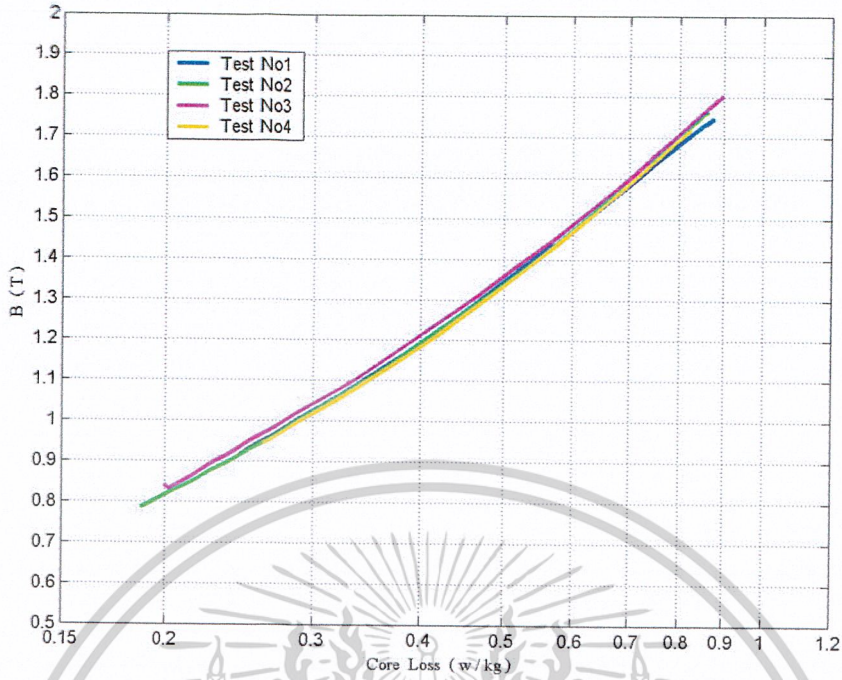


รูปที่ 7.19 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

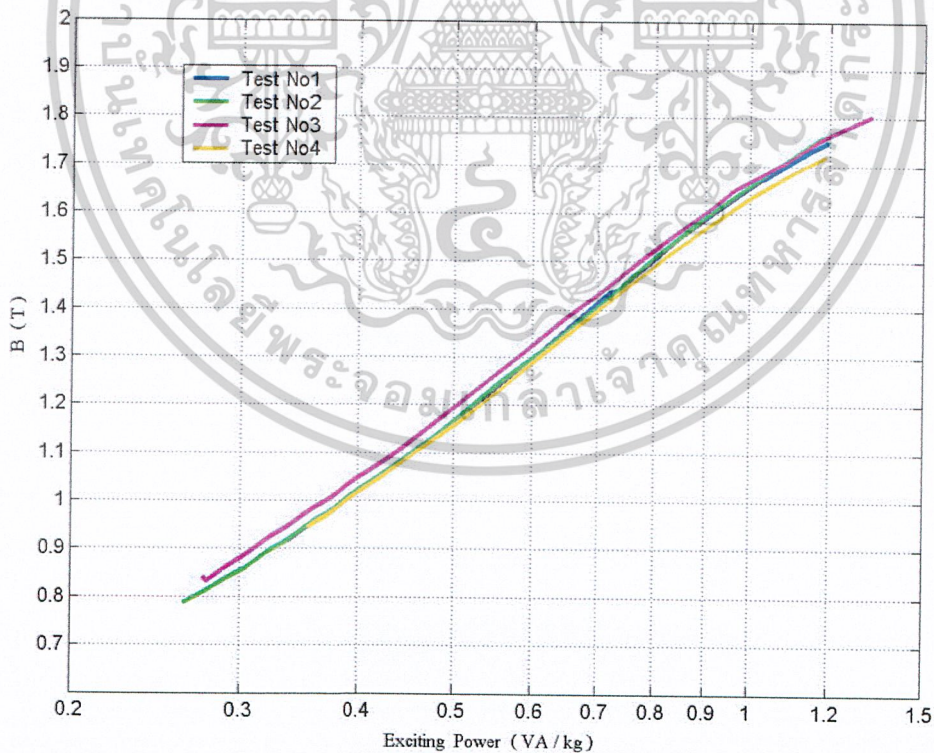


รูปที่ 7.20 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27RGH100 คัดค่า $SF=0.945$ เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

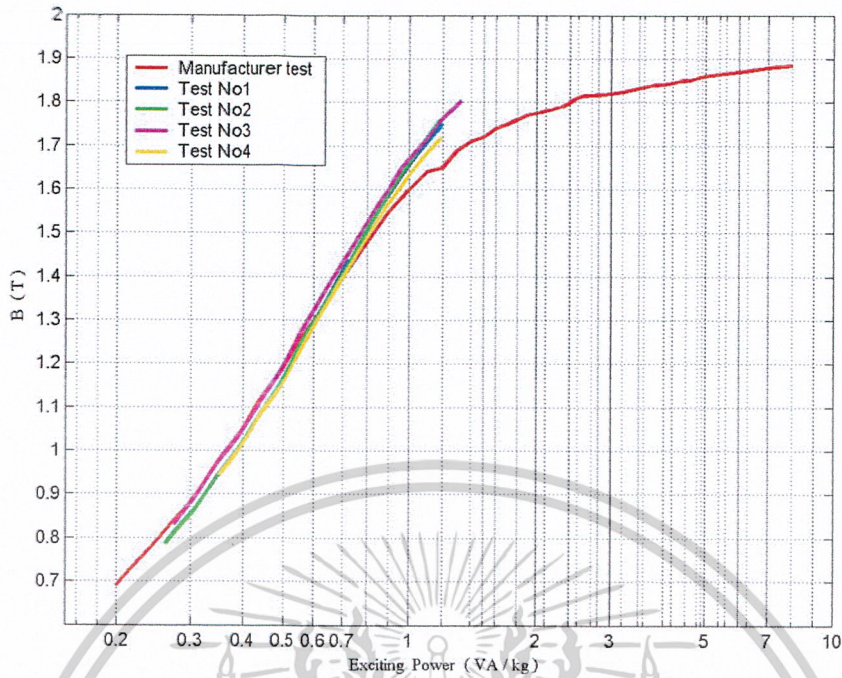


รูปที่ 7.21 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100

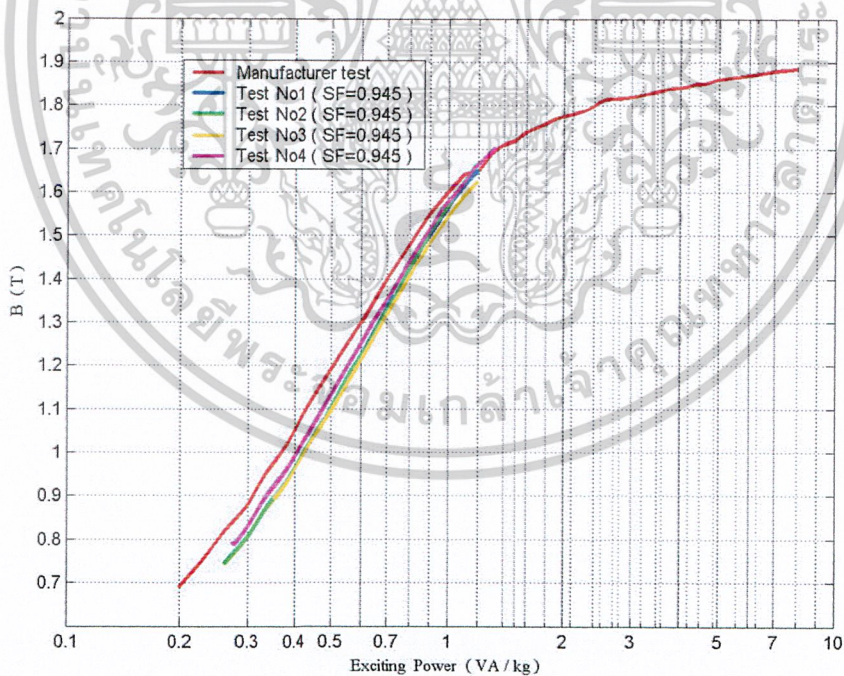


รูปที่ 7.22 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.23 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100 เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน



รูปที่ 7.24 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเข้าแกนเหล็ก (VA/kg) กับค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ของแกนเหล็กเกรด 27ZH100 คัดค่า $SF=0.945$ เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7-2 ตารางแสดงผลการทดสอบของแผ่นแกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100

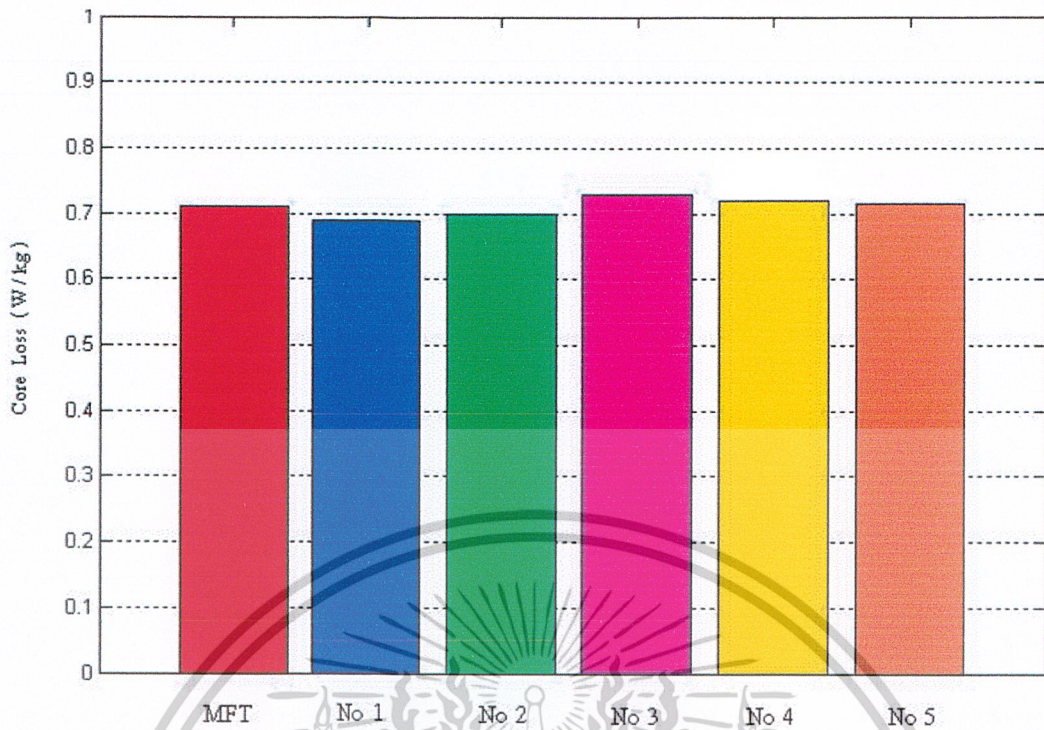
แผ่นที่	ค่าความสูญเสีย (W / kg)			
	W _{15/50}		W _{17/50}	
	ผลการทดสอบ	ผลการทดสอบ จากโรงงาน	ผลการทดสอบ	ผลการทดสอบ จากโรงงาน
No 1	0.690	0.71	0.900	0.98
No 2	0.700		0.910	
No 3	0.730		0.930	
No 4	0.721		0.910	
No 5	0.716		0.905	

หมายเหตุ

W_{15/50} หมายถึง ค่าความสูญเสีย (W / kg) ที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.5 T ความถี่ 50 Hz

W_{17/50} หมายถึง ค่าความสูญเสีย (W / kg) ที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.7 T ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

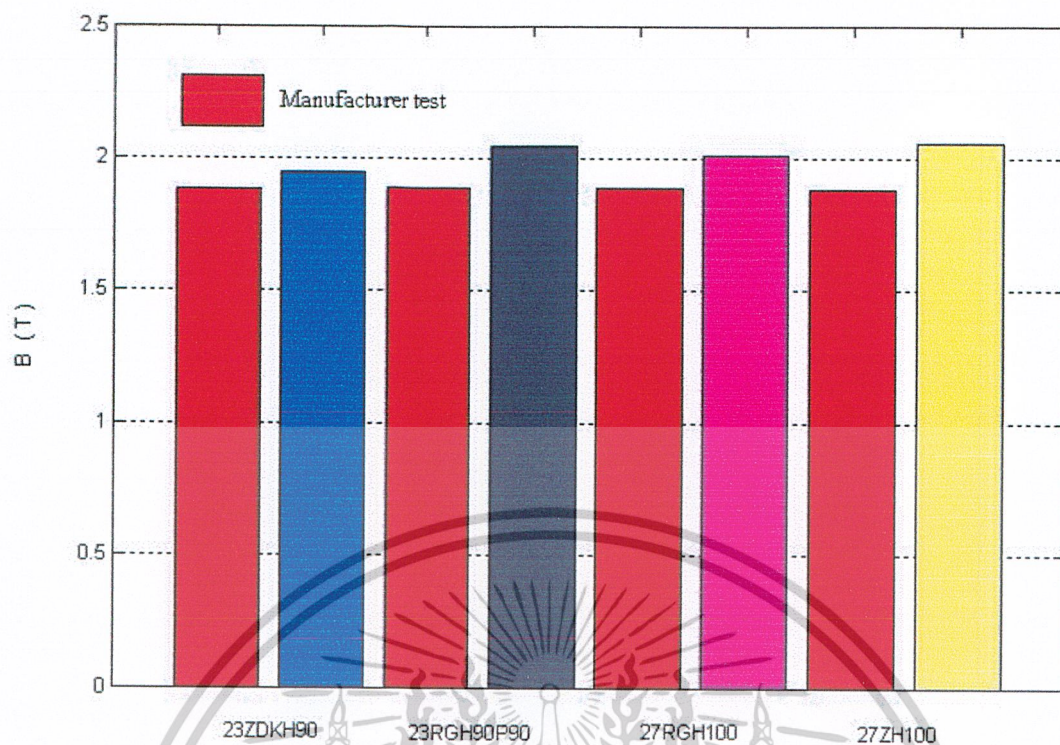


รูปที่ 7.25 รูปกราฟแท่งแสดงค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) ที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ $1.5 T$ เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน ของแผ่นแกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100



รูปที่ 7.26 รูปกราฟแท่งแสดงค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W/kg) ที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ $1.7 T$ เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงานของแผ่นแกนแม่เหล็กเกรด 27RGH100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.27 รูปกราฟที่แสดงค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 800 A/m เทียบกับผลการทดสอบจากโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

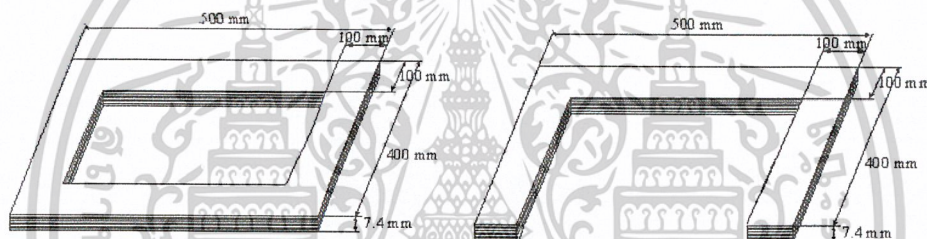
การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดสอบ

8.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อยืนยันว่าค่าความสูญเสียใน Yoke มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานจริง
2. เพื่อยืนยันว่าในแกนทดสอบมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอด

8.2 การทดลองเพื่อหาค่าความสูญเสียใน Yoke

ในการทดลองจะนำแผ่นเหล็กที่นำมาทำ Yoke มาวางเรียงกันให้ครบวงจรตามรูป 8.1 โดยแกนสี่เหลี่ยมนี้จะมีความเท่ากับ Yoke จากนั้นก็ทำการทดลองเก็บค่าต่างๆผ่านทาง Recorder แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความสูญเสียที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กประมาณ 1.5 T



รูปที่ 8.1 รูปแสดงขนาดของแกนสี่เหลี่ยม และ Yoke ตามลำดับ

ตาราง 8-1 ตารางแสดงขนาดของแกนสี่เหลี่ยม

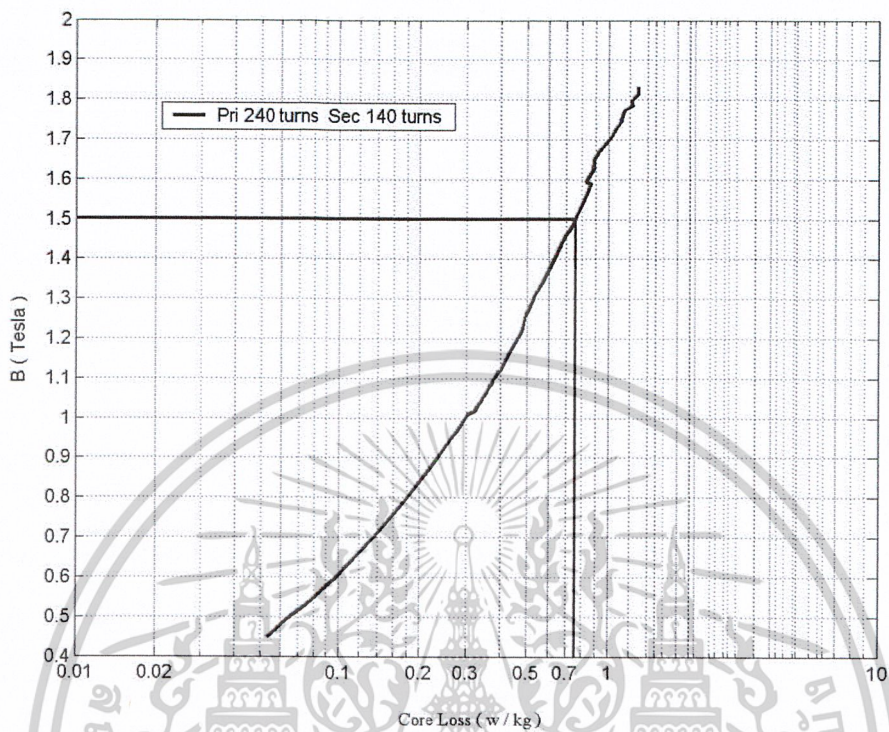
จำนวนรอบขด Primary (รอบ)	จำนวนรอบขด Secondary (รอบ)	พื้นที่หน้าตัด (m ²)	ความยาวรอบ รูปโดยเฉลี่ย (m)	น้ำหนัก (kg)	ความต้านทาน ขด Primary (โอห์ม)
240	140	0.00074	1.4	2.6	0.5

$$A = 0.0074 (01) = 0.00074 \text{ m}^2$$

$$l = (2*0.3) + (2*0.4) = 1.4 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 ผลการทดสอบค่าความสูญเสียในแกนสี่เหลี่ยม



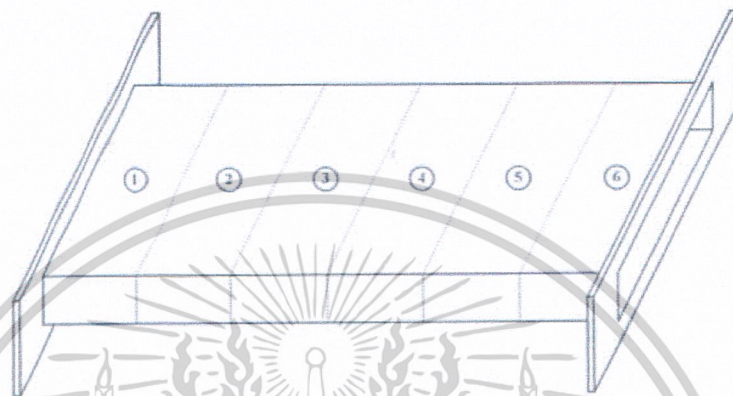
รูปที่ 8.2 รูปกราฟแสดงผลการทดสอบการหาค่าความสูญเสีย (W/kg) ใน Yoke

จากการทดลองโดยการนำแผ่นเหล็กมาวางเรียงซ้อนกัน เป็นรูปสี่เหลี่ยมครบวงจร โดยมีขนาดเท่ากับขนาดของ Yoke ได้ค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเท่ากับ 0.78 W/kg ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.0 W/kg ตามมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 การทดลองเพื่อหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละจุดในแกนทดสอบ

ในการทดลองนี้จะใช้ขดลวด Search coil ที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 200 รอบ ในการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละจุดในแกนทดสอบ โดยแบ่งช่วงการวัดตามรูป 8.3 เพื่อดูค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละจุด

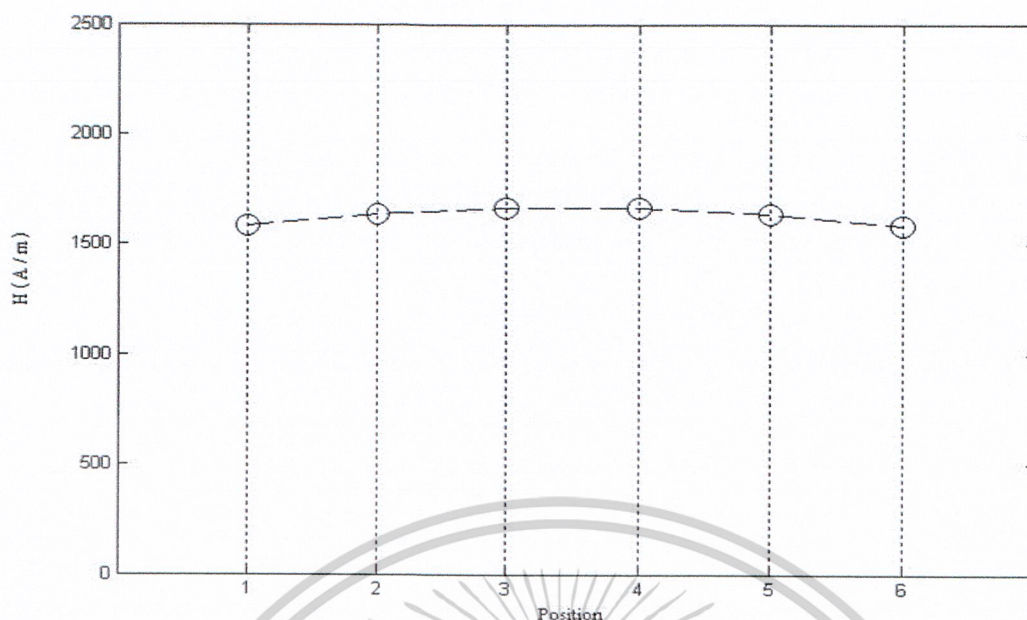


รูปที่ 8.3 รูปแสดงช่วงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

ตาราง 8-2 ตารางผลการทดสอบค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก

ตำแหน่งที่	V_e (V)	I_e (A)	V_b (V)	V_h (V)	H_{air} (A/m)	B_{air} (T)
1	0.6113	1.1061	0.0885	0.0110	1581.1	0.0020
2	0.6132	1.1110	0.0895	0.0114	1638.6	0.0021
3	0.6140	1.1153	0.0890	0.0116	1667.4	0.0021
4	0.6149	1.1155	0.0891	0.0116	1667.7	0.0021
5	0.6090	1.1022	0.0881	0.0114	1638.6	0.0021
6	0.6142	1.1101	0.0888	0.0110	1581.1	0.0020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.4 รูปแสดงผลการทดสอบค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าภายในแกนทดสอบจะมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กค่อนข้างสม่ำเสมอ จะมีก็แต่ตรงบริเวณริมทั้งสองข้างของแกนทดสอบที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ในการทดลองจริงจะเลือกวัดค่าบริเวณตรงกลางของแกนทดสอบซึ่งมีค่าสม่ำเสมอ จึงไม่มีผลต่อการทดลองมากนัก

8.5 สรุป

จากผลการทดสอบทั้งสองกรณีทำให้แน่ใจได้ว่าผลการทดสอบที่ได้มามีความน่าเชื่อถือได้

บทที่ 9

สรุปผลและวิจารณ์

9.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองหาค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กของแผ่นแกนแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยว สรุปได้ว่าค่าความสูญเสียในแผ่นแกนแม่เหล็กที่ทดสอบได้ในช่วง Linear มีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับผลการทดสอบจาก โรงงานผู้ผลิต ซึ่งอาจจะมีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยอันเนื่องมาจากข้อผิดพลาดทางการวัดเนื่องจากกระแสที่ใช้ทดลองมีค่าต่ำมาก และอาจเกิดจากความผิดพลาดของการกำหนดขนาดต่างๆของแผ่นแกนแม่เหล็กทดสอบและ Yoke ที่นำไปใช้ในการคำนวณ แต่เมื่อทำการคิดค่า Factor ด้วยแล้วจะทำให้ผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงมากขึ้น

ในส่วนของค่า AC Magnetizing Characteristics ในการทดสอบหาค่า B-H Curve นั้นในช่วง Linear ค่าที่ได้ยังห่างจากผลการทดสอบจาก โรงงานผู้ผลิตอยู่พอสมควร

9.2 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการนี้

ในการทำโครงการนี้ทำให้ได้รู้ว่าการวิจัยเป็นงานที่ละเอียดอ่อน ผลการทดลองที่ได้มานั้นสำคัญมากต้องมีการตรวจสอบผลการทดลองที่ได้อยู่ตลอดเวลาว่าถูกต้องตามทฤษฎีหรือ ควรแก้ไขอย่างไร และในเรื่องที่ทำนี้ คือการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแกนแม่เหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบแผ่นเดี่ยวนี้ ทำให้ได้ทราบถึงเรื่องเกี่ยวกับทฤษฎีสนามแม่เหล็กมากขึ้น และวิธีการหาค่าความสูญเสียในแกนแม่เหล็กอีกวิธีนอกเหนือจากวิธีที่มีอยู่ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้

9.3 แนวทางในการศึกษาต่อ

โครงการนี้นั้นเน้นเฉพาะการทดสอบหาค่าความสูญเสียของแกนแม่เหล็กในช่วง Linear คือในช่วง $B = 0.8 - 1.5 \text{ T}$ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ก็เป็นที่น่าพอใจ แต่เมื่อลองทำการทดสอบต่อไปในช่วงเกินจากนี้คือในช่วง Non-linear กราฟที่ได้จะเริ่มออกห่างไม่เป็นไปตามแนวเดียวกันกับผลการทดสอบจาก โรงงานผู้ผลิต และในส่วนของค่า B-H Curve ยังให้ผลการทดสอบไม่เป็นที่น่าพอใจนัก ดังนั้นหากผู้สนใจจะศึกษาต่อควรทำต่อในเรื่องดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23ZDKH90

V_e (V)	I_e (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)
1.1092510	0.0255244	0.6527815	0.0005179	0.0005655	18.367	20.055	0.811	0.810	0.022	0.00033	0.021	0.215
1.1159378	0.0256382	0.6570321	0.0005163	0.0005976	18.313	21.197	0.816	0.816	0.022	0.00033	0.022	0.218
1.1239306	0.0257690	0.6612826	0.0005002	0.0005927	17.740	21.022	0.822	0.821	0.022	0.00033	0.022	0.220
1.1247451	0.0257903	0.6617244	0.0005260	0.0005747	18.656	20.383	0.822	0.821	0.022	0.00033	0.022	0.221
1.4223799	0.0318915	0.8356478	0.0007013	0.0007452	24.872	26.431	1.038	1.037	0.034	0.00051	0.034	0.343
1.5770050	0.0357405	0.9266250	0.0008448	0.0008875	29.964	31.478	1.151	1.150	0.042	0.00064	0.041	0.416
1.6649158	0.0379502	0.9778419	0.0009176	0.0009561	32.547	33.909	1.215	1.214	0.046	0.00072	0.045	0.459
1.7299792	0.0400347	1.0157696	0.0009910	0.0010335	35.149	36.655	1.262	1.261	0.050	0.00080	0.049	0.494
1.8053941	0.0426278	1.0596808	0.0011046	0.0011450	39.177	40.611	1.317	1.315	0.054	0.00091	0.053	0.536
1.8551553	0.0444453	1.0887405	0.0012114	0.0012395	42.966	43.961	1.353	1.351	0.057	0.00099	0.056	0.565
1.9370046	0.0476021	1.1351071	0.0013445	0.0014137	47.688	50.141	1.410	1.408	0.062	0.00113	0.061	0.616
1.9897750	0.0500774	1.1663758	0.0014772	0.0015089	52.394	53.516	1.449	1.447	0.065	0.00125	0.064	0.649
2.0881713	0.0555886	1.2241904	0.0017416	0.0018074	61.771	64.105	1.521	1.518	0.072	0.00155	0.071	0.715
2.1733438	0.0611007	1.2734885	0.0020335	0.0020985	72.123	74.431	1.582	1.579	0.079	0.00187	0.077	0.776
2.2561414	0.0675902	1.3217801	0.0024009	0.0024536	85.156	87.023	1.642	1.639	0.085	0.00228	0.083	0.837
2.2810495	0.0692319	1.3361246	0.0024625	0.0025320	87.341	89.804	1.660	1.656	0.087	0.00240	0.085	0.855

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23ZDKH90

V_e (V)	I_e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V_{e1}	I_{e1}	Ang_1	P_{e1}	S_{e1}	V_{e3}	I_{e3}	Ang_3	P_{e3}	S_{e3}	V_{e5}	I_{e5}	Ang_5	P_{e5}	S_{e5}
1.1092510	0.0255244	1.1076	0.0255	39.80	0.022	0.028	0.0569	0.0010	2.84	0.000	0.000	0.0569	0.0010	18.02	0.000	0.000
1.1159378	0.0256382	1.1149	0.0256	39.86	0.022	0.029	0.0447	0.0012	21.59	0.000	0.000	0.0447	0.0012	45.81	0.000	0.000
1.1229540	0.0258010	1.1216	0.0258	39.89	0.022	0.029	0.0530	0.0012	5.38	0.000	0.000	0.0530	0.0012	23.51	0.000	0.000
1.1247451	0.0257903	1.1232	0.0258	39.73	0.022	0.029	0.0562	0.0011	2.21	0.000	0.000	0.0562	0.0011	15.47	0.000	0.000
1.4223799	0.0318915	1.4204	0.0318	39.92	0.035	0.045	0.0723	0.0027	19.96	0.000	0.000	0.0723	0.0027	40.96	0.000	0.000
1.5770050	0.0357405	1.5749	0.0355	41.24	0.042	0.056	0.0769	0.0042	47.57	0.000	0.000	0.0769	0.0042	60.30	0.000	0.000
1.6649158	0.0379502	1.6610	0.0376	41.83	0.047	0.062	0.1108	0.0048	44.55	0.000	0.001	0.1108	0.0048	42.22	0.000	0.001
1.7299792	0.0400347	1.7257	0.0396	42.82	0.050	0.068	0.1177	0.0056	46.25	0.000	0.001	0.1177	0.0056	57.21	0.000	0.001
1.8053941	0.0426278	1.8004	0.0421	43.91	0.055	0.076	0.1290	0.0067	47.27	0.001	0.001	0.1290	0.0067	56.08	0.000	0.001
1.8551553	0.0444453	1.8490	0.0438	44.62	0.058	0.081	0.1449	0.0073	45.43	0.001	0.001	0.1449	0.0073	56.77	0.001	0.001
1.9370046	0.0476021	1.9257	0.0468	45.04	0.064	0.090	0.2067	0.0082	19.03	0.002	0.002	0.2067	0.0082	35.91	0.001	0.002
1.9897750	0.0500774	1.9781	0.0492	46.24	0.067	0.097	0.2097	0.0093	27.09	0.002	0.002	0.2097	0.0093	38.76	0.002	0.002
2.0881713	0.0555886	2.0732	0.0543	48.26	0.075	0.113	0.2419	0.0117	30.66	0.002	0.003	0.2419	0.0117	49.10	0.002	0.003
2.1733438	0.0611007	2.1557	0.0593	50.25	0.082	0.128	0.2673	0.0142	38.11	0.003	0.004	0.2673	0.0142	55.28	0.002	0.004
2.2561414	0.0675902	2.2338	0.0653	52.40	0.089	0.146	0.3036	0.0172	45.95	0.004	0.005	0.3036	0.0172	58.34	0.003	0.005
2.2810495	2.2810495	2.2545	0.0668	52.59	0.091	0.151	0.3339	0.0176	42.34	0.004	0.006	0.3339	0.0176	55.70	0.003	0.006

ตารางแสดงผลการทดสอบหาความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23ZDKH90 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et}	S _{et}	P _{cut}	P	S	P _s	S _s	P _s	B _s
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(T)
0.0055	0.0001	31.70	0.000	0.000	0.022	0.028	0.00033	0.021	0.028	0.217	0.284	0.215	0.810
0.0057	0.0001	40.87	0.000	0.000	0.022	0.029	0.00033	0.022	0.028	0.219	0.287	0.218	0.816
0.0064	0.0001	58.58	0.000	0.000	0.022	0.029	0.00033	0.022	0.029	0.223	0.291	0.220	0.820
0.0060	0.0001	29.55	0.000	0.000	0.022	0.029	0.00033	0.022	0.029	0.223	0.291	0.221	0.821
0.0064	0.0001	45.95	0.000	0.000	0.035	0.046	0.00051	0.034	0.045	0.349	0.456	0.343	1.037
0.0075	0.0001	5.70	0.000	0.000	0.042	0.057	0.00065	0.042	0.056	0.423	0.566	0.416	1.150
0.0059	0.0002	63.30	0.000	0.000	0.047	0.064	0.00073	0.047	0.063	0.471	0.636	0.459	1.214
0.0050	0.0002	87.31	0.000	0.000	0.051	0.070	0.00082	0.050	0.069	0.507	0.697	0.494	1.261
0.0064	0.0002	84.67	0.000	0.000	0.056	0.078	0.00093	0.055	0.077	0.554	0.775	0.536	1.315
0.0037	0.0002	82.94	0.000	0.000	0.059	0.083	0.00101	0.058	0.082	0.587	0.831	0.565	1.351
0.0049	0.0005	44.34	0.000	0.000	0.067	0.094	0.00116	0.065	0.092	0.663	0.935	0.616	1.408
0.0133	0.0005	38.98	0.000	0.000	0.071	0.101	0.00130	0.069	0.100	0.701	1.011	0.649	1.447
0.0162	0.0006	48.58	0.000	0.000	0.079	0.118	0.00161	0.078	0.117	0.786	1.181	0.715	1.518
0.0148	0.0006	56.73	0.000	0.000	0.087	0.135	0.00196	0.085	0.133	0.860	1.351	0.776	1.579
0.0105	0.0007	61.75	0.000	0.000	0.095	0.156	0.00243	0.093	0.154	0.941	1.558	0.837	1.639
0.0197	0.0007	59.03	0.000	0.000	0.099	0.162	0.00254	0.097	0.160	0.978	1.618	0.855	1.656

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No1

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.0105761	0.0246539	0.5903363	0.0005028	0.0005742	17.834	20.367	0.973	0.972	0.017	0.00030	0.017	0.227	0.025	0.334
1.1029260	0.0264290	0.6443051	0.0005415	0.0006215	19.207	22.042	1.062	1.061	0.020	0.00035	0.020	0.269	0.029	0.391
1.1378689	0.0270882	0.6646612	0.0005693	0.0006318	20.192	22.409	1.096	1.095	0.022	0.00037	0.021	0.287	0.031	0.413
1.1797498	0.0278950	0.6887578	0.0005714	0.0006361	20.267	22.561	1.136	1.134	0.023	0.00039	0.023	0.307	0.033	0.441
1.2912662	0.0301601	0.7541669	0.0006479	0.0007046	22.979	24.990	1.243	1.242	0.028	0.00045	0.027	0.366	0.039	0.522
1.3334378	0.0311352	0.7788017	0.0006891	0.0007585	24.441	26.903	1.284	1.283	0.030	0.00048	0.029	0.390	0.042	0.557
1.4360147	0.0334633	0.8386368	0.0007704	0.0008581	27.326	30.434	1.383	1.381	0.034	0.00056	0.034	0.451	0.048	0.644
1.4939882	0.0351463	0.8723955	0.0008824	0.0009513	31.297	33.741	1.438	1.437	0.037	0.00062	0.036	0.488	0.053	0.704
1.5306163	0.0364575	0.8938076	0.0009454	0.0010124	33.532	35.909	1.474	1.472	0.039	0.00066	0.038	0.512	0.056	0.748
1.5486781	0.0369993	0.9042550	0.0009875	0.0010526	35.026	37.332	1.491	1.489	0.040	0.00068	0.039	0.524	0.057	0.768
1.5724899	0.0380492	0.9181531	0.0010337	0.0011128	36.665	39.468	1.514	1.512	0.041	0.00072	0.040	0.541	0.060	0.802
1.6180770	0.0399914	0.9446562	0.0011731	0.0012454	41.606	44.173	1.557	1.555	0.044	0.00080	0.043	0.572	0.065	0.867
1.6905017	0.0429268	0.9870616	0.0013258	0.0014260	47.023	50.576	1.627	1.625	0.047	0.00092	0.046	0.620	0.073	0.973
1.7096506	0.0438477	0.9982323	0.0013908	0.0014839	49.329	52.632	1.646	1.643	0.048	0.00096	0.047	0.634	0.075	1.005
1.7238887	0.0448880	1.0064044	0.0014670	0.0015619	52.030	55.397	1.659	1.656	0.049	0.00101	0.048	0.646	0.077	1.037
1.8235882	0.0536034	1.0644125	0.0020271	0.0021571	71.895	76.508	1.755	1.751	0.056	0.00144	0.054	0.725	0.098	1.310

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No1

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0105761	0.0246539	1.0097	0.0246	46.08	0.017	0.025	0.0397	0.0008	17.73	0.000	0.000	0.0397	0.0008	37.06	0.000	0.000
1.1029260	0.0264290	1.1016	0.0264	45.26	0.020	0.029	0.0504	0.0012	83.79	0.000	0.000	0.0504	0.0012	15.72	0.000	0.000
1.1378689	0.0270882	1.1362	0.0270	44.70	0.022	0.031	0.0578	0.0015	70.19	0.000	0.000	0.0578	0.0015	3.84	0.000	0.000
1.1797498	0.0278950	1.1786	0.0278	44.59	0.023	0.033	0.0482	0.0017	11.42	0.000	0.000	0.0482	0.0017	38.90	0.000	0.000
1.2912662	0.0301601	1.2902	0.0300	44.02	0.028	0.039	0.0468	0.0024	31.73	0.000	0.000	0.0468	0.0024	53.11	0.000	0.000
1.3334378	0.0311352	1.3322	0.0310	43.94	0.030	0.041	0.0496	0.0028	37.32	0.000	0.000	0.0496	0.0028	57.25	0.000	0.000
1.4360147	0.0334633	1.4336	0.0332	43.62	0.034	0.048	0.0780	0.0037	24.41	0.000	0.000	0.0780	0.0037	45.68	0.000	0.000
1.4939882	0.0351463	1.4909	0.0348	43.94	0.037	0.052	0.0876	0.0045	35.27	0.000	0.000	0.0876	0.0045	50.83	0.000	0.000
1.5306163	0.0364575	1.5269	0.0360	44.44	0.039	0.055	0.0942	0.0053	41.58	0.000	0.000	0.0942	0.0053	57.18	0.000	0.000
1.5486781	0.0369993	1.5447	0.0365	44.58	0.040	0.056	0.0967	0.0056	44.66	0.000	0.001	0.0967	0.0056	60.52	0.000	0.001
1.5724899	0.0380492	1.5680	0.0375	45.01	0.042	0.059	0.1041	0.0062	48.74	0.000	0.001	0.1041	0.0062	62.25	0.000	0.001
1.6180770	0.0399914	1.6118	0.0393	45.73	0.044	0.063	0.1263	0.0071	49.43	0.001	0.001	0.1263	0.0071	61.55	0.000	0.001
1.6905017	0.0429268	1.6764	0.0420	46.19	0.049	0.070	0.2035	0.0082	27.97	0.001	0.002	0.2035	0.0082	51.51	0.001	0.002
1.7096506	0.0438477	1.6921	0.0429	46.25	0.050	0.073	0.2264	0.0085	21.28	0.002	0.002	0.2264	0.0085	49.55	0.001	0.002
1.7238887	0.0448880	1.7069	0.0438	44.02	0.054	0.075	0.2249	0.0092	31.73	0.002	0.002	0.2249	0.0092	53.11	0.001	0.002
1.8235882	0.0536034	1.7952	0.0516	50.05	0.059	0.093	0.2944	0.0138	29.97	0.004	0.004	0.2944	0.0138	47.77	0.003	0.004

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGHP90P90_No1 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et}	S _{et}	P _{cut}	P	S	P _s	S _s	P _s	S _s	B _s
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0065	0.0001	79.46	0.000	0.000	0.017	0.025	0.00030	0.017	0.025	0.172	0.249	0.227	0.334	0.972
0.0064	0.0001	68.35	0.000	0.000	0.021	0.029	0.00035	0.020	0.029	0.204	0.292	0.269	0.391	1.061
0.0066	0.0002	47.47	0.000	0.000	0.022	0.031	0.00037	0.022	0.030	0.218	0.309	0.287	0.413	1.095
0.0071	0.0001	89.67	0.000	0.000	0.023	0.033	0.00039	0.023	0.033	0.234	0.329	0.307	0.441	1.134
0.0084	0.0002	29.09	0.000	0.000	0.028	0.039	0.00046	0.028	0.038	0.279	0.389	0.366	0.522	1.242
0.0082	0.0002	41.91	0.000	0.000	0.030	0.042	0.00049	0.029	0.041	0.298	0.416	0.390	0.557	1.283
0.0077	0.0003	20.64	0.000	0.000	0.035	0.048	0.00056	0.034	0.048	0.348	0.482	0.451	0.644	1.381
0.0130	0.0004	15.30	0.000	0.000	0.038	0.053	0.00063	0.037	0.052	0.378	0.527	0.488	0.704	1.437
0.0111	0.0005	22.68	0.000	0.000	0.040	0.056	0.00068	0.039	0.055	0.397	0.560	0.512	0.748	1.472
0.0117	0.0005	20.01	0.000	0.000	0.041	0.057	0.00070	0.040	0.057	0.406	0.575	0.524	0.768	1.489
0.0147	0.0006	26.12	0.000	0.000	0.042	0.060	0.00074	0.042	0.059	0.421	0.601	0.541	0.802	1.512
0.0149	0.0007	35.91	0.000	0.000	0.045	0.065	0.00082	0.044	0.064	0.450	0.651	0.572	0.867	1.555
0.0139	0.0008	75.28	0.000	0.000	0.051	0.074	0.00095	0.050	0.073	0.509	0.737	0.620	0.973	1.625
0.0147	0.0009	89.59	0.000	0.000	0.053	0.076	0.00099	0.052	0.075	0.529	0.764	0.634	1.005	1.643
0.0149	0.0009	29.09	0.000	0.000	0.057	0.079	0.00104	0.056	0.078	0.564	0.788	0.646	1.037	1.656
0.0243	0.0009	78.33	0.000	0.000	0.066	0.101	0.00152	0.064	0.099	0.650	1.005	0.725	1.310	1.751

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No2

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_1 (T)	B_2 (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.1211065	0.0264391	0.6550118	0.0005175	0.0005939	18.355	21.065	1.078	1.077	0.021	0.00035	0.020	0.273	0.030	0.397
1.2544869	0.0291121	0.7329632	0.0006058	0.0006692	21.487	23.734	1.207	1.206	0.026	0.00042	0.025	0.340	0.037	0.489
1.2885016	0.0299104	0.7526100	0.0006362	0.0006857	22.563	24.321	1.239	1.238	0.027	0.00045	0.027	0.359	0.039	0.516
1.3542999	0.0312361	0.7911170	0.0006798	0.0007369	24.112	26.136	1.303	1.301	0.030	0.00049	0.030	0.396	0.042	0.566
1.4109921	0.0325133	0.8241612	0.0007299	0.0007959	25.887	28.229	1.357	1.356	0.033	0.00053	0.032	0.429	0.046	0.614
1.4825719	0.0345739	0.8657596	0.0008281	0.0008887	29.369	31.519	1.425	1.424	0.036	0.00060	0.035	0.474	0.051	0.686
1.5237083	0.0358266	0.8898302	0.0009000	0.0009658	31.921	34.254	1.465	1.463	0.038	0.00064	0.037	0.501	0.055	0.731
1.5613061	0.0372918	0.9116976	0.0009821	0.0010528	34.832	37.340	1.501	1.499	0.040	0.00070	0.039	0.527	0.058	0.779
1.5855066	0.0383225	0.9256844	0.0010591	0.0011259	37.565	39.932	1.524	1.522	0.041	0.00073	0.041	0.545	0.061	0.813
1.5958517	0.0385986	0.9318860	0.0010685	0.0011386	37.896	40.385	1.534	1.532	0.042	0.00074	0.041	0.553	0.062	0.825
1.6455981	0.0411691	0.9607893	0.0012301	0.0012871	43.629	45.651	1.582	1.579	0.045	0.00085	0.044	0.587	0.068	0.907
1.6786662	0.0429642	0.9799047	0.0013294	0.0014299	47.152	50.716	1.613	1.611	0.047	0.00092	0.046	0.612	0.072	0.965
1.7104000	0.0452688	0.9984483	0.0014860	0.0015906	52.706	56.414	1.644	1.641	0.049	0.00102	0.048	0.637	0.077	1.037
1.7173887	0.0455911	1.0024456	0.0015089	0.0016157	53.516	57.304	1.651	1.648	0.049	0.00104	0.048	0.642	0.078	1.048
1.7232437	0.0460833	1.0059689	0.0015346	0.0016404	54.430	58.180	1.656	1.653	0.049	0.00106	0.048	0.647	0.079	1.063
1.7576224	0.0486553	1.0261562	0.0017004	0.0018158	60.308	64.402	1.690	1.686	0.052	0.00118	0.050	0.674	0.086	1.145

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No2

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.1211065	0.0264391	1.1201	0.0264	45.41	0.021	0.030	0.0435	0.0013	7.20	0.000	0.000	0.0435	0.0013	40.35	0.000	0.000
1.2544869	0.0291121	1.2532	0.0290	44.55	0.026	0.036	0.0515	0.0020	6.60	0.000	0.000	0.0515	0.0020	33.24	0.000	0.000
1.2885016	0.0299104	1.2870	0.0298	44.49	0.027	0.038	0.0553	0.0023	7.67	0.000	0.000	0.0553	0.0023	27.66	0.000	0.000
1.3542999	0.0312361	1.3531	0.0311	44.14	0.030	0.042	0.0515	0.0028	27.79	0.000	0.000	0.0515	0.0028	52.24	0.000	0.000
1.4109921	0.0325133	1.4093	0.0323	43.98	0.033	0.046	0.0594	0.0034	37.03	0.000	0.000	0.0594	0.0034	52.53	0.000	0.000
1.4825719	0.0345739	1.4800	0.0343	44.29	0.036	0.051	0.0771	0.0042	37.36	0.000	0.000	0.0771	0.0042	53.69	0.000	0.000
1.5237083	0.0358266	1.5204	0.0355	44.48	0.039	0.054	0.0890	0.0048	38.95	0.000	0.000	0.0890	0.0048	51.52	0.000	0.000
1.5613061	0.0372918	1.5572	0.0368	45.06	0.040	0.057	0.0989	0.0056	43.60	0.000	0.001	0.0989	0.0056	58.68	0.000	0.001
1.5855066	0.0383225	1.5809	0.0378	45.40	0.042	0.060	0.1038	0.0061	48.44	0.000	0.001	0.1038	0.0061	62.19	0.000	0.001
1.5958517	0.0385986	1.5910	0.0380	45.31	0.043	0.060	0.1068	0.0063	47.65	0.000	0.001	0.1068	0.0063	62.62	0.000	0.001
1.6455981	0.0411691	1.6385	0.0404	46.55	0.046	0.066	0.1336	0.0076	50.54	0.001	0.001	0.1336	0.0076	62.39	0.000	0.001
1.6786662	0.0429642	1.6694	0.0420	47.21	0.048	0.070	0.1551	0.0085	47.40	0.001	0.001	0.1551	0.0085	61.48	0.001	0.001
1.7104000	0.0452688	1.6992	0.0441	48.27	0.050	0.075	0.1714	0.0098	49.16	0.001	0.002	0.1714	0.0098	63.25	0.001	0.002
1.7173887	0.0455911	1.7061	0.0443	48.34	0.050	0.076	0.1738	0.0099	48.67	0.001	0.002	0.1738	0.0099	62.40	0.001	0.002
1.7232437	0.0460833	1.7113	0.0448	48.56	0.051	0.077	0.1776	0.0102	49.61	0.001	0.002	0.1776	0.0102	63.73	0.001	0.002
1.7576224	0.0486553	1.7430	0.0471	49.56	0.053	0.082	0.1992	0.0115	49.20	0.001	0.002	0.1992	0.0115	63.23	0.001	0.002

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No2 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et} (W)	S _{et} (VA)	P _{cut} (W)	P (W)	S (VA)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	B _s (T)
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}										
0.0075	0.0001	76.26	0.000	0.000	0.021	0.030	0.00035	0.021	0.029	0.208	0.297	0.273	0.397	1.077
0.0066	0.0002	88.12	0.000	0.000	0.026	0.037	0.00042	0.026	0.036	0.260	0.366	0.340	0.489	1.206
0.0069	0.0002	87.44	0.000	0.000	0.028	0.039	0.00045	0.027	0.038	0.275	0.386	0.359	0.516	1.238
0.0078	0.0002	47.22	0.000	0.000	0.030	0.042	0.00049	0.030	0.042	0.303	0.424	0.396	0.566	1.301
0.0081	0.0003	21.55	0.000	0.000	0.033	0.046	0.00053	0.033	0.045	0.329	0.459	0.429	0.614	1.356
0.0096	0.0004	85.34	0.000	0.000	0.037	0.051	0.00061	0.036	0.051	0.366	0.514	0.474	0.686	1.424
0.0136	0.0004	27.50	0.000	0.000	0.039	0.055	0.00065	0.038	0.054	0.389	0.548	0.501	0.731	1.463
0.0140	0.0005	24.38	0.000	0.000	0.041	0.058	0.00071	0.040	0.058	0.410	0.584	0.527	0.779	1.499
0.0163	0.0006	36.45	0.000	0.000	0.043	0.061	0.00075	0.042	0.060	0.424	0.610	0.545	0.813	1.522
0.0163	0.0006	25.20	0.000	0.000	0.043	0.062	0.00076	0.043	0.061	0.430	0.618	0.553	0.825	1.532
0.0174	0.0007	42.64	0.000	0.000	0.047	0.068	0.00087	0.046	0.067	0.463	0.682	0.587	0.907	1.579
0.0167	0.0008	42.28	0.000	0.000	0.049	0.073	0.00095	0.048	0.072	0.488	0.727	0.612	0.965	1.611
0.0181	0.0008	43.68	0.000	0.000	0.052	0.078	0.00107	0.051	0.077	0.513	0.782	0.637	1.037	1.641
0.0220	0.0008	49.25	0.000	0.000	0.052	0.079	0.00108	0.051	0.078	0.517	0.789	0.642	1.048	1.648
0.0187	0.0008	46.49	0.000	0.000	0.053	0.080	0.00111	0.052	0.079	0.522	0.802	0.647	1.063	1.653
0.0178	0.0008	51.03	0.000	0.000	0.056	0.087	0.00124	0.055	0.085	0.552	0.865	0.674	1.145	1.686

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบกรด 23RGH90P90_No3

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.1159149	0.0264780	0.6519949	0.0005347	0.0006029	18.964	21.383	1.076	1.075	0.021	0.00035	0.020	0.273	0.030	0.397
1.1571900	0.0275797	0.6758189	0.0005507	0.0006113	19.533	21.681	1.116	1.115	0.022	0.00038	0.022	0.296	0.032	0.428
1.2482285	0.0291507	0.7291149	0.0006099	0.0006743	21.633	23.917	1.204	1.202	0.026	0.00042	0.025	0.340	0.036	0.488
1.3044817	0.0301957	0.7619578	0.0006602	0.0006899	23.416	24.471	1.258	1.257	0.028	0.00046	0.028	0.370	0.039	0.529
1.4201978	0.0331060	0.8294247	0.0007837	0.0008352	27.797	29.624	1.369	1.368	0.033	0.00055	0.033	0.437	0.047	0.631
1.4539710	0.0341173	0.8491720	0.0008172	0.0008725	28.985	30.944	1.402	1.400	0.035	0.00058	0.034	0.459	0.050	0.666
1.4824689	0.0350338	0.8657243	0.0008894	0.0009393	31.545	33.314	1.429	1.427	0.036	0.00061	0.036	0.477	0.052	0.697
1.4824689	0.0350338	0.8657243	0.0008894	0.0009393	31.545	33.314	1.429	1.427	0.036	0.00061	0.036	0.477	0.052	0.697
1.5651319	0.0379969	0.9137220	0.0010405	0.0011135	36.903	39.494	1.508	1.506	0.040	0.00072	0.040	0.534	0.059	0.798
1.6094130	0.0400204	0.9396442	0.0011626	0.0012512	41.235	44.376	1.551	1.549	0.043	0.00080	0.042	0.564	0.064	0.865
1.6539517	0.0424173	0.9656521	0.0013265	0.0014189	47.048	50.325	1.594	1.592	0.045	0.00090	0.044	0.597	0.070	0.942
1.6610559	0.0428420	0.9697416	0.0013487	0.0014400	47.836	51.074	1.601	1.598	0.046	0.00092	0.045	0.602	0.071	0.955
1.6892593	0.0446038	0.9862000	0.0014674	0.0015703	52.047	55.696	1.628	1.625	0.047	0.00099	0.046	0.623	0.075	1.011
1.7223805	0.0469337	1.0054408	0.0016011	0.0017229	56.786	61.106	1.660	1.657	0.050	0.00110	0.049	0.653	0.081	1.085
1.7500720	0.0491387	1.0214854	0.0017582	0.0018884	62.359	66.976	1.686	1.683	0.052	0.00121	0.050	0.676	0.086	1.154
1.8934903	0.0633674	1.1050755	0.0026723	0.0028356	94.781	100.573	1.824	1.819	0.061	0.00201	0.059	0.787	0.120	1.611

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No3

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.1159149	0.0264780	1.1153	0.0264	45.31	0.021	0.029	0.0345	0.0014	29.01	0.000	0.000	0.0345	0.0014	57.53	0.000	0.000
1.1571900	0.0275797	1.1566	0.0275	45.13	0.022	0.032	0.0328	0.0016	36.24	0.000	0.000	0.0328	0.0016	65.96	0.000	0.000
1.2482285	0.0291507	1.2472	0.0291	44.52	0.026	0.036	0.0460	0.0022	25.48	0.000	0.000	0.0460	0.0022	48.11	0.000	0.000
1.3044817	0.0301957	1.3029	0.0301	44.04	0.028	0.039	0.0603	0.0025	7.51	0.000	0.000	0.0603	0.0025	30.71	0.000	0.000
1.4201978	0.0331060	1.4178	0.0329	44.23	0.033	0.047	0.0784	0.0036	23.66	0.000	0.000	0.0784	0.0036	45.18	0.000	0.000
1.4539710	0.0341173	1.4511	0.0338	44.42	0.035	0.049	0.0818	0.0041	29.99	0.000	0.000	0.0818	0.0041	53.25	0.000	0.000
1.4824689	0.0350338	1.4794	0.0347	44.68	0.036	0.051	0.0835	0.0046	38.26	0.000	0.000	0.0835	0.0046	53.92	0.000	0.000
1.4824689	0.0350338	1.5082	0.0357	44.91	0.038	0.054	0.0928	0.0050	39.66	0.000	0.000	0.0928	0.0050	55.38	0.000	0.000
1.5651319	0.0379969	1.5605	0.0374	45.43	0.041	0.058	0.1053	0.0061	46.68	0.000	0.001	0.1053	0.0061	62.53	0.000	0.001
1.6094130	0.0400204	1.6029	0.0393	46.27	0.044	0.063	0.1285	0.0071	48.29	0.001	0.001	0.1285	0.0071	58.52	0.000	0.001
1.6539517	0.0424173	1.6451	0.0415	47.20	0.046	0.068	0.1520	0.0083	46.55	0.001	0.001	0.1520	0.0083	61.28	0.001	0.001
1.6610559	0.0428420	1.6516	0.0419	47.40	0.047	0.069	0.1563	0.0085	46.02	0.001	0.001	0.1563	0.0085	61.98	0.001	0.001
1.6892593	0.0446038	1.6778	0.0435	48.05	0.049	0.073	0.1753	0.0094	45.01	0.001	0.002	0.1753	0.0094	59.99	0.001	0.002
1.7223805	0.0469337	1.7085	0.0455	48.74	0.051	0.078	0.1939	0.0107	47.23	0.001	0.002	0.1939	0.0107	60.37	0.001	0.002
1.7500720	0.0491387	1.7338	0.0475	49.47	0.054	0.082	0.2112	0.0118	46.74	0.002	0.002	0.2112	0.0118	62.46	0.001	0.002
1.8934903	0.0633674	1.8541	0.0603	53.57	0.066	0.112	0.3533	0.0186	37.62	0.005	0.007	0.3533	0.0186	53.89	0.004	0.007

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No3 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P_{et}	S_{et}	P_{ent}	P	S	P_s	S_s	P_s	S_s	B_s
V_{e7}	I_{e7}	Ang_7	P_{e7}	S_{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0067	0.0001	87.11	0.000	0.000	0.021	0.030	0.00035	0.020	0.029	0.207	0.295	0.273	0.397	1.075
0.0066	0.0001	79.08	0.000	0.000	0.023	0.032	0.00038	0.022	0.032	0.224	0.319	0.296	0.428	1.115
0.0062	0.0002	32.83	0.000	0.000	0.026	0.036	0.00043	0.026	0.036	0.259	0.365	0.340	0.488	1.202
0.0031	0.0002	84.47	0.000	0.000	0.028	0.040	0.00046	0.028	0.039	0.283	0.395	0.370	0.529	1.257
0.0083	0.0003	8.17	0.000	0.000	0.034	0.047	0.00055	0.033	0.047	0.337	0.472	0.437	0.631	1.368
0.0046	0.0004	2.90	0.000	0.000	0.036	0.050	0.00059	0.035	0.049	0.354	0.497	0.459	0.666	1.400
0.0085	0.0004	23.54	0.000	0.000	0.037	0.052	0.00062	0.036	0.051	0.368	0.521	0.477	0.697	1.427
0.0104	0.0005	23.88	0.000	0.000	0.039	0.055	0.00066	0.038	0.054	0.386	0.548	0.477	0.697	1.427
0.0132	0.0006	32.94	0.000	0.000	0.042	0.060	0.00074	0.041	0.059	0.415	0.596	0.534	0.798	1.506
0.0174	0.0007	47.28	0.000	0.000	0.045	0.065	0.00082	0.044	0.064	0.443	0.648	0.564	0.865	1.549
0.0195	0.0007	43.42	0.000	0.000	0.048	0.071	0.00093	0.047	0.070	0.475	0.707	0.597	0.942	1.592
0.0163	0.0008	45.68	0.000	0.000	0.048	0.072	0.00095	0.047	0.071	0.480	0.718	0.602	0.955	1.598
0.0182	0.0008	46.34	0.000	0.000	0.051	0.076	0.00103	0.050	0.075	0.504	0.762	0.623	1.011	1.625
0.0165	0.0008	52.27	0.000	0.000	0.054	0.082	0.00115	0.053	0.081	0.532	0.817	0.653	1.085	1.657
0.0148	0.0008	43.31	0.000	0.000	0.056	0.087	0.00127	0.055	0.086	0.558	0.871	0.676	1.154	1.683
0.0240	0.0007	68.31	0.000	0.000	0.075	0.125	0.00216	0.073	0.123	0.742	1.243	0.787	1.611	1.819

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No4

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.0510703	0.0263151	0.6144160	0.0005073	0.0005498	17.994	19.499	1.008	1.007	0.019	0.00035	0.018	0.246	0.028	0.369
1.2136575	0.0296035	0.7093335	0.0006116	0.0006463	21.692	22.924	1.163	1.162	0.025	0.00044	0.024	0.326	0.036	0.479
1.2578987	0.0307306	0.7349940	0.0006119	0.0006960	21.703	24.684	1.205	1.204	0.027	0.00047	0.026	0.350	0.039	0.515
1.3106340	0.0317796	0.7658457	0.0006917	0.0007043	24.533	24.980	1.256	1.255	0.029	0.00050	0.028	0.380	0.042	0.555
1.4417871	0.0350177	0.8423828	0.0007857	0.0008536	27.868	30.274	1.381	1.380	0.035	0.00061	0.034	0.458	0.050	0.673
1.4607571	0.0355434	0.8536578	0.0008397	0.0008461	29.782	30.011	1.400	1.398	0.036	0.00063	0.035	0.468	0.052	0.692
1.4941869	0.0364157	0.8731497	0.0008882	0.0009104	31.501	32.290	1.432	1.430	0.037	0.00066	0.037	0.488	0.054	0.725
1.5236938	0.0375699	0.8903318	0.0009273	0.0009710	32.889	34.437	1.460	1.458	0.039	0.00071	0.038	0.508	0.057	0.763
1.5744383	0.0395596	0.9199163	0.0010336	0.0010751	36.659	38.132	1.509	1.506	0.041	0.00078	0.041	0.542	0.062	0.830
1.5773092	0.0397451	0.9214910	0.0010463	0.0011009	37.109	39.048	1.511	1.509	0.042	0.00079	0.041	0.544	0.063	0.836
1.6454740	0.0427726	0.9614752	0.0011870	0.0012399	42.101	43.975	1.577	1.574	0.045	0.00091	0.044	0.590	0.070	0.938
1.6455763	0.0433763	0.9705203	0.0012472	0.0012729	44.236	45.149	1.592	1.589	0.046	0.00094	0.045	0.600	0.072	0.955
1.6611362	0.0435059	0.9611729	0.0012233	0.0012935	43.387	45.879	1.576	1.574	0.046	0.00095	0.045	0.596	0.072	0.961
1.7045596	0.0468223	0.9958583	0.0014403	0.0015072	51.084	53.458	1.633	1.630	0.049	0.00110	0.048	0.635	0.080	1.064
1.7203154	0.0482123	1.0050811	0.0014914	0.0015918	52.896	56.457	1.648	1.645	0.050	0.00116	0.049	0.647	0.083	1.106
1.7390355	0.0495926	1.0159616	0.0015935	0.0016838	56.517	59.719	1.666	1.663	0.051	0.00123	0.050	0.660	0.086	1.150

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No4

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0510703	0.0263151	1.0504	0.0263	47.05	0.019	0.028	0.0352	0.0011	32.10	0.000	0.000	0.0352	0.0011	67.82	0.000	0.000
1.2136575	0.0296035	1.2120	0.0295	45.59	0.025	0.036	0.0594	0.0020	3.69	0.000	0.000	0.0594	0.0020	29.70	0.000	0.000
1.2578987	0.0307306	1.2568	0.0306	45.73	0.027	0.038	0.0451	0.0025	34.60	0.000	0.000	0.0451	0.0025	56.17	0.000	0.000
1.3106340	0.0317796	1.3094	0.0316	45.37	0.029	0.041	0.0496	0.0029	32.38	0.000	0.000	0.0496	0.0029	45.54	0.000	0.000
1.4417871	0.0350177	1.4393	0.0347	45.16	0.035	0.050	0.0748	0.0043	33.89	0.000	0.000	0.0748	0.0043	54.90	0.000	0.000
1.4607571	0.0355434	1.4578	0.0352	45.37	0.036	0.051	0.0852	0.0045	35.79	0.000	0.000	0.0852	0.0045	54.80	0.000	0.000
1.4941869	0.0364157	1.4907	0.0360	45.49	0.038	0.054	0.0917	0.0050	37.80	0.000	0.000	0.0917	0.0050	56.47	0.000	0.000
1.5236938	0.0375699	1.5196	0.0371	45.86	0.039	0.056	0.1006	0.0055	40.64	0.000	0.001	0.1006	0.0055	59.67	0.000	0.001
1.5744383	0.0395596	1.5689	0.0390	46.51	0.042	0.061	0.1188	0.0065	44.68	0.001	0.001	0.1188	0.0065	54.76	0.000	0.001
1.5773092	0.0397451	1.5716	0.0391	46.59	0.042	0.061	0.1201	0.0066	43.06	0.001	0.001	0.1201	0.0066	58.59	0.000	0.001
1.6455763	0.0427726	1.6348	0.0420	47.53	0.046	0.069	0.1764	0.0078	37.06	0.001	0.001	0.1764	0.0078	56.10	0.001	0.001
1.6454740	0.0435059	1.6363	0.0426	47.88	0.047	0.070	0.1567	0.0084	42.23	0.001	0.001	0.1567	0.0084	59.84	0.001	0.001
1.6611362	0.0433763	1.6492	0.0425	47.70	0.047	0.070	0.1854	0.0080	37.00	0.001	0.001	0.1854	0.0080	57.94	0.001	0.001
1.7045596	0.0468223	1.6913	0.0456	49.32	0.050	0.077	0.1930	0.0101	43.72	0.001	0.002	0.1930	0.0101	57.46	0.001	0.002
1.7203154	0.0482123	1.7053	0.0468	49.83	0.052	0.080	0.2043	0.0107	41.39	0.002	0.002	0.2043	0.0107	56.49	0.001	0.002

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 23RGH90P90_No4 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P_{et}	S_{et}	P_{cut}	P	S	P_s	S_s	P_s	S_s	B_s
V_{e7}	I_{e7}	Ang_7	P_{e7}	S_{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0073	0.0001	73.31	0.000	0.000	0.019	0.028	0.00035	0.019	0.027	0.187	0.277	0.246	0.369	1.007
0.0053	0.0002	72.31	0.000	0.000	0.025	0.036	0.00044	0.025	0.036	0.251	0.360	0.326	0.479	1.162
0.0087	0.0001	42.70	0.000	0.000	0.027	0.039	0.00047	0.027	0.038	0.268	0.387	0.350	0.515	1.204
0.0084	0.0002	23.57	0.000	0.000	0.029	0.042	0.00051	0.029	0.041	0.291	0.417	0.380	0.555	1.255
0.0069	0.0004	14.76	0.000	0.000	0.036	0.051	0.00062	0.035	0.050	0.355	0.506	0.458	0.673	1.380
0.0062	0.0004	12.14	0.000	0.000	0.037	0.052	0.00064	0.036	0.051	0.364	0.521	0.468	0.692	1.398
0.0065	0.0004	6.19	0.000	0.000	0.038	0.055	0.00067	0.038	0.054	0.380	0.546	0.488	0.725	1.430
0.0084	0.0005	9.95	0.000	0.000	0.040	0.057	0.00072	0.039	0.057	0.397	0.575	0.508	0.763	1.458
0.0126	0.0005	34.25	0.000	0.000	0.043	0.063	0.00080	0.042	0.062	0.428	0.626	0.542	0.830	1.506
0.0122	0.0005	30.25	0.000	0.000	0.043	0.063	0.00081	0.042	0.062	0.430	0.630	0.544	0.836	1.509
0.0131	0.0006	39.95	0.000	0.000	0.048	0.071	0.00094	0.047	0.070	0.478	0.713	0.590	0.938	1.574
0.0148	0.0006	38.15	0.000	0.000	0.048	0.072	0.00098	0.047	0.071	0.480	0.722	0.596	0.955	1.574
0.0098	0.0007	61.44	0.000	0.000	0.049	0.073	0.00097	0.048	0.072	0.488	0.730	0.600	0.961	1.589
0.0129	0.0007	38.89	0.000	0.000	0.053	0.081	0.00114	0.052	0.080	0.522	0.808	0.635	1.064	1.630
0.0099	0.0007	48.47	0.000	0.000	0.054	0.084	0.00121	0.053	0.083	0.538	0.841	0.647	1.106	1.645

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No1

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_1 (T)	B_2 (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.0869328	0.0236108	0.6402640	0.0004376	0.0005203	15.522	18.453	0.791	0.791	0.020	0.00028	0.020	0.198	0.026	0.258
1.1736178	0.0252909	0.6911836	0.0004884	0.0005660	17.323	20.075	0.854	0.854	0.023	0.00032	0.023	0.232	0.030	0.298
1.3482354	0.0278442	0.7929793	0.0005396	0.0006135	19.140	21.759	0.980	0.979	0.030	0.00039	0.030	0.301	0.038	0.377
1.4220181	0.0290228	0.8360128	0.0005609	0.0006286	19.894	22.295	1.033	1.033	0.033	0.00042	0.033	0.332	0.041	0.415
1.6447580	0.0328105	0.9666613	0.0006633	0.0007461	23.528	26.462	1.195	1.194	0.045	0.00054	0.044	0.442	0.054	0.542
1.7778474	0.0352072	1.0445366	0.0007514	0.0008148	26.652	28.898	1.291	1.290	0.052	0.00062	0.051	0.517	0.063	0.629
1.8952074	0.0374932	1.1129586	0.0008254	0.0009010	29.273	31.956	1.376	1.374	0.059	0.00070	0.058	0.586	0.071	0.714
1.9769289	0.0393193	1.1601755	0.0009262	0.0009855	32.849	34.955	1.434	1.433	0.064	0.00077	0.063	0.636	0.078	0.781
2.0746351	0.0419058	1.2175901	0.0010775	0.0011503	38.216	40.799	1.505	1.503	0.070	0.00088	0.069	0.695	0.087	0.874
2.1573661	0.0446973	1.2657598	0.0012362	0.0013404	43.844	47.542	1.565	1.563	0.076	0.00100	0.075	0.750	0.096	0.969
2.2455274	0.0484251	1.3173350	0.0014984	0.0015992	53.146	56.721	1.628	1.626	0.082	0.00117	0.080	0.808	0.109	1.093
2.2817315	0.0505822	1.3386949	0.0016442	0.0017512	58.317	62.112	1.655	1.652	0.084	0.00128	0.083	0.833	0.115	1.160
2.3293847	0.0528427	1.3663862	0.0018072	0.0019250	64.096	68.276	1.689	1.686	0.087	0.00140	0.086	0.861	0.123	1.237

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No1

V _c (V)	I _c (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0869328	0.0236108	1.0865	0.0236	38.90	0.020	0.026	0.0277	0.0007	25.25	0.000	0.000	0.0277	0.0007	37.47	0.000	0.000
1.1736178	0.0252909	1.1730	0.0253	37.73	0.023	0.030	0.0348	0.0010	32.13	0.000	0.000	0.0348	0.0010	13.96	0.000	0.000
1.3482354	0.0278442	1.3475	0.0278	35.80	0.030	0.037	0.0387	0.0014	1.68	0.000	0.000	0.0387	0.0014	38.56	0.000	0.000
1.4220181	0.0290228	1.4211	0.0290	35.46	0.034	0.041	0.0451	0.0016	11.66	0.000	0.000	0.0451	0.0016	40.76	0.000	0.000
1.6447580	0.0328105	1.6439	0.0327	33.84	0.045	0.054	0.0457	0.0028	55.33	0.000	0.000	0.0457	0.0028	73.25	0.000	0.000
1.7778474	0.0352072	1.7763	0.0350	32.90	0.052	0.062	0.0688	0.0036	51.36	0.000	0.000	0.0688	0.0036	60.87	0.000	0.000
1.8952074	0.0374932	1.8923	0.0372	32.58	0.059	0.070	0.0955	0.0046	43.40	0.000	0.000	0.0955	0.0046	63.87	0.000	0.000
1.9769289	0.0393193	1.9702	0.0389	32.18	0.065	0.077	0.1549	0.0052	10.12	0.001	0.001	0.1549	0.0052	13.92	0.001	0.001
2.0746351	0.0419058	2.0678	0.0412	33.53	0.071	0.085	0.1534	0.0070	33.16	0.001	0.001	0.1534	0.0070	49.22	0.001	0.001
2.1573661	0.0446973	2.1482	0.0437	34.91	0.077	0.094	0.1806	0.0087	34.87	0.001	0.002	0.1806	0.0087	51.88	0.001	0.002
2.2455274	0.0484251	2.2322	0.0470	37.03	0.084	0.105	0.2221	0.0110	37.27	0.002	0.002	0.2221	0.0110	51.27	0.002	0.002
2.2817315	0.0505822	2.2665	0.0488	38.45	0.087	0.111	0.2376	0.0123	41.24	0.002	0.003	0.2376	0.0123	55.14	0.002	0.003
2.3293847	0.0528427	2.3107	0.0507	39.82	0.090	0.117	0.2676	0.0138	42.95	0.003	0.004	0.2676	0.0138	57.43	0.002	0.004

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No1 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P_{et}	S_{et}	P_{cut}	P	S	P_s	S_s	P_s	S_s	B_s
V_{e7}	I_{e7}	Ang_7	P_{e7}	S_{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0057	0.0000	25.40	0.000	0.000	0.020	0.026	0.00028	0.020	0.025	0.199	0.257	0.198	0.258	0.791
0.0077	0.0000	59.70	0.000	0.000	0.023	0.030	0.00032	0.023	0.029	0.234	0.297	0.232	0.298	0.854
0.0050	0.0001	15.75	0.000	0.000	0.030	0.038	0.00039	0.030	0.037	0.304	0.376	0.301	0.377	0.979
0.0066	0.0001	85.56	0.000	0.000	0.034	0.041	0.00042	0.033	0.041	0.336	0.414	0.332	0.415	1.033
0.0101	0.0001	79.75	0.000	0.000	0.043	0.054	0.00054	0.044	0.053	0.447	0.541	0.442	0.542	1.194
0.0125	0.0002	35.87	0.000	0.000	0.052	0.063	0.00063	0.052	0.062	0.525	0.628	0.517	0.629	1.290
0.0150	0.0003	14.77	0.000	0.000	0.060	0.071	0.00071	0.059	0.071	0.598	0.714	0.586	0.714	1.374
0.0114	0.0005	40.90	0.000	0.000	0.066	0.078	0.00078	0.066	0.078	0.665	0.784	0.636	0.781	1.433
0.0151	0.0007	11.66	0.000	0.000	0.073	0.087	0.00090	0.072	0.087	0.727	0.876	0.695	0.874	1.503
0.0173	0.0008	29.06	0.000	0.000	0.079	0.097	0.00103	0.078	0.096	0.792	0.972	0.750	0.969	1.563
0.0169	0.0010	44.51	0.000	0.000	0.087	0.110	0.00123	0.086	0.109	0.870	1.099	0.808	1.093	1.626
0.0195	0.0010	43.93	0.000	0.000	0.091	0.117	0.00135	0.089	0.115	0.903	1.166	0.833	1.160	1.652
0.0264	0.0010	49.00	0.000	0.000	0.095	0.125	0.00148	0.093	0.123	0.944	1.247	0.861	1.237	1.686

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No2

V_e (V)	I_e (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_e (V)	I_e (A)
1.0102535	0.0230084	0.5902056	0.0004319	0.0004832	15.319	17.139	0.727	0.727	0.017	0.00026	0.017	0.167	0.023	0.233
1.2053553	0.0260977	0.7038745	0.0004783	0.0005350	16.962	18.976	0.867	0.867	0.024	0.00034	0.024	0.236	0.031	0.315
1.3009844	0.0276345	0.7598162	0.0005669	0.0005673	20.108	20.121	0.936	0.936	0.027	0.00038	0.027	0.271	0.036	0.360
1.5010383	0.0308529	0.8763282	0.0006069	0.0006721	21.527	23.839	1.080	1.079	0.036	0.00048	0.036	0.358	0.046	0.464
1.7570880	0.0356363	1.0255505	0.0007904	0.0008141	28.035	28.874	1.264	1.263	0.050	0.00063	0.049	0.493	0.063	0.627
1.7667115	0.0358753	1.0312845	0.0007859	0.0008256	27.873	29.281	1.271	1.270	0.050	0.00064	0.050	0.499	0.063	0.635
1.8335030	0.0375926	1.0701479	0.0008784	0.0009044	31.153	32.077	1.319	1.317	0.055	0.00071	0.054	0.539	0.069	0.691
1.9735826	0.0411178	1.1516548	0.0011083	0.0010977	39.308	38.932	1.419	1.418	0.063	0.00085	0.063	0.627	0.081	0.813
2.0144942	0.0425304	1.1754765	0.0011720	0.0011600	41.570	41.143	1.449	1.447	0.066	0.00090	0.065	0.654	0.086	0.858
2.0787720	0.0455187	1.2130196	0.0013530	0.0013474	47.987	47.790	1.495	1.493	0.071	0.00104	0.070	0.700	0.095	0.948
2.1373489	0.0483371	1.2469535	0.0015400	0.0015527	54.621	55.070	1.537	1.534	0.075	0.00117	0.074	0.742	0.103	1.035
2.1688593	0.0496752	1.2653757	0.0016269	0.0016415	57.701	58.222	1.559	1.557	0.077	0.00123	0.076	0.762	0.108	1.080
2.1760535	0.0503706	1.2693895	0.0016684	0.0016836	59.175	59.712	1.564	1.562	0.078	0.00127	0.077	0.769	0.110	1.098
2.5603803	0.0883554	1.4924935	0.0040497	0.0041072	143.633	145.674	1.839	1.833	0.108	0.00390	0.104	1.047	0.226	2.267
2.6648893	0.1060134	1.5532761	0.0050488	0.0051294	179.070	181.928	1.914	1.907	0.117	0.00562	0.111	1.116	0.283	2.831
2.7549572	0.1219461	1.6054382	0.0058683	0.0059690	208.137	211.706	1.978	1.970	0.125	0.00744	0.117	1.175	0.336	3.366

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No2

V _c (V)	I _c (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0102535	0.0230084	1.0097	0.0230	43.27	0.017	0.023	0.0305	0.0006	13.00	0.000	0.000	0.0305	0.0006	44.72	0.000	0.000
1.2053553	0.0260977	1.2049	0.0261	40.45	0.024	0.031	0.0293	0.0010	17.39	0.000	0.000	0.0293	0.0010	37.83	0.000	0.000
1.3009844	0.0276345	1.3001	0.0276	39.94	0.028	0.036	0.0452	0.0013	60.22	0.000	0.000	0.0452	0.0013	65.83	0.000	0.000
1.5010383	0.0308529	1.5003	0.0308	38.27	0.036	0.046	0.0424	0.0020	17.51	0.000	0.000	0.0424	0.0020	44.90	0.000	0.000
1.7570880	0.0356363	1.7549	0.0354	36.34	0.050	0.062	0.0795	0.0036	40.68	0.000	0.000	0.0795	0.0036	56.15	0.000	0.000
1.7667115	0.0358753	1.7645	0.0357	36.23	0.051	0.063	0.0794	0.0038	39.92	0.000	0.000	0.0794	0.0038	57.28	0.000	0.000
1.8335030	0.0375926	1.8305	0.0373	36.42	0.053	0.068	0.0938	0.0046	40.14	0.000	0.000	0.0938	0.0046	59.31	0.000	0.000
1.9735826	0.0411178	1.9651	0.0406	35.91	0.065	0.080	0.1705	0.0062	15.11	0.001	0.001	0.1705	0.0062	26.56	0.001	0.001
2.0144942	0.0425304	2.0045	0.0419	36.28	0.068	0.084	0.1872	0.0071	17.34	0.001	0.001	0.1872	0.0071	31.18	0.001	0.001
2.0787720	0.0455187	2.0669	0.0445	37.76	0.073	0.092	0.2059	0.0088	24.54	0.002	0.002	0.2059	0.0088	37.94	0.001	0.002
2.1373489	0.0483371	2.1231	0.0470	39.02	0.078	0.100	0.2273	0.0106	31.65	0.002	0.002	0.2273	0.0106	45.14	0.002	0.002
2.1688593	0.0496752	2.1533	0.0482	39.62	0.080	0.104	0.2382	0.0114	32.55	0.002	0.003	0.2382	0.0114	46.31	0.002	0.003
2.1760535	0.0503706	2.1596	0.0488	40.05	0.081	0.105	0.2455	0.0118	33.73	0.002	0.003	0.2455	0.0118	50.65	0.002	0.003
2.5603803	0.0883554	2.4914	0.0822	53.72	0.121	0.205	0.5531	0.0313	45.93	0.012	0.017	0.5531	0.0313	60.79	0.008	0.017
2.6648893	0.1060134	2.5689	0.0980	57.39	0.136	0.252	0.6687	0.0393	47.29	0.018	0.026	0.6687	0.0393	60.31	0.013	0.026
2.7549572	0.1219461	2.6290	0.1128	59.69	0.150	0.297	0.7856	0.0454	47.29	0.024	0.036	0.7856	0.0454	64.78	0.015	0.036

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No2 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et} (W)	S _{et} (VA)	P _{cut} (W)	P (W)	S (VA)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	B _s (T)
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}										
0.0048	0.0001	77.92	0.000	0.000	0.017	0.023	0.00026	0.017	0.023	0.169	0.233	0.167	0.233	0.727
0.0066	0.0001	55.46	0.000	0.000	0.024	0.031	0.00034	0.024	0.031	0.239	0.315	0.236	0.315	0.867
0.0049	0.0001	74.55	0.000	0.000	0.028	0.036	0.00038	0.027	0.036	0.275	0.360	0.271	0.360	0.936
0.0071	0.0002	46.99	0.000	0.000	0.036	0.046	0.00048	0.036	0.046	0.364	0.464	0.358	0.464	1.079
0.0120	0.0003	10.86	0.000	0.000	0.050	0.063	0.00064	0.050	0.062	0.504	0.629	0.493	0.627	1.263
0.0119	0.0003	12.27	0.000	0.000	0.051	0.064	0.00065	0.050	0.063	0.511	0.636	0.499	0.635	1.270
0.0150	0.0004	23.30	0.000	0.000	0.055	0.069	0.00072	0.055	0.068	0.554	0.692	0.539	0.691	1.317
0.0066	0.0008	14.87	0.000	0.000	0.067	0.082	0.00086	0.066	0.081	0.665	0.820	0.627	0.813	1.418
0.0117	0.0008	25.78	0.000	0.000	0.070	0.087	0.00093	0.069	0.086	0.699	0.867	0.654	0.858	1.447
0.0082	0.0009	40.41	0.000	0.000	0.076	0.096	0.00107	0.075	0.095	0.757	0.957	0.700	0.948	1.493
0.0123	0.0009	45.07	0.000	0.000	0.081	0.105	0.00122	0.080	0.103	0.810	1.046	0.742	1.035	1.534
0.0102	0.0010	54.45	0.000	0.000	0.084	0.109	0.00129	0.083	0.108	0.838	1.092	0.762	1.080	1.557
0.0098	0.0009	55.88	0.000	0.000	0.085	0.111	0.00133	0.084	0.110	0.846	1.111	0.769	1.098	1.562
0.0574	0.0014	76.55	0.000	0.000	0.142	0.240	0.00436	0.137	0.235	1.390	2.381	1.047	2.267	1.833
0.1088	0.0025	70.89	0.000	0.000	0.167	0.305	0.00635	0.160	0.298	1.623	3.020	1.116	2.831	1.907
0.1514	0.0037	62.01	0.000	0.001	0.189	0.368	0.00843	0.181	0.360	1.831	3.644	1.175	3.366	1.970

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No3

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.1242809	0.0254289	0.6564138	0.0004985	0.0005678	17.682	20.137	0.807	0.807	0.022	0.00032	0.022	0.215	0.029	0.286
1.1424421	0.0262662	0.6670673	0.0005144	0.0006064	18.243	21.509	0.820	0.820	0.023	0.00034	0.023	0.226	0.030	0.300
1.4342898	0.0306210	0.8373149	0.0006706	0.0007112	23.784	25.223	1.030	1.029	0.035	0.00047	0.034	0.344	0.044	0.439
1.5319400	0.0323076	0.8939552	0.0007106	0.0007563	25.203	26.824	1.099	1.098	0.040	0.00052	0.039	0.393	0.049	0.495
1.5559135	0.0329307	0.9080300	0.0007343	0.0007835	26.043	27.789	1.117	1.116	0.041	0.00054	0.040	0.404	0.051	0.512
1.5785983	0.0333361	0.9212774	0.0007333	0.0007986	26.717	28.323	1.133	1.132	0.042	0.00056	0.042	0.417	0.053	0.526
1.7484304	0.0368860	1.0202097	0.0008859	0.0009390	31.421	33.303	1.255	1.253	0.052	0.00068	0.051	0.511	0.064	0.645
1.7909179	0.0379079	1.0448690	0.0009420	0.0009972	33.410	35.369	1.285	1.284	0.054	0.00072	0.054	0.535	0.068	0.679
1.8854851	0.0403917	1.0997816	0.0010840	0.0011237	38.446	39.854	1.353	1.351	0.060	0.00082	0.060	0.595	0.076	0.762
1.9120291	0.0410537	1.1151492	0.0011211	0.0011794	39.762	41.831	1.372	1.370	0.062	0.00084	0.061	0.613	0.078	0.785
1.9251599	0.0415182	1.1229227	0.0011553	0.0012005	40.978	42.580	1.381	1.379	0.063	0.00086	0.062	0.620	0.080	0.799
1.9557205	0.0424935	1.1406277	0.0011903	0.0012447	42.216	44.146	1.403	1.401	0.065	0.00090	0.064	0.643	0.083	0.831
2.0430061	0.0456138	1.1913835	0.0014251	0.0014755	50.544	52.331	1.465	1.463	0.071	0.00104	0.070	0.701	0.093	0.932
2.0685064	0.0465720	1.2059886	0.0014916	0.0015419	52.904	54.689	1.483	1.481	0.073	0.00108	0.072	0.719	0.096	0.963
2.1163028	0.0485423	1.2336639	0.0015981	0.0016578	56.681	58.798	1.517	1.515	0.076	0.00118	0.075	0.751	0.103	1.027
2.2756500	0.0565479	1.3261583	0.0022294	0.0023019	79.071	81.644	1.631	1.628	0.088	0.00160	0.086	0.862	0.129	1.287

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No3

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.1242809	0.0254289	1.1238	0.0254	39.94	0.022	0.029	0.0311	0.0010	33.68	0.000	0.000	0.0311	0.0010	55.23	0.000	0.000
1.1424421	0.0262662	1.1421	0.0262	40.10	0.023	0.030	0.0267	0.0011	29.48	0.000	0.000	0.0267	0.0011	56.15	0.000	0.000
1.4342898	0.0306210	1.4333	0.0305	37.01	0.035	0.044	0.0491	0.0021	17.28	0.000	0.000	0.0491	0.0021	43.55	0.000	0.000
1.5319400	0.0323076	1.5307	0.0322	35.73	0.040	0.049	0.0557	0.0027	30.46	0.000	0.000	0.0557	0.0027	34.47	0.000	0.000
1.5559135	0.0329307	1.5549	0.0328	36.31	0.041	0.051	0.0523	0.0029	44.95	0.000	0.000	0.0523	0.0029	45.16	0.000	0.000
1.5785983	0.0333361	1.5774	0.0332	35.93	0.042	0.052	0.0575	0.0031	39.72	0.000	0.000	0.0575	0.0031	60.47	0.000	0.000
1.7484304	0.0368860	1.7455	0.0366	35.40	0.052	0.064	0.0956	0.0042	38.14	0.000	0.000	0.0956	0.0042	53.09	0.000	0.000
1.7909179	0.0379079	1.7873	0.0376	35.53	0.055	0.067	0.1079	0.0046	32.24	0.000	0.000	0.1079	0.0046	52.23	0.000	0.000
1.8854851	0.0403917	1.8804	0.0400	35.62	0.061	0.075	0.1315	0.0057	27.14	0.001	0.001	0.1315	0.0057	36.66	0.001	0.001
1.9120291	0.0410537	1.9046	0.0406	35.16	0.063	0.077	0.1577	0.0058	13.85	0.001	0.001	0.1577	0.0058	22.53	0.001	0.001
1.9251599	0.0415182	1.9185	0.0410	35.76	0.064	0.079	0.1497	0.0061	22.96	0.001	0.001	0.1497	0.0061	34.74	0.001	0.001
1.9557205	0.0424935	1.9484	0.0419	35.74	0.066	0.082	0.1601	0.0066	18.95	0.001	0.001	0.1601	0.0066	32.31	0.001	0.001
2.0430061	0.0456138	2.0338	0.0448	37.01	0.073	0.091	0.1836	0.0082	24.36	0.001	0.002	0.1836	0.0082	33.53	0.001	0.002
2.0685064	0.0465720	2.0580	0.0457	37.38	0.075	0.094	0.1985	0.0087	23.48	0.002	0.002	0.1985	0.0087	35.85	0.001	0.002
2.1163028	0.0485423	2.1043	0.0475	38.38	0.078	0.100	0.2117	0.0097	28.90	0.002	0.002	0.2117	0.0097	45.56	0.001	0.002
2.2756500	0.0565479	2.2542	0.0545	41.83	0.092	0.123	0.2859	0.0143	34.70	0.003	0.004	0.2859	0.0143	53.64	0.002	0.004

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No3 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P_{ei}	S_{ei}	P_{cut}	P	S	P_s	S_s	P_s	S_s	B_s
V_{e7}	I_{e7}	Ang_7	P_{e7}	S_{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0057	0.0001	65.98	0.000	0.000	0.022	0.029	0.00032	0.022	0.028	0.219	0.286	0.215	0.286	0.807
0.0060	0.0000	70.11	0.000	0.000	0.023	0.030	0.00035	0.023	0.030	0.229	0.300	0.226	0.300	0.820
0.0060	0.0002	10.21	0.000	0.000	0.035	0.044	0.00047	0.035	0.044	0.351	0.440	0.344	0.439	1.029
0.0063	0.0001	72.21	0.000	0.000	0.040	0.050	0.00053	0.040	0.049	0.402	0.496	0.393	0.495	1.098
0.0090	0.0001	1.42	0.000	0.000	0.041	0.051	0.00055	0.041	0.051	0.413	0.514	0.404	0.512	1.116
0.0078	0.0002	19.70	0.000	0.000	0.043	0.053	0.00056	0.042	0.052	0.426	0.528	0.417	0.526	1.132
0.0106	0.0002	5.79	0.000	0.000	0.053	0.065	0.00069	0.052	0.064	0.526	0.648	0.511	0.645	1.253
0.0096	0.0003	19.47	0.000	0.000	0.055	0.068	0.00073	0.055	0.067	0.554	0.683	0.535	0.679	1.284
0.0161	0.0003	0.68	0.000	0.000	0.062	0.077	0.00083	0.062	0.076	0.623	0.767	0.595	0.762	1.351
0.0073	0.0005	65.40	0.000	0.000	0.065	0.079	0.00086	0.064	0.078	0.648	0.792	0.613	0.785	1.370
0.0094	0.0004	65.39	0.000	0.000	0.065	0.081	0.00088	0.065	0.080	0.654	0.806	0.620	0.799	1.379
0.0112	0.0005	80.37	0.000	0.000	0.068	0.084	0.00092	0.067	0.083	0.681	0.839	0.643	0.831	1.401
0.0119	0.0007	1.99	0.000	0.000	0.075	0.094	0.00107	0.074	0.093	0.752	0.941	0.701	0.932	1.463
0.0116	0.0007	0.12	0.000	0.000	0.078	0.097	0.00112	0.077	0.096	0.775	0.975	0.719	0.963	1.481
0.0087	0.0007	10.39	0.000	0.000	0.082	0.104	0.00122	0.080	0.103	0.813	1.040	0.751	1.027	1.515
0.0046	0.0009	31.16	0.000	0.000	0.097	0.131	0.00169	0.096	0.129	0.968	1.309	0.862	1.287	1.628

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No4

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.0715693	0.0248209	0.6262319	0.0004270	0.0005001	15.146	17.737	0.767	0.767	0.020	0.00031	0.019	0.193	0.027	0.265
1.1958650	0.0268629	0.6987626	0.0004821	0.0005242	17.099	18.591	0.856	0.855	0.024	0.00036	0.024	0.238	0.032	0.320
1.2936146	0.0283683	0.7558892	0.0005108	0.0005860	18.115	20.786	0.926	0.925	0.028	0.00040	0.028	0.276	0.037	0.366
1.3812407	0.0295105	0.8070699	0.0005651	0.0006371	20.043	22.596	0.989	0.988	0.032	0.00044	0.032	0.315	0.041	0.406
1.3854636	0.0296460	0.8094607	0.0005665	0.0006100	20.094	21.635	0.992	0.991	0.032	0.00044	0.032	0.315	0.041	0.409
1.6020274	0.0334185	0.9357983	0.0006738	0.0007109	23.899	25.216	1.146	1.145	0.043	0.00056	0.042	0.420	0.054	0.533
1.7327445	0.0357308	1.0120320	0.0007406	0.0007891	26.268	27.987	1.240	1.239	0.050	0.00064	0.049	0.490	0.062	0.617
1.8042355	0.0371990	1.0538238	0.0007851	0.0008304	27.846	29.453	1.291	1.290	0.054	0.00069	0.053	0.531	0.067	0.668
1.9133537	0.0400405	1.1173620	0.0008993	0.0009257	31.894	32.833	1.369	1.367	0.061	0.00080	0.060	0.600	0.077	0.763
1.9597695	0.0415411	1.1444637	0.0009760	0.0009967	34.616	35.349	1.402	1.401	0.064	0.00086	0.063	0.632	0.081	0.811
2.0406454	0.0440008	1.1919799	0.0011096	0.0011517	39.357	40.849	1.460	1.459	0.070	0.00097	0.069	0.684	0.090	0.894
2.0958443	0.0461743	1.2240140	0.0012337	0.0012952	43.756	45.937	1.499	1.498	0.073	0.00107	0.072	0.721	0.097	0.964
2.1796000	0.0502058	1.2729480	0.0014545	0.0015465	51.587	54.852	1.559	1.557	0.079	0.00126	0.078	0.778	0.109	1.090
2.1850606	0.0506082	1.2761313	0.0014902	0.0015657	52.854	55.531	1.563	1.561	0.080	0.00128	0.079	0.783	0.111	1.101
2.5911704	0.0918894	1.5132256	0.0038738	0.0040706	137.396	144.376	1.854	1.848	0.111	0.00422	0.107	1.061	0.238	2.372
2.6047812	0.0947449	1.5212483	0.0040159	0.0042207	142.433	149.700	1.864	1.858	0.112	0.00449	0.108	1.072	0.247	2.458

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No4

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0715693	0.0248209	1.0712	0.0248	42.13	0.020	0.027	0.0266	0.0007	30.58	0.000	0.000	0.0266	0.0007	16.03	0.000	0.000
1.1958650	0.0268629	1.1954	0.0268	40.88	0.024	0.032	0.0289	0.0010	25.44	0.000	0.000	0.0289	0.0010	36.20	0.000	0.000
1.2936146	0.0283683	1.2931	0.0283	39.86	0.028	0.037	0.0346	0.0013	17.83	0.000	0.000	0.0346	0.0013	34.00	0.000	0.000
1.3812407	0.0295105	1.3803	0.0295	37.84	0.032	0.041	0.0465	0.0016	-0.29	0.000	0.000	0.0465	0.0016	29.03	0.000	0.000
1.3854636	0.0296460	1.3847	0.0296	38.29	0.032	0.041	0.0443	0.0016	3.78	0.000	0.000	0.0443	0.0016	26.43	0.000	0.000
1.6020274	0.0334185	1.5998	0.0332	36.23	0.043	0.053	0.0784	0.0027	27.85	0.000	0.000	0.0784	0.0027	18.51	0.000	0.000
1.7327445	0.0357308	1.7302	0.0355	35.44	0.050	0.062	0.0905	0.0034	35.28	0.000	0.000	0.0905	0.0034	35.58	0.000	0.000
1.8042355	0.0371990	1.8003	0.0370	35.08	0.054	0.067	0.1132	0.0040	22.15	0.000	0.000	0.1132	0.0040	47.54	0.000	0.000
1.9133537	0.0400405	1.9079	0.0396	35.24	0.062	0.076	0.1352	0.0054	24.13	0.001	0.001	0.1352	0.0054	48.51	0.000	0.001
1.9597695	0.0415411	1.9539	0.0410	35.63	0.065	0.080	0.1397	0.0063	30.13	0.001	0.001	0.1397	0.0063	45.15	0.001	0.001
2.0406454	0.0440008	2.0311	0.0433	35.98	0.071	0.088	0.1857	0.0076	23.02	0.001	0.001	0.1857	0.0076	36.38	0.001	0.001
2.0958443	0.0461743	2.0846	0.0452	36.95	0.075	0.094	0.2020	0.0090	27.33	0.002	0.002	0.2020	0.0090	41.19	0.001	0.002
2.1796000	0.0502058	2.1642	0.0487	38.97	0.082	0.105	0.2386	0.0115	34.37	0.002	0.003	0.2386	0.0115	49.60	0.002	0.003
2.1850606	0.0506082	2.1699	0.0490	39.30	0.082	0.106	0.2372	0.0117	36.85	0.002	0.003	0.2372	0.0117	50.36	0.002	0.003
2.5911704	0.0918894	2.5133	0.0854	54.27	0.125	0.215	0.5911	0.0328	44.52	0.014	0.019	0.5911	0.0328	59.39	0.010	0.019
2.6047812	0.0947449	2.5237	0.0880	55.00	0.127	0.222	0.6057	0.0340	45.71	0.014	0.021	0.6057	0.0340	60.48	0.010	0.021

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No4 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et}	S _{et}	P _{cut}	P	S	P _s	S _s	P _s	S _s	B _s
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0053	0.0000	30.22	0.000	0.000	0.020	0.027	0.00031	0.019	0.026	0.197	0.266	0.193	0.265	0.767
0.0054	0.0001	65.14	0.000	0.000	0.024	0.032	0.00036	0.024	0.032	0.242	0.322	0.238	0.320	0.855
0.0070	0.0001	80.01	0.000	0.000	0.028	0.037	0.00040	0.028	0.036	0.281	0.368	0.276	0.366	0.925
0.0057	0.0002	82.50	0.000	0.000	0.032	0.041	0.00044	0.032	0.040	0.322	0.409	0.315	0.406	0.988
0.0050	0.0001	82.58	0.000	0.000	0.032	0.041	0.00044	0.032	0.041	0.322	0.412	0.315	0.409	0.991
0.0051	0.0002	86.59	0.000	0.000	0.043	0.054	0.00056	0.043	0.053	0.432	0.537	0.420	0.533	1.145
0.0077	0.0003	12.89	0.000	0.000	0.051	0.062	0.00064	0.050	0.061	0.506	0.622	0.490	0.617	1.239
0.0078	0.0003	70.14	0.000	0.000	0.055	0.067	0.00070	0.054	0.067	0.551	0.676	0.531	0.668	1.290
0.0091	0.0005	8.07	0.000	0.000	0.063	0.077	0.00081	0.062	0.076	0.629	0.772	0.600	0.763	1.367
0.0133	0.0005	7.62	0.000	0.000	0.067	0.082	0.00088	0.066	0.081	0.664	0.820	0.632	0.811	1.401
0.0085	0.0007	18.36	0.000	0.000	0.074	0.091	0.00099	0.073	0.090	0.734	0.908	0.684	0.894	1.459
0.0091	0.0009	14.14	0.000	0.000	0.078	0.098	0.00110	0.077	0.097	0.781	0.979	0.721	0.964	1.498
0.0147	0.0010	36.38	0.000	0.000	0.086	0.111	0.00132	0.085	0.110	0.857	1.109	0.778	1.090	1.557
0.0207	0.0009	35.16	0.000	0.000	0.086	0.112	0.00134	0.085	0.111	0.861	1.120	0.783	1.101	1.561
0.0741	0.0016	72.80	0.000	0.000	0.149	0.254	0.00473	0.144	0.249	1.462	2.519	1.061	2.372	1.848
0.0813	0.0017	72.47	0.000	0.000	0.152	0.263	0.00503	0.147	0.258	1.488	2.616	1.072	2.458	1.858

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No5

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.0659679	0.0236824	0.6229518	0.0004382	0.0005042	15.543	17.883	0.768	0.767	0.019	0.00028	0.019	0.189	0.025	0.253
1.2210778	0.0265141	0.7133394	0.0005204	0.0005774	18.458	20.480	0.879	0.878	0.026	0.00035	0.025	0.252	0.032	0.324
1.4056331	0.0293432	0.8211488	0.0006431	0.0006405	22.809	22.718	1.012	1.011	0.033	0.00043	0.033	0.326	0.041	0.413
1.5233211	0.0313666	0.8898850	0.0006404	0.0006981	22.714	24.762	1.097	1.096	0.038	0.00049	0.038	0.381	0.048	0.479
1.7658903	0.0359430	1.0312605	0.0008502	0.0008656	30.153	30.702	1.271	1.270	0.052	0.00065	0.051	0.515	0.063	0.636
1.7979898	0.0366442	1.0498635	0.0008181	0.0008913	29.015	31.613	1.294	1.293	0.054	0.00067	0.053	0.534	0.066	0.660
1.8907392	0.0388355	1.1038440	0.0009532	0.0010147	33.808	35.990	1.360	1.359	0.060	0.00075	0.059	0.592	0.073	0.736
1.9293467	0.0397163	1.1263774	0.0009988	0.0010687	35.425	37.903	1.388	1.387	0.062	0.00079	0.061	0.616	0.077	0.768
1.9762482	0.0407806	1.1531229	0.0010504	0.0011162	37.256	39.590	1.421	1.419	0.065	0.00083	0.065	0.647	0.081	0.808
2.0144246	0.0422440	1.1759627	0.0011805	0.0012503	41.871	44.347	1.449	1.447	0.068	0.00089	0.067	0.674	0.085	0.853
2.0730546	0.0439021	1.2100120	0.0012441	0.0013421	44.124	47.601	1.491	1.489	0.072	0.00096	0.071	0.714	0.091	0.912
2.1125455	0.0454940	1.2331897	0.0013765	0.0014489	48.821	51.389	1.520	1.518	0.075	0.00103	0.074	0.742	0.096	0.963
2.1426988	0.0469529	1.2504482	0.0014851	0.0015714	52.675	55.736	1.541	1.539	0.077	0.00110	0.076	0.763	0.101	1.008
2.1619736	0.0478667	1.2617136	0.0015801	0.0016715	56.042	59.283	1.555	1.553	0.079	0.00115	0.078	0.777	0.103	1.037
2.2118151	0.0504856	1.2906580	0.0017534	0.0018695	62.190	66.309	1.591	1.588	0.082	0.00127	0.081	0.813	0.112	1.119
2.2794342	0.0550117	1.3298907	0.0021313	0.0022470	75.591	79.695	1.639	1.636	0.087	0.00151	0.086	0.860	0.125	1.256

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No5

V _c (V)	I _c (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.0659679	0.0236824	1.0653	0.0237	40.61	0.019	0.025	0.0365	0.0007	12.08	0.000	0.000	0.0365	0.0007	22.50	0.000	0.000
1.2210778	0.0265141	1.2204	0.0265	37.73	0.026	0.032	0.0369	0.0012	3.65	0.000	0.000	0.0369	0.0012	14.77	0.000	0.000
1.4056331	0.0293432	1.4049	0.0293	36.62	0.033	0.041	0.0426	0.0017	9.64	0.000	0.000	0.0426	0.0017	28.16	0.000	0.000
1.5233211	0.0313666	1.5225	0.0313	35.88	0.039	0.048	0.0448	0.0022	31.38	0.000	0.000	0.0448	0.0022	40.40	0.000	0.000
1.7658903	0.0359430	1.7641	0.0357	33.97	0.052	0.063	0.0733	0.0038	45.97	0.000	0.000	0.0733	0.0038	52.14	0.000	0.000
1.7979898	0.0366442	1.7958	0.0364	33.95	0.054	0.065	0.0823	0.0040	41.43	0.000	0.000	0.0823	0.0040	61.72	0.000	0.000
1.8907392	0.0388355	1.8879	0.0385	34.06	0.060	0.073	0.0954	0.0050	44.72	0.000	0.000	0.0954	0.0050	59.04	0.000	0.000
1.9293467	0.0397163	1.9246	0.0393	33.71	0.063	0.076	0.1225	0.0054	29.76	0.001	0.001	0.1225	0.0054	46.38	0.000	0.001
1.9762482	0.0407806	1.9705	0.0403	33.61	0.066	0.079	0.1391	0.0058	26.42	0.001	0.001	0.1391	0.0058	40.72	0.001	0.001
2.0144246	0.0422440	2.0066	0.0416	33.85	0.069	0.084	0.1664	0.0066	16.36	0.001	0.001	0.1664	0.0066	24.41	0.001	0.001
2.0730546	0.0439021	2.0640	0.0432	34.38	0.074	0.089	0.1814	0.0074	22.54	0.001	0.001	0.1814	0.0074	33.08	0.001	0.001
2.1125455	0.0454940	2.1023	0.0446	35.20	0.077	0.094	0.1930	0.0083	27.68	0.001	0.002	0.1930	0.0083	39.59	0.001	0.002
2.1426988	0.0469529	2.1313	0.0459	36.05	0.079	0.098	0.2026	0.0093	31.34	0.002	0.002	0.2026	0.0093	44.93	0.001	0.002
2.1619736	0.0478667	2.1498	0.0467	36.45	0.081	0.100	0.2095	0.0099	31.36	0.002	0.002	0.2095	0.0099	44.31	0.001	0.002
2.2118151	0.0504856	2.1970	0.0490	37.91	0.085	0.108	0.2335	0.0115	35.24	0.002	0.003	0.2335	0.0115	48.72	0.002	0.003
2.2794342	0.0550117	2.2609	0.0528	40.81	0.090	0.119	0.2588	0.0145	45.41	0.003	0.004	0.2588	0.0145	56.82	0.002	0.004

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27RGH100_No5 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et} (W)	S _{et} (VA)	P _{cut} (W)	P (W)	S (VA)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	B _s (T)
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}										
0.0043	0.0001	83.99	0.000	0.000	0.019	0.025	0.00028	0.019	0.025	0.191	0.253	0.189	0.253	0.767
0.0057	0.0001	86.31	0.000	0.000	0.026	0.032	0.00035	0.025	0.032	0.256	0.324	0.252	0.324	0.878
0.0064	0.0001	83.72	0.000	0.000	0.033	0.041	0.00043	0.033	0.041	0.331	0.413	0.326	0.413	1.011
0.0069	0.0001	50.32	0.000	0.000	0.039	0.048	0.00049	0.038	0.047	0.387	0.479	0.381	0.479	1.096
0.0110	0.0002	20.61	0.000	0.000	0.053	0.064	0.00065	0.052	0.063	0.526	0.637	0.515	0.636	1.270
0.0101	0.0003	13.43	0.000	0.000	0.055	0.066	0.00068	0.054	0.065	0.546	0.662	0.534	0.660	1.293
0.0139	0.0004	17.38	0.000	0.000	0.061	0.074	0.00077	0.060	0.073	0.607	0.737	0.592	0.736	1.359
0.0131	0.0004	1.28	0.000	0.000	0.064	0.077	0.00080	0.063	0.076	0.639	0.771	0.616	0.768	1.387
0.0135	0.0005	3.89	0.000	0.000	0.068	0.081	0.00085	0.067	0.080	0.675	0.812	0.647	0.808	1.419
0.0102	0.0006	73.91	0.000	0.000	0.071	0.086	0.00091	0.071	0.085	0.714	0.858	0.674	0.853	1.447
0.0153	0.0007	6.03	0.000	0.000	0.076	0.092	0.00099	0.075	0.091	0.759	0.920	0.714	0.912	1.489
0.0180	0.0008	24.69	0.000	0.000	0.079	0.097	0.00107	0.078	0.096	0.792	0.972	0.742	0.963	1.518
0.0168	0.0009	24.49	0.000	0.000	0.082	0.102	0.00114	0.081	0.100	0.819	1.017	0.763	1.008	1.539
0.0164	0.0010	26.60	0.000	0.000	0.084	0.104	0.00119	0.083	0.103	0.838	1.046	0.777	1.037	1.553
0.0208	0.0011	35.03	0.000	0.000	0.089	0.113	0.00133	0.088	0.112	0.886	1.130	0.813	1.119	1.588
0.0278	0.0011	47.06	0.000	0.000	0.095	0.127	0.00160	0.093	0.125	0.946	1.269	0.860	1.256	1.636

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No1

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.1979890	0.0243705	0.7058712	0.0004138	0.0005139	14.675	18.229	0.880	0.879	0.020	0.00030	0.020	0.205	0.029	0.296
1.3830308	0.0269150	0.8138118	0.0004696	0.0005339	16.657	18.937	1.014	1.013	0.027	0.00036	0.027	0.271	0.037	0.377
1.5966890	0.0299151	0.9389350	0.0005572	0.0006269	19.762	22.235	1.170	1.169	0.036	0.00045	0.035	0.359	0.048	0.484
1.8306980	0.0332283	1.0754464	0.0006528	0.0006934	23.154	24.593	1.340	1.339	0.047	0.00055	0.046	0.470	0.061	0.616
2.0565495	0.0369660	1.2073342	0.0007938	0.0008362	28.154	29.659	1.504	1.503	0.059	0.00068	0.058	0.592	0.076	0.770
2.1523349	0.0395686	1.2632854	0.0009683	0.0010111	34.344	35.863	1.574	1.573	0.065	0.00078	0.064	0.650	0.085	0.863
2.1862703	0.0402608	1.2827758	0.0010081	0.0010491	35.754	37.208	1.598	1.597	0.067	0.00081	0.066	0.669	0.088	0.892
2.2532728	0.0425843	1.3220849	0.0011577	0.0011888	41.062	42.165	1.647	1.646	0.071	0.00091	0.070	0.711	0.096	0.972
2.2659202	0.0428216	1.3295439	0.0011624	0.0011987	41.228	42.514	1.657	1.655	0.072	0.00092	0.071	0.719	0.097	0.983
2.3722439	0.0480710	1.3915892	0.0015038	0.0015328	53.336	54.365	1.734	1.732	0.079	0.00116	0.078	0.790	0.114	1.155
2.4038305	0.0496436	1.4099916	0.0016067	0.0016309	56.985	57.846	1.757	1.755	0.081	0.00123	0.080	0.810	0.119	1.209
2.4608097	0.0532356	1.4432613	0.0018387	0.0018656	65.216	66.169	1.798	1.796	0.085	0.00142	0.084	0.850	0.131	1.327

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No1

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.1979890	0.0243705	1.1978	0.0244	45.41	0.020	0.029	0.0177	0.0003	46.12	0.000	0.000	0.0177	0.0003	33.62	0.000	0.000
1.3830308	0.0269150	1.3828	0.0269	43.24	0.027	0.037	0.0149	0.0007	36.79	0.000	0.000	0.0149	0.0007	27.34	0.000	0.000
1.5966890	0.0299151	1.5964	0.0299	41.26	0.036	0.048	0.0233	0.0012	15.99	0.000	0.000	0.0233	0.0012	40.43	0.000	0.000
1.8306980	0.0332283	1.8299	0.0332	39.18	0.047	0.061	0.0483	0.0021	28.78	0.000	0.000	0.0483	0.0021	60.74	0.000	0.000
2.0565495	0.0369660	2.0541	0.0367	38.05	0.059	0.075	0.0865	0.0037	17.07	0.000	0.000	0.0865	0.0037	49.47	0.000	0.000
2.1523349	0.0395686	2.1487	0.0392	38.82	0.066	0.084	0.1049	0.0051	28.65	0.000	0.001	0.1049	0.0051	46.11	0.000	0.001
2.1862703	0.0402608	2.1812	0.0398	38.79	0.068	0.087	0.1304	0.0054	15.91	0.001	0.001	0.1304	0.0054	40.76	0.001	0.001
2.2532728	0.0425843	2.2466	0.0419	39.87	0.072	0.094	0.1475	0.0069	207.28	0.001	0.001	0.1475	0.0069	47.77	0.001	0.001
2.2659202	0.0428216	2.2591	0.0421	39.87	0.073	0.095	0.1490	0.0070	27.24	0.001	0.001	0.1490	0.0070	48.84	0.001	0.001
2.3722439	0.0480710	2.3592	0.0467	42.55	0.081	0.110	0.2113	0.0101	36.32	0.002	0.002	0.2113	0.0101	52.43	0.001	0.002
2.4038305	0.0496436	2.3883	0.0481	43.24	0.084	0.115	0.2347	0.0110	35.86	0.002	0.003	0.2347	0.0110	54.00	0.002	0.003
2.4608097	0.0532356	2.4396	0.0512	44.79	0.089	0.125	0.2823	0.0130	38.82	0.003	0.004	0.2823	0.0130	54.93	0.002	0.004

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No1 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P_{et}	S_{et}	P_{cut}	P	S	P_s	S_s	P_s	S_s	B_s
V_{e7}	I_{e7}	Ang_7	P_{e7}	S_{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0070	0.0001	43.16	0.000	0.000	0.020	0.029	0.00030	0.020	0.029	0.204	0.293	0.205	0.296	0.879
0.0079	0.0001	41.55	0.000	0.000	0.027	0.037	0.00036	0.027	0.037	0.271	0.373	0.271	0.377	1.013
0.0054	0.0001	88.41	0.000	0.000	0.036	0.048	0.00045	0.035	0.047	0.359	0.479	0.359	0.484	1.169
0.0058	0.0002	32.93	0.000	0.000	0.047	0.061	0.00055	0.047	0.060	0.472	0.610	0.470	0.616	1.339
0.0078	0.0006	15.78	0.000	0.000	0.060	0.076	0.00069	0.059	0.075	0.600	0.763	0.592	0.770	1.503
0.0169	0.0008	38.70	0.000	0.000	0.066	0.085	0.00079	0.066	0.084	0.664	0.855	0.650	0.863	1.573
0.0143	0.0010	46.68	0.000	0.000	0.069	0.088	0.00082	0.068	0.087	0.689	0.885	0.669	0.892	1.597
0.0224	0.0012	54.29	0.000	0.000	0.072	0.096	0.00093	0.071	0.095	0.720	0.964	0.711	0.972	1.646
0.0239	0.0012	54.84	0.000	0.000	0.075	0.097	0.00094	0.074	0.096	0.746	0.974	0.719	0.983	1.655
0.0350	0.0016	60.06	0.000	0.000	0.084	0.115	0.00120	0.083	0.113	0.841	1.147	0.790	1.155	1.732
0.0348	0.0016	59.78	0.000	0.000	0.087	0.120	0.00128	0.086	0.119	0.871	1.203	0.810	1.209	1.755
0.0409	0.0017	64.41	0.000	0.000	0.094	0.132	0.00148	0.092	0.131	0.934	1.325	0.850	1.327	1.796

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No2

V_c (V)	I_c (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_c (V)	I_c (A)
1.1041837	0.0240108	0.6458870	0.0004359	0.0004987	15.462	17.689	0.787	0.787	0.019	0.00029	0.019	0.187	0.027	0.263
1.2101470	0.0254062	0.7078784	0.0005191	0.0005298	18.411	18.792	0.863	0.862	0.023	0.00032	0.022	0.220	0.031	0.305
1.3184749	0.0266800	0.7712392	0.0005006	0.0005607	17.756	19.888	0.940	0.939	0.026	0.00036	0.026	0.257	0.035	0.349
1.5006289	0.0290836	0.8775359	0.0005491	0.0006076	19.475	21.551	1.070	1.069	0.033	0.00042	0.033	0.326	0.044	0.433
1.5976494	0.0304557	0.9343124	0.0006037	0.0006408	21.413	22.727	1.139	1.138	0.037	0.00046	0.037	0.367	0.049	0.482
1.7625252	0.0322029	1.0307359	0.0006535	0.0006863	23.180	24.341	1.256	1.255	0.045	0.00052	0.044	0.439	0.057	0.563
1.8483926	0.0337446	1.0807205	0.0006834	0.0007266	24.239	25.771	1.317	1.316	0.049	0.00057	0.049	0.483	0.062	0.618
1.9616242	0.0355666	1.1470287	0.0007599	0.0008212	26.952	29.126	1.398	1.397	0.055	0.00063	0.055	0.543	0.070	0.691
2.0099384	0.0364054	1.1750288	0.0007792	0.0008348	27.637	29.607	1.432	1.431	0.058	0.00066	0.057	0.569	0.073	0.725
2.1126915	0.0379325	1.2352002	0.0008974	0.0009199	31.827	32.628	1.506	1.504	0.064	0.00072	0.063	0.627	0.080	0.794
2.1689341	0.0389470	1.2680668	0.0009296	0.0009852	32.972	34.942	1.546	1.544	0.067	0.00076	0.066	0.659	0.084	0.837
2.2291792	0.0403586	1.3032165	0.0009847	0.0010490	34.927	37.207	1.589	1.587	0.071	0.00081	0.070	0.695	0.090	0.892
2.3082632	0.0426363	1.3493529	0.0011250	0.0011675	39.900	41.410	1.645	1.643	0.076	0.00091	0.075	0.747	0.098	0.975
2.4684342	0.0480988	1.4431812	0.0014929	0.0015588	52.951	55.288	1.759	1.757	0.087	0.00116	0.086	0.853	0.119	1.177
2.4792330	0.0492788	1.4493822	0.0015615	0.0016733	55.384	59.347	1.767	1.764	0.088	0.00121	0.087	0.863	0.122	1.211
2.6992928	0.0687584	1.5773887	0.0030061	0.0031971	106.620	113.394	1.923	1.918	0.108	0.00236	0.105	1.044	0.186	1.839

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No2

V _c (V)	I _c (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.1041837	0.0240108	1.1040	0.0240	43.83	0.019	0.027	0.0196	0.0003	3.63	0.000	0.000	0.0196	0.0003	16.23	0.000	0.000
1.2101470	0.0254062	1.2100	0.0254	42.78	0.023	0.031	0.0164	0.0004	59.79	0.000	0.000	0.0164	0.0004	37.40	0.000	0.000
1.3184749	0.0266800	1.3183	0.0267	41.68	0.026	0.035	0.0190	0.0006	23.01	0.000	0.000	0.0190	0.0006	84.59	0.000	0.000
1.5006289	0.0290836	1.5004	0.0291	40.12	0.033	0.044	0.0155	0.0008	0.44	0.000	0.000	0.0155	0.0008	38.77	0.000	0.000
1.5976494	0.0304557	1.5974	0.0304	39.58	0.037	0.049	0.0189	0.0011	25.46	0.000	0.000	0.0189	0.0011	57.50	0.000	0.000
1.7625252	0.0322029	1.7615	0.0322	37.59	0.045	0.057	0.0488	0.0014	13.36	0.000	0.000	0.0488	0.0014	40.35	0.000	0.000
1.8483926	0.0337446	1.8475	0.0337	37.38	0.049	0.062	0.0516	0.0019	0.54	0.000	0.000	0.0516	0.0019	53.50	0.000	0.000
1.9616242	0.0355666	1.9606	0.0355	36.93	0.056	0.070	0.0534	0.0026	29.39	0.000	0.000	0.0534	0.0026	52.81	0.000	0.000
2.0099384	0.0364054	2.0087	0.0363	36.84	0.058	0.073	0.0575	0.0030	28.91	0.000	0.000	0.0575	0.0030	50.32	0.000	0.000
2.1126915	0.0379325	2.1099	0.0377	36.04	0.064	0.080	0.0877	0.0037	0.98	0.000	0.000	0.0877	0.0037	21.41	0.000	0.000
2.2291792	0.0403586	2.1660	0.0386	36.00	0.068	0.084	0.1006	0.0042	10.03	0.000	0.000	0.1006	0.0042	31.80	0.000	0.000
2.3082632	0.0426363	2.2258	0.0400	36.49	0.072	0.089	0.1071	0.0049	21.52	0.000	0.001	0.1071	0.0049	41.47	0.000	0.001
2.4684342	0.0480988	2.4535	0.0471	39.18	0.090	0.115	0.2468	0.0088	24.59	0.002	0.002	0.2468	0.0088	48.65	0.001	0.002
2.4792330	0.0492788	2.4660	0.0480	40.19	0.090	0.118	0.2233	0.0099	35.52	0.002	0.002	0.2233	0.0099	46.29	0.002	0.002
2.6992928	0.0687584	2.6597	0.0648	48.18	0.115	0.172	0.3979	0.0211	41.93	0.006	0.008	0.3979	0.0211	58.12	0.004	0.008

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No3 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et} (W)	S _{et} (VA)	P _{cut} (W)	P (W)	S (VA)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	P _s (W/kg)	S _s (VA/kg)	B _s (T)
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}										
0.0104	0.0001	35.70	0.000	0.000	0.020	0.028	0.00028	0.020	0.027	0.203	0.277	0.200	0.275	0.832
0.0092	0.0001	32.25	0.000	0.000	0.021	0.028	0.00029	0.020	0.028	0.205	0.278	0.202	0.277	0.841
0.0097	0.0001	39.19	0.000	0.000	0.025	0.033	0.00032	0.024	0.033	0.248	0.331	0.244	0.329	0.933
0.0094	0.0001	49.28	0.000	0.000	0.033	0.043	0.00040	0.033	0.043	0.335	0.433	0.329	0.430	1.090
0.0103	0.0001	46.45	0.000	0.000	0.034	0.044	0.00041	0.034	0.044	0.343	0.443	0.337	0.440	1.104
0.0105	0.0003	55.21	0.000	0.000	0.048	0.059	0.00052	0.047	0.059	0.477	0.594	0.467	0.590	1.311
0.0131	0.0003	67.12	0.000	0.000	0.053	0.065	0.00057	0.052	0.064	0.527	0.651	0.514	0.645	1.377
0.0131	0.0004	64.06	0.000	0.000	0.058	0.071	0.00063	0.057	0.071	0.580	0.716	0.566	0.711	1.441
0.0115	0.0005	42.69	0.000	0.000	0.064	0.078	0.00070	0.063	0.078	0.638	0.785	0.619	0.779	1.507
0.0135	0.0007	72.29	0.000	0.000	0.069	0.085	0.00077	0.069	0.085	0.693	0.856	0.669	0.850	1.565
0.0194	0.0008	6.45	0.000	0.000	0.074	0.092	0.00084	0.073	0.091	0.741	0.922	0.712	0.916	1.613
0.0246	0.0010	25.87	0.000	0.000	0.078	0.097	0.00090	0.077	0.096	0.778	0.972	0.744	0.965	1.651
0.0284	0.0012	35.27	0.000	0.000	0.085	0.110	0.00108	0.084	0.109	0.853	1.101	0.802	1.094	1.710
0.0338	0.0014	41.65	0.000	0.000	0.091	0.119	0.00120	0.090	0.118	0.912	1.193	0.846	1.180	1.755
0.0403	0.0016	43.73	0.000	0.000	0.099	0.134	0.00145	0.098	0.133	0.988	1.343	0.898	1.326	1.803
0.0851	0.0015	72.89	0.000	0.000	0.185	0.340	0.00663	0.178	0.333	1.805	3.373	1.250	3.166	2.089

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No4

V_e (V)	I_e (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_e (V)	I_e (A)
1.3072509	0.0268847	0.7647101	0.0005178	0.0005899	18.366	20.921	0.946	0.945	0.026	0.00036	0.026	0.261	0.035	0.354
1.4552345	0.0289667	0.8511215	0.0005439	0.0006186	19.292	21.940	1.053	1.052	0.032	0.00042	0.032	0.320	0.042	0.424
1.5082935	0.0296837	0.8825199	0.0005568	0.0006355	19.749	22.541	1.092	1.091	0.034	0.00044	0.034	0.342	0.045	0.450
1.6059303	0.0311277	0.9391744	0.0006110	0.0006890	21.673	24.439	1.162	1.161	0.039	0.00048	0.038	0.385	0.050	0.503
1.6710542	0.0320154	0.9770218	0.0006200	0.0007004	21.989	24.843	1.209	1.208	0.042	0.00051	0.041	0.415	0.053	0.538
1.8152567	0.0340179	1.0615445	0.0007004	0.0007613	24.840	27.002	1.313	1.312	0.049	0.00058	0.048	0.484	0.062	0.621
1.9032595	0.0354639	1.1128983	0.0007521	0.0008285	26.675	29.385	1.377	1.376	0.053	0.00063	0.053	0.530	0.067	0.679
1.9774611	0.0367733	1.1562805	0.0008208	0.0008910	29.112	31.603	1.431	1.429	0.057	0.00068	0.057	0.570	0.073	0.732
2.0640672	0.0385722	1.2068562	0.0009348	0.0010207	33.154	36.201	1.493	1.492	0.062	0.00074	0.062	0.620	0.080	0.801
2.1000019	0.0392811	1.2277591	0.0009850	0.0010618	34.936	37.660	1.519	1.518	0.064	0.00077	0.064	0.641	0.082	0.830
2.1481020	0.0405580	1.2556383	0.0010740	0.0011561	38.092	41.004	1.554	1.552	0.068	0.00082	0.067	0.671	0.087	0.876
2.1519188	0.0405824	1.2580547	0.0010572	0.0011579	37.497	41.070	1.557	1.555	0.068	0.00082	0.067	0.673	0.087	0.879
2.2489403	0.0436109	1.3147727	0.0012768	0.0014062	45.286	49.876	1.627	1.625	0.074	0.00095	0.073	0.734	0.098	0.987
2.2700955	0.0443530	1.3270764	0.0013503	0.0014719	47.892	52.205	1.642	1.640	0.075	0.00098	0.074	0.748	0.101	1.013
2.3330209	0.0471129	1.3641326	0.0015722	0.0017366	55.763	61.595	1.688	1.686	0.080	0.00111	0.079	0.791	0.110	1.106
2.3812979	0.0497682	1.3919013	0.0017721	0.0019442	62.853	68.955	1.722	1.720	0.083	0.00124	0.082	0.826	0.119	1.192

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No4

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.3072509	0.0268847	1.3069	0.0269	41.44	0.026	0.035	0.0247	0.0006	56.84	0.000	0.000	0.0247	0.0006	36.32	0.000	0.000
1.4552345	0.0289667	1.4550	0.0289	40.11	0.032	0.042	0.0199	0.0009	76.00	0.000	0.000	0.0199	0.0009	36.49	0.000	0.000
1.5082935	0.0296837	1.5080	0.0297	39.66	0.034	0.045	0.0209	0.0011	4.84	0.000	0.000	0.0209	0.0011	38.53	0.000	0.000
1.6059303	0.0311277	1.6056	0.0311	39.00	0.039	0.050	0.0263	0.0014	29.32	0.000	0.000	0.0263	0.0014	59.41	0.000	0.000
1.6710542	0.0320154	1.6706	0.0320	38.49	0.042	0.053	0.0344	0.0016	36.45	0.000	0.000	0.0344	0.0016	53.34	0.000	0.000
1.8152567	0.0340179	1.8142	0.0339	37.50	0.049	0.062	0.0543	0.0023	19.04	0.000	0.000	0.0543	0.0023	57.02	0.000	0.000
1.9032595	0.0354639	1.9019	0.0353	37.24	0.054	0.067	0.0633	0.0028	27.45	0.000	0.000	0.0633	0.0028	52.21	0.000	0.000
1.9774611	0.0367733	1.9755	0.0366	37.11	0.058	0.072	0.0790	0.0034	20.14	0.000	0.000	0.0790	0.0034	49.23	0.000	0.000
2.0640672	0.0385722	2.0610	0.0383	37.14	0.063	0.079	0.1006	0.0042	11.09	0.000	0.000	0.1006	0.0042	35.55	0.000	0.000
2.1000019	0.0392811	2.0967	0.0390	37.32	0.065	0.082	0.1034	0.0046	18.16	0.000	0.000	0.1034	0.0046	39.36	0.000	0.000
2.1481020	0.0405580	2.1440	0.0401	37.59	0.068	0.086	0.1173	0.0053	18.23	0.001	0.001	0.1173	0.0053	43.39	0.000	0.001
2.1519188	0.0405824	2.1479	0.0402	37.58	0.068	0.086	0.1137	0.0053	20.04	0.001	0.001	0.1137	0.0053	45.77	0.000	0.001
2.2489403	0.0436109	2.2427	0.0429	38.83	0.075	0.096	0.1496	0.0070	29.02	0.001	0.001	0.1496	0.0070	49.62	0.001	0.001
2.2700955	0.0443530	2.2637	0.0436	39.23	0.076	0.099	0.1453	0.0076	33.76	0.001	0.001	0.1453	0.0076	51.61	0.001	0.001
2.3330209	0.0471129	2.3246	0.0460	40.55	0.081	0.107	0.1718	0.0093	39.86	0.001	0.002	0.1718	0.0093	51.97	0.001	0.002
2.3812979	0.0497682	2.3704	0.0483	42.00	0.085	0.115	0.1904	0.0109	46.20	0.001	0.002	0.1904	0.0109	58.69	0.001	0.002

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No4 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et}	S _{et}	P _{cut}	P	S	P _s	S _s	P _s	S _s	B _s
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0076	0.0001	40.61	0.000	0.000	0.026	0.035	0.00036	0.026	0.035	0.263	0.352	0.261	0.354	0.945
0.0085	0.0001	46.54	0.000	0.000	0.032	0.042	0.00042	0.032	0.042	0.322	0.422	0.320	0.424	1.052
0.0082	0.0001	62.64	0.000	0.000	0.034	0.045	0.00044	0.034	0.044	0.344	0.449	0.342	0.450	1.091
0.0085	0.0001	88.00	0.000	0.000	0.039	0.050	0.00049	0.038	0.050	0.388	0.501	0.385	0.503	1.161
0.0075	0.0001	26.10	0.000	0.000	0.042	0.054	0.00051	0.041	0.053	0.419	0.536	0.415	0.538	1.208
0.0095	0.0002	56.19	0.000	0.000	0.049	0.062	0.00058	0.048	0.061	0.490	0.620	0.484	0.621	1.312
0.0108	0.0003	57.91	0.000	0.000	0.054	0.068	0.00063	0.053	0.067	0.538	0.677	0.530	0.679	1.376
0.0108	0.0004	59.85	0.000	0.000	0.058	0.073	0.00068	0.057	0.072	0.581	0.730	0.570	0.732	1.429
0.0073	0.0006	32.38	0.000	0.000	0.064	0.080	0.00075	0.063	0.079	0.637	0.800	0.620	0.801	1.492
0.0120	0.0006	79.96	0.000	0.000	0.066	0.083	0.00078	0.065	0.082	0.658	0.829	0.641	0.830	1.518
0.0116	0.0007	10.52	0.000	0.000	0.069	0.087	0.00083	0.068	0.086	0.693	0.875	0.671	0.876	1.552
0.0139	0.0007	15.77	0.000	0.000	0.069	0.088	0.00084	0.069	0.087	0.694	0.877	0.673	0.879	1.555
0.0236	0.0010	21.89	0.000	0.000	0.077	0.098	0.00097	0.076	0.097	0.766	0.986	0.734	0.987	1.625
0.0229	0.0011	32.52	0.000	0.000	0.078	0.101	0.00101	0.077	0.100	0.779	1.011	0.748	1.013	1.640
0.0349	0.0012	39.58	0.000	0.000	0.083	0.110	0.00114	0.082	0.109	0.833	1.103	0.791	1.106	1.686
0.0338	0.0014	46.66	0.000	0.000	0.088	0.119	0.00129	0.086	0.117	0.874	1.188	0.826	1.192	1.720

ตารางแสดงผลการทดสอบแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No5

V_e (V)	I_e (A)	V_b (V)	V_{h1} (V)	V_{h2} (V)	H_1 (At/m)	H_2 (At/m)	B_t (T)	B_s (T)	P_{av} (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)	V_e (V)	I_e (A)
1.2668429	0.0263906	0.7411072	0.0005044	0.0005457	17.889	19.356	0.917	0.916	0.025	0.00035	0.024	0.243	0.033	0.336
1.4708605	0.0291184	0.8604948	0.0005649	0.0005843	20.036	20.724	1.065	1.064	0.032	0.00042	0.032	0.321	0.043	0.431
1.6095436	0.0309934	0.9414601	0.0005564	0.0005987	19.734	21.236	1.165	1.164	0.038	0.00048	0.038	0.379	0.050	0.502
1.7049649	0.0322451	0.9972142	0.0006093	0.0006730	21.609	23.871	1.234	1.233	0.043	0.00052	0.042	0.423	0.055	0.553
1.9851698	0.0361196	1.1608860	0.0007660	0.0008132	27.167	28.842	1.436	1.435	0.057	0.00065	0.056	0.562	0.072	0.721
1.9910801	0.0366066	1.1642578	0.0007451	0.0008093	26.426	28.705	1.441	1.439	0.057	0.00067	0.057	0.569	0.073	0.733
2.1449376	0.0393192	1.2542858	0.0009469	0.0010048	33.584	35.639	1.552	1.551	0.066	0.00077	0.065	0.653	0.084	0.848
2.2189438	0.0412149	1.2972061	0.0011025	0.0011845	39.105	42.013	1.605	1.603	0.070	0.00085	0.069	0.697	0.091	0.920
2.2581970	0.0424160	1.3205006	0.0011752	0.0012560	41.683	44.547	1.634	1.632	0.073	0.00090	0.072	0.722	0.096	0.964
2.3138407	0.0441749	1.3527762	0.0013383	0.0014130	47.466	50.118	1.674	1.672	0.076	0.00098	0.075	0.758	0.102	1.028
2.4004662	0.0480245	1.4031638	0.0017167	0.0018119	60.888	64.264	1.736	1.734	0.082	0.00115	0.081	0.816	0.115	1.160
2.3997052	0.0480789	1.4027650	0.0016981	0.0018032	60.228	63.956	1.736	1.733	0.082	0.00116	0.081	0.817	0.115	1.161
2.4175876	0.0490285	1.4132016	0.0017861	0.0019010	63.349	67.424	1.749	1.746	0.084	0.00120	0.082	0.828	0.119	1.192
2.4171342	0.0492022	1.4129880	0.0018405	0.0019310	65.279	68.489	1.748	1.746	0.084	0.00121	0.082	0.829	0.119	1.196
2.7183160	0.0785310	1.5875678	0.0040447	0.0042569	143.456	150.984	1.964	1.958	0.109	0.00308	0.106	1.063	0.213	2.148
2.8174944	0.0960059	1.6460552	0.0051388	0.0053872	182.262	191.073	2.037	2.029	0.119	0.00461	0.114	1.152	0.270	2.721

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No5

V _e (V)	I _e (A)	Power of fundamental					Power of 3 rd harmonic					Power of 5 th harmonic				
		V _{e1}	I _{e1}	Ang ₁	P _{e1}	S _{e1}	V _{e3}	I _{e3}	Ang ₃	P _{e3}	S _{e3}	V _{e5}	I _{e5}	Ang ₅	P _{e5}	S _{e5}
1.2668429	0.0263906	1.2666	0.0264	42.79	0.025	0.033	0.0212	0.0004	58.38	0.000	0.000	0.0212	0.0004	27.20	0.000	0.000
1.4708605	0.0291184	1.4707	0.0291	41.00	0.032	0.043	0.0191	0.0007	21.72	0.000	0.000	0.0191	0.0007	84.70	0.000	0.000
1.6095436	0.0309934	1.6093	0.0310	39.97	0.038	0.050	0.0211	0.0011	22.74	0.000	0.000	0.0211	0.0011	49.26	0.000	0.000
1.7049649	0.0322451	1.7045	0.0322	39.20	0.043	0.055	0.0332	0.0013	27.36	0.000	0.000	0.0332	0.0013	58.24	0.000	0.000
1.9851698	0.0361196	1.9834	0.0360	37.37	0.057	0.071	0.0775	0.0027	74.79	0.000	0.000	0.0775	0.0027	7.17	0.000	0.000
1.9910801	0.0366066	1.9899	0.0365	37.83	0.057	0.073	0.0590	0.0027	29.53	0.000	0.000	0.0590	0.0027	60.45	0.000	0.000
2.1449376	0.0393192	2.1421	0.0391	37.71	0.066	0.084	0.0993	0.0041	10.78	0.000	0.000	0.0993	0.0041	29.18	0.000	0.000
2.2189438	0.0412149	2.2153	0.0408	38.42	0.071	0.090	0.1112	0.0052	23.61	0.001	0.001	0.1112	0.0052	40.44	0.000	0.001
2.2581970	0.0424160	2.2537	0.0419	38.94	0.073	0.094	0.1210	0.0059	29.34	0.001	0.001	0.1210	0.0059	46.99	0.000	0.001
2.3138407	0.0441749	2.3079	0.0435	39.56	0.077	0.100	0.1397	0.0070	34.59	0.001	0.001	0.1397	0.0070	48.78	0.001	0.001
2.4004662	0.0480245	2.3906	0.0468	41.50	0.084	0.112	0.1812	0.0094	41.61	0.001	0.002	0.1812	0.0094	55.11	0.001	0.002
2.3997052	0.0480789	2.3898	0.0469	41.47	0.084	0.112	0.1773	0.0095	41.47	0.001	0.002	0.1773	0.0095	54.98	0.001	0.002
2.4175876	0.0490285	2.4064	0.0477	42.00	0.085	0.115	0.1923	0.0101	41.78	0.001	0.002	0.1923	0.0101	58.05	0.001	0.002
2.4171342	0.0492022	2.4069	0.0478	42.25	0.085	0.115	0.1786	0.0103	47.69	0.001	0.002	0.1786	0.0103	58.58	0.001	0.002
2.7183160	0.0785310	2.6616	0.0732	52.19	0.119	0.195	0.4825	0.0265	43.79	0.009	0.013	0.4825	0.0265	58.29	0.007	0.013
2.8174944	0.0960059	2.7331	0.0886	55.94	0.136	0.242	0.6118	0.0349	45.66	0.015	0.021	0.6118	0.0349	60.54	0.011	0.021

ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความสูญเสียในแผ่นแม่เหล็กทดสอบเกรด 27ZH100_No5 (ต่อ)

Power of 7 th harmonic					P _{et}	S _{et}	P _{cut}	P	S	P _s	S _s	P _s	S _s	B _s
V _{e7}	I _{e7}	Ang ₇	P _{e7}	S _{e7}	(W)	(VA)	(W)	(W)	(VA)	(W/kg)	(VA/kg)	(W/kg)	(VA/kg)	(T)
0.0085	0.0001	13.40	0.000	0.000	0.025	0.033	0.00035	0.024	0.033	0.245	0.335	0.243	0.336	0.916
0.0061	0.0001	40.50	0.000	0.000	0.032	0.043	0.00042	0.032	0.042	0.323	0.429	0.321	0.431	1.064
0.0069	0.0001	76.40	0.000	0.000	0.038	0.050	0.00048	0.038	0.049	0.382	0.500	0.379	0.502	1.164
0.0072	0.0001	77.25	0.000	0.000	0.043	0.055	0.00052	0.042	0.054	0.426	0.551	0.423	0.553	1.233
0.0069	0.0005	49.33	0.000	0.000	0.057	0.072	0.00066	0.056	0.071	0.570	0.720	0.562	0.721	1.435
0.0119	0.0003	15.80	0.000	0.000	0.058	0.073	0.00067	0.057	0.072	0.576	0.731	0.569	0.733	1.439
0.0133	0.0007	14.06	0.000	0.000	0.067	0.084	0.00073	0.066	0.084	0.670	0.847	0.653	0.848	1.551
0.0216	0.0009	22.75	0.000	0.000	0.072	0.092	0.00086	0.071	0.091	0.718	0.918	0.697	0.920	1.603
0.0200	0.0011	30.45	0.000	0.000	0.075	0.096	0.00091	0.074	0.095	0.746	0.961	0.722	0.964	1.632
0.0350	0.0012	40.56	0.000	0.000	0.079	0.102	0.00099	0.078	0.101	0.788	1.026	0.758	1.028	1.672
0.0448	0.0016	50.49	0.000	0.000	0.086	0.115	0.00119	0.085	0.114	0.860	1.157	0.816	1.160	1.734
0.0409	0.0016	52.66	0.000	0.000	0.086	0.115	0.00119	0.085	0.114	0.861	1.157	0.817	1.161	1.733
0.0411	0.0017	52.97	0.000	0.000	0.088	0.119	0.00124	0.087	0.118	0.876	1.189	0.828	1.192	1.746
0.0505	0.0017	54.04	0.000	0.000	0.087	0.119	0.00125	0.086	0.118	0.872	1.190	0.829	1.196	1.746
0.0303	0.0014	86.67	0.000	0.000	0.135	0.220	0.00338	0.132	0.217	1.336	2.197	1.063	2.148	1.958
0.0551	0.0010	79.95	0.000	0.000	0.161	0.285	0.00515	0.156	0.280	1.579	2.833	1.152	2.721	2.029

ตารางแสดงผลการทดสอบของแกนสี่เหลี่ยม

V_1 (V)	I_1 (A)	I_{1max} (A)	V_2 (V)	H (A/m)	H_{max} (A/m)	B_{max} (T)	P_e (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)
4.607	0.011	0.004	2.701	1.886	0.686	0.121	0.0175	0.0001	0.0174	0.0025
7.837	0.014	0.018	4.595	2.400	3.086	0.206	0.0669	0.0001	0.0668	0.0094
11.222	0.020	0.030	6.582	3.429	5.143	0.295	0.1570	0.0002	0.1568	0.0221
16.715	0.032	0.039	9.802	5.486	6.686	0.440	0.3747	0.0005	0.3742	0.0529
22.193	0.043	0.060	13.014	7.371	10.286	0.584	0.6849	0.0009	0.6840	0.0966
26.016	0.052	0.067	15.257	8.914	11.486	0.684	0.9510	0.0014	0.9496	0.1341
29.348	0.063	0.086	17.212	10.800	14.743	0.772	1.2357	0.0020	1.2337	0.1743
31.960	0.073	0.113	18.742	12.514	19.371	0.841	1.4865	0.0027	1.4838	0.2096
33.678	0.083	0.129	19.751	14.229	22.114	0.886	1.6736	0.0034	1.6702	0.2359
34.557	0.091	0.146	20.268	15.600	25.029	0.909	1.7680	0.0041	1.7639	0.2491
35.305	0.100	0.188	20.708	17.143	32.229	0.929	1.8643	0.0050	1.8593	0.2626
36.238	0.114	0.213	21.260	19.543	36.514	0.953	1.9825	0.0065	1.9760	0.2791
36.746	0.123	0.242	21.561	21.086	41.486	0.967	2.0367	0.0076	2.0291	0.2866
37.218	0.133	0.268	21.839	22.800	45.943	0.979	2.1016	0.0088	2.0928	0.2956
37.701	0.145	0.293	22.126	24.857	50.229	0.992	2.1610	0.0105	2.1505	0.3037
37.914	0.156	0.316	22.239	26.743	54.171	0.998	2.2802	0.0122	2.2680	0.3203
38.321	0.167	0.353	22.488	28.629	60.514	1.008	2.3325	0.0139	2.3186	0.3275
38.673	0.177	0.377	22.695	30.343	64.629	1.018	2.3839	0.0157	2.3682	0.3345
39.000	0.188	0.404	22.893	32.229	69.257	1.026	2.4256	0.0177	2.4079	0.3401

ตารางแสดงผลการทดสอบของแกนสี่เหลี่ยม (ต่อ)

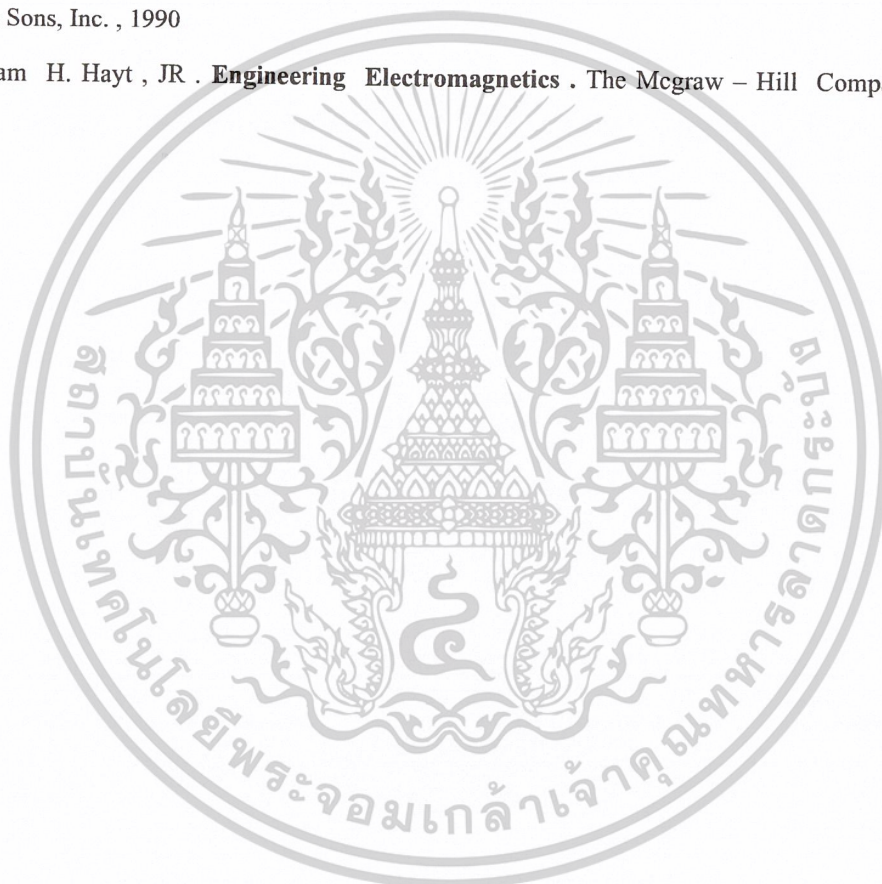
V_1 (V)	I_1 (A)	I_{1max} (A)	V_2 (V)	H (A/m)	H_{max} (A/m)	B_{max} (T)	P_c (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W/kg)
39.256	0.196	0.423	23.044	33.600	72.514	1.033	2.4621	0.0192	2.4429	0.3450
39.678	0.212	0.460	23.300	36.343	78.857	1.044	2.5270	0.0225	2.5045	0.3537
39.950	0.221	0.467	23.457	37.886	80.057	1.051	2.5574	0.0244	2.5330	0.3578
40.155	0.230	0.492	23.582	39.429	84.343	1.056	2.5875	0.0265	2.5610	0.3617
40.372	0.239	0.516	23.707	40.971	88.457	1.062	2.6200	0.0286	2.5914	0.3660
40.722	0.252	0.538	23.920	43.200	92.229	1.071	2.6620	0.0318	2.6302	0.3715
40.879	0.259	0.548	24.015	44.400	93.943	1.076	2.6878	0.0335	2.6543	0.3749
41.075	0.268	0.573	24.129	45.943	98.229	1.081	2.7263	0.0359	2.6904	0.3800
41.417	0.281	0.600	24.335	48.171	102.857	1.090	2.7762	0.0395	2.7367	0.3865
41.614	0.290	0.624	24.454	49.714	106.971	1.095	2.8046	0.0420	2.7626	0.3902
41.673	0.300	0.648	24.495	51.429	111.086	1.096	2.8389	0.0450	2.7939	0.3946
43.679	0.404	0.857	25.695	69.257	146.914	1.149	3.1732	0.0816	3.0916	0.4367
45.384	0.501	1.041	26.724	85.886	178.457	1.194	3.4980	0.1255	3.3725	0.4763
46.974	0.593	1.220	27.680	101.657	209.143	1.236	3.6683	0.1758	3.4925	0.4933
48.591	0.699	1.405	28.661	119.829	240.857	1.278	3.9725	0.2443	3.7282	0.5266
50.316	0.819	1.617	29.712	140.400	277.200	1.324	4.4162	0.3354	4.0808	0.5764
51.523	0.907	1.765	30.446	155.486	302.571	1.356	4.7226	0.4113	4.3113	0.6089
52.837	1.001	1.925	31.242	171.600	330.000	1.390	5.0789	0.5010	4.5779	0.6466
54.245	1.103	2.105	32.093	189.086	360.857	1.427	5.4631	0.6083	4.8548	0.6857

ตารางแสดงผลการทดสอบของแกนสี่เหลี่ยม (ต่อ)

V_1 (V)	I_1 (A)	$I_{1\max}$ (A)	V_2 (V)	H (A / m)	H_{\max} (A / m)	B_{\max} (T)	P_e (W)	P_{cu} (W)	P (W)	P_s (W / kg)
55.243	1.189	2.258	32.703	203.829	387.086	1.453	5.8981	0.7069	5.1912	0.7332
56.838	1.315	2.467	33.679	225.429	422.914	1.495	6.3882	0.8646	5.5236	0.7802
57.736	1.386	2.603	34.226	237.600	446.229	1.519	6.6979	0.9605	5.7374	0.8104
59.262	1.516	2.822	35.161	259.886	483.771	1.559	7.2550	1.1491	6.1059	0.8624
59.421	1.612	2.992	35.105	276.343	512.914	1.563	7.1394	1.2993	5.8401	0.8249
60.620	1.726	3.133	35.835	295.886	537.086	1.595	7.7217	1.4895	6.2322	0.8802
61.438	1.803	3.346	36.327	309.086	573.600	1.616	7.8798	1.6254	6.2544	0.8834
62.270	1.889	3.508	36.836	323.829	601.371	1.638	8.3085	1.7842	6.5243	0.9215
63.362	2.008	3.762	37.510	344.229	644.914	1.667	9.1825	2.0160	7.1665	1.0122
64.309	2.123	4.037	38.085	363.943	692.057	1.692	9.7491	2.2536	7.4955	1.0587
65.045	2.218	4.212	38.535	380.229	722.057	1.711	10.3640	2.4598	7.9042	1.1164
65.316	2.286	4.429	38.685	391.886	759.257	1.718	10.5244	2.6129	7.9115	1.1174
66.110	2.407	4.821	39.175	412.629	826.457	1.739	11.0186	2.8968	8.1218	1.1471
66.517	2.520	5.062	39.412	432.000	867.771	1.750	11.9052	3.1752	8.7300	1.2331
66.994	2.630	5.433	39.704	450.857	931.371	1.763	12.0565	3.4584	8.5981	1.2144
67.319	2.725	5.721	39.888	467.143	980.743	1.771	12.5850	3.7128	8.8722	1.2531
67.637	2.787	5.858	40.094	477.771	1004.229	1.780	13.0177	3.8837	9.1340	1.2901
67.900	2.897	6.267	40.238	496.629	1074.343	1.786	13.3366	4.1963	9.1403	1.2910
68.262	2.957	6.392	40.438	506.914	1095.771	1.796	13.4997	4.3719	9.1278	1.2892

บรรณานุกรม

- [1] Ryff, Peter F. **Electric Machinery** . Prentice Hall International , Inc. , 1988
- [2] S.A. Nasar and L.E. Unnewehr . **Electromechanics and Electric Machines** . John Wiley & Sons, Inc. , 1983
- [3] Theodore Wildi . **Electrical Machines , Drives , and Power Systems** . Prentice Hall International , Inc. , 2000
- [4] A.E. Fitzgerald , Charles Kingsley , JR . and Stephen D. Umans . **Electric Machinery** . The McGraw – Hill Companies, Inc. , 2003
- [5] George Mcpherson and Robert D. Laramore . **Electrical Machines and Transformers** . John Wiley & Sons, Inc. , 1990
- [6] William H. Hayt , JR . **Engineering Electromagnetics** . The McGraw – Hill Companies, Inc. , 1989



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้