

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง

A HIGH FREQUENCY B-H CURVE METER



อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.อนุวัฒน์ งามวนิชเลิศ
ดร.วิจิตร กิณเรศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36991
วัน, เดือน, ปี 30 ต.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

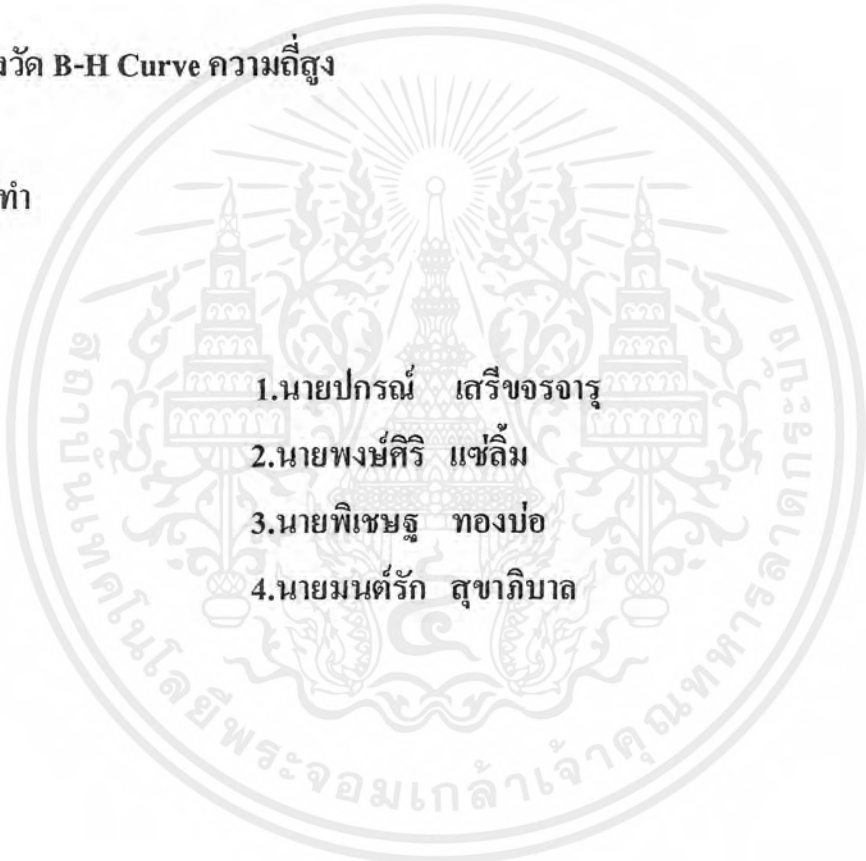
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

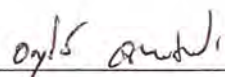
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง

ผู้จัดทำ

- 
- 1.นายปรกรณ์ เสร็จจรจรู
 - 2.นายพงษ์ศิริ แซ่ลิ่ม
 - 3.นายพิเชษฐ ทองบ่อ
 - 4.นายมนต์รัก สุขภิบาล

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.วิจิตร กิณเรศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A HIGH FREQUENCY B-H CURVE METER

Pragon Serekajonjaru

Phongsiri Saelim

Pishet Tongbor

Monrak Sukhapibal

Anuwat Jangwanitlert, Adviser

Dr.Vijit Kinares, Adviser

Academic Year 1999

ABSTRACT

This project presents a high frequency B-H curve meter which uses the basic of electronics to develop a high frequency exciting signal. It can be varied in frequency by PWM inverter. This instrument can measure the magnetic field intensity and magnetic field density of the ferrite cores operating at high frequency. The result of the meter is taken to plot the B-H curve that displayed on computer. So we can use the B-H curve to analyse and design devices using the ferrite cores, especially transformers in the forward.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
สารบัญภาพ	iii
สารบัญตาราง	v
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ธรรมชาติของเฟอร์ไรต์	2
บทที่3 สมการแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก	9
3.1 สมการทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของเฟอร์ไรต์	9
3.2 สมการแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กที่ความถี่สูง	11
3.3 ค่าความซึมซาบแม่เหล็กเชิงซ้อน	11
3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความซึมซาบแม่เหล็ก	13
3.5 ฮีสเทอรีซิส	14
3.5.1 ความสัมพันธ์ของ Rayleigh	14
3.5.2 ความสัมพันธ์ของ Peterson	15
3.6 ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน	16
บทที่4 การออกแบบเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง	17
4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง	17
4.2 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นสารแม่เหล็กวัสดุที่เหลื่อม	17
4.2.1 วงจรเอชทูตีสี่คอนเวอร์เตอร์	17
4.2.1.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนของเอสซีอาร์	18
4.2.1.2 วงจรแยกกราวด์	19
4.2.1.3 ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุตและตัวเหนี่ยวนำ	19
4.2.2 วงจรดีซีทูปเอชอินเวอร์เตอร์	19
4.2.3 วงจรควบคุม	20
4.2.3.1 หลักการของพัลส์วอร์มอดูเลชัน	20
4.2.3.2 การทำงานของไอซีเบอร์ TL494	21
4.2.3.3 วงจรแยกกราวด์	23
4.2.3.4 วงจรบัฟเฟอร์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.5 วงจรขับเกท	24
4.3 วงจรอินทิเกรเตอร์	25
4.3.1 การหาค่าอุปกรณ์ในวงจร	27
4.4 วงจรชดเชย	28
4.4.1 วงจรชดเชยความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	28
4.4.2 วงจรชดเชยความเข้มสนามแม่เหล็ก	30
4.5 การอินเตอร์เฟสเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง	31
4.5.1 ไอซี 8255 พอร์ตข้อมูลแบบขนาน	31
4.5.1.1 โหมด 0 หรืออินพุตเอาท์พุตแบบพื้นฐาน	34
4.5.2 การ์ดอินเตอร์เฟส	36
4.5.2.1 วงจรดีโค้ด	37
4.5.2.2 วงจรการต่อชิพขับพอร์ต 8255	38
4.5.3 การทำงานของวงจรดีทิวเอที่ใช้ในโครงการ	38
4.6 บล็อกไดอะแกรมในเครื่องวัด B-H Curve ของแกนเฟอร์ไรต์	39
บทที่ 5 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	43
5.1 วิธีการทดลอง	43
5.1.1 การพันขดลวดลงบนแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ในการทดสอบ	43
5.1.2 การปรับค่าและการชดเชยค่าพารามิเตอร์	
5.1.2.1 การชดเชยจำนวนรอบของขดลวดที่ใช้ในการพันของหม้อแปลง	43
5.1.2.2 การชดเชยความยาวและพื้นที่หน้าตัดของหม้อแปลง	43
5.1.3 วิธีการวัดค่า B-H curve ของแกนเฟอร์ไรต์	44
5.2 ผลการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์	44
5.2.1 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2E6	44
5.2.2 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2F1	52
5.2.3 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 6H20	51
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์	55
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 หน่วยเซลล์ของสารเฟอร์ไรต์แบบ spinel	4
รูป 2.2 รูปร่างต่าง ๆ ของแกนเฟอร์ไรต์	8
รูป 3.1 แสดงฮิสเทอรีซิสลูปของวัสดุแม่เหล็ก	10
รูป 3.2 วงจรสมมูลแบบอนุกรมและขนานของสารแม่เหล็ก	12
รูป 3.3 ลูป Rayleigh	15
รูป 4.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักของเครื่องวัด B-H Curve	17
รูป 4.2 แสดงวงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเฟสเดียว	17
รูป 4.3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อขับเกทของเอสซีอาร์ โดยไอซีเบอร์ TCA785	18
รูป 4.4 แสดงวงจรแยกกราวด์โดยใช้ไอซีเบอร์ 4N26 ซึ่งเป็น Optocoupler	19
รูป 4.5 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์	19
รูป 4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PWM	20
รูป 4.7 แสดงความกว้างของพัลส์เอาต์พุตจาก PWM	21
รูป 4.8 แสดงโครงสร้างภายในของ TL 494	21
รูป 4.9 แสดงรูปคลื่นการทำงานของ TL 494	22
รูป 4.10 แสดงวงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจาก TL494	22
รูป 4.11 แสดงวงจรแยกกราวด์โดยใช้ไอซี 6N137	23
รูป 4.12 แสดงวงจรบัฟเฟอร์	24
รูป 4.13 แสดงวงจรขับ	24
รูป 4.14 วงจรอินทิเกรเตอร์พื้นฐาน	25
รูป 4.15 วงจรอินทิเกรเตอร์ใช้งานจริง	26
รูป 4.16 ผลตอบสนองของความถี่ในวงอินทิเกรเตอร์	27
รูป 4.17 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์	27
รูป 4.18 วงจรชดเชยค่า B	29
รูป 4.19 วงจรชดเชยค่า H	31
รูป 4.20 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของ ไอซี 8255	33
รูป 4.21 ความหมายของบิตต่าง ๆ ในรหัสควบคุม	35
รูป 4.22 แสดงวงจรดีทิวเอ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูป 4.23 แสดงบล็อกไดอะแกรมการวัด B-H loop ที่ความถี่สูง	40
รูป 4.24 แสดงวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นของเครื่องวัด	41
รูป 4.25 แสดงวงจรสมบรูณ์ของการ์ด 8255	42
รูป 5.1 แสดงแคตเตอร์ที่ใช้ในการหาคะแนนรอบคด	43
รูป 5.2 แสดงรูปสัญญาณ $v_s(t), i_p(t)$ ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2kHz	45
รูป 5.3 แสดงรูปสัญญาณ $B(t), H(t)$ ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2kHz	45
รูป 5.4 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2kHz	46
รูป 5.5 แสดง B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2kHz	47
รูป 5.6 แสดง datasheet B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 2E6	47
รูป 5.7 แสดง รูปสัญญาณ $v_s(t), i_p(t)$ ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2kHz	48
รูป 5.8 แสดงรูปสัญญาณ $B(t), H(t)$ ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2kHz	49
รูป 5.9 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2kHz	49
รูป 5.10 แสดง B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 2F1	50
รูป 5.11 แสดง datasheet B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 2F1	51
รูป 5.12 แสดงรูปสัญญาณ $v_s(t), i_p(t)$ ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2kHz	51
รูป 5.13 แสดงรูปสัญญาณ $B(t), H(t)$ ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2kHz	52
รูป 5.14 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2kHz	52
รูป 5.15 แสดง B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2kHz	54
รูป 5.16 แสดง datasheet B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 6H20	54
รูป 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแนวทางการพัฒนาโครงการ	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 รวมแบบโครงสร้างของเฟอร์ไรต์	3
ตาราง 2.2 สรุปรวมของส่วนประกอบและการประยุกต์ใช้งานของเฟอร์ไรต์	5
ตาราง 2.3 สภาพความต้านทานของโลหะผสมและเฟอร์ไรต์	7
ตาราง 2.4 ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวและค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ของโลหะผสมและเฟอร์ไรต์	7
ตาราง 4.1 สัญญาณควบคุมการทำงานของไอซี 8255	34
ตาราง 4.2 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ ในโหมด 0	36
ตาราง 5.1 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2kHz	46
ตาราง 5.2 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2kHz	50
ตาราง 5.3 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2kHz	53

บทที่ 1

บทนำ

วัสดุแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในวงจรด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำวัสดุแม่เหล็กมาใช้ในการสร้างเป็นแกนของหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นก่อนนำวัสดุแม่เหล็กมาใช้งานก็ต้องมีการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุแม่เหล็กนี้ก่อน เช่น การหาพฤติกรรมของวัสดุแม่เหล็กเมื่อใช้งานที่ย่านความถี่ต่างๆ การหาค่าซึมซาบสัมพัทธ์แม่เหล็กที่ใช้งานในภาวะต่างๆ การหาเส้นโค้งบีเอชของวัสดุแม่เหล็ก (B- H Curve) การหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนแม่เหล็กที่ทำจากวัสดุแม่เหล็ก การหาและการวิเคราะห์ฮิสเทอรีซิสของวัสดุแม่เหล็ก ตลอดจนหาค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด(B_{max}) ในกรณีต่างๆ เป็นต้น

แต่ในปัจจุบันได้มีการสร้างหม้อแปลงที่ใช้ในย่านความถี่สูง เช่น หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์สำหรับการใช้งานในด้านสวิตชิงเรกทูเรเตอร์ที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในวงจรทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆซึ่งสามารถทำงานในย่านความถี่สูงประมาณ 1kHz ถึงประมาณ 100 kHz ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแม่เหล็กที่นำมาสร้างแกนหม้อแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โครงการนี้จึงกล่าวถึงหลักการหาเส้นโค้งบีเอช (B-H Curve) ของแกนเฟอร์ไรต์ และวิเคราะห์ฮิสเทอรีซิสลูป(Hysteresis Loop) เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวนำไปพัฒนาหาค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์(Hysteresis Loss)อีกต่อไป และนำผลการทดสอบที่ได้มาช่วยในการออกแบบอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปเช่น หม้อแปลงความถี่สูง ตัวเหนี่ยวนำ(Inductor) คีเฟลคชัน โยค(Deflection Yoke) เป็นต้น

บทที่ 2

ธรรมชาติของเฟอร์ไรต์

เมื่อกล่าวถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องจักรไฟฟ้า ฯลฯ วัสดุแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เหล่านั้น มันเป็นไปได้ที่เราจะได้รับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงแล้วยอมทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กและความหนาแน่นของพลังงานสูงด้วย ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ได้แสดงบทบาทสำคัญในการทำงานของอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า

วัสดุแม่เหล็กสามารถถูกใช้เพื่อบังคับและกำหนดทิศทางให้กับสนามแม่เหล็กตามที่เราต้องการ ในหม้อแปลงไฟฟ้ามันถูกใช้เพื่อให้มีการเชื่อมต่อของฟลักซ์แม่เหล็กระหว่างขดลวดมากที่สุดเช่นเดียวกับการทำให้มีกระแสกระตุ้นต่ำ ๆ ในการปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ในเครื่องจักรไฟฟ้ามันถูกใช้เพื่อสร้างรูปร่างของสนามแม่เหล็ก เพื่อให้มีคุณสมบัติในการสร้างแรงบิดให้มากที่สุด

วัสดุแม่เหล็กในโลกของเรามีมากมายหลายชนิด ถ้ากล่าวอย่างกว้าง ๆ โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในการซึมซาบฟลักซ์แม่เหล็กของวัสดุแม่เหล็กซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- 1.Diamagnetic เช่น เงิน ตะกั่ว
- 2.Paramagnetic เช่น อากาศ อลูมิเนียม
- 3.Nonmagnetic เช่น สุญญากาศ
- 4.Ferromagnetic เช่น เหล็ก นิกเกิล
- 5.Ferrimagnetic เช่น เฟอร์ไรต์
- 6.Amorphous ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กชนิดใหม่ที่ทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงและเหมาะกับการใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ ได้ดี

วัสดุแบบเฟอร์โรแมกเนติก(Ferromagnetic)และเฟอร์ไรแมกเนติก(Ferrimagnetic) ทั้งหมดจะแสดงปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิสหรือความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ของวัสดุแม่เหล็ก ผลที่ตามมาคือ พวกมันมีคุณสมบัติต่าง ๆ ทางแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมฮิสเทอรีซิส เช่น ความซึมซาบแม่เหล็ก การอิ่มตัวทางแม่เหล็ก ฟลักซ์ตกค้าง และความสามารถในการเก็บรักษาฟลักซ์ วัสดุจำนวนมากแสดงคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่สำคัญเหล่านี้ ในจำนวนนั้นมีโลหะ โลหะผสม โลหะผสมหายากและ

ในเซรามิก แม่เหล็กเฟอร์ไรต์คือพวกที่มีมากที่สุด วัสดุเหล่านี้มีโครงสร้างผลึก ส่วนประกอบและการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย แต่อย่างไรก็ตามพวกมันจะมีคุณสมบัติทั่วไปดังต่อไปนี้คือ

1. มีออกไซด์เป็นองค์ประกอบ
2. มี Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลัก
3. สามารถแสดงการเหนี่ยวนำแม่เหล็กได้โดยธรรมชาติโดยปราศจากการกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กภายนอก

เฟอร์ไรต์มีสี่เทาเข้มหรือดำ แข็งมากและเปราะ แกนเฟอร์ไรต์ถูกสร้างขึ้นโดยการอัดส่วนผสมของแป้งที่มีวัตถุดิบเพื่อที่จะได้รูปร่างตามต้องการแล้วต่อจากนั้นก็เปลี่ยนมันเข้าสู่รูปเซรามิกโดยการเผา คุณสมบัติทางแม่เหล็กเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไอออนโลหะที่มีตำแหน่งเฉพาะสัมพันธ์กับไอออนออกซิเจนในโครงสร้างผลึกของมัน โดยคุณสมบัติที่สำคัญซึ่งทำให้มันเป็นประโยชน์ คือให้การเชื่อมต่อทางแม่เหล็กที่แข็งแกร่ง สภาพความต้านทานสูง และความสูญเสียต่ำ เทคโนโลยีของวัสดุแบบเฟอร์ไรต์แมกเนติกก้าวหน้าอย่างรวดเร็วก็เนื่องด้วยความสะดวกในการปรับปรุงองค์ประกอบของมันเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานแบบต่าง ๆ

เฟอร์ไรต์ที่โครงสร้างผลึกหลายรูปแบบ ในจำนวนนี้รวมถึง spinel, magnetoplumbite และ garnet ตามแบบนี้มันเป็นสามแบบหลักในการนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนง่าย ๆ ของ Fe_2O_3 ในส่วนประกอบออกไซด์ โครงสร้างผลึกของวัสดุเหล่านี้ถือเป็นส่วนสำคัญของคุณสมบัติต่าง ๆ ทางแม่เหล็กของมัน เพราะว่าในแต่ละกรณีมันจะนิยามได้ถึงปฏิกิริยารวมระหว่างไอออนต่าง ๆ บนหนึ่งระดับอะตอมดังตารางข้างล่างนี้

Spinel	1 Fe_2O_3 : 1 MeO	โดย MeO = ออกไซด์โลหะแบบ transition
Garnet	1 Fe_2O_3 : 3 MeO	โดย MeO = ออกไซด์โลหะแบบ rare earth
Magnetoplumbite	6 Fe_2O_3 : 1 MeO	โดย MeO = ออกไซด์โลหะแบบ divalent จาก กลุ่ม 2 A-BaO, CaO, SrO

ตารางที่ 2.1 รวมแบบโครงสร้างของเฟอร์ไรต์ ยกเป็นตัวอย่างโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนออกไซด์ Fe_2O_3 : $\text{MeO}(\text{Me}_2\text{O}_3)$

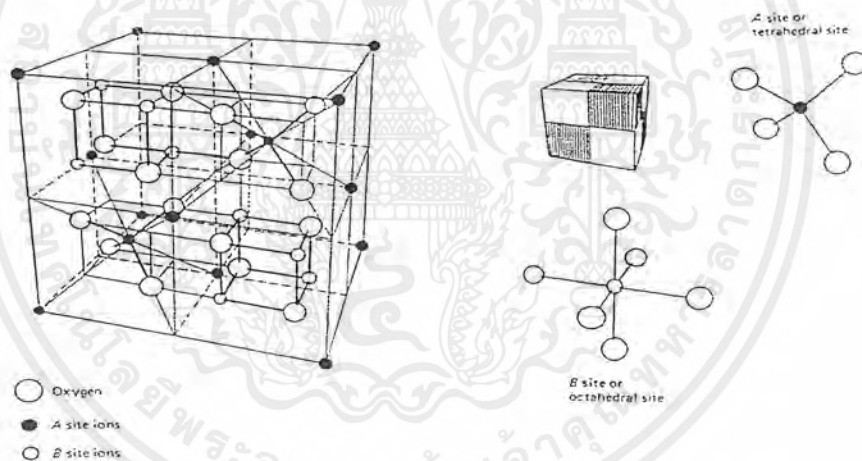
จากรูปที่ 2.1 เป็นหนึ่งหน่วยเซลล์แบบ spinel ซึ่งประกอบด้วย 8 โมเลกุล มีสูตรเคมีว่า MeFe_2O_4 ในจำนวนของ 3 ไอออนโลหะ ไอออนหนึ่งอยู่บนรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral site) และอีก

2 ไอออนอยู่บนรูปทรงแปดหน้า (octahedral sites) ถ้า spinel อยู่ในสภาวะปกติ (normal) ไอออนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Me แบบ divalent จะสร้างรูปทรงสี่หน้า (A site) ขณะที่ไอออน Fe แบบ Trivalent จะสร้างรูปทรงแปดหน้า (B site) ใน spinel ที่อยู่ในสภาวะไม่ปกติ (inverse) ไอออน Me แบบ divalent จะสร้างหนึ่งรูปทรง A ขณะที่ ไอออน Fe แบบ trivalent จะสร้างรูปทรง B ที่เหลือและรูปทรง A ในหนึ่งหน่วยเซลล์ของ MeFe_2O_4 มีจำนวนไอออนดังต่อไปนี้

	Me	Fe ₂	O ₄
จำนวนของไอออน	A site -	8	
	B site 8	8	32

ในความเป็นจริงแล้วเฟอร์ไรต์แบบ spinel มีการกระจายของไอออนในที่ใดๆอยู่ระหว่างแบบสภาวะปกติและสภาวะไม่ปกติ



รูปที่ 2.1 หน่วยเซลล์ของสารเฟอร์ไรต์แบบ spinel

มีการประยุกต์ใช้งานเฟอร์ไรต์ในรูปแบบต่างๆมากมายในปัจจุบัน ถ้าจะกล่าวแบบภาพรวมแล้วก็อาจกล่าวได้ว่ามีผลิตภัณฑ์ที่มีเฟอร์ไรต์เป็นส่วนประกอบหลักๆอยู่ 5 ผลิตภัณฑ์ โดยในส่วนแม่เหล็กถาวรมีแม่เหล็กสำหรับมอเตอร์และแม่เหล็กสำหรับลำโพง และในส่วนแม่เหล็กแบบอ่อน (Soft Ferrite) มีการเบี่ยงเบน โยค (Deflection Yoke) ของโทรทัศน์และแกนสำหรับหม้อแปลงโทรทัศน์ (Line output / e.h.f. Transformer) และสุดท้ายแกนสำหรับหม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง (Switching Transformer) ผลิตภัณฑ์อื่นๆนอกเหนือจากการกล่าวข้างต้นและรวมถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Switching Transformer) ผลึกภัณฑ์อื่นๆนอกเหนือจากการกล่าวข้างต้นและรวมถึงผลึกภัณฑ์ข้างต้นจะถูกรวบรวมไว้ในตารางข้างล่างพร้อมกับคุณสมบัติของเฟอร์ไรต์สำหรับแต่ละผลึกภัณฑ์

ตารางที่ 2.2 สรุปรวมของส่วนประกอบและการประยุกต์ใช้งานของเฟอร์ไรต์

B/H เป็นเชิงเส้นและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กต่ำ

สูตรเคมีของเฟอร์ไรต์	อุปกรณ์	หน้าที่ของอุปกรณ์	ช่วงความถี่	คุณสมบัติของเฟอร์ไรต์ต้องการ
MnZn, NiZn	ตัวเหนี่ยวนำ	วงจรกรองและวงจรรีโซแนนซ์	< 1 MHz (MnZn) ~ 1 – 100MHz (NiZn)	μ สูง, ความเสถียรของค่า μ กับอุณหภูมิและเวลาสูง
MnZn, NiZn	หม้อแปลงไฟฟ้าแบบพลาตและไวต์แบนด์	แปลงค่าแรงดันและกระแสและอิมพีแดนซ์	สูงถึง 500 MHz	μ สูง, ความสูญเสียฮิสเทอรีซิสต่ำ
NiZn	แท่งสายอากาศ	รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	สูงถึง 15 MHz	สภาพความต้านทานสูง
MnZn	ขดลวดโหลดคิง (loading coil)	รับค่าอิมพีแดนซ์	ความถี่เสียง	μ สูง, ความอึดตัวของเส้นแรงแม่เหล็กสูง, ความเสถียรของ μ กับอุณหภูมิ, เวลาและการไบอัสไฟตรงสูง

B/H ไม่เป็นเชิงเส้นและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กปานกลางถึงสูง

สูตรเคมีของเฟอร์ไรต์	อุปกรณ์	หน้าที่ของอุปกรณ์	ช่วงความถี่	คุณสมบัติของเฟอร์ไรต์ที่ต้องการ
MnZn, NiZn	หม้อแปลงฟลายแบ็ค	คอนเวอร์เตอร์กำลัง	< 100kHz	μ สูง, ความอึดตัวสูง, ความสูญเสียฮิสเทอรีซิสต่ำ

MnZn	โยคเบี่ยงเบน (Deflection Yoke)	เบี่ยงเบนลำ อิเล็กตรอน	< 100kHz	μสูง, ความอึด ตัวสูง
MnZn, NiZn	Suppression bead	กั้นสัญญาณ AC ที่ไม่ต้องการ	สูงถึง 250 MHz	μสูง, ความอึด ตัวสูง, ความสูญเสีย เสียดทานต่ำ
MnZn, NiZn	ขดลวด choke (Choke Coil)	แยกสัญญาณ AC ออกจากสัญญาณ DC	สูงถึง 250 MHz	μสูง, ความอึด ตัวสูง, ความสูญเสีย เสียดทานต่ำ
MnZn, MnZn	หัวบันทึก	บันทึกข้อมูล ต่างๆ	สูงถึง 10MHz	μสูง, ความหนา แน่นของสารสูง
MnZn	หม้อแปลงกำลัง	คอนเวอร์เตอร์ กำลัง	< 60kHz	ความอึดตัวสูง

B/H ไม่เป็นเชิงเส้น, วงฮิสเทอรีซิสเป็นรูปสี่เหลี่ยม

สูตรเคมีของ เฟอร์ไรต์	อุปกรณ์	หน้าที่ของ อุปกรณ์	ช่วงความถี่	คุณสมบัติของ เฟอร์ไรต์ที่ ต้องการ
MnMg, MnMgZn , MnCu, MnLi, ฯลฯ	แกนความจำ (Memory Core)	เก็บข้อมูล	พัลส์	ความเป็นสี่ เหลี่ยมสูง, ลัมประสิทธิ์ การสวิตช์ต่ำ, แรง โคเออร์ซิฟที่ถูกต้อง ควบคุมต่ำ

ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงวัสดุแม่เหล็กสำหรับแกนของหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำมี
วัสดุแม่เหล็ก 2 จำพวกใหญ่ ที่ถูกใช้เป็นแกนแม่เหล็กสำหรับตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกที่หนึ่งคือโลหะผสมที่ประกอบด้วยเหล็กเป็นหลักและธาตุอื่นๆจำนวนเล็กน้อยคือ ซิลิคอน และโครม โลหะผสมนี้มีสภาพการนำไฟฟ้าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเฟอร์ไรต์และการอัดตัวของ ฟลักซ์ที่สูงใกล้เคียง 1.8 เทสลา มีการสูญเสีย 2 แบบในโลหะเหล็กผสมคือ การสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) และการสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current loss) แกนโลหะเหล็กผสมตาม ปกติถูกใช้ที่ความถี่ต่ำเท่านั้น เนื่องด้วยการสูญเสียกระแสไหลวนของมันโลหะเหล็กผสมต้องถูก ทำการเรียงแผ่นเพื่อลดการสูญเสียนี้แม้แต่ที่ความถี่ต่ำธรรมดาเช่น 50 Hz หรือ 60 Hz

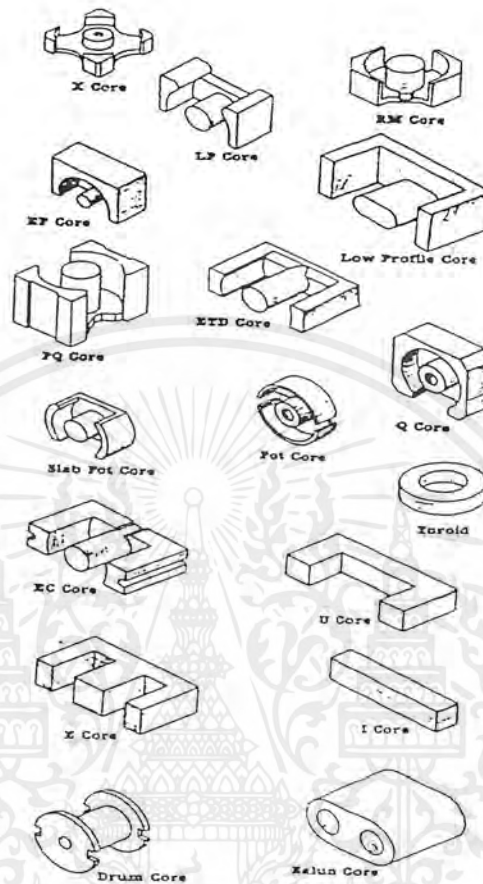
พวกที่สองคือเฟอร์ไรต์ เฟอร์ไรต์คือสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและธาตุอื่นๆ เนื่อง ด้วยพวกมันมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าสูงแต่ความหนาแน่นฟลักซ์อัดตัวค่อนข้างต่ำประมาณ 0.3 เทสลา(ดังตาราง 2.3 และ 2.4 และเปรียบเทียบระหว่างวัสดุทั้งสองแบบ) เฟอร์ไรต์จึงมีเพียงการ สูญเสียฮิสเทอรีซิส(Hysteresis Loss)เท่านั้น ไม่มีความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน (Eddy Current loss) เฟอร์ไรต์คือวัสดุสารแม่เหล็กที่เป็นทางเลือกสำหรับแกนที่ใช้งานที่ความถี่สูง (มากกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์)

วัสดุ	สภาพความต้านทาน(Ω - cm)
Silicon iron	50×10^{-6}
Nickel iron	45×10^{-6}
NiZn ferrite	10^6
Mnzn ferrite	$10^2 - 10^3$

ตารางที่ 2.3 สภาพความต้านทานของโลหะผสมและเฟอร์ไรต์

วัสดุ	ความหนาแน่นเส้นแรงอัดตัว (Tesla)	μ_r
50% Cobalt – iron	2.4	1,000
Silicon – iron	1.8	1,800
50% Nickel – iron	1.5	10,000
80% Nickel – iron	0.75	100,000
Ferrites	0.3 -0.5	2,000 – 18,000

ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอัดตัวและค่าความซึมซาบแม่เหล็กของ โลหะผสมและเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.2 รูปร่างต่าง ๆ ของแกนเฟอร์ไรต์

คุณลักษณะต่างๆของแกนเฟอร์ไรต์เป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในย่านความถี่สูงและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก และค่าความซึมสนามแม่เหล็ก ($B-H$ Curve) ในแกนเฟอร์ไรต์ถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด การได้มาซึ่งความสัมพันธ์นี้จะต้องใช้เทคนิคการวัดค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมโดยผ่านเครื่องมือวัดที่ถูกต้องและได้มาตรฐาน ข้อมูลที่ได้มาจึงสามารถถูกนำไปใช้งานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

สมการแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก

3.1 สมการทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของเฟอร์ไรต์ (Magnetization)

ถ้าเราพันขดลวดเข้ากับแกนอากาศ เราสามารถที่จะเขียนสมการแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กได้ดังนี้

เมื่อ H = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Am^{-1})

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

I = กระแสที่ผ่านขดลวด (A)

L = ความยาวของแกนแม่เหล็ก (m)

สมการความเข้มสนามแม่เหล็กคือ $H = NI/L$ (A/m) (3.1)

สมการความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B = \mu_0 H$ (T) (3.2)

μ_0 คือค่าคงที่ทางแม่เหล็ก หรือค่าความซึมซับของอากาศมีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m)

ถ้าเราพันขดลวดรอบสารแม่เหล็ก สารแม่เหล็กจะทำตัวเป็นแม่เหล็กชั่วคราวเพราะในสารแม่เหล็กจะมีการหมุนเคลื่อนที่รอบตัวของอิเล็กตรอนซึ่งจะทำให้เกิดกระแสที่เป็นรูปขนาดเล็กแต่ละดูก็จะมีความเป็นแม่เหล็กชั่วคราว ภายในสารแม่เหล็กในสถานะ Demagnetized โดเมน (ส่วนเล็กๆที่เราสมมติขึ้น โดยที่มันอยู่ในสารแม่เหล็กที่เราพิจารณา) จะมีทิศทางของแม่เหล็กชี้ไปคนละทิศคนละทาง ดังนั้นผลรวมแบบเวกเตอร์(vector) ของโดเมนจะเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าเราให้ความเข้มสนามแม่เหล็กกับมันทำให้ทิศทางของแม่เหล็กในโดเมนเปลี่ยนไป หรือกล่าวได้ว่าเกิดการกระตุ้นแม่เหล็กภายในตัวสารแม่เหล็กซึ่งทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กโดยรวมเพิ่มขึ้นและเราก็เรียกสถานะของสารแม่เหล็กนี้ว่า Magnetization (M) ซึ่งมีหน่วย (Am^{-1}) เพราะฉะนั้นภายในสารแม่เหล็กจะเกิดความเข้มสนาม 2 ส่วน ส่วนแรกเกิดจากการกระตุ้นด้วยกระแสกระตุ้น(Exciting Current) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากคุณสมบัติภายในตัวสารแม่เหล็กเอง เพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$H_i = (N_i i/L) + M \quad (3.3)$$

$$B = \mu_0 H_i = \mu_0 (H + M) \quad (3.4)$$

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M \quad (3.5)$$

$$B = \mu_0 H + J \quad (3.6)$$

โดยที่

J = magnetic polarization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น M คือความเข้มสนามที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารแม่เหล็ก และ J ก็คือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น

ถ้าเราหาร (3.5) ด้วย H อัตราส่วน M/H จะแทนด้วยค่า k

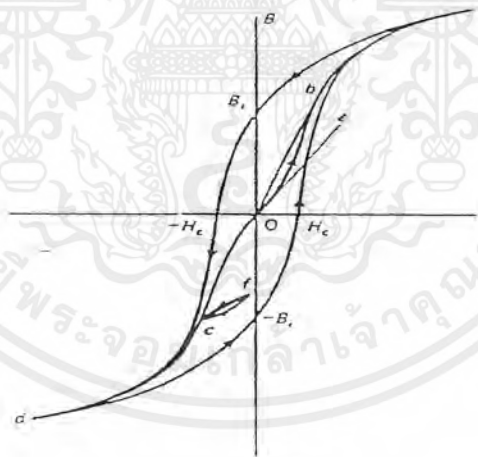
$$B/H = \mu_0 + M\mu_0/H \quad (3.7)$$

$$B/H = \mu_0 (1 + k) = \mu \quad (3.8)$$

ผลจากการหาร B ด้วย H เราเรียกว่า ค่าความซึมซาบสัมบูรณ์ μ

ความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถวัดได้โดยการวัดกระแสที่ใช้กระตุ้นสารแม่เหล็ก ส่วนการวัดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะใช้กฎของการเหนี่ยวนำ $c(t) = d\Phi / dt$

ถ้ากระแสที่ใช้กระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากศูนย์ความเข้มสนามแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะเพิ่มในช่วงแรกๆ เท่านั้น พอถึงช่วงหนึ่งความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะไม่เพิ่มตามความเข้มสนามแม่เหล็กอีกต่อไป ความสัมพันธ์ที่อธิบายข้างต้นเราจะแทนด้วย B-H Curve ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงฮิสเทอรีซิสลูปของวัสดุแม่เหล็ก (Hysteresis loop)

เริ่มแรกเมื่อเรานำขดลวดพันรอบสารแม่เหล็กแล้วจ่ายกระแสกระตุ้นเข้าไป B-H Curve จะเป็นไปตาม oba พอถึงจุด a เราลดความเข้มสนามแม่เหล็กลง B-H Curve จะไม่กลับเส้นโค้งเดิม เมื่อเราลดความเข้มสนามแม่เหล็กจนถึงจุด o บ่งบอกว่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กกลับไม่เป็นศูนย์ จุด B_s นี้เราเรียกความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ว่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง เพื่อให้หาความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเป็นศูนย์ เราจึงต้องป้อนความเข้มสนามแม่เหล็กกลับทิศจนถึงจุด d แล้วก็ลดความเข้มสนามลงอีกจนถึงจุด $-B_r$ ต้องป้อนความเข้มสนามจนเป็นศูนย์อีกครั้ง ในที่สุดความสัมพันธ์ของ B-H จะมีลักษณะที่เป็นลูป เราเรียกลูปนี้ว่า บีสเชลูป (B – H loop) หรือ ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop)

ปริมาณ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) เป็นปริมาณทางฟิสิกส์และไม่สนใจว่าจะพันขดลวดเช่นไรอย่างไรก็ตามการพันขดลวดบนแกนแม่เหล็กจะต้องคำนึงถึงจุดประสงค์การใช้งาน ในการทดลองเรื่องนี้เราใช้การพันขดลวดบนแกนเทอร์รอยด์ แกนเทอร์รอยด์ในอุดมคติเป็นวงแหวนบางในบางครั้งมันดูเหมือนแหวนและผลที่ได้มาจากการพันขดลวดบนแกนเทอร์รอยด์คือการกระจายที่คงรูปของความเข้มสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ณ ภาคตัดขวางของแกน ผลของความจุไฟฟ้า ความเหนี่ยวนำ ความต้านทาน ที่ตกค้างเนื่องจากการพันขดลวดสามารถถูกยกเลิกได้ วิธีการแสดงคุณสมบัติของแกนแม่เหล็กจะสัมพันธ์กับแกนแม่เหล็ก แกนแม่เหล็กในทางปฏิบัติต่างจากแกนแม่เหล็กในอุดมคติเนื่องจากความสัมพันธ์ของพื้นที่ภาคตัดขวางและช่องอากาศเป็นแบบไม่คงรูป

3.2 สมการแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กที่ความถี่สูง

ส่วนใหญ่สารแม่เหล็กถูกนำไปสร้างเป็นแกนของตัวเหนี่ยวนำหรือแกนหม้อแปลง บ่อยครั้งที่เฟอร์ไรต์ถูกนำมาสร้างเป็นแกนแม่เหล็กในช่วงความถี่สูงซึ่งในช่วงความถี่สูงนี้ความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก และความเข้มสนามแม่เหล็กมีน้อย ดังนั้นความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นอาจจะไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ภายใต้เงื่อนไขนี้ถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นไซน์ (Sine) ต่อจากนั้นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะใช้ทฤษฎีไฟฟ้ากระแสสลับเพื่ออธิบายอิทธิพลของสารแม่เหล็กต่อวงจรไฟฟ้า

3.3 ค่าความซึมซาบแม่เหล็กเชิงซ้อน (Complex permeability)

ความเหนี่ยวนำของวงจรแม่เหล็กอาจจะถูกกำหนดเป็นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องต่อหนึ่งหน่วยกระแส

$$L = N\Phi / I \quad (H) \quad (3.9)$$

สำหรับขดลวด N รอบของแกนเทอร์รอยด์ในอุดมคติที่มีความยาวของทางเดินแม่เหล็ก l และพื้นที่ภาคตัดขวาง A

$$L = NBA / l$$

$$L = NA\mu_0\mu N I / l$$

$$L = NA\mu_0\mu N / l$$

$$L = L_0 \mu \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ซึ่ง } L_0 = N^2 A \mu_0 / l \quad (3.11)$$

L_0 คือความเหนี่ยวนำที่วัดได้เมื่อแกนแม่เหล็กมีค่าความซึมซาบเป็นหนึ่งและเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปความต้านเชิงซ้อนของขดลวดจะไม่ใช่ความต้านที่บริสุทธิ์แต่จะเป็นองค์ประกอบของความต้านเนื่องจากพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมาจากการกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบสลับ ดังนั้นค่าความซึมซาบจะอยู่ในรูปปริมาณเชิงซ้อน แกนแม่เหล็กที่มีการสูญเสียทางแม่เหล็กจะถูกเขียนแทนโดย

$$Z = j \omega L_s + R_s \quad (3.12)$$

$$Z = j \omega L_0 (\mu_s' - j \mu_s'') \quad (3.13)$$

โดยที่ R_s เป็นความต้านทานสูญเสียที่ต่ออนุกรม

L_s เป็นความเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรม

μ_s' เป็นส่วนจริงของค่าความซึมซาบที่ต่ออนุกรม

μ_s'' เป็นส่วนจินตภาพของค่าความซึมซาบที่ต่ออนุกรม

$$\text{ดังนั้น } \omega L_s = \omega L_0 \mu_s' \quad (3.14)$$

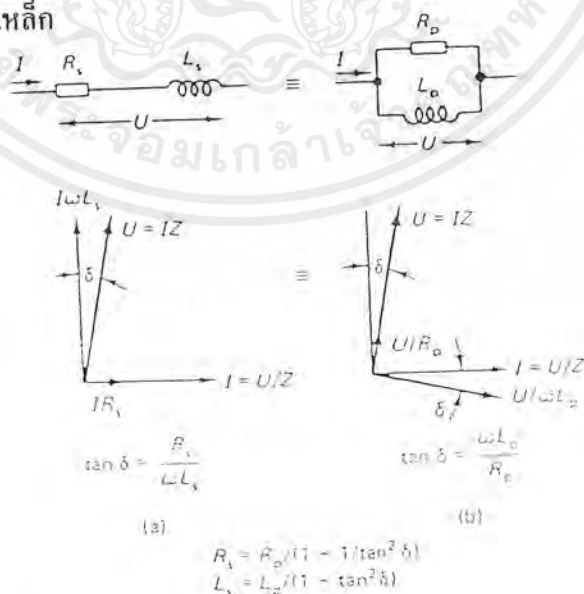
$$R_s = \omega L_0 \mu_s'' \quad (3.15)$$

และค่า $\tan \delta$ ความสูญเสียทางแม่เหล็ก

$$\tan \delta_m = R_s / \omega L_s = \mu_s'' / \mu_s' \quad (3.16)$$

ซึ่ง δ_m เป็นมุมแห่งความสูญเสีย และเป็นมุมเฟสระหว่างความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

และความเข้มสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลแบบอนุกรมและขนานของสารแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 แสดงวงเคอร์ไดอะแกรมที่มีลักษณะเช่นเดียวกันของวงจรอนุกรม รูป 3.2 a ในทำนองเดียวกันถ้าเราเปลี่ยนจากวงจรที่ต่ออนุกรมมาเป็นแบบขนานซึ่งแสดงในรูป 3.2 b เมื่อพิจารณารูป 3.2 b ความนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

$$Y = (1/jL_p\omega) + (1/R_p) = (1/j\omega L_0)[(1/\mu_p') - (1/j\mu_p'')] \quad (3.17)$$

โดยที่ R_p เป็นค่าความต้านทานสูญเสียที่ต่อขนาน

L_p เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่ต่อขนาน

μ_p' เป็นส่วนจริงของค่าความซึมซาบเชิงซ้อนที่ต่อขนาน

μ_p'' เป็นส่วนจินตภาพของค่าความซึมซาบเชิงซ้อนที่ต่อขนาน

$$\text{ดังนั้น} \quad \omega L_p = \omega L_0 \mu_p' \quad (3.18)$$

$$R_p = \omega L_0 \mu_p'' \quad (3.19)$$

และค่า $\tan$ ของความสูญเสียทางแม่เหล็ก

$$\tan \delta_m = \omega L_p / R_p = \mu_p' / \mu_p'' \quad (3.20)$$

การแทนรูปขององค์ประกอบของค่าความซึมซาบเชิงซ้อนและค่าของ $\tan \delta_m$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่โดยปกติใช้แสดงพฤติกรรมของเฟอร์ไรต์ที่ความถี่แม่เหล็กต่ำ

3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Variability)

ค่าความซึมซาบของสารแม่เหล็กอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงในทางปฏิบัติงาน โดยทั่วไปค่าความซึมซาบแม่เหล็กจะเป็นตัวทำลายพฤติกรรมของสารแม่เหล็กและเราต้องลดมันให้ต่ำสุดหรือควบคุมมันให้ได้ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ถูกกล่าวว่าเป็น Variability

Variability ส่วนมากมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอุณหภูมิช่วงหนึ่งค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กแปรผกผันกับอุณหภูมิซึ่งกำหนดเป็นสัมประสิทธิ์ได้ดังนี้

$$\alpha_\mu = (\text{การเปลี่ยนแปลงค่า } \mu) / \mu (\text{การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ})$$

ถ้าช่วงของอุณหภูมิแคบสมการข้างบนจะมีความถูกต้องมาก ในทางปฏิบัติเราจะใช้

$$\alpha_\mu = (\mu_2 - \mu_1) / \mu_1 (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.21)$$

ซึ่ง μ_1 คือค่าความซึมซาบที่สังเกตได้ที่ θ_1 และ μ_2 คือค่าความซึมซาบที่ θ_2 ถ้าค่าความซึมซาบเปลี่ยนแปลงไปมาก ค่าของตัวหารจะเปลี่ยนเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตซึ่งจะให้ความถูกต้องมากกว่าดังนั้นสมการจะเป็น

$$\alpha_\mu = (\mu_2 - \mu_1) / (\mu_1 \mu_2)^{1/2} (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.22)$$

สมการนี้จะให้ความถูกต้องมากกว่าสมการเดิม และระบุได้คำว่าเส้นโค้งของอุณหภูมิจะวางตัวภายในพื้นที่ที่กำหนดไว้หรือไม่ ขอบเขตของพื้นที่ที่กำหนดไว้คือระหว่าง θ_1 และ θ_2

เมื่อมีช่องอากาศแทรกอยู่ในวงจรแม่เหล็ก จะทำให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กลดลงเพราะฉะนั้นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจะต้องหารด้วย μ_1 (ค่าความซึมซาบเริ่มต้น) ผลที่ได้เราเรียกว่า ตัวประกอบอุณหภูมิ และมีสัญลักษณ์คือ $\propto_F$

โดยที่ $\propto_F = (\text{การเปลี่ยนแปลงของ } \mu_1) / \mu_1^2 (\text{การเปลี่ยนแปลงของ } \theta)$

หรือเขียนอีกอย่างหนึ่งได้ว่า

$$\propto_F = (\mu_2 - \mu_1) / \mu_1 \mu_2 (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.23)$$

เพื่อหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าความซึมซาบที่แท้จริงมันจะต้องคูณด้วยตัวประกอบอุณหภูมิ

3.5 ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ที่กล่าวมาจะใช้เพื่อแสดงความสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) ในหัวข้อนี้จะศึกษาสัมประสิทธิ์ Rayleigh และสัมประสิทธิ์ Peterson เพราะว่าได้มาจากการพิจารณารูปร่าง ฮิสเทอรีซิสลูป (Hysteresis loop) ในอุดมคติ

3.5.1 ความสัมพันธ์ของ Rayleigh

การทดลองในปี 1885 Rayleigh ใช้ก้อนแร่เหล็กในการทดลอง เขาสังเกตเห็นว่าที่ค่าของการกระตุ้นสนามแม่เหล็กต่ำๆ ความกว้างของค่าความซึมซาบมีความเป็นเชิงเส้นใกล้เคียงกับค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) เริ่มต้น

$$\text{คือ } \mu_a = \mu_i + V H_{\max} \quad (3.24)$$

$$\text{ซึ่ง } V \text{ คือสัมประสิทธิ์ของ Hysteresis มีหน่วย } (\text{Am}^{-1})$$

ถ้าเราคูณ 3.24 ด้วย $\mu_0 H_{\max}$ สมการที่ได้จะเป็น

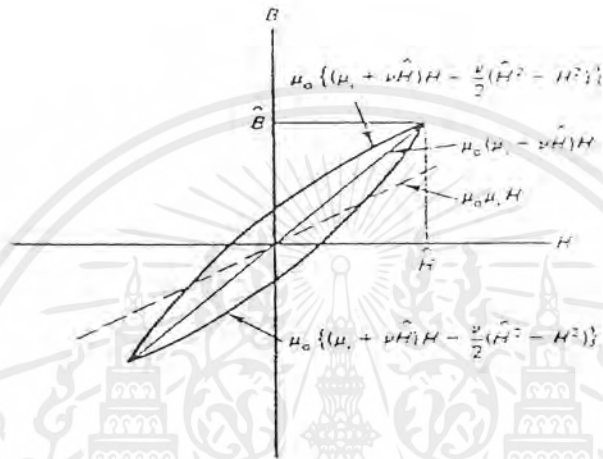
$$B_{\max} = \mu_0 (\mu_i H_{\max} + V H_{\max}^2) \quad (T) \quad (3.25)$$

ต่อมาเขาสังเกตเห็นว่า สำหรับก้อนแร่ที่พิจารณาข้างของฮิสเทอรีซิสลูป สามารถแทนด้วยเส้นโค้งพาราโบลาดังนี้

$$B = \mu_0 [(\mu_i + V H_{\max}) H \pm (V/2)(H_{\max}^2 - H^2)] \quad (T) \quad (3.26)$$

ซึ่งความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) และ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) เป็นค่าขณะใดๆมันสังเกตเห็นว่า Rayleigh ใช้ค่าคงที่ตัวเดียวกันเท่านั้นเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความซึมซาบแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็กของฮิสเทอรีซิสลูป

การกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบสลับเพื่อสร้างฮิสเทอรีซิสลูปจะทำให้เกิดมุมเฟสระหว่างความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งจากความสัมพันธ์ที่ผ่านมาความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก กับ ความเข้มสนามแม่เหล็กจะเป็นวงรี ซึ่งจะตรงกับ ฮิสเทอรีซิสลูป ถ้าความสูญเสียที่มีผลต่อลูปจะทำให้ลูปมีแนวโน้มเป็นวงรี



รูป 3.3 ลูป Rayleigh

ลูป Rayleigh ถูกแสดงในรูป 3.3 การ อินทิเกรต(integrate) ความกว้างจาก $-H$ ถึง $+H$ จะได้พื้นที่ลูป คือ $4\mu_0 V H_{\max}^3/3$ พลังงานสูญเสียระหว่างแต่ละไซเคิล ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของสารเนื่องจาก ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เท่ากับพื้นที่ภายในลูป มันถูกเรียกว่าเป็นความหนาแน่นพลังงานสูญเสียของ ฮิสเทอรีซิส และถูกแสดงโดย

$$W_h = \oint B dH \quad (\text{J/m}^3) \quad (3.24)$$

กำลังงานของ ฮิสเทอรีซิส ที่กระจายในแกนของปริมาตรซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กสลับ ดังนั้น

$$P_h A l = W_h A l f = I^2 R_h \quad (\text{Watt}) \quad (3.25)$$

ซึ่ง R_h คือความต้านทานสูญเสียของฮิสเทอรีซิสที่ต่ออนุกรม

3.5.2 ความสัมพันธ์ของ Peterson

ในปี 1928 Peterson แสดงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเป็น 2 เท่าของอนุกรมกำลังของความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะและความเข้มสนามสูงสุด เมื่อเขาขยเหล็กพจน์ที่มีลำดับสูงกว่า 3 ดังนั้นเขาจะได้สมการเส้นโค้งกระตุ้นสนามแม่เหล็กดังนี้

$$B = \mu_0 [a_{10}H + a_{11}H^2 + (a_{12} + a_{30})H^3 \dots] \quad (T) \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peterson ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ สรุปว่าอุปสมมาตรรอบจุดกำเนิดซึ่งทางเดินกราฟเป็นเส้นโค้ง กระตุ้นสนามแม่เหล็ก

ทั้ง Rayleigh และ Peterson พิจารณาลังงานสูญเสียเท่านั้นซึ่งแปรผันตรงกับพื้นที่ภายใน รูป วิธีการของ Rayleigh และ Peterson เป็นประโยชน์มากสำหรับ Computer Aided Design

3.6 ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน(Eddy Current Loss)

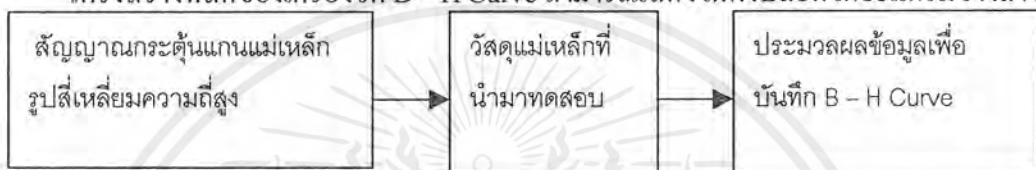
เส้นแรงแม่เหล็กแบบสลับในตัวกลางของตัวเหนี่ยวนำจะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ในตัวกลางนั้นและสิ่งเหล่านี้จะกลายเป็นพลังงานสูญเสียที่เรียกว่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน(Eddy Current loss) ค่าของความสูญเสียนี้ขึ้นกับ ถึงแรงแม่เหล็ก ขนาด และรูปร่างของตัวกลาง อาจจะถูกทำให้ลดลงได้โดยการแบ่งตัวกลางเป็นส่วนย่อยๆ เมื่อเนื้อสารถูกแบ่งย่อยค่าของความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน(Eddy Current loss) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร จะลดลงทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของผลึกตัวกลาง สำหรับสารเฟอร์ไรต์ ที่มีรูปร่างที่แน่นอน กระแสไหลวน(Eddy Current)ปริมาณเล็กน้อยจะวนอยู่ในสารเฟอร์ไรต์ และทำให้มีการสูญเสียเกิดขึ้น

บทที่ 4

การออกแบบเครื่องวัด B – H Curve ความถี่สูง

4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของเครื่องวัด B – H Curve ความถี่สูง

โครงสร้างหลักของเครื่องวัด B – H Curve สามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมข้างล่างนี้



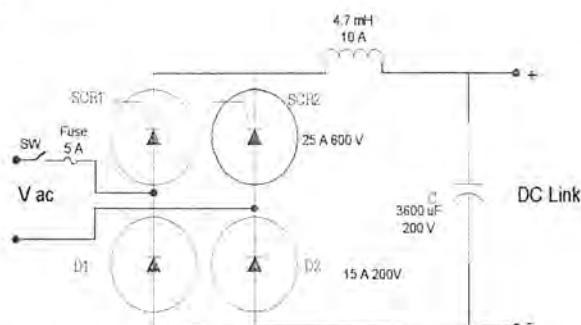
รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักของเครื่องวัด B – H Curve

4.2 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแกนแม่เหล็กรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave)

วงจรนี้เป็นวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแกนแม่เหล็กซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 15 Hz ถึงประมาณ 120 kHz ประกอบด้วยวงจรหลักได้แก่ วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC to DC Converter) และวงจรดีซีทูเอชอินเวอร์เตอร์ (DC to AC Inverter)

4.2.1 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC to DC Converter)

วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) เป็นวงจรในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เอสซีอาร์และไดโอดอย่างละสองตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะสามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรับมุมทริกเกทของเอสซีอาร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการเรียงกระแสจะผ่านตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบจะใช้เป็นดีซีลิงค์ (DC Link) ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) รูปที่ 4.2

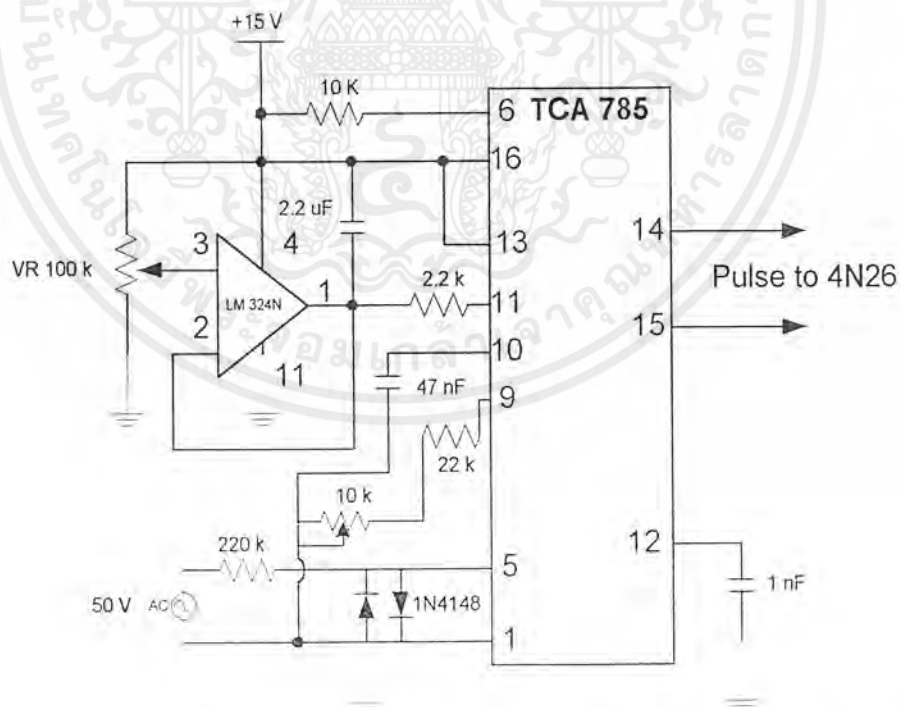


รูปที่ 4.2 แสดงวงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์ชันชนิดฟูลเบรีย (AC to DC Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนของเอสซีอาร์ (SCR)

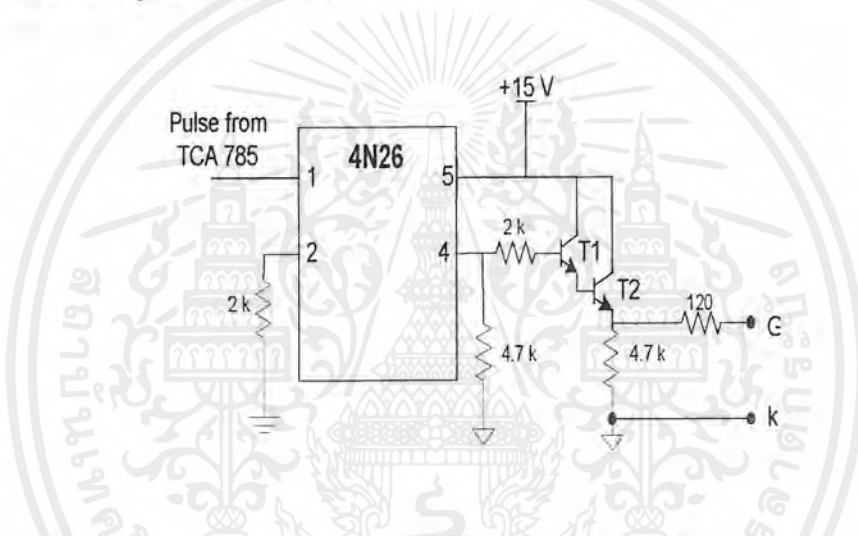
การสร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้ขับเคลื่อนของเอสซีอาร์จะใช้ไอซีเบอร์ TCA 785 ซึ่งจะมีหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อไปทำการทริกขาเกตของเอสซีอาร์เพื่อให้ตัวเอสซีอาร์นำกระแสซึ่งวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เป็นดังรูปข้างล่าง ซึ่งมีหลักการทำดังนี้ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งได้จากการแปลงลงของหม้อแปลงพิกัด 220V/50V จะถูกป้อนเข้าสู่ที่ขา 5 ของไอซี และไอซีนี้นำสัญญาณนี้มาสร้างสัญญาณแรมป์ (Ramp voltage) ซึ่งสัญญาณนี้จะแสดงออกมาที่ขา 10 ของไอซี ต่อมาสัญญาณนี้จะนำมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากขา 11 ซึ่งสัญญาณนี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าควบคุม (Voltage Control) และที่จุดแรงดันไฟฟ้าควบคุมและสัญญาณแรมป์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 15 และ 14 โดยที่ขา 15 นั้นสัญญาณพัลส์จะมีเฟสเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 5 และที่ขา 14 จะมีเฟสเลื่อนไปข้างหลัง 180 องศา ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าควบคุมเปลี่ยนแปลง และความสูงของสัญญาณแรมป์เป็น 10 โวลต์ ดังนั้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าควบคุมมีค่าระหว่าง 0 ถึง 10 โวลต์ มุมในการทริกก็จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา ด้วย รูปที่ 4.3 แสดงวงจรสร้างพัลส์จากไอซีเบอร์ TCA 785



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อขับเคลื่อนของเอสซีอาร์โดยไอซีเบอร์ TCA 785

4.2.1.2 วงจรแยกกราวด์

หลังจากไอซี TCA 785 ได้ทำการสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาจากขา 15 และ 14 ซึ่งเป็นสัญญาณต่างเฟสกัน 180 องศา และมีขนาดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 15 โวลต์ ถ้านำไปต่อเข้ากับเอสซีอาร์โดยตรงจะมีปัญหาเกี่ยวกับระบบกราวด์ และปัญหาเนื่องจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์อาจเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด ดังนั้นจะต้องทำการแยกกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ออกจากกราวด์โดยวิธีแยกกราวด์โดยใช้ IC เบอร์ 4N26 ซึ่งเป็น Optocoupler ในการแยกกราวด์ ในการแยกกราวด์ระหว่างวงจรขับเคลื่อน SCR กับวงจรกำลัง ซึ่งจะแสดงวงจรแยกกราวด์ดังวงจรรูปที่ 4.4 ข้างล่างนี้

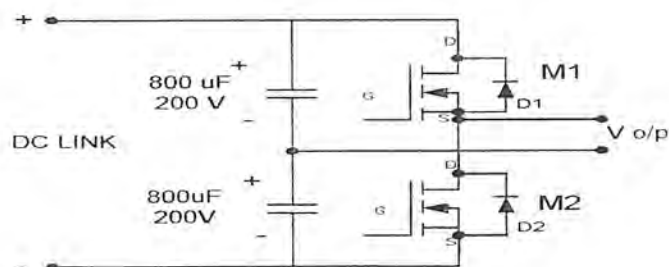


รูปที่ 4.4 แสดงวงจรแยกกราวด์โดยใช้ ไอซี เบอร์ 4N26 ซึ่งเป็น Optocoupler

4.2.1.3 ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุตและตัวเหนี่ยวนำ (LC Filter)

ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงจากบริดจ์ให้เรียบมากขึ้น โดยอาศัยการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุ ส่วนตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) จะทำหน้าที่ให้กระแสไฟตรงมีความต่อเนื่อง

4.2.2 วงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์ (DC to AC Inverter)



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์ (Half Bridge Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

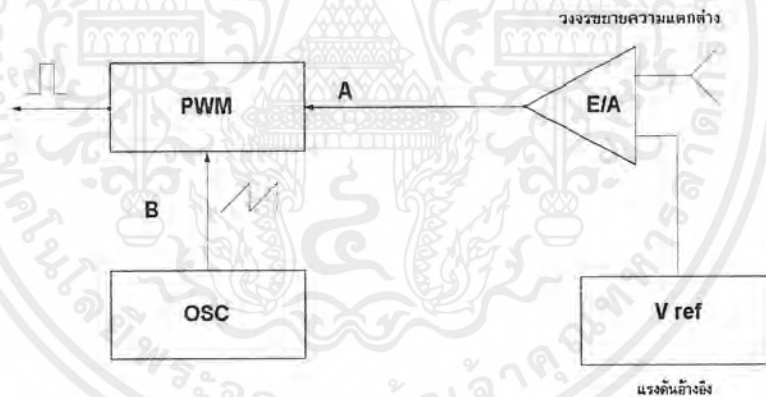
ในโครงงานนี้ใช้อินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์ ซึ่งใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งจะสามารถปรับความถี่ได้โดยอาศัยการสวิตชิงของมอสเฟต ซึ่งสามารถแสดงได้จากรูปที่ 4.5 ข้างต้น จากรูปจะเห็นว่าการทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้คือ มอสเฟตทั้ง 2 ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับโดยสลับการทำงานทีละตัวในแต่ละครึ่งคาบเวลา และจะสลับการทำงานอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ถ้ามอสเฟตทั้งสองตัวนำกระแสพร้อมกันเมื่อไรจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นและทำให้มอสเฟตเสียหายได้

4.2.3 วงจรควบคุม (Control Circuit)

ในส่วนของวงจรควบคุมนี้จะใช้ไอซีเบอร์ TL494 ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Mode Control) โดยอาศัยหลักการของพัลส์วิตท์มอดูเลชั่น(Pulse Width Modulation) หรือ PWM

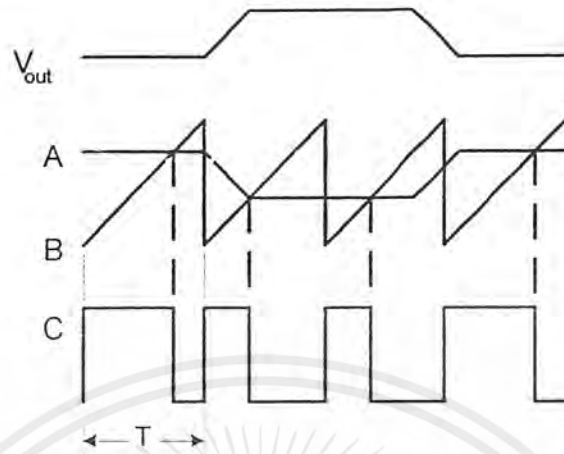
4.2.3.1 หลักการของพัลส์วิตท์มอดูเลชั่น

การควบคุมจะอาศัยการตรวจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันเอาท์พุทมาควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของมอสเฟตเพื่อคงค่าแรงดันเอาท์พุทเป็นหลัก ซึ่งหลักการควบคุมเป็นดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PWM

จากรูปที่ 4.6 พบว่าวงจรอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาท์พุทและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ของวงจร เพื่อตรวจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุท ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง (E/A) จากนั้นจึงส่งไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างที่ตำแหน่งจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ทำให้ได้เอาท์พุทจากวงจร PWM เป็นพัลส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์เนื่องจากผลของการมอดูเลชั่น ทำให้สามารถกำหนดช่วงเวลานำกระแสของมอสเฟตได้ ดังรูปที่ 4.7

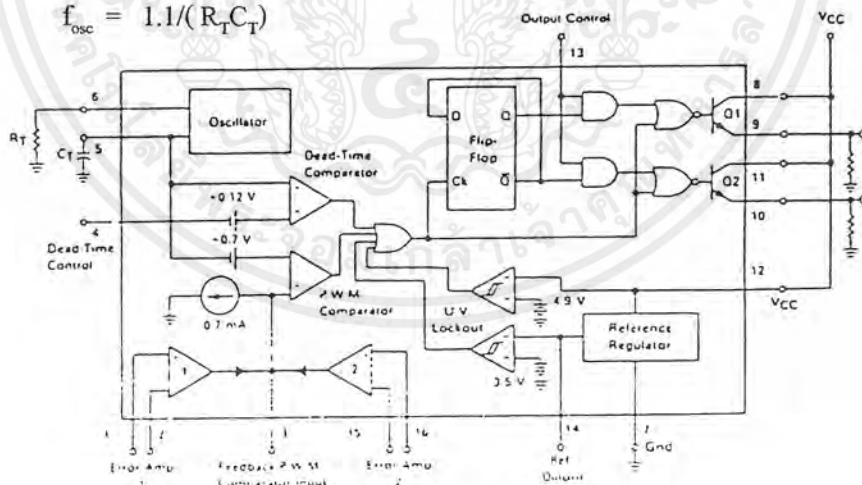


รูปที่ 4.7 แสดงความกว้างของพัลส์เอาต์พุตจาก PWM

4.2.3.2 การทำงานของไอซีเบอร์ TL494

การทำงานของ TL494 เป็นวงจรควบคุมแบบ PWM ที่มีความถี่คงที่ ซึ่งสามารถให้เอาต์พุตออกมา 2 เอาต์พุต นอกจากนี้ยังสามารถปรับความถี่ได้โดย R_T และ C_T ที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$f_{osc} = 1.1/(R_T C_T) \quad (4.1)$$

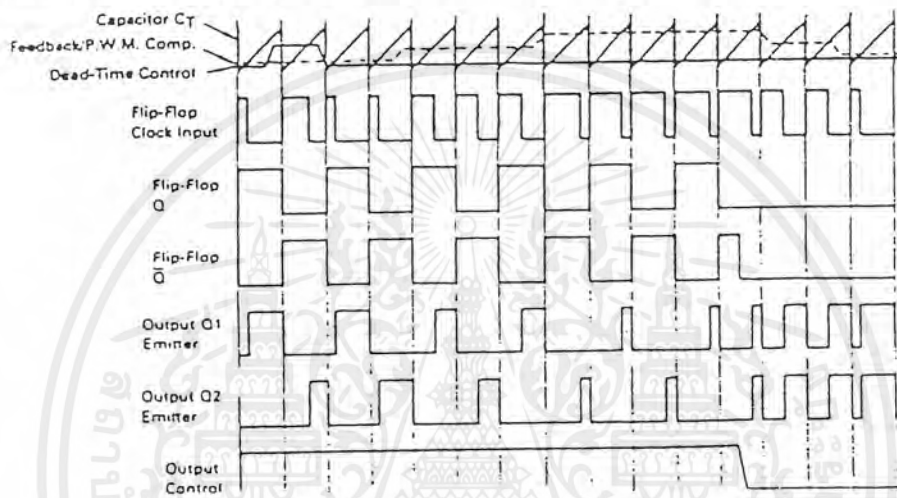


รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างภายในของ TL 494

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความกว้างของเอาต์พุตของพัลส์จาก TL494 ได้จากการเปรียบเทียบรูปคลื่นฟันเลื่อยที่ประกอบด้วย C_T และสัญญาณจากวงจรขยายความแตกต่าง โดยอินพุตที่ขั้วทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขาคล็อกของฟลิปฟล็อปอยู่ในสถานะต่ำ (LOW) ซึ่งแรงดันรูปฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าสัญญาณจากวงจรขยายความแตกต่าง ดังนั้นการเพิ่ม

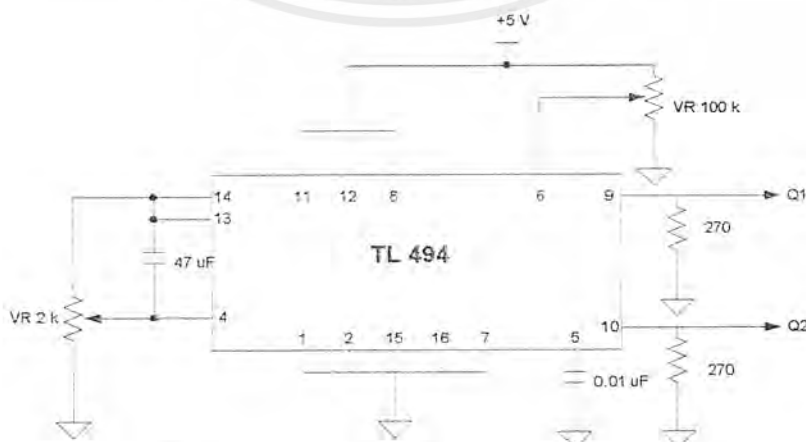
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นของสัญญาณควบคุมเป็นผลให้ความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตลดลง นอกจากนี้ TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเพื่อ (T_d) ของวงจรได้เองโดยการต่อความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 4 ของไอซี ซึ่งช่วง t_{on} สูงสุดที่ได้จากไอซีจะมีค่าเท่ากับ 48 % เมื่อขา 13 ต่อเข้ากับขา 14 ส่วนเอาต์พุต Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยในโครงงานนี้กำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High และต่อเข้ากับขา 14 เพื่อให้ Q_1 และ Q_2 สลับกันทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นการทำงานของ TL494

TL494 ต้องการไฟเลี้ยง (V_{cc}) อยู่ในช่วง 5 – 40 โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน (V_{ref}) 5 โวลต์ (ขา 14) และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้กับวงจรภายในได้ วงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจากวงจร TL 494 ที่สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 15 Hz จนถึงประมาณ 120 kHz แสดงได้ดังรูปที่ 4.10

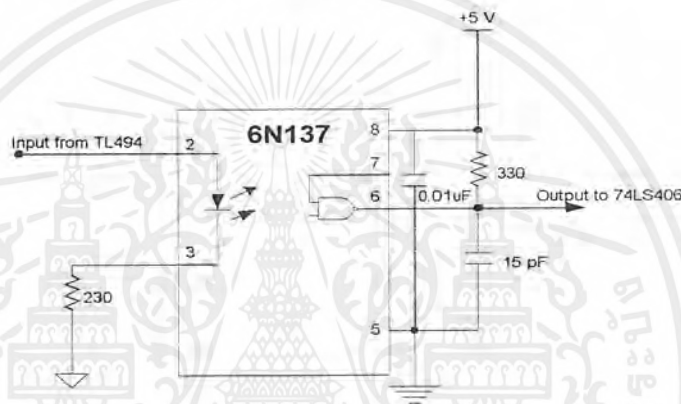


รูปที่ 4.10 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ PWM จาก TL 494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 วงจรแยกกราวด์

เมื่อได้สัญญาณ PWM ที่มีเคดไทม์ แล้วจะนำมาผ่านวงจรแยกกราวด์ก่อนเข้าสู่วงจรขับ เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนต่างๆจากส่วนกำเนิดสัญญาณไม่ให้ไปรบกวนวงจรในส่วนการขับ อุปกรณ์ตัวที่ซึ่ง ซึ่งโครงงานนี้เลือกใช้ไอซี Optocoupler เบอร์ 6N137 ชนิด super high speed response ที่ต้องการกระแสขับต่ำ โดยมีวงจรดังรูปที่ 4.11

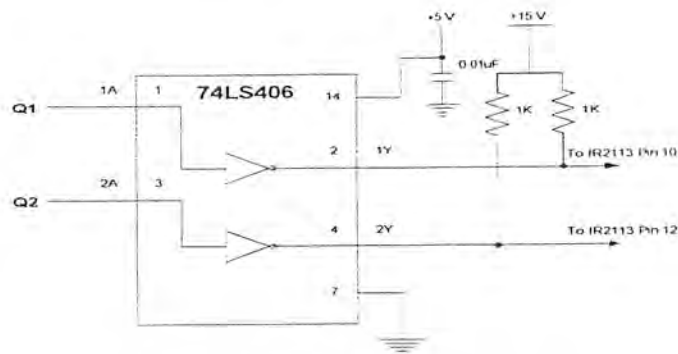


รูปที่ 4.11 แสดงวงจรแยกกราวด์โดยไอซี 6N137

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่ากราวด์ของด้านอินพุตกับด้านเอาต์พุตเป็นคนละกราวด์กัน โดยรับอินพุตที่เป็นสัญญาณ PWM ขนาดแรงดัน 4.5 โวลต์ เมื่อผ่าน 6N137 จะได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณคล้าย PWM แต่จะอินเวอร์สกับสัญญาณอินพุตและมีขนาดแรงดันเป็น 5 โวลต์

4.2.3.4 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

เอาต์พุตของวงจรแยกกราวด์มีขนาด 5 โวลต์ และอินเวอร์สกับสัญญาณที่ต้องการอยู่ ดังนั้น จึงต้องนำสัญญาณควบคุมที่มีอยู่เข้าวงจรบัฟเฟอร์เพื่ออินเวอร์ส สัญญาณควบคุมให้กลับสู่สภาพเดิมด้วยไอซีเบอร์ 74LS406 ซึ่งภายในมีน็อกเกต ดังรูปที่ 4.12

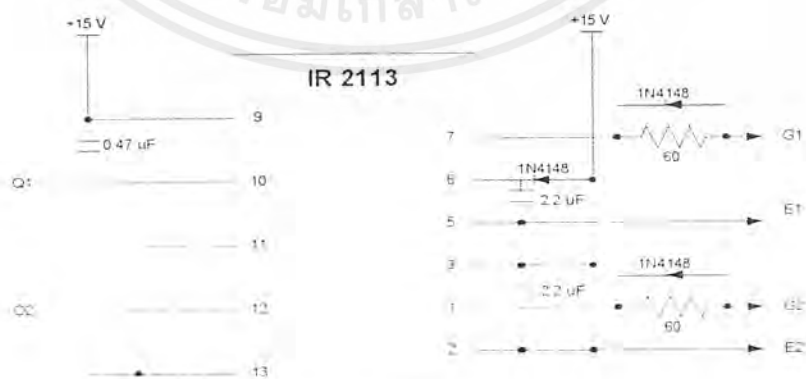


รูปที่ 4.12 แสดงวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Circuit)

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าการต่อวงจรแบบโอเพ่นคอลเลคเตอร์เพื่อขยายสัญญาณควบคุมจาก 5 โวลต์ให้เป็น 15 โวลต์ เพื่อนำเอาท์พุทที่ได้จ่ายเข้าวงจรขับ

4.2.3.5 วงจรขับเกท (Driver Circuit)

ก่อนจะนำสัญญาณควบคุมไปจ่ายให้มอสเฟตต้องผ่านวงจรขับเกท เพราะเนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากไอซี TL 494 มีกำลังในการขับมอสเฟตไม่พอ จึงต้องทำการขยายกระแสในการขับมอสเฟตโดยอาศัยวงจรขับ (Driver Circuit) โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ IR2113 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไอซีขับ (IC Driver) แบบ High- voltage MOS gate driver สามารถใช้งานในความถี่สูงได้เป็นอย่างดี โดยมีอินพุท 2 ช่อง และเอาท์พุท 2 ช่อง โดยที่เอาท์พุทที่ได้ออกมาสามารถจะแยกกราวด์ออกจากกันได้โดยใช้หลักการของ Capacitor bootstrap เพื่อขับมอสเฟต ที่ความถี่สูงโดยมีวงจรดังรูปที่ 4.13



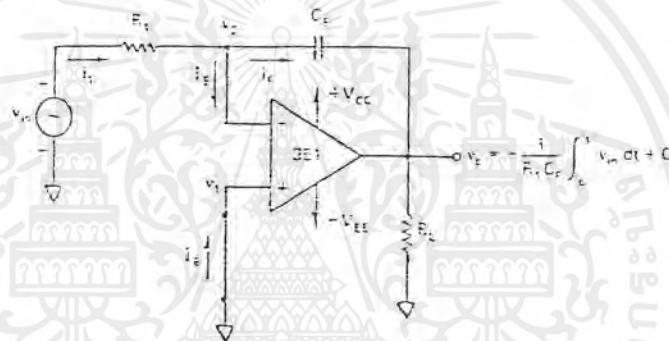
รูปที่ 4.13 แสดงวงจรขับเกท (Driver Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัญญาณ PWM ที่พร้อมจะใช้ขับเกทของมอสเฟตได้แล้ว แต่ในการป้อนสัญญาณควบคุมเพื่อขับเกททั้งสองตัวต้องระวังไม่ให้เกิดการทำงานพร้อมกันมิเช่นนั้นจะเกิดการลัดวงจรได้

4.3 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator Circuit)

วงจรพื้นฐานแสดงดังรูปข้างล่างซึ่งมีค่า R_F ต่อไว้คร่อม C_F เพื่อสำหรับค่า(Feed Back) ฟีดแบค แต่ในกรณีที่มียค่าความถี่มากๆ จะทำให้ค่า X_C มีค่าเป็น 0 ได้ เปรียบเสมือนลัดวงจร จึงต้องมีการต่อค่า R_F ไว้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรอินทิเกรเตอร์พื้นฐาน

V_o ที่ออกสามารถพิสูจน์ได้ด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ สมมติให้เป็นโหนด V_1 และ V_2 ดังรูป 4.14

$$I_1 = I_F + I_B \quad (4.2)$$

I_B มีค่าน้อยมาก ซึ่งความต้านทานทางอินพุตมีค่าสูงมาก

$$\text{ดังนั้น} \quad I_1 = I_F \quad (4.3)$$

กระแสที่ไหลผ่าน C_F

$$I_{CF} = C_F \frac{dv_c}{dt} \quad (4.4)$$

จากสมการ (4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

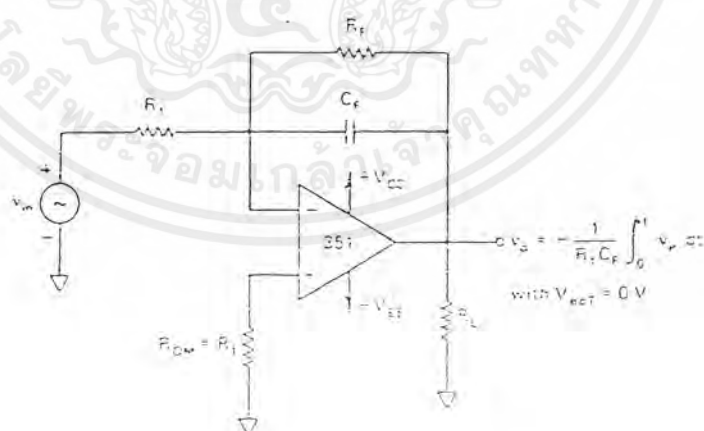
$$\frac{V_{in} - V_2}{R_1} = C_F \frac{d}{dt} (V_2 - V_0)$$

กำหนดให้ $V_1 = V_2 = 0$ เพราะว่า Z_1 สูงมาก

$$\frac{V_{in}}{R_1} = C_F \frac{d}{dt} (-V_0)$$

$$V_0 = \frac{-1}{R_1 C_F} \int V_{in} dt \quad (4.5)$$

เมื่อ $V_{in} = 0$ ในวงจรอินทิเกรเตอร์จากรูปที่ 4.14 เป็นการ open loop amplifier ค่า C_F เมื่อไม่มีความถี่ป้อนจะมีค่า ($X_{CF} = \infty$) จึงต้องมีการต่อ R_F เพื่อให้กลายเป็น close loop amplifier เมื่อไม่มีความถี่ย้อนเข้าไปและ R_F ยังช่วยลดค่าผิดพลาดทางเอาท์พุทลงด้วย จึงสามารถสร้างวงจรใหม่ดังรูปที่ 4.15

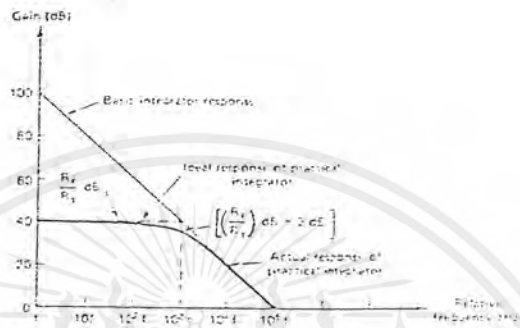


รูปที่ 4.15 วงจรอินทิเกรเตอร์ใช้งานจริง

ความถี่ตอบสนองพื้นฐานในวงจรอินทิเกรเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.15 ความถี่ F_n มีค่าเกินเป็น 0 dB โดยสามารถหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_b = \frac{1}{2\pi R_1 C_F} \quad (4.6)$$



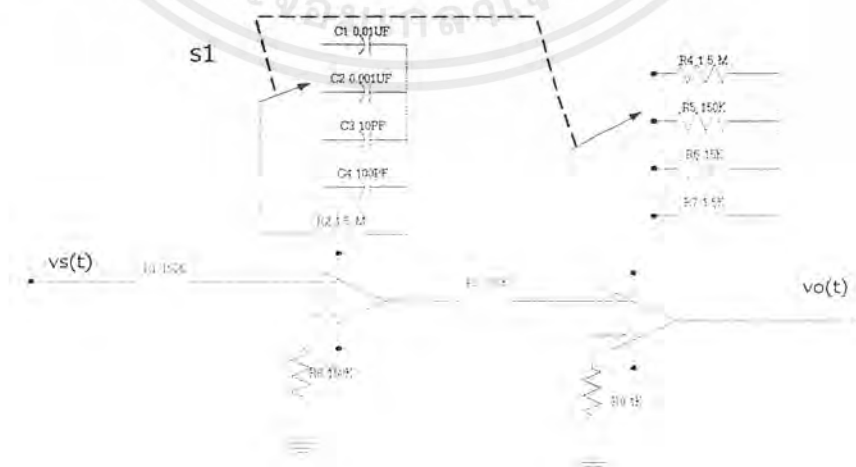
รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองของความถี่ในวงจรอินทิเกรเตอร์

4.3.1 การหาค่าอุปกรณ์ในวงจร

ค่า f_u และ $R_1 C_F$ และ $R_F C_F$ ควรจะเลือกให้ $f_u < f_b$ สำหรับตัวอย่าง ถ้า $f_u = f_b / 10$ นอกจากนั้น $R_F = 10 R_1$

$$\begin{aligned} T &= R_F C_F \\ \text{เมื่อ } R_F C_F &= 1/(2\pi f_u) \end{aligned} \quad (4.7)$$

ซึ่งสามารถออกแบบวงจร ได้ดังรูปที่ 4.17 โดย s_1 ทำหน้าที่เลือกช่วงความถี่ที่ต้องการได้



รูปที่ 4.17 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรชดเชย (Compensate Circuit)

วงจรชดเชยนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือวงจรค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B Compensate) และวงจรชดเชยความเข้มสนามแม่เหล็ก (H Compensate) ซึ่งเราได้ความสัมพันธ์ของ B(t) และ H(t) ดังนี้

$$B(t) = \frac{1}{A_m N_s} \int V_s dt \quad [Wb / m^2] \quad (4.6)$$

$$H(t) = \frac{N_p V_R}{L_m R} \quad [AT / m] \quad (4.7)$$

เมื่อ

A_m = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (m^2)

N_p = จำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิ (รอบ)

N_s = จำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ (รอบ)

4.4.1 วงจรชดเชยความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B Compensate)

จาก

$$B(t) = \frac{1}{A_m N_s} \int V_s dt \quad [Wb / m^2]$$

โดยที่ $A_m [m^2]$ N_s [รอบ]

หรือ

$$B(t) = \frac{10^{-4}}{A_m N_s} \int V_s dt \quad [Wb / m^2]$$

โดยที่ $A_m [cm^2]$ N_s [รอบ]

$$V_0 = 10^{-4} \int V_s dt \quad (4.8)$$

ซึ่งได้จากวงจรอินทิเกรเตอร์ ในรูปที่ 4.17 ดังนั้น

$$B(t) = \frac{V_0}{A_m N_s} \quad (4.9)$$

เมื่อ A_m = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (cm^2)

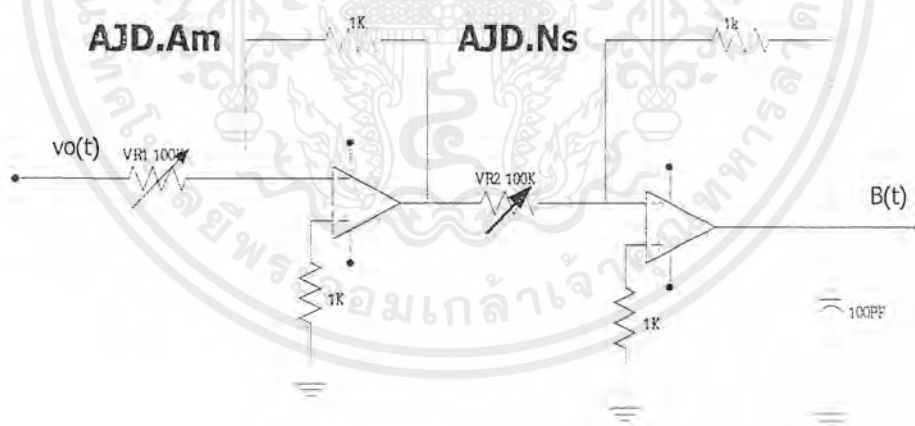
N_s = จำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ (รอบ)

จะเห็นว่า $B(t)$ ที่แท้จริงก็คือค่า V_2 ที่ถูกอินทิเกรตออกมาแล้วหารด้วยค่าของ A_m และ N_s ซึ่ง $B(t)$ มีหน่วยเป็น Wb/m^2

ในวงจรชดเชย หรือวงจรคูณ และหารค่าต่างๆ จะใช้การคำนวณแบบอนาล็อกโดยใช้โอปแอมป์ (Op Amp) ซึ่งจะมีการต่อดังรูปที่ 4.18 โดยที่ VR1 ทำหน้าที่ปรับค่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กมีหน่วยเป็น [cm^2] VR2 เป็นการปรับจำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ VR1 และ VR2 เป็นความต้านทานปรับละเอียด และนับจำนวนรอบ

โดยที่ N_s สามารถปรับชดเชยได้ตั้งแต่ 1 - 100 รอบ

A_m สามารถปรับชดเชยได้ตั้งแต่ 1 - 100 cm^2



รูปที่ 4.18 วงจรชดเชยค่า B

4.4.2 วงจรชดเชยความเข้มสนามแม่เหล็ก (H Compensate)

จาก

$$H(t) = \frac{N_p V_R}{L_m R} \quad [AT / m]$$

แต่ $R = 1 \Omega$ ดังนั้น

$$H(t) = \frac{N_p V_R}{L_m (1)} \quad [AT / m]$$

$$H(t) = \frac{N_p V_R}{L_m} \quad [AT / m]$$

$$H(t) = \frac{N_p V_R}{L_m R} \quad [AT / m] \quad (4.10)$$

หรือ

เมื่อ $N_p =$ จำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิ (รอบ)
 $L_m =$ ความยาวของแกนเหล็ก (cm)

ดังนั้นสามารถออกแบบวงจร H COMPENSATE ได้ดังรูป 4.18 โดยที่

VR3 ปรับค่าความยาวของแกนเหล็กมีหน่วยเป็น cm

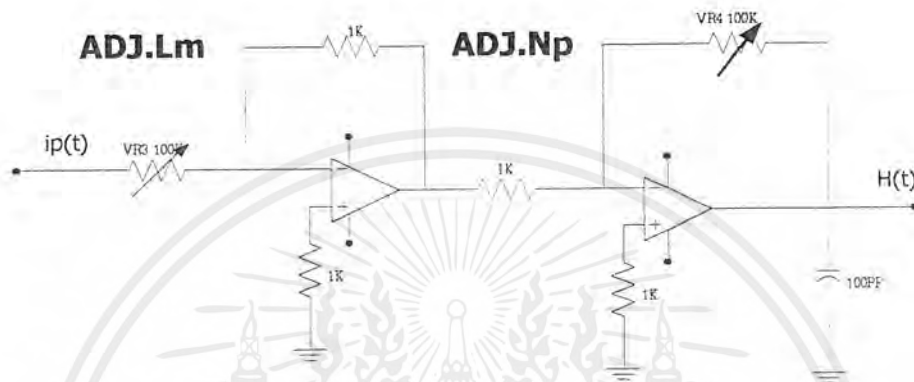
VR4 ปรับจำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิมิหน่วยเป็น รอบ

ซึ่ง $H(t)$ มีหน่วยเป็น AT/cm ถ้าจะทำให้หน่วยเป็น AT/m ต้องคูณด้วย 100 จะเห็นว่าค่า $H(t)$ ที่แท้จริงคือ V_s คูณด้วย N_p แล้วหารด้วย L_m ในวงจรชดเชยจะใช้การชดเชยแบบการคำนวณทางอนาล็อกโดยใช้ Op amp มีวงจรดังรูปที่ 4.18

โดยที่ N_p สามารถปรับชดเชยได้ตั้งแต่ 1 – 100 รอบ

L_m สามารถปรับชดเชยได้ตั้งแต่ 1 – 100 cm

ฉะนั้นจะได้ค่าของ $H(t)$ เป็น AT/cm.



รูปที่ 4.19 วงจรขดเชยค่า H

4.5 การอินเทอร์เฟสเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง

4.5.1 ไอซี 8255 พอร์ตข้อมูลแบบขนาน

การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ จะต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น สวิตช์รีเลย์ หรือตัวตรวจจับอื่นๆ การเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุทเอาต์พุท เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นและสามารถตรวจสอบได้ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เอง

การเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุทที่ง่ายที่สุดคือ การเชื่อมต่อโดยตรงโดยใช้ลอจิกเกต 3 สถานะ โดยสัญญาณควบคุมพอร์ตอินพุทจะเป็นตัวไปเปิดเกตให้ข้อมูลเข้าสู่บัสและไมโครโปรเซสเซอร์จะอ่านเข้าไป แต่สำหรับพอร์ตเอาต์พุทจะใช้แลตช์ฟลิปฟล็อป ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลจากไมโครโปรเซสเซอร์ที่ส่งเข้าไปในบัสข้อมูลและได้รับการจับไว้ที่พอร์ตในขณะที่มีสัญญาณควบคุมพอร์ตที่มาจากแลตช์

พอร์ตอินพุทเอาต์พุทที่ใช้เกตขนาดเล็กดังกล่าว มีจุดอ่อนในเรื่องของจำนวนไอซีซึ่งอาจจะต้องใช้หลายชิป(ถ้าต้องการหลายพอร์ต) และยากที่จะกำหนดลักษณะการทำงานให้แตกต่างกันไปจากจำนวนวงจรเดิมที่ออกแบบไว้ บริษัทที่ออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่ออกแบบส่วนใหญ่จึงออกแบบ LSI เพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุทเอาต์พุทของระบบซึ่งมีข้อดีในการใช้งานได้ง่ายในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ท B และพอร์ท C โดยพอร์ท C แยกเป็นสองส่วน คือ พอร์ท C ล่างหรือตั้งแต่ $PC_0 - PC_3$ มีจำนวน 4 บิตและพอร์ท C บน หรือตั้งแต่ $PC_4 - PC_7$ ที่พิเศษคือ พอร์ททุกพอร์ทเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุตและเอาต์พุต

ขาต่างๆของ 8255 เพื่อให้เข้าใจวิธีการต่อใช้งานระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์ กับ 8255 จึงจำเป็นต้องเข้าใจความหมายและตำแหน่งขาต่างๆเสียก่อน ขาทั้ง 40 ขาของไอซีประกอบด้วย

$D_0 - D_7$ เป็นขาที่ข้อมูลอินพุตเอาต์พุตจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ $D_0 - D_7$ จึงต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโพรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพรเซสเซอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ทผ่านทางบัสนี้ได้

CS (สัญญาณเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุตที่จะได้รับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น “0” จะทำให้ 8255 ค่อยเข้ากับระบบบัสของไมโครโพรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพรเซสเซอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ทได้

RD (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุตที่ต้องส่งมาจากชิพยูเมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น “0” และสัญญาณ CS เป็น “0” ด้วยไอซี 8255 จะทำตัวให้ชิพยูอ่านข้อมูลอ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ทอินพุต

WR (สัญญาณการเขียน) จะแอกทีฟเมื่อมีสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น “0” สัญญาณนี้จะมาจากชิพยูเมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ทที่กำหนด

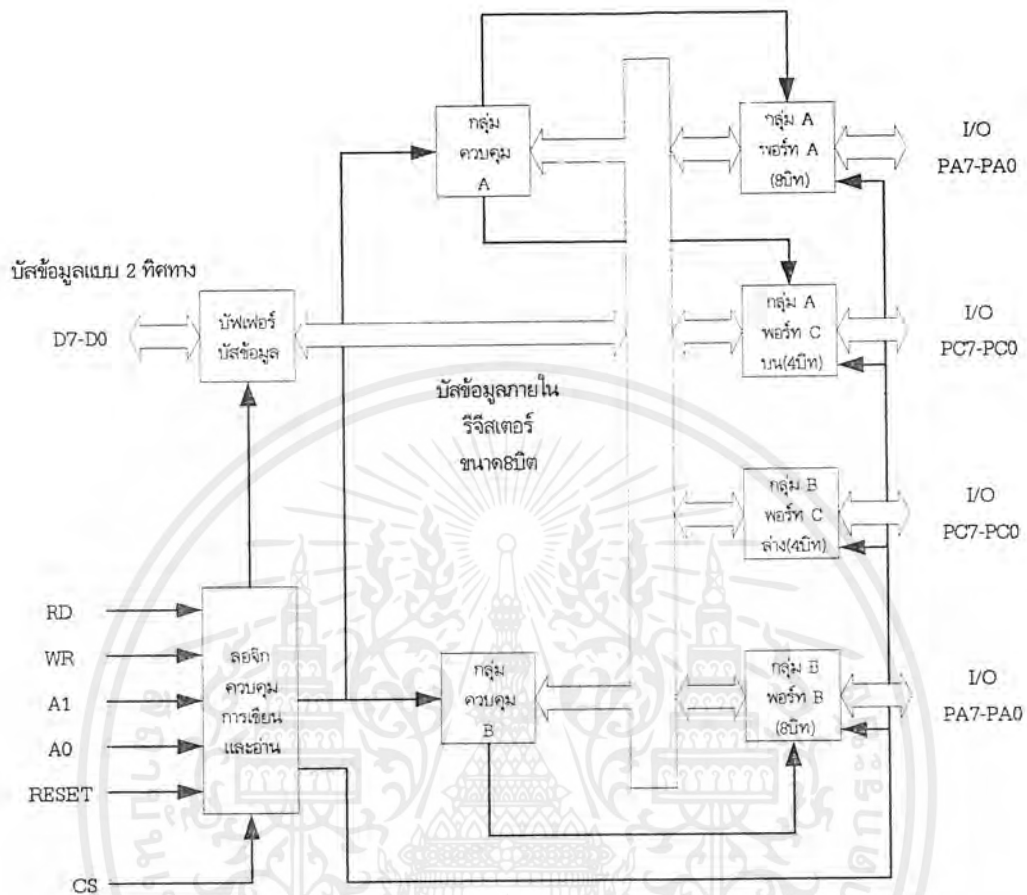
$A_0 - A_7$ (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัสเพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ทอินพุตเอาต์พุตของ 8255

RESET (สัญญาณรีเซต) เป็นสัญญาณที่ส่งจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆ ของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซต ก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุตหรือทุกพอร์ทที่เป็นพอร์ทอินพุต

$PA_0 - PA_7$ เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ทของ 8255 ที่ชื่อพอร์ท A การเลือกชิปพอร์ทจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส $A_0 - A_1$

$PB_0 - PB_7$ เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท B ของ 8255 ซึ่งถูกเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส $A_0 - A_1$

$PC_0 - PC_7$ เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท C ของ 8255 การกำหนดพอร์ทนี้ จะได้รับการกำหนดโดยสัญญาณแอดเดรส $A_0 - A_1$ พอร์ท C นี้จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม $PC_0 - PC_3$ และกลุ่ม $PC_4 - PC_7$



รูปที่ 4.20 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

เมื่อต่อ 8255 เข้ากับไมโครโพรเซสเซอร์ได้แล้ว สิ่งที่ใช้จะต้องทำคือ การโปรแกรมให้ 8255 ทำงานตามที่ต้องการ จากการที่ 8255 มีพอร์ทที่ไมโครโพรเซสเซอร์มองเห็น 4 พอร์ท แต่ละพอร์ทจะเสมือนเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเขียนและอ่านได้ รีจิสเตอร์แต่ละตัวจึงถูกกำหนด ด้วยแอดเดรสตามที่ดังไว้ เช่นในการที่เป็นแอดเดรส 10H, 11H, 12H และ 13H รีจิสเตอร์แต่ละ ตัวจะได้รับการกำหนดควบคุมกับสัญญาณ RD และ WD เพื่อแสดงความหมายตัวอย่างเช่น พอร์ท 10H เป็นพอร์ท A ซึ่งเมื่อเขียนที่พอร์ทนี้ จะเป็นการส่งข้อมูลเอาต์พุต และถ้าอ่านพอร์ทนี้ก็จะ เป็นการอินพุตข้อมูลจากพอร์ท ดังนั้นสัญญาณของขาควบคุมที่ประกอบกันจะแสดงความหมาย ต่างๆดังตารางที่ 4.1

RD	WR	A1	A0	ความหมาย
1	0	0	0	เขียนพอร์ท A ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	0	อ่านพอร์ท A ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	0	1	เขียนพอร์ท B ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	1	อ่านพอร์ท B ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	1	0	เขียนพอร์ท C ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	1	0	อ่านพอร์ท C ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	1	1	เขียนข้อมูลซึ่งเป็นรหัสควบคุม
0	1	1	1	อ่านเข้ามาซึ่งไม่มีความหมาย

ตารางที่ 4.1 สัญญาณควบคุมการทำงานของ 8255

การใช้งาน 8255 จะต้องส่งรหัสควบคุม (Control Code) เข้าไปยังพอร์ทข้อมูลควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของ 8255 โดยใช้สัญญาณควบคุมพอร์ทหมายเลข 13H การควบคุมการทำงานของ 8255 มีหลายโหมด แต่ละโหมดจะแตกต่างกันออกไป การโปรแกรมให้ 8255 ทำงานจะทำได้ 3 โหมดคือ โหมด 0 โหมด 1 โหมด 2 แต่ในโครงงานนี้ใช้โหมด 0

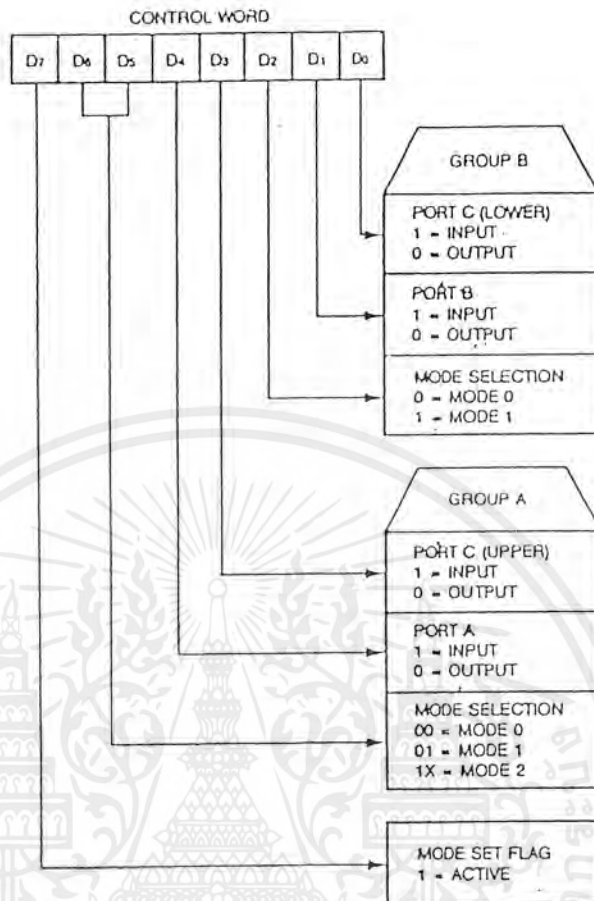
4.5.1.1 โหมด 0 หรืออินพุทเอาต์พุทแบบพื้นฐาน

การกำหนดโหมดการทำงาน จะต้องส่งข้อมูลคำสั่งเข้าไปโปรแกรมในพอร์ทควบคุมของ 8255 แต่ละบิตของข้อมูลที่ส่งไปจะมีความหมายในตัวเอง ลักษณะความหมายของแต่ละบิตในรหัสควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

การโปรแกรม 8255 คือการให้ค่ารหัสบิตต่างๆ เข้าไปในรหัสการควบคุมแล้วส่งไปยังรีจิสเตอร์ของพอร์ทควบคุม ความหมายของบิตต่างๆมีดังนี้

บิต D_7 เป็นบิตที่แสดงรหัสคำสั่งควบคุม ถ้าบิตนี้เป็น “1” หมายถึงรหัสควบคุมนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเซตโหมดต่างๆของ 8255

บิต D_6 และ D_5 เป็นการเลือกโหมดของพอร์ท A ซึ่งมี 3 โหมดคือ โหมด 0 โหมด 1 และ โหมด 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความหมายของบิตต่างๆ ในรหัสควบคุม

บิต D_4 ถ้ามีค่าเป็น “0” หมายถึงการกำหนดพอร์ท A เป็นเอาต์พุตถ้ามีค่าเป็น “1” จะหมายถึงการกำหนดให้พอร์ท A เป็นอินพุต

บิต D_3 เป็นบิตที่บอกถึงการเซตของพอร์ท C บน ถ้าเป็น “0” จะทำให้พอร์ท C บนเป็นเอาต์พุต

บิต D_2 เป็นบิตที่บอกถึงภาวะการเซตโหมดของพอร์ท B ถ้าเป็น “0” หมายถึงการเลือกพอร์ท B เป็นโหมด 0 และถ้าเป็น “1” หมายถึงการเลือกโหมด 1

บิต D_1 เป็นการกำหนดอินพุตเอาต์พุตของพอร์ท B ถ้าเป็น “0” หมายถึงเอาต์พุตถ้าเป็น “1” หมายถึงอินพุต

การทำงานในโหมด 0 โหมด 0 เป็นโหมดที่กำหนดให้พอร์ททุกพอร์ทบนตัว 8255 เป็นพอร์ทอินพุตเอาต์พุตแบบพื้นฐาน รูปแบบความเป็นไปได้จึงมีทั้งสิ้น 16 รูปแบบตามลักษณะของพอร์ท A พอร์ท B พอร์ท C บน และ พอร์ท C ล่าง ลักษณะของรหัสควบคุมแต่ละแบบจึงเป็นดังตาราง 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส ควบคุม	D ₇D ₀	PORT A	PORT B	PORT C(PC ₇ -PC ₄)	PORT C(PC ₃ -PC ₀)
0	10000000	OUT	OUT	OUT	OUT
1	10000001	OUT	OUT	OUT	IN
2	10000010	OUT	IN	OUT	OUT
3	10000011	OUT	IN	OUT	IN
4	10001000	OUT	OUT	IN	OUT
5	10001001	OUT	OUT	IN	IN
6	10001010	OUT	IN	IN	OUT
7	10001011	OUT	IN	IN	IN
8	10010000	IN	OUT	OUT	OUT
9	10010001	IN	OUT	OUT	IN
10	10010010	IN	IN	OUT	OUT
11	10010011	IN	IN	OUT	IN
12	10011000	IN	OUT	IN	OUT
13	10011001	IN	OUT	IN	IN
14	10011010	IN	IN	IN	OUT
15	10011011	IN	IN	IN	IN

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่างๆ ในโหมด 0

4.5.2 การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card)

จากที่ได้กล่าวถึง 8255 และเทคนิคการดีโค้ดแบบต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว การที่จะต่อ 8255 เข้ากับคอมพิวเตอร์ IBM PC/AT นั้นก็สะดวกยิ่งขึ้นเพียงแค่สร้างวงจรชุดดีโค้ดแอดเดรสให้แก่ 8255 เท่านั้น การที่จะให้ใช้งานได้สะดวกจึงใช้การดีโค้ดแบบเปลี่ยนแอดเดรสได้จึงเลือกใช้อุปกรณ์การดีโค้ด 2 ชนิดเข้าช่วยคือ DIP SWITCH และ IC 74LS68 ไอซีตัวนี้ทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบสัญญาณว่าเหมือนกันหรือไม่โดยสามารถเปรียบเทียบได้ 8 คู่ โดยอินพุตแต่ละคู่จะอยู่ที่ขา P และ G เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณอินพุตตรงกัน จะให้เอาต์พุตที่ขา 19 เป็น “0” ขาที่ 19 ของ 74LS68 จะถูกต่อเข้ากับขา CS ของ 8255 และเมื่อสัญญาณอินพุตไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

74LS688 ให้เอาท์พุทออกมาเป็น “ 1 “นอกจากนี้ 74LS688 ยังถูกควบคุมการทำงานโดย คอมพิวเตอร์ โดยจะนำสัญญาณ AEN มาต่อเข้ากับขาที่ 1 ของ 74LS688 จะแอสติฟที่ลอจิก “ 0 “ การทดสอบและวงจรการทำงาน เราศึกษาโครงสร้างและการทำงานของ 8255 ไปแล้วต่อไป นี้เราจะกล่าวถึงการนำ 8255 อินเตอร์เฟสกับ IBM/AT ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้งานรวมถึงรายละเอียดของ อุปกรณ์ที่ใช้และแผ่นลายวงจรในการอธิบายจะอธิบายเป็นส่วนๆดังนี้

1. วงจรดีโค้ด

2. ส่วนของ Ship Support

4.5.2.1 วงจรดีโค้ด

ไอซีที่เรานำมาดีโค้ดเป็น IC 74LS688 จะทำการดีโค้ดสัญญาณต่างๆจากสล็อตของ IBM PC มาใช้เพื่อเลือกแอสเตอร์ให้กับ 8255 สัญญาณที่นำมาใช้ในการดีโค้ดมี A0 - A9 แต่ 8255 ต้องการสัญญาณจาก A0 และ A1 ไปควบคุมรีจิสเตอร์ภายในตัวมันดังนั้นสัญญาณ แอสเตอร์ ที่เรานำมาใช้จึงมีแค่ A3 - A9 เท่านั้นส่วน A0 - A1 ถูกต่อเข้าไปที่ขาของ 8255 โดยตรง (ขา 9,8)

การดีโค้ดนั้นใน IBM PC นั้นมีด้วยกัน 2 ชนิด

1. การดีโค้ดหน่วยความจำ

2. การดีโค้ดพอร์ท

การดีโค้ดหน่วยความจำไม่ขอกล่าวถึงเพราะปริยญาณิพนธ์นี้ใช้การอินเตอร์เฟสพอร์ทเท่านั้น การดีโค้ดพอร์ทจะเลือกแอสเตอร์ที่จะใช้ก่อน การดีโค้ดนี้ใช้แอสเตอร์ 10 บิต (A0 - A9) เข้ามาทำการดีโค้ดส่วนตำแหน่ง A10 - A15 นั้นไม่นำมาใช้จากรูปที่ 4.25 เป็นการแสดงวงจรดีโค้ดของอินเตอร์เฟส 8255 สังเกตได้ว่าเรานำสัญญาณ A0 - A9, AEN, IOR, IOW, RESET มาใช้เท่านั้น ส่วนสัญญาณอื่นไม่นำมาใช้เช่น IOCS16, SBHE เพราะใช้ 8255 เพียงตัวเดียวส่งข้อมูล 8 บิต

การทำงานของ 74LS688 นั้นรายละเอียดของขาต่างๆได้อธิบายไว้แล้วในตอนต้น ไอซีตัวนี้จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุท 2 ส่วนคือ P0 - P7 และ Q0 - Q7 จะให้เอาท์พุทออกมาเป็น “ 0 “ เมื่อ $P = Q$ สัญญาณ Q จะถูกต่ออยู่กับ Dip Switch ในการเลือกแอสเตอร์ของการ์ดเลือกโดยเซตสวิทช์ ตัวอย่างเช่นในปริยญาณิพนธ์นี้จะใช้แอสเตอร์ช่วง 300 - 31FH เมื่อมีแอสเตอร์ค่า 300H มาเข้าที่อินพุทของ 74LS688 (P) ที่ขา 19 ของ 74LS688 ให้เอาท์พุท “ 0 “ ทำให้ CS ของ 8255 เป็น “ 0 “ 8255 ก็จะต่อคาต้าบัสเข้ากับคาต้าบัสของคอมพิวเตอร์ สำหรับแอสเตอร์ที่ใช้ในที่นี้มี 4 แอสเตอร์คือ

300H ควบคุมการทำงานของพอร์ท A

301H ควบคุมการทำงานของพอร์ท B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

302H ควบคุมการทำงานของพอร์ท C

303H ตั้ง Control Word ให้กับ 8255

4.5.2.2 วงจรการต่อชิปพัชพอร์ท 8255

ทฤษฎีการทำงานของ 8255 ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 8255 จะต่อเข้ากับชุดดีโอด เพื่อเลือกให้ 8255 ทำงาน เมื่อแอดเดรสตรงกับที่เซตไว้ 74LS688 จะให้เอาต์พุตเป็น “0” ทำให้ CS เป็น “0” ด้วยค่าต่ำบัสของ IBM PC จะเชื่อมกับค่าต่ำบัสของ 8255 และสามารถอ่านและเขียนข้อมูลบน 8255 ได้

การใช้งาน 8255 Interface Card การตั้งแอดเดรสนั้นจะเห็นได้ว่าบิต A8 และ A9 ต้องเป็น “1” และจะนำ A0, A1 8255 นำไปใช้ในการ SET Control Word เช่น port A ทำงานเป็น “00” และ port B เป็น “01” port C เป็น “10” ตั้ง Control Word เป็น “11”

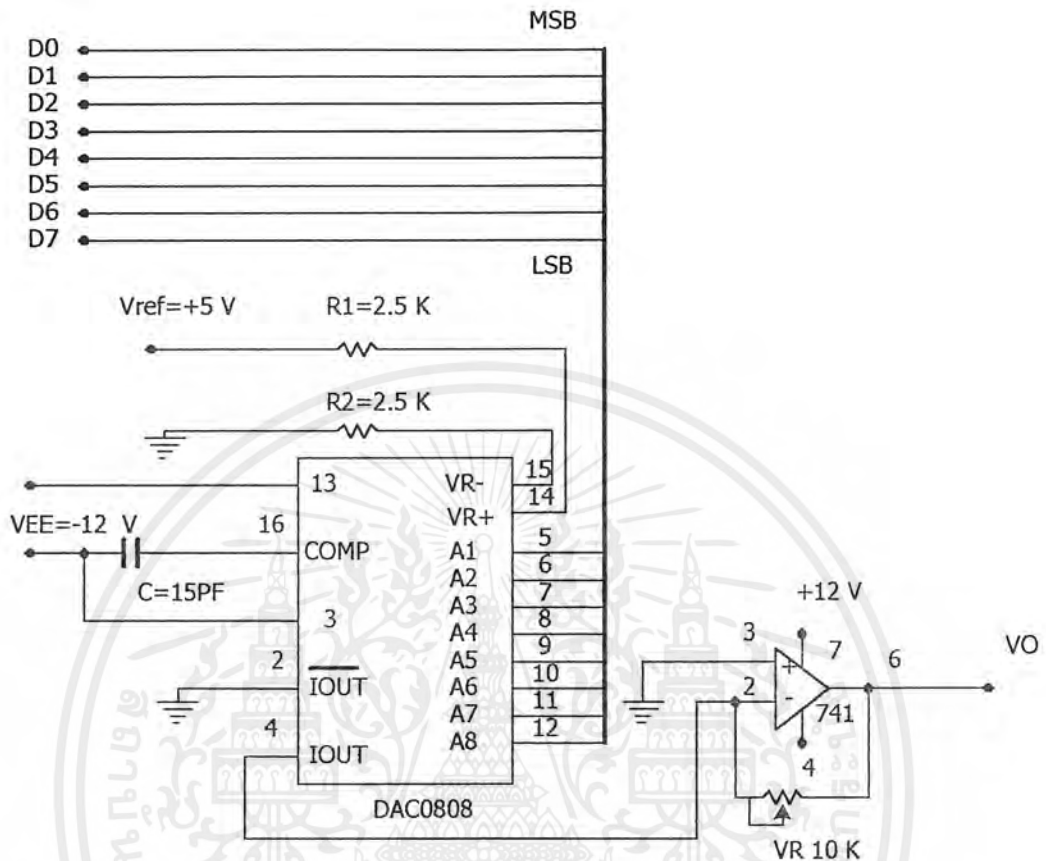
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
1	1	0	0	0	0	0	0	X	X

4.5.3 การทำงานของวงจรดีทูเอ (Digital to Analog) ที่ใช้ในโครงการ

เมื่อสัญญาณ $D_0 - D_7$ มาจากพอร์ท A และพอร์ท B ของพอร์ท 8255 สัญญาณ $D_0 - D_7$ จะผ่านวงจรดีทูเอ (D/A) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกดังรูปที่ 4.22

$$V_0 = V_{ref} (A1/2 + A2/4 + \dots A8/256) \quad (4.11)$$

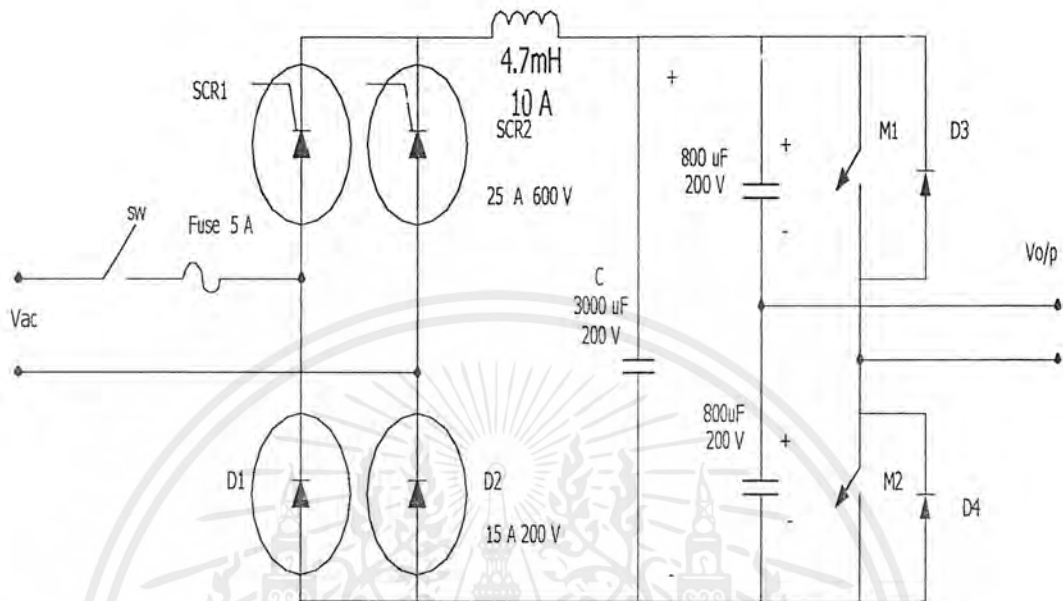
V_0 ที่ได้จะมีค่าเป็นลบ (ขา4) เพื่อปรับเกนและปรับเป็นไฟบวกโดยใช้วงจร Inverting จะได้ V_0 ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 10 โวลต์



รูปที่ 4.22 แสดงวงจรดีทูเอ (Digital to Analog)

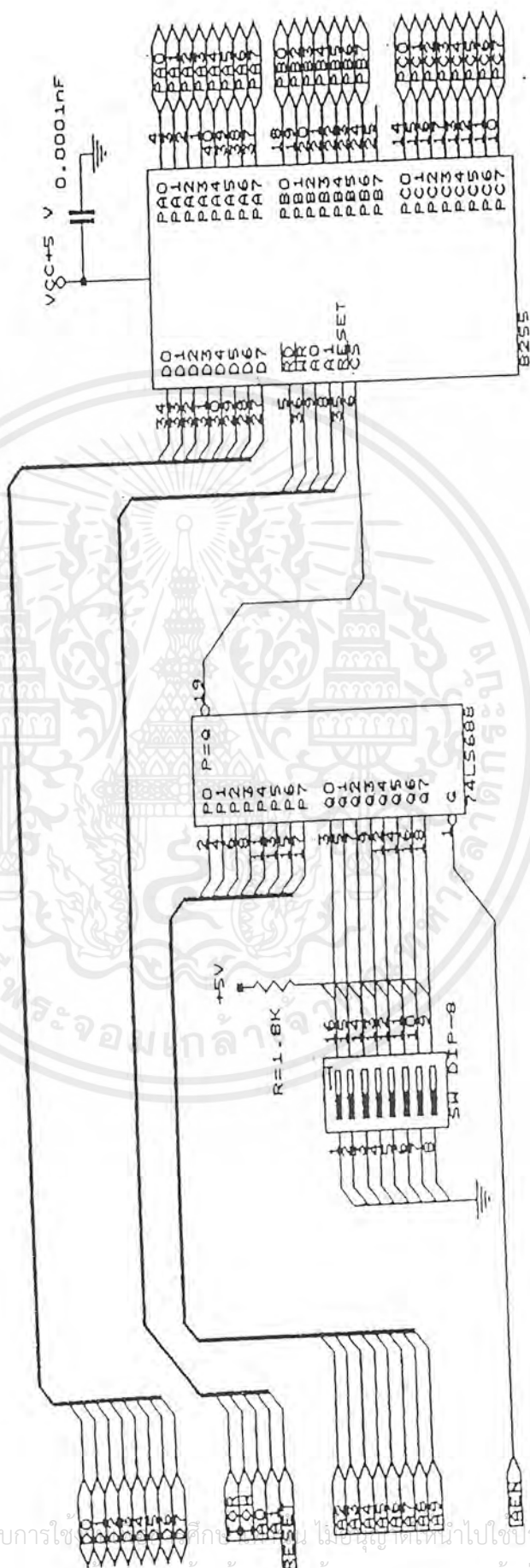
4.6 ปลั๊กไดอะแกรมในเครื่องวัด B – H Curve ของแกนเฟอร์ไรต์

จุดประสงค์ของโครงการนี้ คือสามารถสร้างเครื่องวัด B – H Curve เพื่อใช้วัด B – H Curve ของวัสดุแม่เหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรต์ที่มีความถี่สูงโดยมีรูปวงจรในการวัดดังรูปที่ 4.23 โดยที่สัญญาณที่นำไปกระตุ้นแกนเฟอร์ไรต์จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ความถี่สูง



รูปที่ 4.24 แสดงวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นของเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.25 แสดงวงจรสมมูลของการคัด 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

5.1 วิธีการทดลอง

ในการทดลองของโครงการนี้ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อหลักๆดังนี้

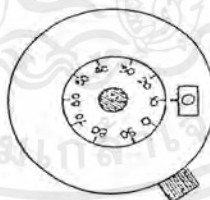
5.1.1 การพันขดลวดลงบนแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำการทดสอบ

ในการพันขดลวดบนหม้อแปลงเพื่อใช้ในการทดสอบสามารถควรจะพันในลักษณะสมมาตร ถ้าการพันไม่สมมาตรจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) และจะทำให้การกระตุ้นไม่เพียงพอซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำในด้านขดลวดทุติยภูมิ

5.1.2 การปรับค่าและการชดเชยค่าพารามิเตอร์

ในการชดเชยค่าต่างๆเพื่อให้ค่าที่ถูกต้องซึ่งในที่นี้จะมีการชดเชยค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

5.1.2.1 การชดเชยจำนวนรอบของขดลวดที่ใช้ในการพันหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิสามารถทำได้โดยการหมุน N_p ADJ. และ N_s ADJ. ตามจำนวนรอบของการพันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ เช่นถ้าพันหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจำนวน 26 รอบในการทดสอบก็ทำการหมุน N_p ADJ. และ N_s ADJ. ไปที่ตำแหน่งเลข 26 ของหน้าปัดของเครื่องวัด ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 5.1 แสดงเคาท์เตอร์(Counter)ที่ใช้ในการชดเชยรอบขดลวด

5.1.2.2 การชดเชยความยาวและพื้นที่หน้าตัดของหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ สามารถทำได้โดยการหมุน L_m ADJ. และ A_m ADJ. ตามค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลง เช่นความยาวของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบได้มีค่าเท่ากับ 13 เซนติเมตร ก็ทำการหมุน L_m ADJ. ให้ตัวเลขที่แสดงบนช่องสี่เหลี่ยม 1 และหมุนตัวเคาท์เตอร์ให้เลข 30 อยู่ตรงเครื่องหมายขีดดังรูปที่ 5.1

5.1.3 วิธีการวัดค่า B-H Curve ของแกนเฟอร์ไรต์มีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อทำการพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite) ที่ใช้ในการทดสอบค่า B-H Curve แล้วให้ทำการตรวจหาขั้ว ของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ
2. ทำการกำหนดความถี่ที่จะใช้ในการทดสอบซึ่งในโครงงานกำหนดความถี่ที่ 2 kHz แล้วทำการชดเชยค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ เช่น ความยาวของแกนหม้อแปลง (L_m) วัดเป็นหน่วย cm พื้นที่หน้าตัดของหม้อแปลง (A_m) วัดเป็นหน่วย cm^2 และจำนวนรอบของการพันหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิทุติยภูมิ (N_p, N_s)
3. ทำการเลือกช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบโดยการปรับเลือกช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบที่หน้าปัดของโครงงาน
4. ทำการจ่ายสัญญาณกระตุ้นซึ่งเป็นสัญญาณรูป Square Wave ของ PWM Inverter เพื่อใช้ในการกระตุ้น (Excitation) หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ จากแรงดันไฟฟ้าต่ำๆ แล้วทำการอ่านค่า V_{Peak} ของสัญญาณ $B(t)_{max}$ และ $H(t)_{max}$ ในแต่ละระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น ไปจนกระทั่งหม้อแปลงเกิดการอิ่มตัว ค่า $B(t)_{max}$ ที่อ่านจาก Oscilloscope จะมีหน่วยเป็น Wb/m^2 โดยการอ่านค่า V_{Peak} ของสัญญาณ $B(t)$ ส่วนค่า $H(t)_{max}$ ที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น AT/cm ดังนั้นต้องคูณด้วย 100 เพื่อให้มีหน่วยเป็น AT/m ซึ่งในโครงงานนี้จะทำการอ่านทางซีกบวกของสัญญาณทั้งสอง

5.2 ผลการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์

5.2.1 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2E6

พารามิเตอร์ของแกน EE- 42×20

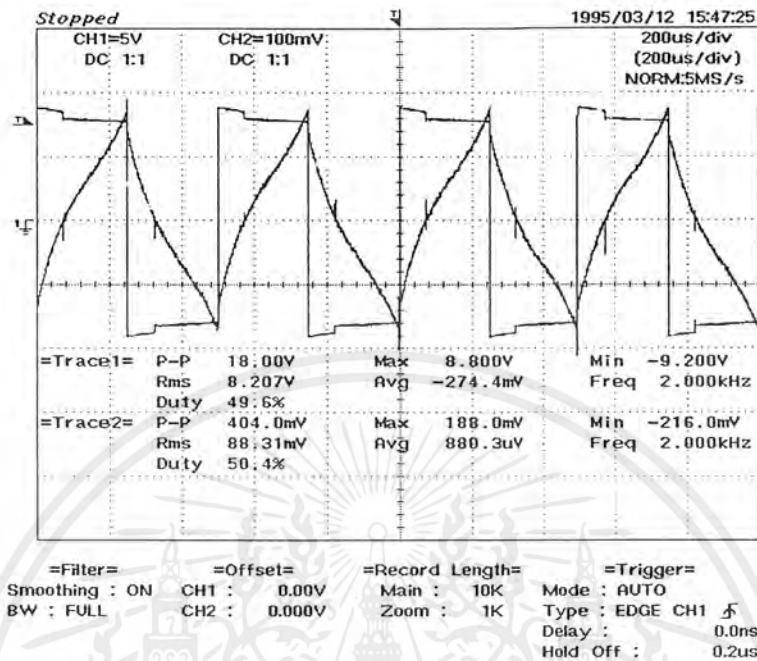
$$C_i = 0.41 \quad (mm^{-1})$$

$$A_m = 234.7 \quad (mm^2)$$

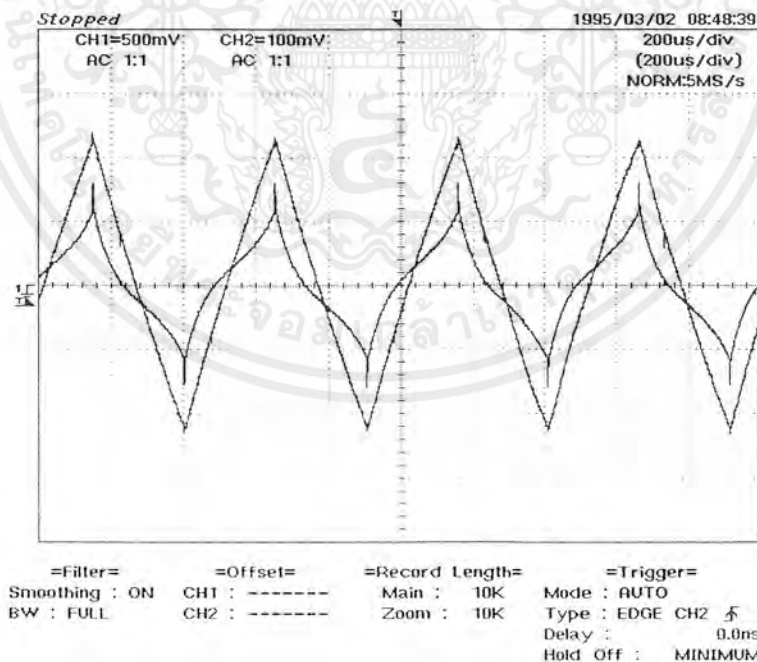
$$L_m = 97.2 \quad (mm)$$

$$N_p = 26 \quad \text{รอบ}$$

$$N_s = 26 \quad \text{รอบ}$$

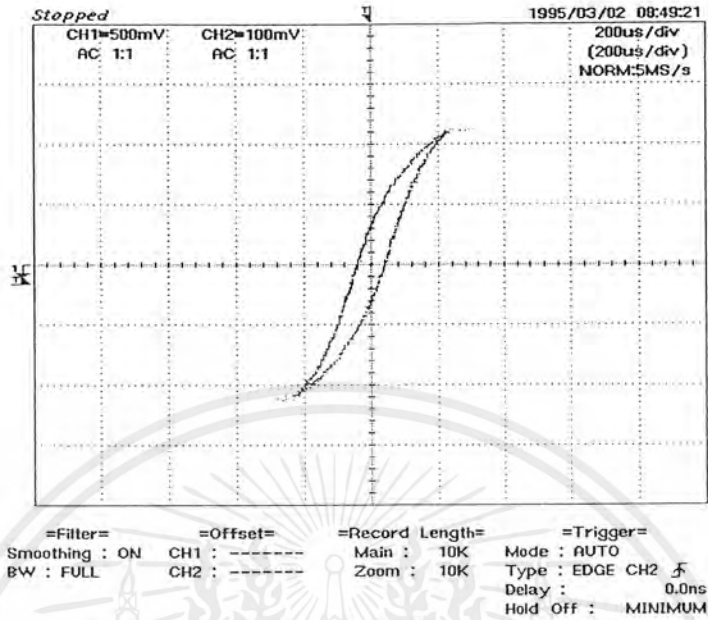


รูปที่ 5.2 แสดงรูปสัญญาณ $v_s(t)$, $i_p(t)$ ของเนื่อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.3 แสดงรูปสัญญาณ $B(t)$ และ $H(t)$ ของเนื่อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



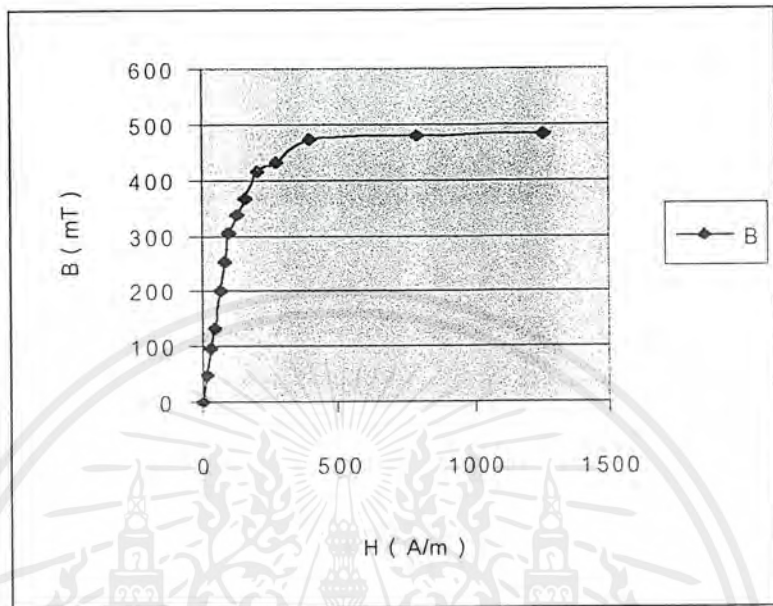
รูปที่ 5.4 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2 kHz

$H(t)_{\max}$ (A/m)	$B(t)_{\max}$ (mT)
0	0
16	48
29	96
43	132
67	200
84	252
101	304
130	336
164	368
204	416
272	432
400	472
790	480
1260	484

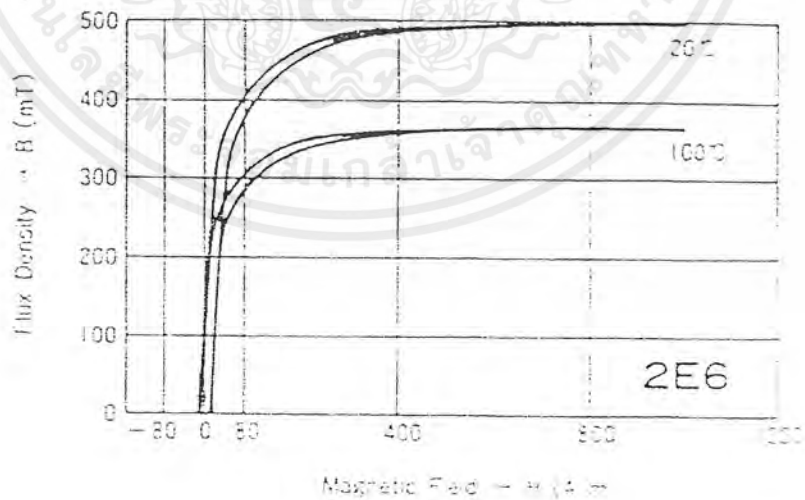
ตารางที่ 5.1 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสาร

ชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดง B – H Curve ของเนื้อสารชนิด 2E6 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.6 แสดง Datasheet B – H Curve ของเนื้อสารชนิด 2E6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2F1

พารามิเตอร์ของแกน TR 40×27×15

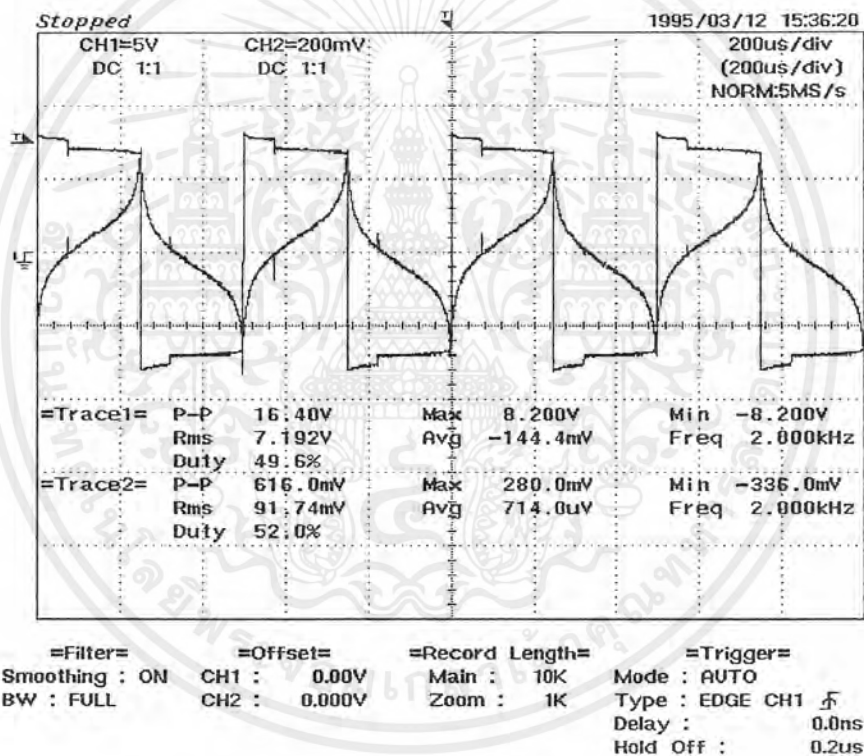
$$C_1 = 1.08 \quad (\text{mm}^{-1})$$

$$A_m = 95.3 \quad (\text{mm}^2)$$

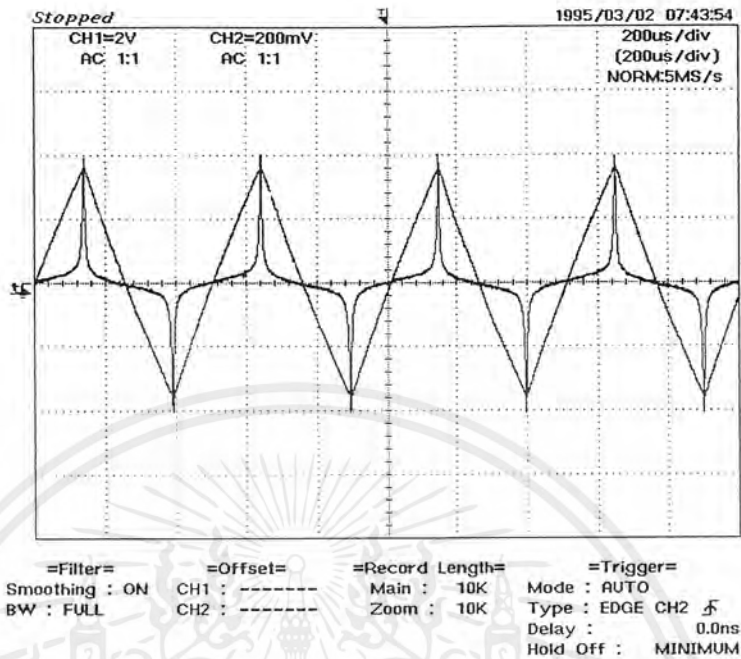
$$L_m = 103 \quad (\text{mm})$$

$$N_p = 30 \quad \text{รอบ}$$

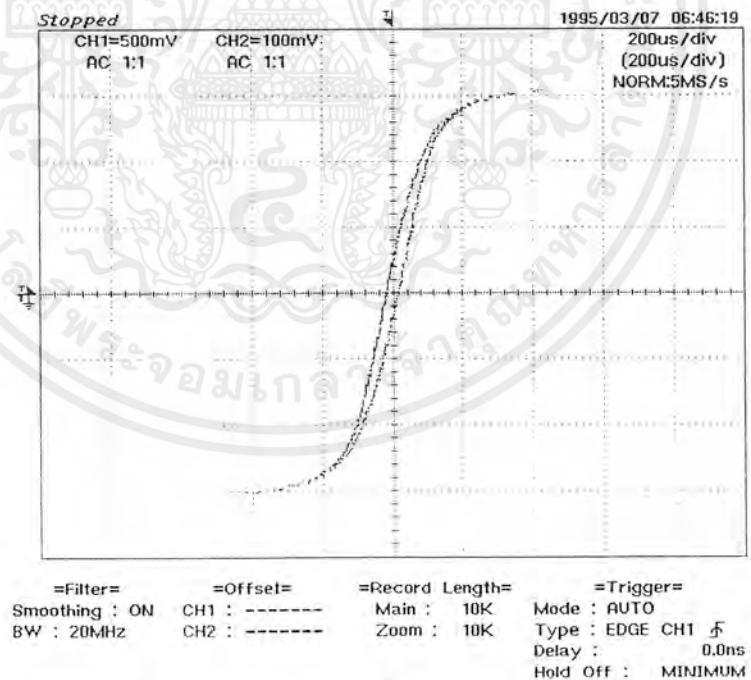
$$N_s = 30 \quad \text{รอบ}$$



รูปที่ 5.7 แสดงรูปสัญญาณ $v_s(t)$, $i_p(t)$ ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณ $B(t)$ และ $H(t)$ ของแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2 kHz

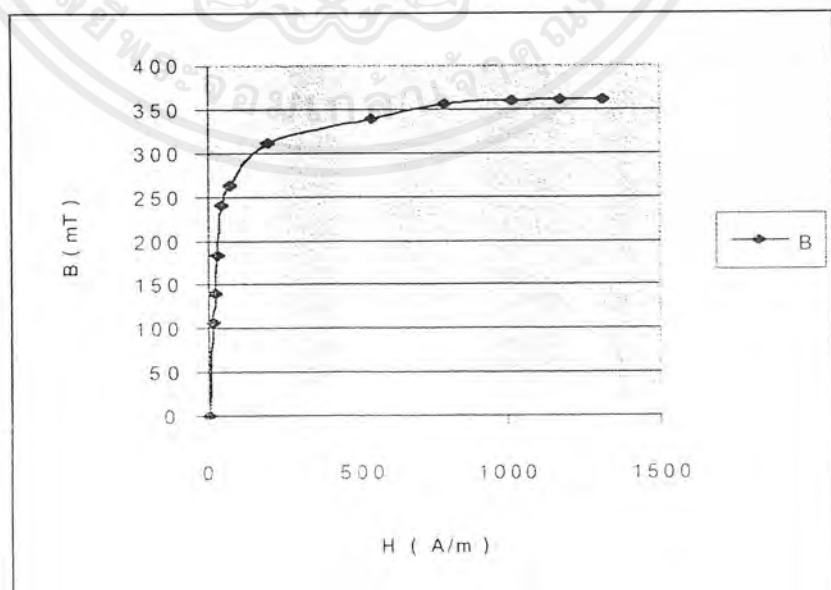


รูปที่ 5.9 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

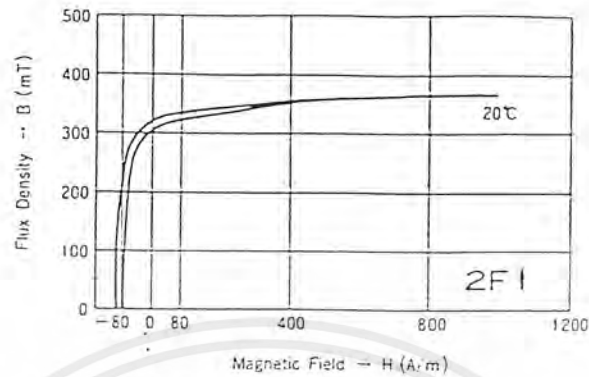
$H(t)_{\max}$ (A/m)	$B(t)_{\max}$ (mT)
0	0
16	108
22	140
30	184
40	240
70	312
192	340
540	356
780	360
1010	362
1170	362
1310	362

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์
เนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.10 แสดง B - H Curve ของเนื้อสารชนิด 2F1 ที่ความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดง Datasheet B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 2F1

5.2.3 การทดสอบแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 6H20

พารามิเตอร์ของแกน EE- 42×20

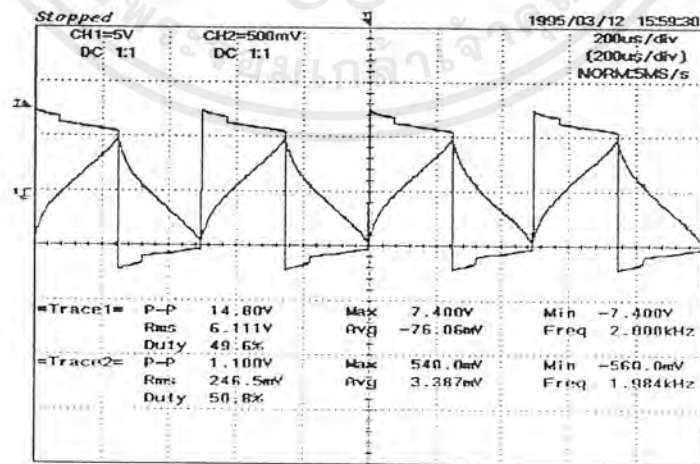
$$C_l = 0.41 \quad (\text{mm}^{-1})$$

$$A_m = 234.7 \quad (\text{mm}^2)$$

$$L_m = 97.2 \quad (\text{mm})$$

$$N_p = 26 \quad \text{รอบ}$$

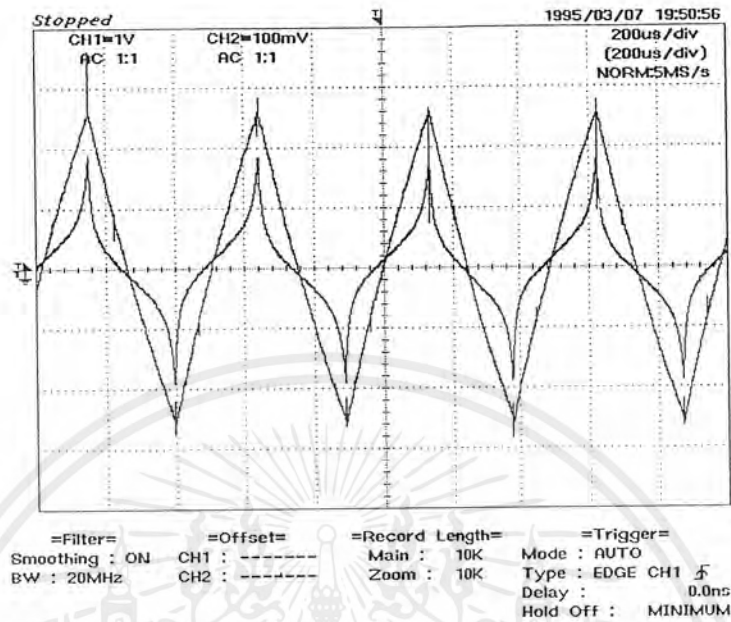
$$N_s = 26 \quad \text{รอบ}$$



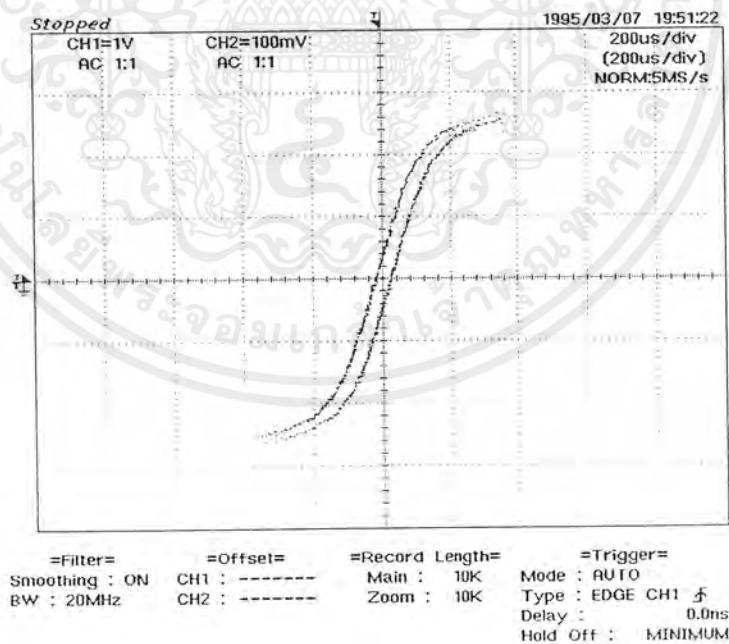
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 1K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

รูปที่ 5.12 แสดงรูปสัญญาณ $v_s(t)$, $i_p(t)$ ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณ $B(t)$ และ $H(t)$ ของแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2 kHz

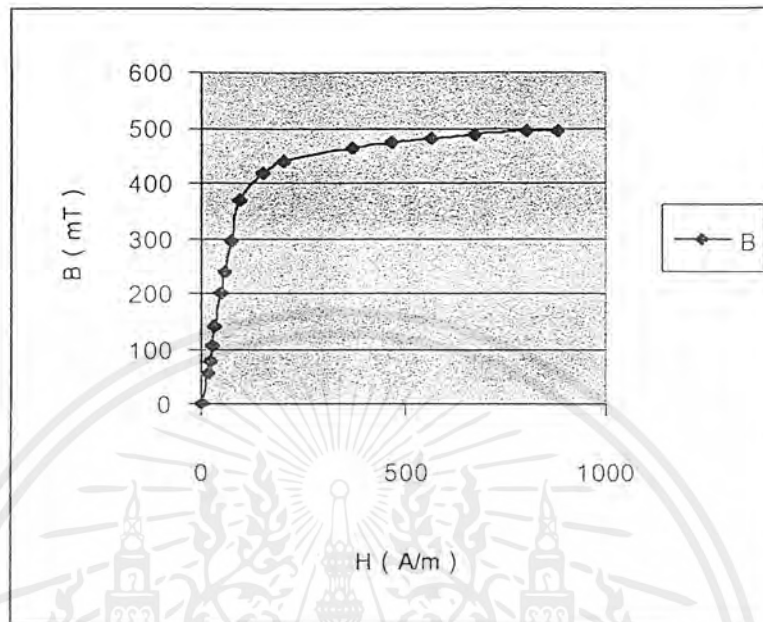


รูปที่ 5.14 แสดง B-H loop ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2 kHz

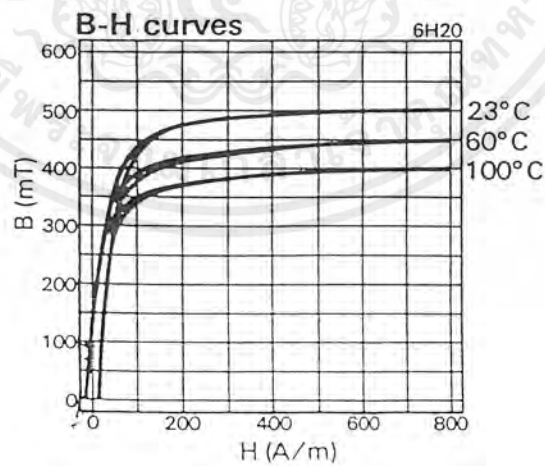
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H(t)_{\max}$ (A/m)	$B(t)_{\max}$ (mT)
0	0
14.8	56
19.6	78
24.8	104
32.8	142
45.6	200
55	238
70	296
90	368
146	416
200	440
368	464
464	472
560	480
670	488
800	496
880	496

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า $H(t)_{\max}$ และ $B(t)_{\max}$ ที่ได้จากการทดสอบแกนเฟอร์ไรต์
เนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.15 แสดง B – H Curve ของเนื้อสารชนิด 6H20 ที่ความถี่ 2 kHz



รูปที่ 5.16 แสดง Datasheet B-H Curve ของเนื้อสารชนิด 6H20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

เครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูงในโครงงานนี้จะนำวัสดุแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์มาทำการทดสอบเพราะว่าเฟอร์ไรต์เป็นวัสดุแม่เหล็กที่นำมาใช้ประโยชน์ในด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เช่น ตัวเหนี่ยวนำ (Induction) หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ทำสวิทช์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) ดีฟเลกชัน โยค (Deflection Yoke) โดยทำการวัดหาเส้นโค้งบีเอช (B-H Curve) ของแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของแกนเฟอร์ไรต์ทางบริษัทผู้ผลิต (Data Sheet) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากบริษัทได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของแกนเฟอร์ไรต์นี้เป็นข้อมูลที่วัดตามมาตรฐาน JIS ซึ่งถือได้ว่าเป็นมาตรฐานที่เชื่อถือได้สามารถนำมาทำการอ้างอิงได้ ผลที่ได้จากการวัดเส้นโค้งบีเอช (B-H Curve) โดยเครื่องวัดเมื่อเทียบกับเส้นโค้งบีเอช (B-H Curve) ของข้อมูลทางบริษัท มีความผิดพลาดเกิดขึ้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้มีปัจจัยมาจากสาเหตุหลายประการ ดังเช่น

- ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัด เช่น ความผิดพลาดจากวงจรชดเชยค่า $B(t)$ และ $H(t)$ เพราะค่าแกนที่เรานำมาออกแบบวงจรจะมีแกนต่ำลงเมื่อความถี่ที่ใช้ทดสอบมากขึ้น
- ความผิดพลาดเนื่องจากขณะทำการวัดเพราะการวัดยังคงทำการปรับด้วยมือ
- อุณหภูมิขณะทำการวัดเนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิขณะทำการวัด จาก Datasheet ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป
- ช่วงความถี่ที่ใช้ในการวัดหา B-H Curve ซึ่งจาก Data Sheet แสดงให้เห็นว่าค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) จะมีค่าคงที่ในช่วงประมาณ 1k-100 kHz

หมายเหตุ

1. เนื่องจาก Data Sheet ที่เรานำมาเปรียบเทียบนั้นทางบริษัทผู้ผลิตใช้สัญญาณกระตุ้นแบบไซน์ (sine) ในการทดสอบแกนแม่เหล็ก แต่ในโครงงานนี้เราใช้สัญญาณกระตุ้นแบบสี่เหลี่ยม (square wave) เส้นโค้งบีเอช (B-H Curve) ที่ได้จากการทดสอบของทั้งสองสัญญาณจะมีลักษณะที่เหมือนกันเพราะว่าสัญญาณกระตุ้นแบบสี่เหลี่ยม เราจะพิจารณาที่ Fundamental ของสัญญาณเท่านั้น

2. ในการทดสอบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของแกนเฟอร์ไรต์ให้เหมือนกับใน Data Sheet

ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงไม่สามารถนำมาเทียบได้โดยตรง

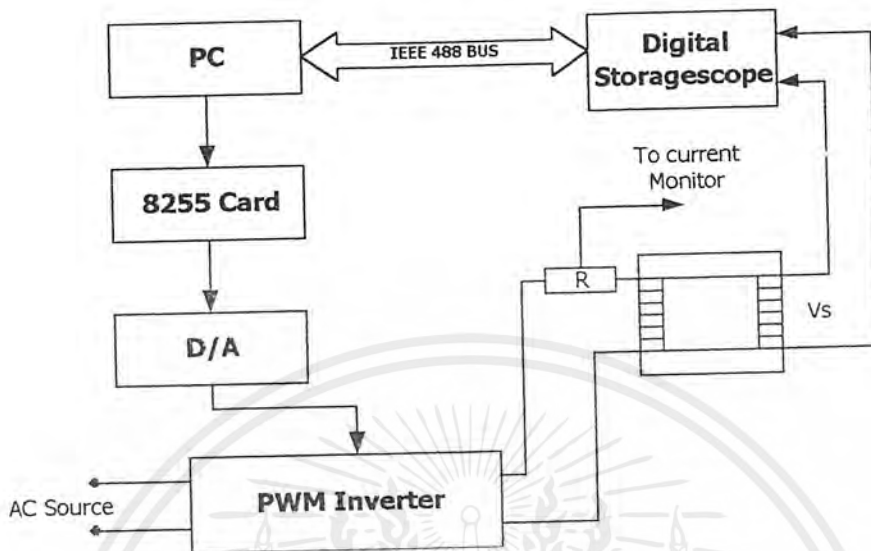
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการพัฒนาโครงการ เนื่องจากการหาเส้นโค้งบีเอช(B-H Curve) ยังคงใช้วงจรในการชดเชยค่าของ $B(t)$ และ $H(t)$ ซึ่งเป็นผลที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นจากการวัดได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่า $B(t)$ และ $H(t)$ ที่ถูกต้องจะต้องมีวงจรชดเชยที่ดีมีคุณสมบัติการชดเชยมูเฟสที่ดี (Phase Compensate) และออปแอมป์ภายในวงจรจะต้องมีช่วงตอบสนองความถี่ในย่านที่กว้าง (Band width) จึงจะให้ค่า $B(t)$ และ $H(t)$ ที่มีค่าความผิดพลาดน้อยแต่ข้อจำกัดของอุปกรณ์จึงไม่สามารถหาวงจรชดเชยที่สมบูรณ์แบบได้ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการพัฒนาของโครงการโดยการนำสัญญาณ $v_s(t), i_p(t)$ ที่ได้จากการกระตุ้นโดยพีดับบลิวเอ็ม อินเวอร์เตอร์ (PWM Inverter) นำไปประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติของแกนโดยการนำข้อมูล $v_s(t), i_p(t)$ จาก Digital Oscilloscope นำมาประมวลผลทางดิจิทัลโดยการโอนย้ายข้อมูลสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางคาน ทดิวภูมิ (V_s) นำมาทำการประมวลผลทางดิจิทัลเพื่อทำการอินทิเกรตสัญญาณ V_s และทำการหารค่าจำนวนรอบขดลวดทาง Secondary (N_s) และพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์เพื่อให้ได้สัญญาณ $B(t)$ และเช่นเดียวกันการหาสัญญาณ $H(t)$ ก็นำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทาน (Current-sensing resistor) ซึ่งหารด้วยค่า R จะได้สัญญาณกระแสกระตุ้นทางคานปฐมภูมิ $i_p(t)$ แล้วทำการคูณแฟกเตอร์ N_p/L_m เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณ $H(t)$

ในการโอนย้ายข้อมูล(Transfer data) $V_s(t)$ และ $i_p(t)$ จาก Digital Oscilloscope จะทำการโอนย้ายข้อมูลผ่านบัตร IEEE 488 Card เพื่อนำข้อมูลมาทำการประมวลผลโดย PC เพื่อทำการพล็อตสัญญาณ $B(t), H(t)$ loop และทำการเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาพื้นที่ภายในลูป เพื่อหาค่าของความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ (Hysteresis loss)

ประโยชน์ของการประมวลผลทางดิจิทัล

1. ความถูกต้องและเที่ยงตรงสูง มีค่าความผิดพลาดต่ำมากประมาณ 0.2%
2. แก้ไขปัญหาช่วงกว้างตอบสนองช่วงความถี่ของตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)
3. หลีกเลี่ยงการใช้วงจร อาร์ชีอินทิเกรเตอร์ (RC Integrator) เพื่อหาสัญญาณ $B(t)$ และ $H(t)$ เพื่อลดค่าความผิดพลาดจากการวัด
4. การประมวลผลทางดิจิทัลสะดวกและมีความแม่นยำสูงในการคำนวณค่าความสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss)



รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแนวทางการพัฒนาโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

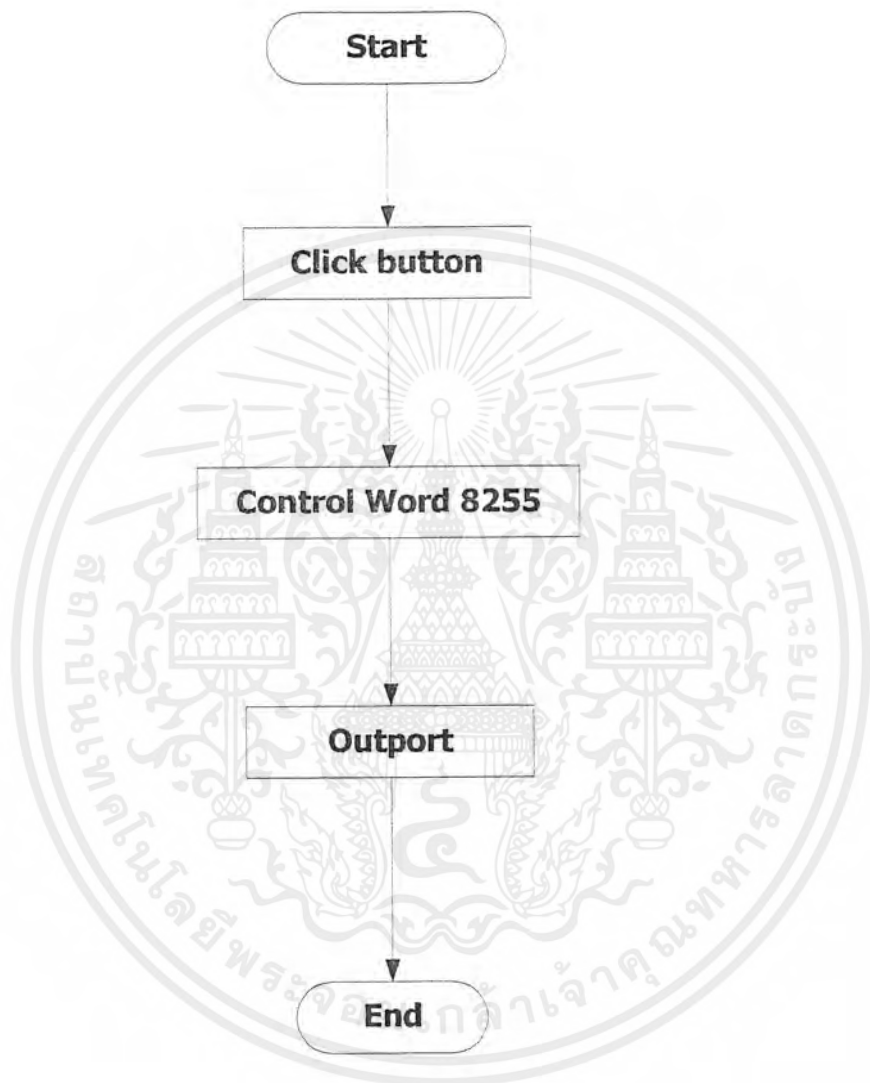


ภาคผนวก ก.

โปรแกรมควบคุมเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart ของโปรแกรมควบคุมเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมเครื่องวัด B-H Curve ความถี่สูง

```

unit p1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    ScrollBar1: TScrollBar;
    ScrollBar2: TScrollBar;
    Label4: TLabel;
    Label10: TLabel;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn7: TBitBtn;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    BitBtn3: TBitBtn;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    procedure ScrollBar1Change(Sender: TObject);
    procedure ScrollBar2Change(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);

  private

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure outport(portno:smallint;data:byte);
function inport(portno:smallint):byte;
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var

```

```

  TForm1: TForm1;

```

```

implementation

```

```

{$R *.DFM}

```

```

procedure TForm1.outport(portno:smallint;data:byte);

```

```

begin

```

```

  asm

```

```
    push dx

```

```
    mov dx,portno

```

```
    mov al,data

```

```
    out dx,al

```

```
    pop dx

```

```
  end;

```

```
end;

```

```
function TForm1.inport (portno:smallint):byte;

```

```
var

```

```
  temp:byte;

```

```
begin

```

```
  asm

```

```
    push dx

```

```
    mov dx,portno

```

```
    in al,dx

```

```
    mov temp,al

```

```
    pop dx

```



```

end;

inport := temp;

end;

procedure TForm1.ScrollBar1Change(Sender: TObject);
VAR W:DOUBLE;
begin

    OUTPORT ($300,(SCROLLBAR1.POSITION));
    LABEL4.CAPTION := INTTOSTR(SCROLLBAR1.POSITION); { DISPLAY DATA }

end;

procedure TForm1.ScrollBar2Change(Sender: TObject);
VAR W:DOUBLE;
begin

    OUTPORT ($301,(SCROLLBAR2.POSITION));
    LABEL10.CAPTION := INTTOSTR(SCROLLBAR2.POSITION); { DISPLAY DATA }

end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
    outport($300,$00);
    outport($301,$00);
    SCROLLBAR1.POSITION:=0;
    SCROLLBAR2.POSITION:=0;
    edit2.text:='READY';
    edit1.text:=' ';
end;

```

```
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Outport($303,$80);
```

```
    outport($300,$FF);
```

```
    outport($301,$FF);
```

```
    SCROLLBAR1.POSITION:=255;
```

```
    SCROLLBAR2.POSITION:=255;
```

```
    edit1.text:='READY';
```

```
    edit2.text:='';
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    showmessage('Click SETUP for Start B-H Curve Meter.');
```

```
    showmessage('Click RESET for Shutdow B-H Curve Meter.');
```

```
end;
```

```
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC0808

8-Bit D/A Converter

General Description

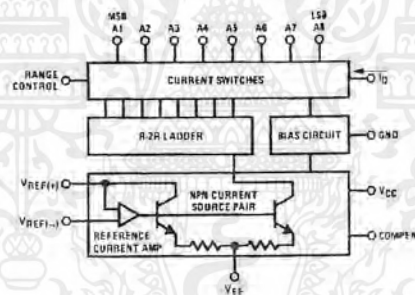
The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with $\pm 5V$ supplies. No reference current (I_{REF}) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically ± 1 LSB of $255 I_{REF}/256$. Relative accuracies of better than $\pm 0.19\%$ assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than $4 \mu A$ provides 8-bit zero accuracy for $I_{REF} \geq 2$ mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

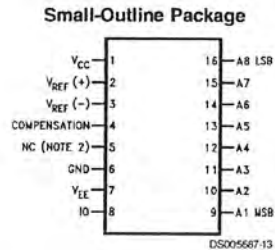
Features

- Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum
- Full scale current match: ± 1 LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ μs
- Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

Block and Connection Diagrams



Block and Connection Diagrams (Continued)



Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	N PACKAGE (N16A) (Note 1)		SO PACKAGE (M16A)
		DAC0808LCN	MC1408P8	DAC0808LCM
8-bit	0°C ≤ T _A ≤ +75°C			

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Supply Voltage

V_{CC}	+18 V_{DC}
V_{EE}	-18 V_{DC}
Digital Input Voltage, V_{5-12}	-10 V_{DC} to +18 V_{DC}
Applied Output Voltage, V_O	-11 V_{DC} to +18 V_{DC}
Reference Current, I_{14}	5 mA
Reference Amplifier Inputs, V_{14}, V_{15}	V_{CC}, V_{EE}
Power Dissipation (Note 4)	1000 mW
ESD Susceptibility (Note 5)	TBD

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (Ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Operating Ratings

Temperature Range

DAC0808

$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$

$0 \leq T_A \leq +75^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V_{DC}$, $V_{REF}/R_{14} = 2\text{ mA}$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
E_r	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I_O)	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				± 0.19	%
	Settling Time to Within $\frac{1}{2}$ LSB (Includes t_{PLH})	$T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 7), (Figure 5)		150		ns
t_{PLH}, t_{PHL}	Propagation Delay Time	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 5)		30	100	ns
TCI_O	Output Full Scale Current Drift			± 20		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)				
V_{IH}	High Level, Logic "1"		2			V_{DC}
V_{IL}	Low Level, Logic "0"				0.8	V_{DC}
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level	$V_{IH} = 5V$		0	0.040	mA
	Low Level	$V_{IL} = 0.8V$		-0.003	-0.8	mA
I_{15}	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	μA
	Output Current Range	(Figure 3)				
		$V_{EE} = -5V$	0	2.0	2.1	mA
		$V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	2.0	4.2	mA
I_O	Output Current	$V_{REF} = 2.000V$, $R_{14} = 1000\Omega$, (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	μA
	Output Voltage Compliance (Note 3)	$E_r \leq 0.19\%$, $T_A = 25^\circ\text{C}$				
	$V_{EE} = -5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$				-0.55, +0.4	V_{DC}
	V_{EE} Below -10V				-5.0, +0.4	V_{DC}
$SR I_{REF}$	Reference Current Slew Rate	(Figure 6)	4	8		mA/ μs
	Output Current Power Supply Sensitivity	$-5V \leq V_{EE} \leq -16.5V$		0.05	2.7	$\mu\text{A/V}$
	Power Supply Current (All Bits Low)	(Figure 3)				
I_{CC}				2.3	22	mA
I_{EE}				-4.3	-13	mA
V_{CC}	Power Supply Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 3)	4.5	5.0	5.5	V_{DC}
V_{EE}			-4.5	-15	-16.5	V_{DC}
	Power Dissipation					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $V_{REF}/R14 = 2mA$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	All Bits Low	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -5V$		33	170	mW
		$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$		106	305	mW
	All Bits High	$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -5V$		90		mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$		160		mW

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: Range control is not required.

Note 4: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by T_{JMAX} , θ_{JA} , and the ambient temperature, T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$ or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device, $T_{JMAX} = 125^\circ C$, and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is $100^\circ C/W$. For the dual-in-line N package, this number increases to $175^\circ C/W$ and for the small outline M package this number is $100^\circ C/W$.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 6: All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

Note 7: All bits switched.

Note 8: Pin-out numbers for the DAL080X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

Typical Application

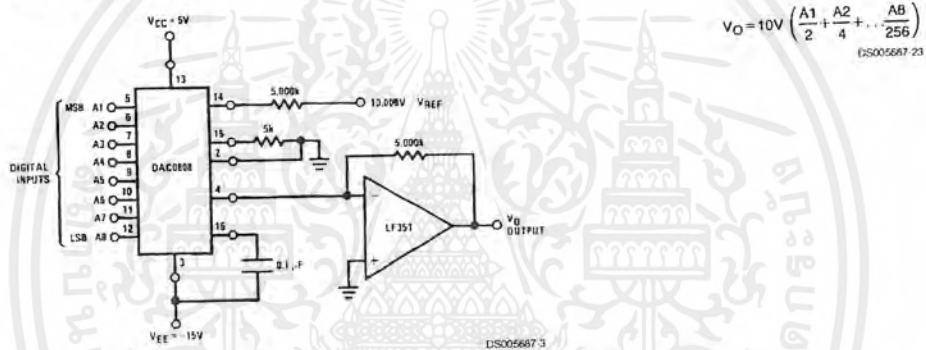
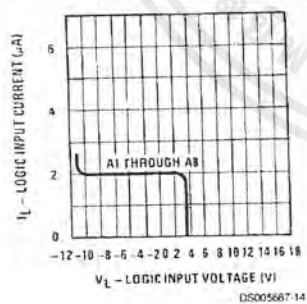


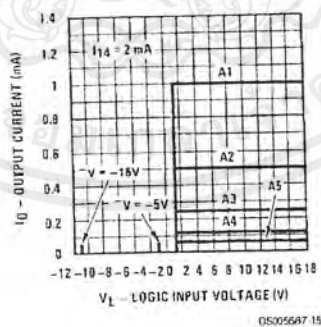
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 8)

Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted

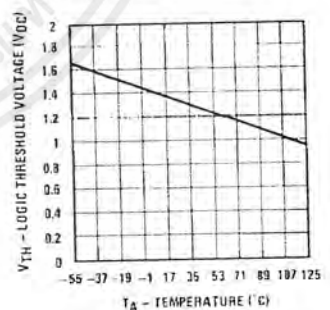
Logic Input Current vs Input Voltage



Bit Transfer Characteristics

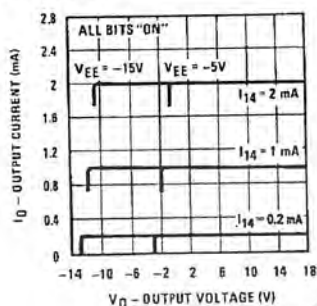


Logic Threshold Voltage vs Temperature



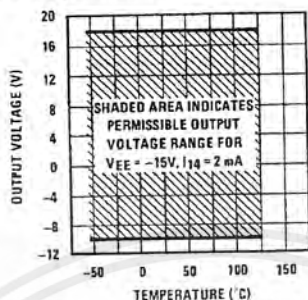
Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



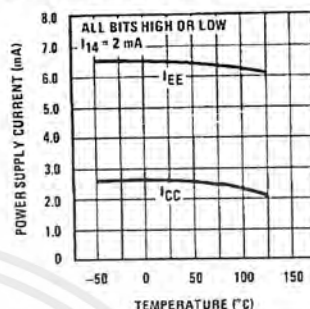
DS005687-17

Output Voltage Compliance vs Temperature



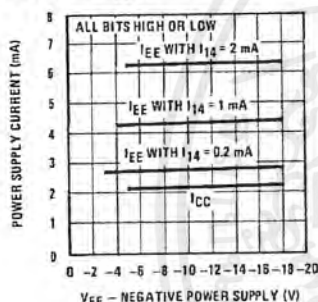
DS005687-18

Typical Power Supply Current vs Temperature



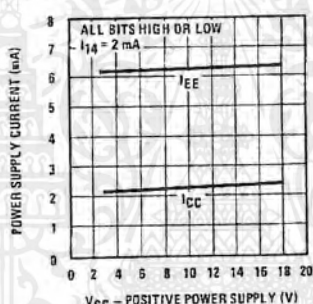
DS005687-19

Typical Power Supply Current vs V_{EE}



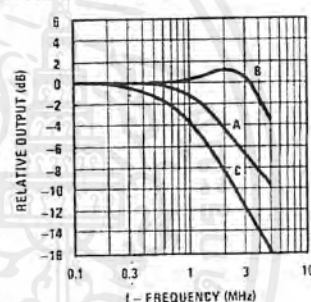
DS005687-20

Typical Power Supply Current vs V_{CC}



DS005687-21

Reference Input Frequency Response



DS005687-22

Unless otherwise specified: $R_{14} = R_{15} = 1\text{ k}\Omega$, $C = 15\text{ pF}$, pin 16 to V_{EE} ; $R_L = 50\Omega$, pin 4 to ground.

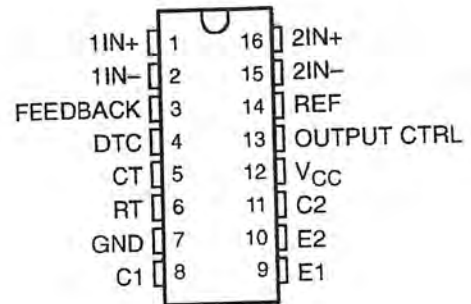
Curve A: Large Signal Bandwidth Method of Figure 7, $V_{REF} = 2\text{ Vp-p}$ offset 1V above ground.

Curve B: Small Signal Bandwidth Method of Figure 7, $R_L = 250\Omega$, $V_{REF} = 50\text{ mVp-p}$ offset 200 mV above ground.

Curve C: Large and Small Signal Bandwidth Method of Figure 9 (no op amp, $R_L = 50\Omega$), $R_S = 50\Omega$, $V_{REF} = 2V$, $V_S = 100\text{ mVp-p}$ centered at 0V.

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

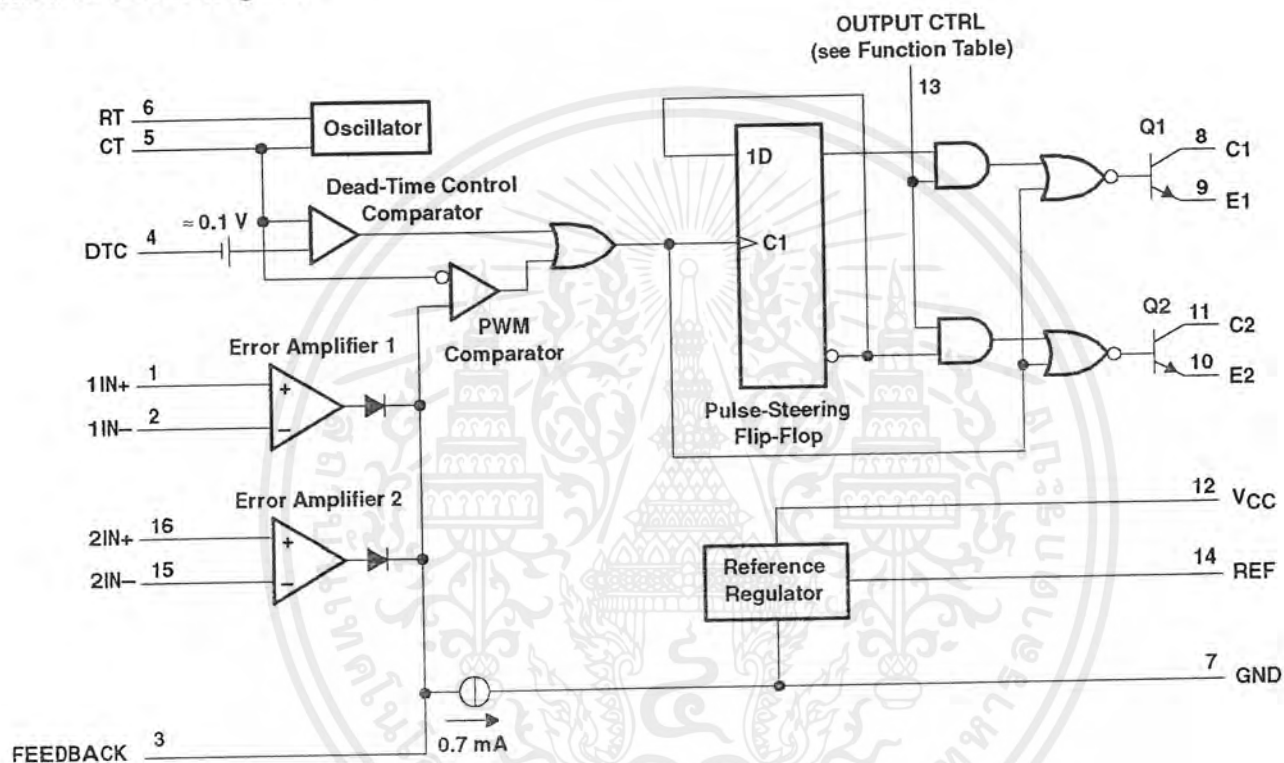
VS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES				CHIP FORM (Y)
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)	
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

Functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

		TL494	UNIT	
		41	V	
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		$V_{CC}+0.3$	V	
Amplifier input voltage, V_I		41	V	
Collector output voltage, V_O		250	mA	
Collector output current, I_O				
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3)	D package	73	°C	
	N package	88		
	NS package	64		
	PW package	108		
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		D, N, or PW package	260	°C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150		°C

[†] Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

		TL494		UNIT
		MIN	MAX	
Supply voltage, V_{CC}		7	40	V
Amplifier input voltage, V_I		-0.3	$V_{CC}-2$	V
Collector output voltage, V_O			40	V
Collector output current (each transistor)			200	mA
Current into feedback terminal			0.3	mA
Oscillator frequency, f_{osc}		1	300	kHz
Timing capacitor, C_T		0.47	10000	nF
Timing resistor, R_T		1.8	500	kΩ
Operating free-air temperature, T_A	TL494C	0	70	°C
	TL494I	-40	85	

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

LVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

Reference section

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to } 40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to } 10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

Oscillator section, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to } 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

Error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to } 40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC}-2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to } 3.5\text{ V}$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to } 3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to } -5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to } 5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$		-2		mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนในบริษัทเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		1		Hz/kHz

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		2		mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25		nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2		μA
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V		0.7		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



L494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

VS074B - JANUARY 1983 - REVISED JULY 1999

Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

Output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter		1.1	1.3	V
	Emitter follower		1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0$ to 5.25 V		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45%		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	V
	Maximum duty cycle	0			

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3		100	200	ns
Fall time			25	100	ns
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4		100	200	ns
Fall time			40	100	ns

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110/IR2113

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- Separate logic supply range from 5 to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

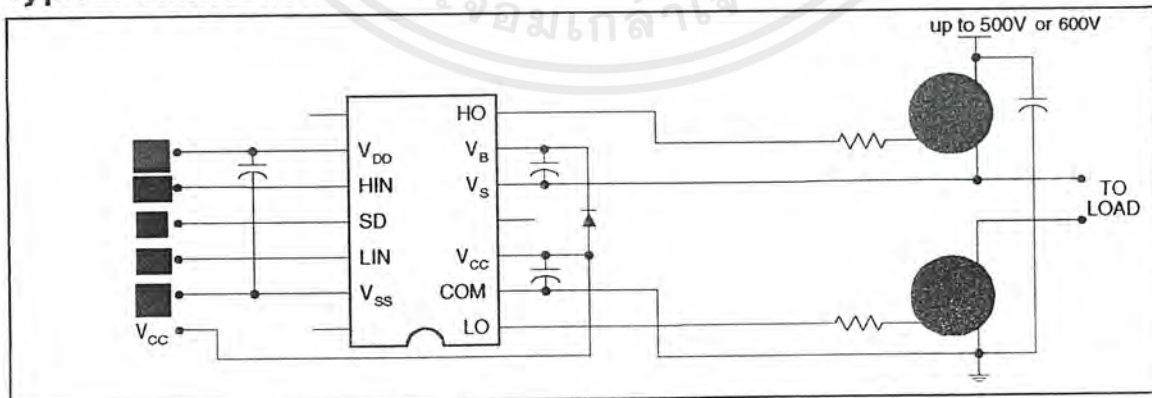
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110) (IR2113)	500V max. 600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching	10 ns

Packages



Typical Connection



IR2110/IR2113

Absolute Maximum Ratings

International
IR Rectifier

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	
	(IR2113)	-0.3	625	
V_S	High side floating supply offset voltage	$V_B - 25$	$V_B + 0.3$	
V_{HO}	High side floating output voltage	$V_S - 0.3$	$V_B + 0.3$	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V_{LO}	Low side output voltage	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
V_{DD}	Logic supply voltage	-0.3	$V_{SS} + 25$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	$V_{CC} - 25$	$V_{CC} + 0.3$	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	
dV/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$ (14 lead DIP)	—	1.6	
	(14 lead DIP w/o lead 4)	—	1.5	
	(16 lead DIP w/o leads 5 & 6)	—	1.6	
	(16 lead SOIC)	—	1.25	
$R_{\theta JA}$	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	
	(14 lead DIP w/o lead 4)	—	85	
	(16 lead DIP w/o leads 5 & 6)	—	75	
	(16Lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	$^\circ\text{C}$
T_S	Storage temperature	-55	150	
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply absolute voltage	$V_S + 10$	$V_S + 20$	
V_S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S	V_B	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V_{LO}	Low side output voltage	0	V_{CC}	
V_{DD}	Logic supply voltage	$V_{SS} + 4.5$	$V_{SS} + 20$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	-5	5	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS}	V_{DD}	$^\circ\text{C}$
T_A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to - V_{BS} .

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150		$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	—	—	—	10		Figure 5

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—		
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50		$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7		
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—		$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$



ภาคผนวก ก.

ข้อมูล B-H Curve ของแกนเฟอร์ไรต์ทางบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material Characteristics 材質特性

■ Standard Characteristics of Mn-Zn Materials Mn-Znフェライト標準材質特性

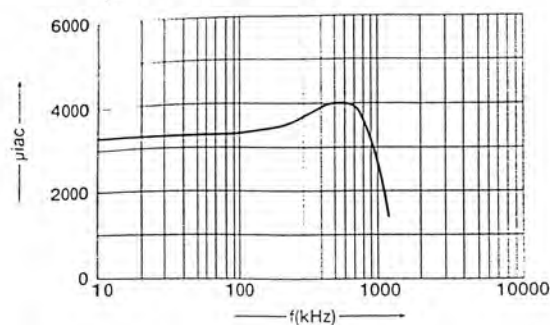
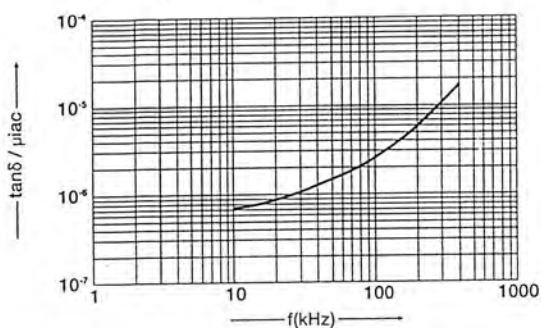
Material 材質名	μ_{iac}	$\tan \delta / \mu_{iac}$	$\alpha \mu r$	Bms	Hc	Tc	ρ	d
	10kHz	10kHz	20~60℃	1200A/m (mT)	(A/m)	(℃)	($\Omega \cdot m$)	(kg/m ³)
2H1	15000	0.95×10^{-3}	0.17×10^{-6}	350	2.3	105	0.06	5.0×10^3
2H2	13000	0.7×10^{-3}	0.93×10^{-6}	400	3.0	125	0.07	4.9×10^3
2E2	10000	1.5×10^{-3}	0.1×10^{-6}	370	4.0	120	0.024	4.9×10^3
2E2B	10000	0.34×10^{-3}	0.28×10^{-6}	390	6.0	120	0.047	4.9×10^3
2G1	7000	0.54×10^{-3}	0.41×10^{-6}	410	6.0	135	0.02	4.8×10^3
2E1	7000	2.44×10^{-3}	-0.9×10^{-6}	420	7.1	>150	0.012	4.9×10^3
2G3	6000	0.16×10^{-3}	0.28×10^{-6}	430	6.7	145	0.2	4.9×10^3
2F1	5300	0.2×10^{-3}	1.0×10^{-6}	370	7.2	110	0.13	4.3×10^3
2G4	5300	0.1×10^{-3}	0.28×10^{-6}	460	6.0	160	1.3	4.9×10^3
2D3C	4300	0.29×10^{-3}	0.33×10^{-6}	390	7.5	140	0.29	4.3×10^3
2E4	4000	0.15×10^{-3}	-0.5×10^{-6}	450	11.9	180	0.1	4.3×10^3
2F6	3300	0.07×10^{-3}	2.65×10^{-6}	470	11.9	>200	2.1	4.3×10^3
2E6	3000	0.1×10^{-3}	-0.5×10^{-6}	490	11.9	>200	0.23	4.9×10^3
2C3	2300	0.19×10^{-3}	1.6×10^{-6}	350	12	120	5.5	4.3×10^3
2G8	2300	0.26×10^{-3} (100kHz)	2.3×10^{-6}	520	9.0	>200	13	4.3×10^3
2F8	2200	0.1×10^{-3}	6.3×10^{-6}	470	7.9	>200	8	4.3×10^3
2H8	1700	0.26×10^{-3} (100kHz)	2.0×10^{-6}	480	15.5	>250	11	4.3×10^3
2H6	800	1.3×10^{-3} (500kHz)	0.4×10^{-6}	490	22.0	>200	2.3	4.3×10^3

The values were obtained from testing methods carried out in accordance with JIS-C2561 : General Testing Methods for Cores Made of Ferromagnetic Oxides.

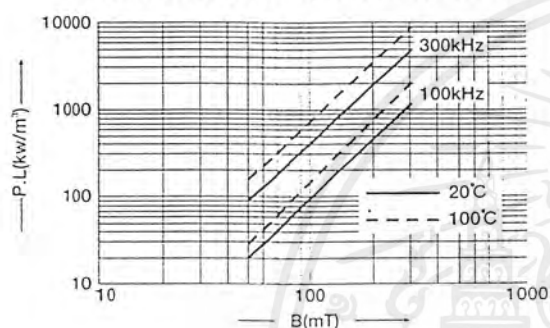
材質特性の測定方法は概ねJIS-C2561に準じたものです。
特性はすべて代表値であり保証値ではありません。

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

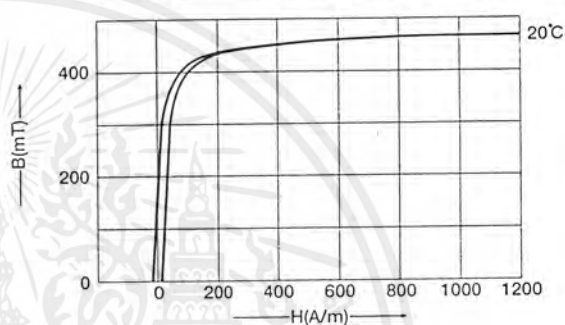
2F6

 μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性 $\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性

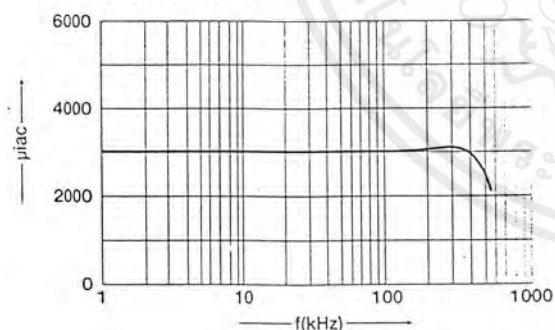
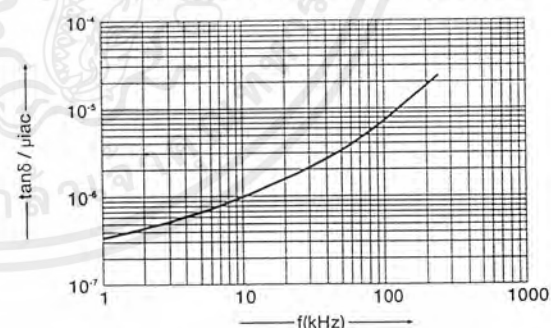
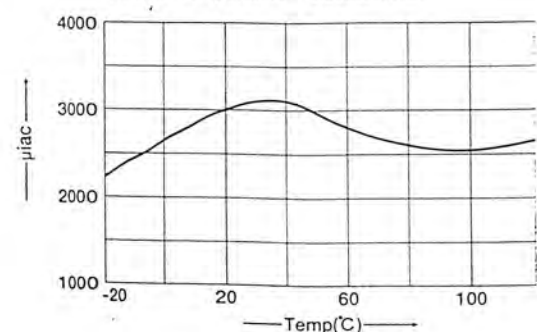
Power loss vs. Flux density パワーロス vs. 磁束密度



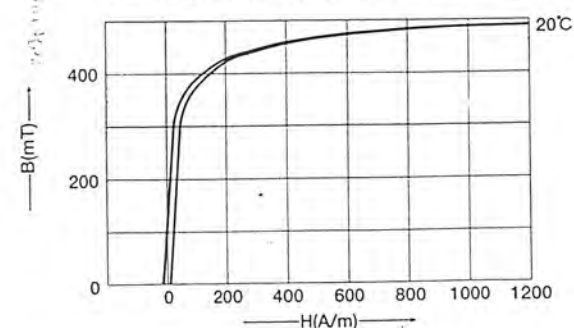
Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性



2E6

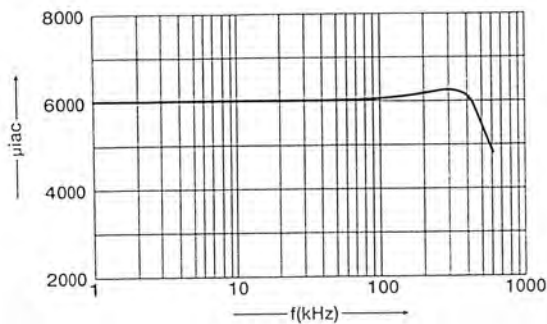
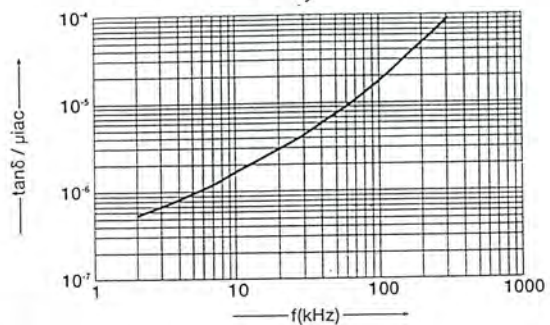
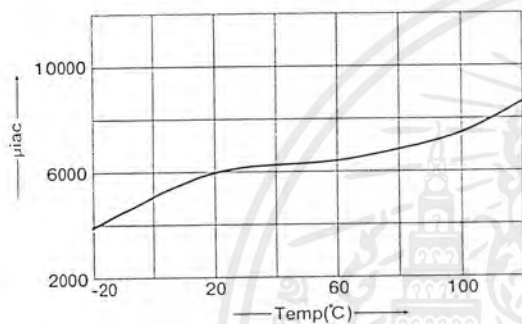
 μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性 $\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性 μ_{ac} vs. Temperature μ_{ac} 温度特性

Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性

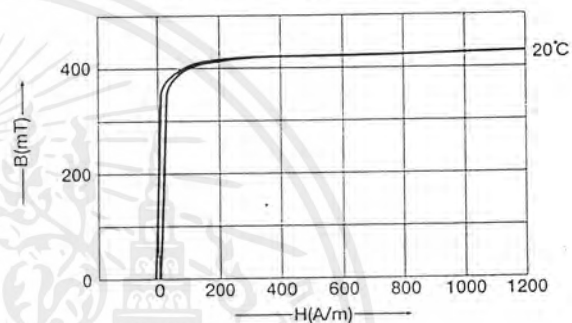


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

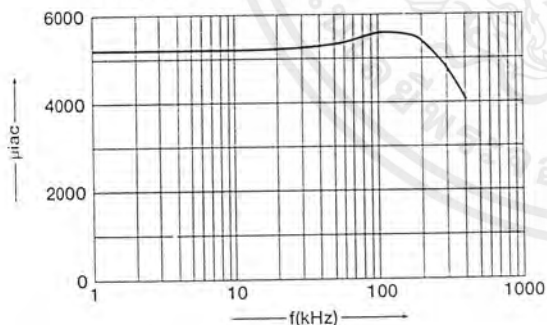
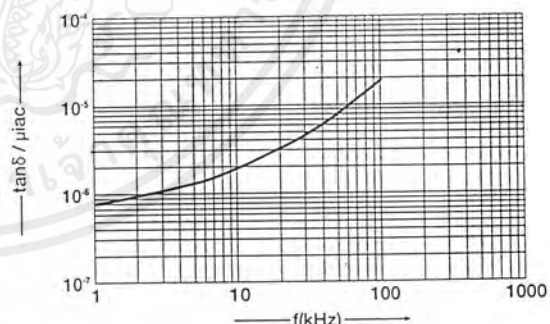
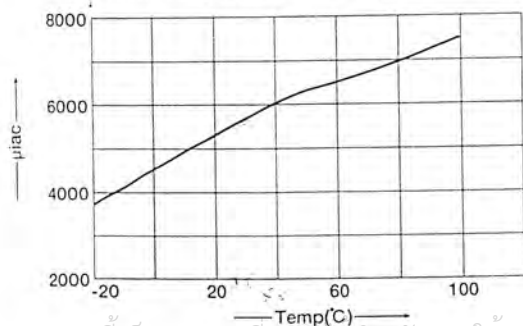
2G3

 μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性 $\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性 μ_{ac} vs. Temperature μ_{ac} 温度特性

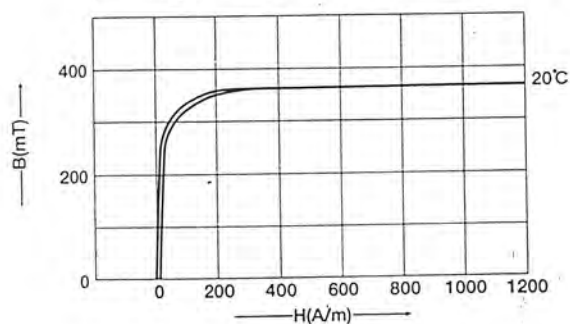
Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性



2F1

 μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性 $\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性 μ_{ac} vs. Temperature μ_{ac} 温度特性

Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性

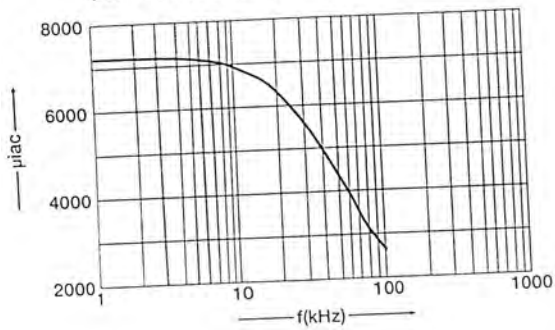


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

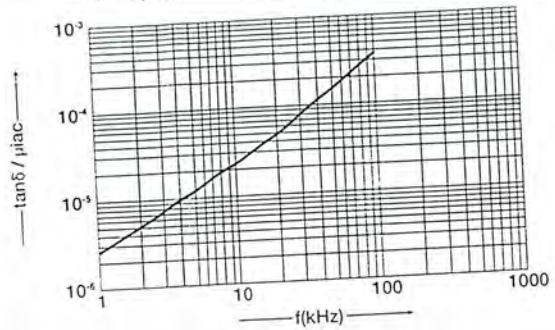
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้

E1

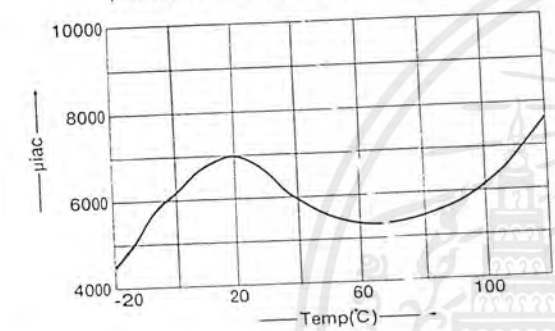
μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性



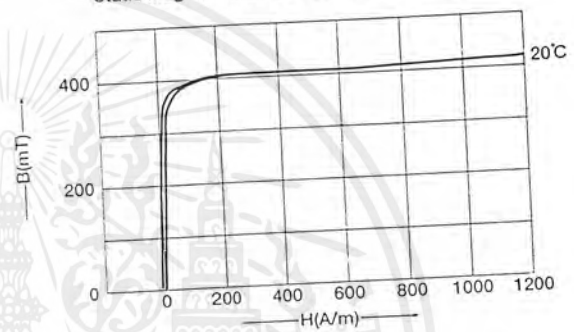
$\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性



μ_{ac} vs. Temperature μ_{ac} 温度特性

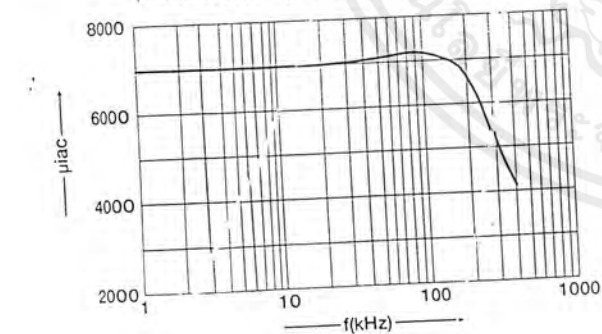


Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性

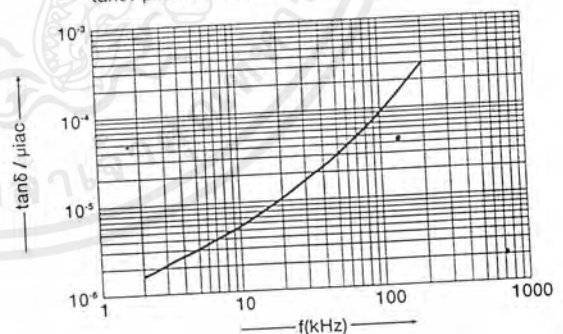


2G1

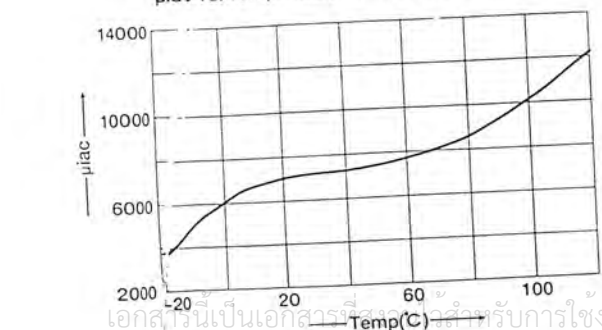
μ_{ac} vs. Frequency μ_{ac} 周波数特性



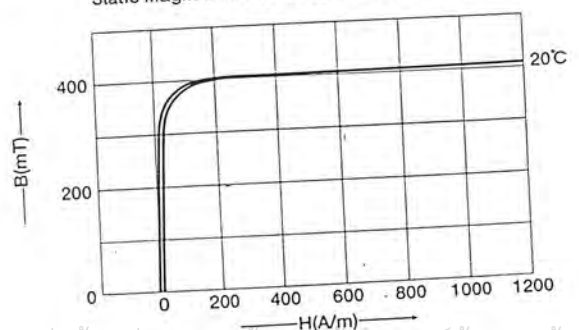
$\tan \delta / \mu_{ac}$ vs. Frequency $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性



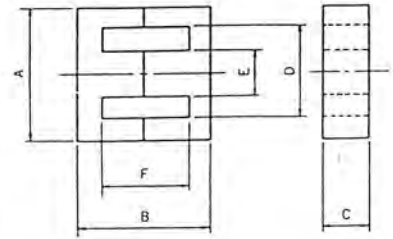
μ_{ac} vs. Temperature μ_{ac} 温度特性



Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性



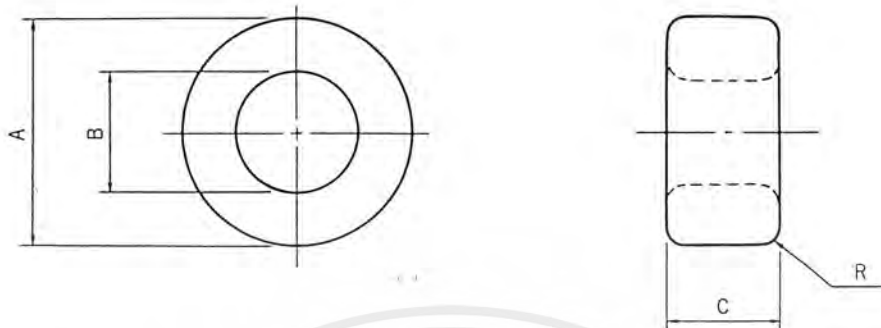
เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



■ Dimensions and Magnetic Parameter

Cores	Dimensions (mm)						Parameter					Bobbin Available
	A	B	C	D	E	F	Ci(mm ⁻¹)	Ae(mm ²)	le(mm)	Ve(mm ³)	Aw(mm ²)	
EE-16.7	16.7 $\pm$ 0.7	14.2 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.15	10.7 $\pm$ 0.4	3.5 $\pm$ 0.15	8.1 $\pm$ 0.3	1.84	16.3	30.1	491.5	29.6	
EE-18/14.9/3.3	18.0 $\pm$ 0.1	14.9 $\pm$ 0.2	3.3 $\pm$ 0.1	12.5 $\pm$ 0.2	6.2 $\pm$ 0.1	9.4 $\pm$ 0.3	1.85	18.4	34.1	628.4	30.6	
EE-19/15.1/7.85	19.0 $\pm$ 0.3	15.1 $\pm$ 0.4	7.85 $\pm$ 0.4	14.0 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.1	10.0 $\pm$ 0.4	0.99	37.6	37.3	1401	46.7	
EE-19	19.0 $\pm$ 0.3	15.9 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.5	14.0 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 0.5	11.3 $\pm$ 0.3	1.68	23.3	39.2	914.2	51.7	7p
EE-19G	19.1 $\pm$ 0.3	15.6 $\pm$ 0.6	5.2 $\pm$ 0.4	14.5 $\pm$ 0.3	4.7 $\pm$ 0.3	11.0 $\pm$ 0.4	1.72	23.1	39.6	914.7	55.7	
EE-19H	19.3 $\pm$ 0.33	16.16 $\pm$ 0.36	4.75 $\pm$ 0.17	14.5 $\pm$ 0.3	4.75 $\pm$ 0.08	11.44 $\pm$ 0.26	1.79	22.4	40.1	898.2	56.2	
EEL-19	19.0 $\pm$ 0.3	27.1 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.5	14.0 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 0.5	22.6 $\pm$ 0.6	2.64	23.4	61.7	1443	103.4	
EEL-19B	19.0 $\pm$ 0.3	26.8 $\pm$ 0.7	5.2 $\pm$ 0.4	14.5 $\pm$ 0.3	4.7 $\pm$ 0.5	22.0 $\pm$ 0.7	2.72	22.7	61.7	1401	111.6	
EE-19X9.6	19.15 $\pm$ 0.5	15.8 $\pm$ 0.5	9.6 $\pm$ 0.15	14.75 $\pm$ 0.3	4.65 $\pm$ 0.15	11.2 $\pm$ 0.3	0.91	43.5	39.7	1726	56.6	
EE-20	20.0 $\pm$ 0.6	27.6 $\pm$ 1.0	5.2 $\pm$ 0.4	14.8 $\pm$ 0.4	4.7 $\pm$ 0.3	22.0 $\pm$ 0.6	2.48	25.4	62.8	1594	115.4	
EEL-19-23	19.0 $\pm$ 0.3	23.0 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 0.5	14.0 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 0.5	18.4 $\pm$ 0.3	2.28	23.5	53.4	1253	84.2	
EE-22	22.0 $\pm$ 0.4	18.6 $\pm$ 0.4	6.0 $\pm$ 0.6	14.0 $\pm$ 0.3	6.0 $\pm$ 0.6	10.6 $\pm$ 0.3	1.02	39.6	40.2	1592	44.0	10p
EEL-22AT	22.0 $\pm$ 0.3	29.6 $\pm$ 0.4	5.7 $\pm$ 0.2	15.75 $\pm$ 0.5	5.7 $\pm$ 0.2	21.6 $\pm$ 0.4	1.80	35.4	63.6	2246	111.2	
EE-22B	22.0 $\pm$ 0.4	20.0 $\pm$ 0.3	5.5 $\pm$ 0.25	17.5 $\pm$ 0.3	4.0 $\pm$ 0.2	15.0 $\pm$ 0.3	2.07	24.4	50.5	1233	101.6	
EE-22C	22.0 $\pm$ 0.3	18.6 $\pm$ 0.4	5.7 $\pm$ 0.2	15.75 $\pm$ 0.5	5.7 $\pm$ 0.2	10.8 $\pm$ 0.3	1.16	36.4	42.0	1529	55.6	10p
EE-22T	22.0 $\pm$ 0.3	29.6 $\pm$ 0.4	11.4 $\pm$ 0.2	15.75 $\pm$ 0.5	5.7 $\pm$ 0.2	21.6 $\pm$ 0.4	0.90	70.7	63.6	4492	111.2	
EE-24	24.0 $\pm$ 0.4	18.2 $\pm$ 0.4	9.85 $\pm$ 0.4	18.0 $\pm$ 0.4	6.0 $\pm$ 0.2	12.2 $\pm$ 0.3	0.80	57.6	45.9	2642	73.8	
EE-25	25.0 $\pm$ 0.4	20.0 $\pm$ 0.4	6.55 $\pm$ 0.3	18.6 $\pm$ 0.3	6.55 $\pm$ 0.3	13.6 $\pm$ 0.3	1.17	42.2	49.4	2084	81.9	8p
EE-25C	25.0 $\pm$ 0.8	25.6 $\pm$ 1.0	7.5 $\pm$ 0.6	17.5 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 0.3	17.4 $\pm$ 0.0	1.11	51.8	57.8	2994	95.3	
FEE-25	25.3 $\pm$ 0.4	31.9 $\pm$ 0.6	7.0 $\pm$ 0.5	19.3 $\pm$ 0.3	6.5 $\pm$ 0.25	25.6 $\pm$ 0.4	1.75	42.3	74.0	3134	164.5	
EEL-25	25.0 $\pm$ 0.4	33.6 $\pm$ 0.5	6.55 $\pm$ 0.3	18.6 $\pm$ 0.3	6.55 $\pm$ 0.3	27.2 $\pm$ 0.5	1.81	42.3	76.6	3238	163.9	
EE-25.4	25.4 $\pm$ 0.4	19.0 $\pm$ 0.5	6.35 $\pm$ 0.25	19.0 $\pm$ 0.3	6.35 $\pm$ 0.3	12.7 $\pm$ 0.3	1.19	40.3	48.0	1935	80.3	
EEL-25.4	25.4 $\pm$ 0.4	31.7 $\pm$ 0.6	6.35 $\pm$ 0.25	19.0 $\pm$ 0.3	6.35 $\pm$ 0.3	25.4 $\pm$ 0.6	1.82	40.4	73.4	2963	160.7	
EE-25.4-25.4	25.4 $\pm$ 0.4	25.4 $\pm$ 0.4	6.35 $\pm$ 0.25	19.0 $\pm$ 0.3	6.35 $\pm$ 0.25	19.1 $\pm$ 0.4	1.51	40.3	60.8	2453	120.8	
EE-25.6	25.6 $\pm$ 0.3	20.0 $\pm$ 0.3	6.6 $\pm$ 0.1	19.2 $\pm$ 0.3	6.4 $\pm$ 0.3	13.6 $\pm$ 0.4	1.23	41.1	50.4	2072	89.4	
EE-28	28.0 $\pm$ 0.4	21.0 $\pm$ 0.5	11.5 $\pm$ 0.7	19.3 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 0.6	11.4 $\pm$ 0.5	0.50	96.2	48.1	4626	66.1	
EEL-28	28.0 $\pm$ 0.4	34.0 $\pm$ 0.6	11.0 $\pm$ 0.5	18.6 $\pm$ 0.5	7.5 $\pm$ 0.5	25.0 $\pm$ 0.6	0.84	88.3	74.3	6556	145.0	
EE-28-25	28.0 $\pm$ 0.35	25.0 $\pm$ 0.4	10.9 $\pm$ 0.4	20.0 $\pm$ 0.6	8.0 $\pm$ 0.1	17.0 $\pm$ 0.5	0.71	83.3	59.0	4914	106.6	
EE-29A	29.0 $\pm$ 0.4	25.0 $\pm$ 0.4	10.9 $\pm$ 0.4	21.0 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 0.1	17.0 $\pm$ 0.6	0.72	83.8	60.0	5025	113.3	
EE-29	28.7 $\pm$ 0.4	31.6 $\pm$ 0.4	7.0 $\pm$ 0.5	22.7 $\pm$ 0.4	6.6 $\pm$ 0.25	25.2 $\pm$ 0.4	1.79	42.6	76.4	3251	202.9	
EEL-30A	30.0 $\pm$ 0.7	42.0 $\pm$ 1.2	11.0 $\pm$ 0.7	20.0 $\pm$ 0.7	11.0 $\pm$ 0.7	32.0 $\pm$ 1.2	0.84	108.6	90.7	9855	158.1	
EE-30	30.0 $\pm$ 0.5	26.0 $\pm$ 0.5	10.0 $\pm$ 0.6	20.0 $\pm$ 0.4	10.0 $\pm$ 0.6	16.0 $\pm$ 0.3	0.60	96.0	57.9	5555	82.4	
EE-30/15/7	30.0 $\pm$ 0.8	30.4 $\pm$ 0.8	7.3 $\pm$ 0.5	19.5 $\pm$ 0.8	7.2 $\pm$ 0.5	19.4 $\pm$ 1.2	1.09	59.9	65.5	3926	129.5	
EE-35	35.0 $\pm$ 0.7	28.85 $\pm$ 0.4	9.5 $\pm$ 0.3	25.6 $\pm$ 0.5	9.5 $\pm$ 0.3	19.36 $\pm$ 0.3	0.78	89.9	69.7	6268	155.8	
EE-35D	35.0 $\pm$ 0.5	28.5 $\pm$ 0.4	12.4 $\pm$ 0.5	25.5 $\pm$ 0.6	9.5 $\pm$ 0.1	19.0 $\pm$ 0.6	0.62	111.9	69.5	7774	158.3	
EE-40	40.0 $\pm$ 0.6	34.7 $\pm$ 0.6	12.0 $\pm$ 0.7	27.5 $\pm$ 0.5	12.0 $\pm$ 0.7	20.4 $\pm$ 0.3	0.52	147.9	77.0	11380	161.7	10p
EE-42X15	42.0 $\pm$ 1.0	42.0 $\pm$ 0.6	15.2 $\pm$ 0.5	29.5 $\pm$ 1.2	12.2 $\pm$ 0.5	29.6 $\pm$ 1.2	0.54	179.7	97.2	17480	274.1	
EE-42X20	42.0 $\pm$ 0.9	42.0 $\pm$ 0.6	20.0 $\pm$ 0.7	29.5 $\pm$ 1.2	12.2 $\pm$ 0.5	29.6 $\pm$ 1.2	0.41	234.7	97.2	22820	274.1	
EE-50	50.0 $\pm$ 0.8	42.0 $\pm$ 0.6	15.0 $\pm$ 0.8	35.0 $\pm$ 0.6	15.0 $\pm$ 0.8	25.0 $\pm$ 0.4	0.42	225.7	95.1	21460	255.0	
EE-55	55.0 $\pm$ 1.2	55.6 $\pm$ 1.2	21.0 $\pm$ 0.6	37.5 $\pm$ 1.2	17.2 $\pm$ 0.5	37.0 $\pm$ 1.6	0.35	353.0	123.6	43640	399.7	
EE-60	60.0 $\pm$ 0.9	44.0 $\pm$ 0.8	16.0 $\pm$ 0.8	44.5 $\pm$ 0.7	16.0 $\pm$ 0.8	28.0 $\pm$ 0.5	0.45	245.1	109.7	26880	404.6	

TR Type Cores



■ Dimensions and Magnetic Parameter

Cores	Dimensions (mm)				Parameter			
	A	B	C	R	$C_i(\text{mm}^{-1})$	$A_e(\text{mm}^2)$	$l_e(\text{mm})$	$V_e(\text{mm}^3)$
TR 4×2×1.5	4.0±0.3	2.0±0.25	1.5±0.2	0.3	6.20	1.40	8.71	12.2
TR 6×3×2	6.0±0.3	3.0±0.3	2.0±0.2	0.3	4.62	2.83	13.1	36.9
TR 8×4×2	8.1±0.3	4.35±0.3	2.0±0.2	0.3	5.16	3.56	18.3	65.3
TR 9×5×3	9.1±0.3	5.1±0.3	3.0±0.3	0.3	3.67	5.75	21.1	121
TR 12×6×4	12.0±0.4	6.0±0.3	4.0±0.3	0.5	2.33	11.2	26.1	293
TR 13×7×5	13.0±0.4	7.0±0.4	5.0±0.3	0.5	2.08	14.2	29.5	419
TR 14×8×6.5	14.0±0.4	8.0±0.3	6.5±0.3	0.5	1.76	18.6	32.8	612
TR 16×12×8	16.0±0.4	12.0±0.4	8.0±0.3	0.3	2.75	15.8	43.4	684
TR 18×10×7	18.0±0.4	10.0±0.3	7.0±0.3	0.5	1.55	26.7	41.5	1100
TR 20×12×4.15	20.0±0.3	12.0±0.3	4.15±0.3	0.5	3.06	15.7	48.1	757
TR 22×14×8	22.0±0.5	14.0±0.3	8.0±0.3	0.5	1.77	30.9	54.7	1690
TR 25×15×8	25.0±0.5	15.0±0.4	8.0±0.3	0.5	1.56	38.5	60.2	2320
TR 25×15×12	25.0±0.5	15.0±0.4	12.0±0.4	0.5	1.04	58.1	60.2	3500
TR 28×16×12	28.0±0.5	16.0±0.5	12.0±0.4	0.8	0.961	68.3	65.6	4480
TR 31×19×8	31.0±0.8	19.0±0.6	8.0±0.4	0.8	1.67	45.4	75.9	3450
TR 33×20×9	33.0±0.6	20.0±0.5	9.0±0.3	0.8	1.45	55.2	79.9	4410
TR 36×23×15	36.0±0.6	23.0±0.5	15.0±0.5	0.8	0.957	93.6	89.7	8400
TR 40×27×15	40.2±0.8	27.0±0.6	15.0±0.5	0.8	1.08	95.3	103	9800
TR 46×31×12	46.0±0.8	31.0±0.6	12.0±0.4	0.8	1.37	86.1	118	10200

The dimensions and their tolerance might be changed from above-mentioned list in accordance with the materials.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

力信 工程 王美娟

Material FERITE tom

29/12/1999

富實業股份有限公司
張永福 經理

1993年4月16日
富士電氣化学株式会社
海外営業本部アジア課
担当者：李岳東

(僅供參考)

FDK 新 旧 材 質 对 照 表		
新材質名	旧材質名	μ_i
6H10	H63, H45A	✓ 2500 ± 20%
6H20	H63B, H49N	✓ 2300 ± 20%
7H10	H63A	1500 ± 20%
✓2H10	H25Z	10000 ± 30%
2H07	H24Z	✓ 7500 ± 25%
2H06	H24A	✓ 5500 ± 20% HAG
2H04	H24B	4000 ± 20%
2H03	H45-FR關係	✓ 2500 ± 20%
6H10	H45-FR以外	✓ 2500 ± 20%

μ_i = Initial permeability (初透磁率)

Transformers use μ_i 1800 - 5,000 以上
電機用鐵心 use μ_i 1,000 - 18,000 以上

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสได้ใช้

pay
BY.

Standard Characteristics of Materials

Average Value

Materials	μ_{iac}	$\tan\delta/\mu_{iac}$	$\alpha\mu_{iac}$	B _{ms}	H _c	T _c	ρ	d
	10KHz	10KHz $\times 10^{-5}$	20°C~60°C $\times 10^{-6}$	1000A/m (mT)	(A/m)	(°C)	(Ω -m)	(kg/m ³) $\times 10^3$
2C2	1100	0.9	4.0	420	27.9	200	0.20	4.8
2C3	2000	0.6	3.0	370	15.9	110	1.30	4.9
2D1	4000	0.5	0.3	380	11.9	105	0.13	4.9
2D3	3000	0.3	-0.4	450	11.9	160	0.9	4.9
2D3C	4000	0.1	0.2	410	8.0	140	0.1	4.9
2E1	7000	1.8	-0.8	415	8.0	150	0.012	4.9
2E1C	7000	1.1	0.15	400	6.4	120	0.02	4.95
2E2	10000	1.5	0.1	370	4.0	120	0.024	4.9
2E3	4300	0.11	0.4	430	11.1	160	0.3	4.9
2E4	4000	0.15	-0.5	450	11.9	180	0.1	4.8
2F1	3500	0.2	1.0	370	7.2	120	0.13	4.8

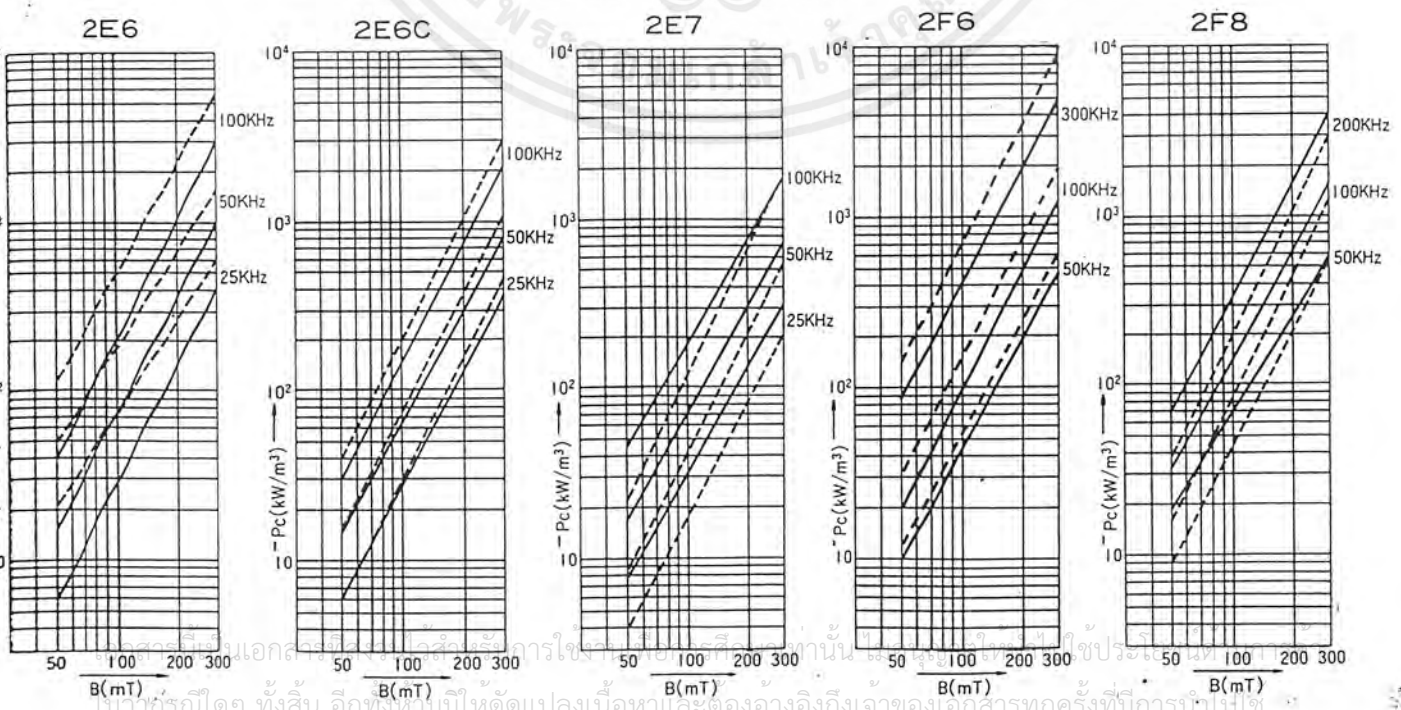
Standard Characteristics of Materials (For Power Applications)

Average Value

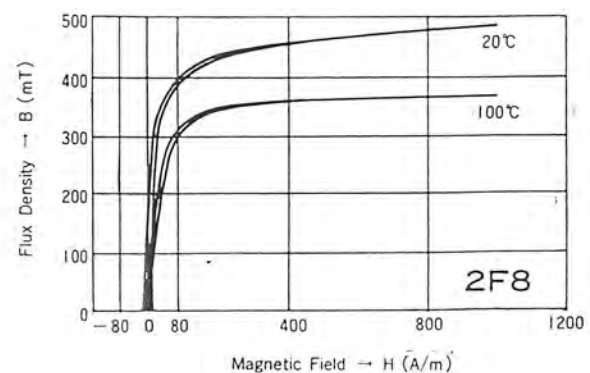
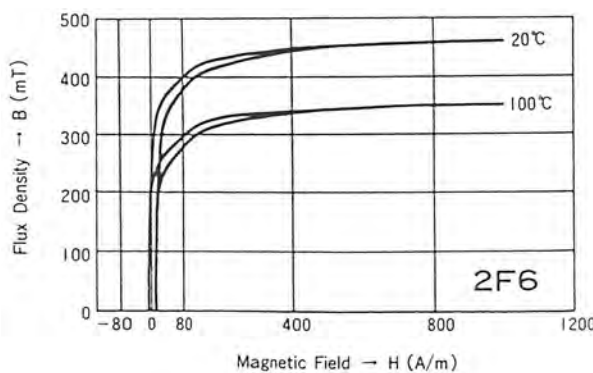
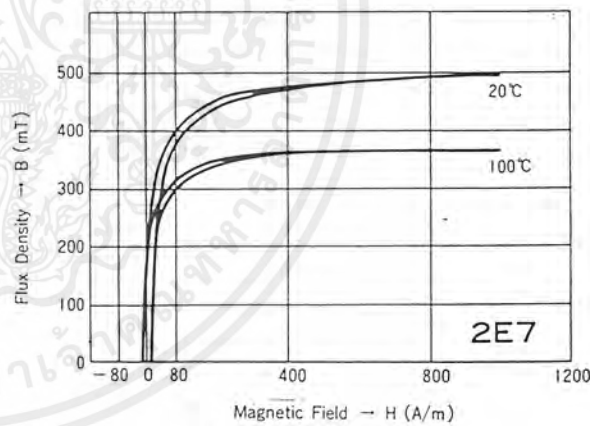
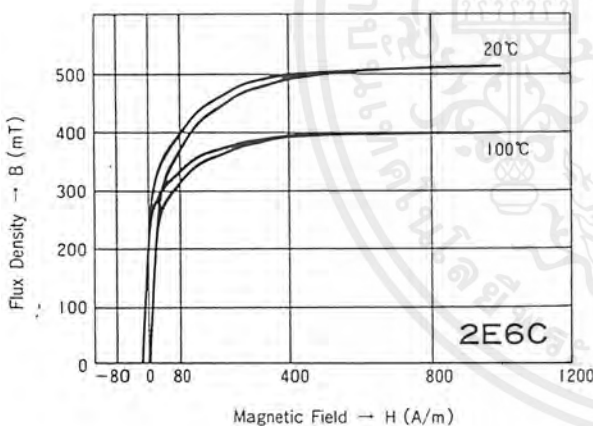
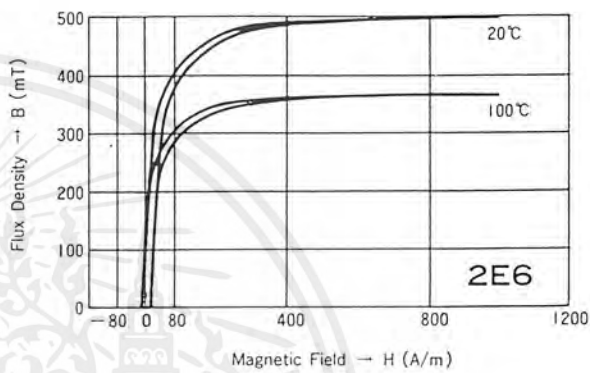
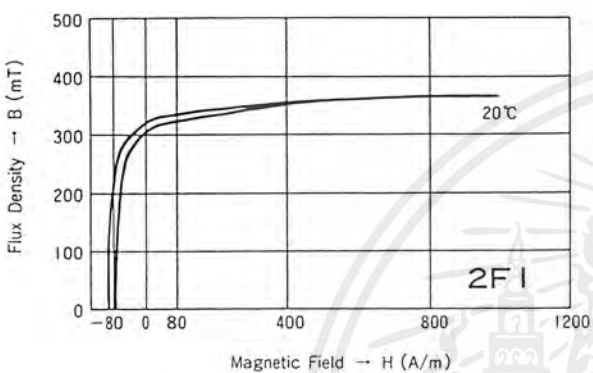
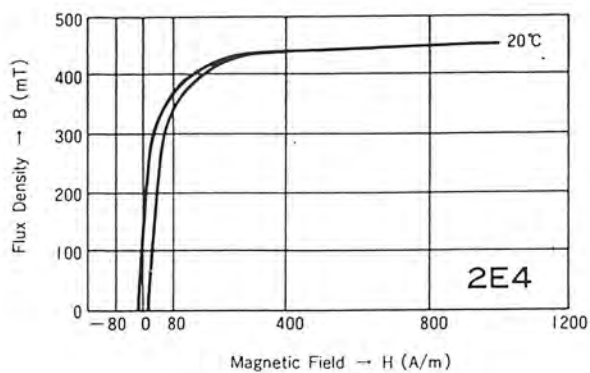
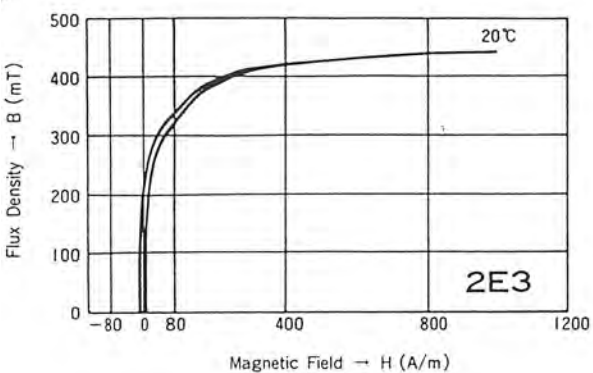
Materials	μ_{iac}	$\tan\delta/\mu_{iac}$	$\alpha\mu_{iac}$	P_c				B_{ms}		H_c	T_c	ρ	d
	10KHz	10KHz $\times 10^{-5}$	20°C~60°C $\times 10^{-6}$	20°C (KW/m ³)	100°C (KW/m ³)	f (Sine Wave) (KHz)	B (mT)	20°C (mT)	100°C (mT)	20°C (A/m)	(°C)	(Ω -m)	(kg/m ³) $\times 10^3$
2E6	3000	0.1	-0.5	160	260	25	200	490	370	18.8	> 200	0.23	4.9
2E6C	2000	0.16	7.5	140	164	25	200	510	390	22.6	> 230	0.37	4.8
2E7	2400	0.15	1.25	800	600	100	200	490	360	18.8	190	3	4.8
2F6	3300	0.07	2.65	475	735	100	200	470	340	11.9	> 200	2.1	4.8
2F8	2200	0.1	6.3	650	460	100	200	490	370	9.5	> 200	8	4.8

Power Loss at High Flux Density

Average Value ——— 20°C
----- 100°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

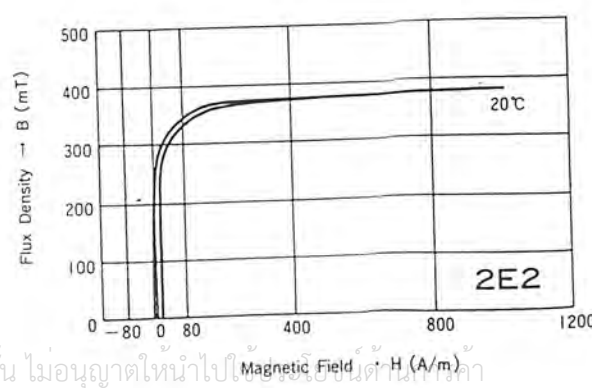
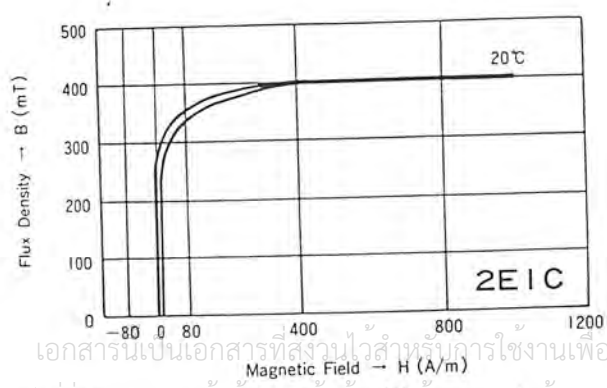
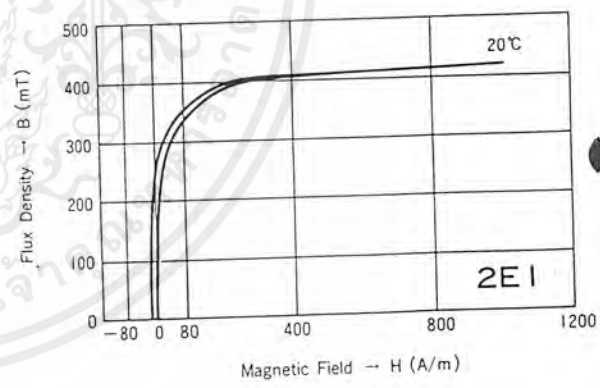
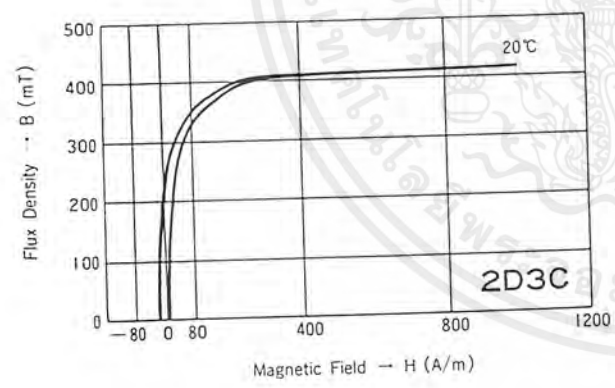
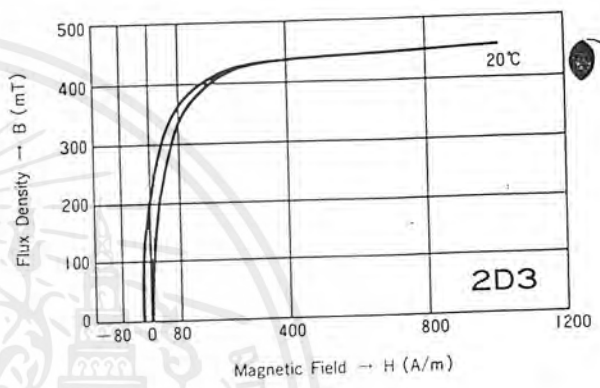
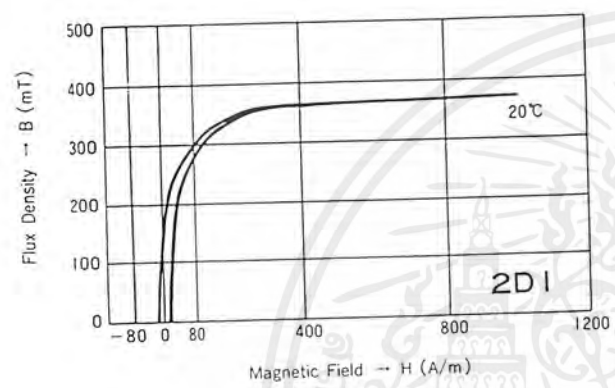
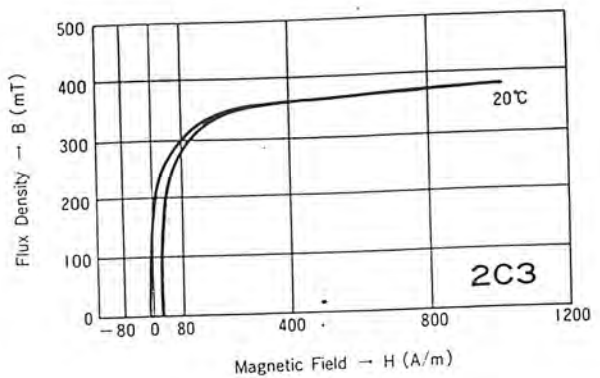
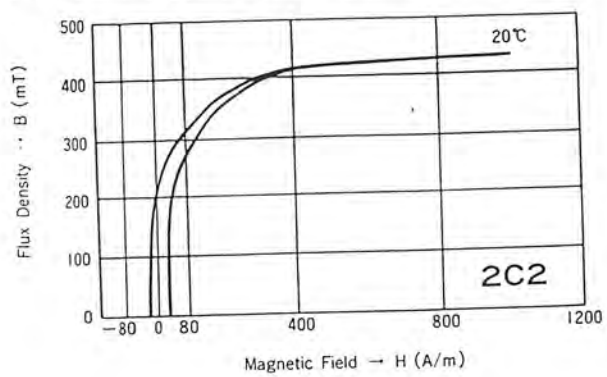


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Static Magnetization Curves

Average Value

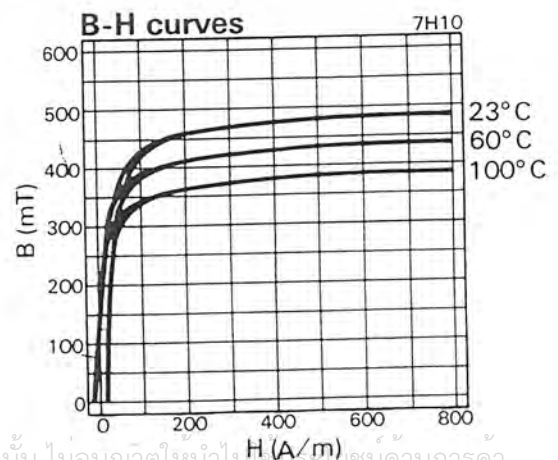
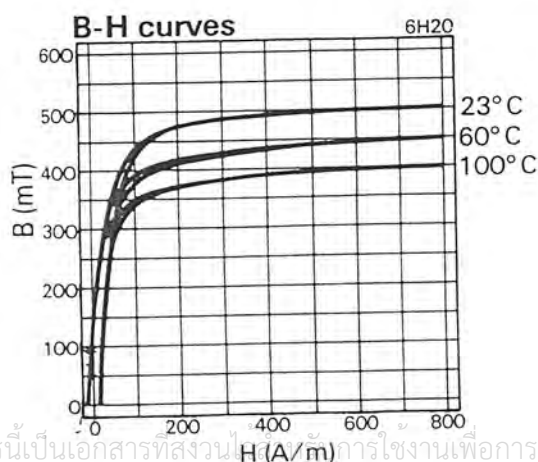
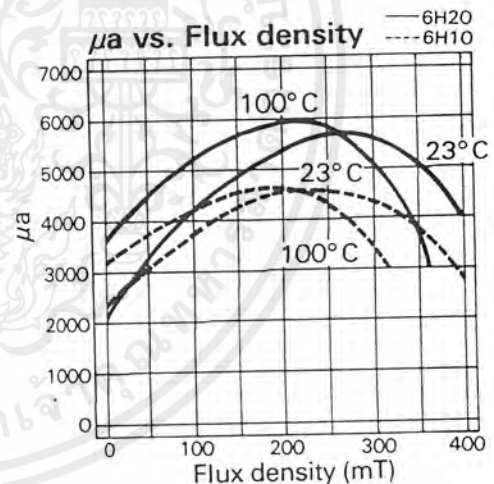
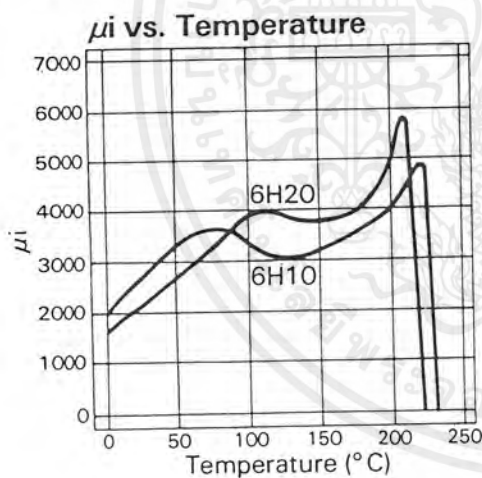


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
 ไม่ควรแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard material characteristics (Power material)

Property	Symbol	Condition	Unit	6H10	6H20	7H10
Initial permeability	μ_{iac}			2500±20%	2300±20%	1500±20%
Saturation magnetic flux density	Bs (800A/m)	23°C	mT	510	510	480
		100°C		390	390	380
Residual magnetic flux density	Br	23°C	mT	110	130	150
Coercivity	Hc	23°C	A/m	13	13	30
Relative loss factor	$\tan \delta / \mu_{iac}$	100kHz	$\times 10^{-6}$	< 5	< 5	< 5
Core loss	200mT	25kHz	kW/m³	80	80	—
				80	65	—
				110	55	—
		100kHz	kW/m³	500	500	—
				500	420	—
				600	400	—
	50mT	500kHz	kW/m³	—	—	100
				—	—	80
				—	—	100
		1MHz	kW/m³	—	—	400
				—	—	400
				—	—	500
Temperature coefficient	$\alpha_{\mu r}$	20~80°C	$\times 10^{-6}$	8	8	8
Curie temperature	Tc	—	°C	> 200	> 200	> 200
Resistivity	ρ	—	$\Omega \cdot m$	3	3	5
Density	d	—	kg/m³ $\times 10^3$	4.8	4.8	4.8

- Note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).
 2) The values were obtained at 23±2°C unless otherwise specified.
 3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.

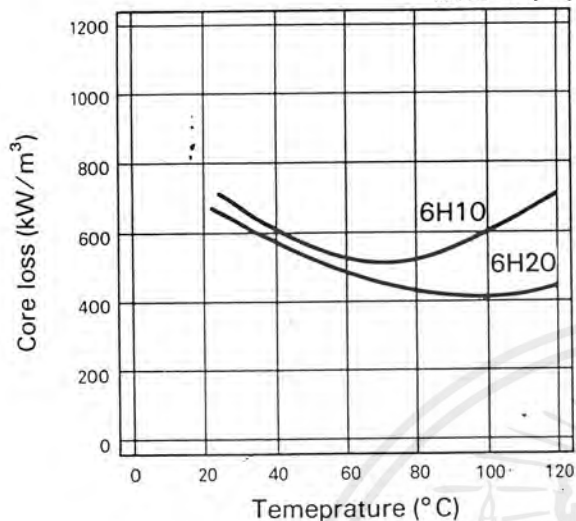


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่ในการค้า

Material characteristic curves (Power material)

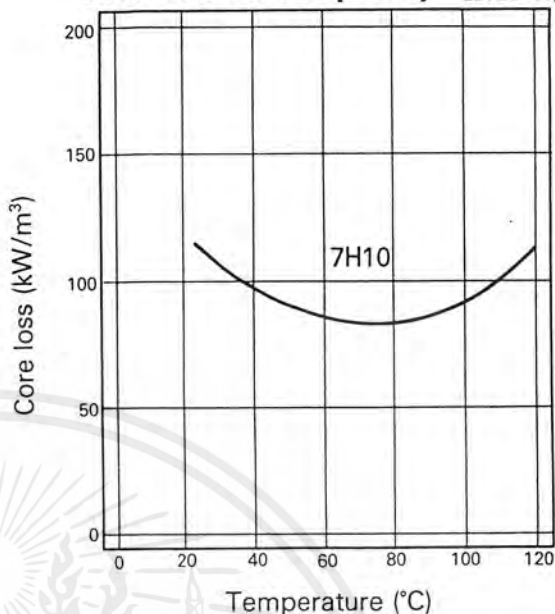
Core loss vs. Temperature

FREQ.—100[kHz]
LEVEL—200[mT]



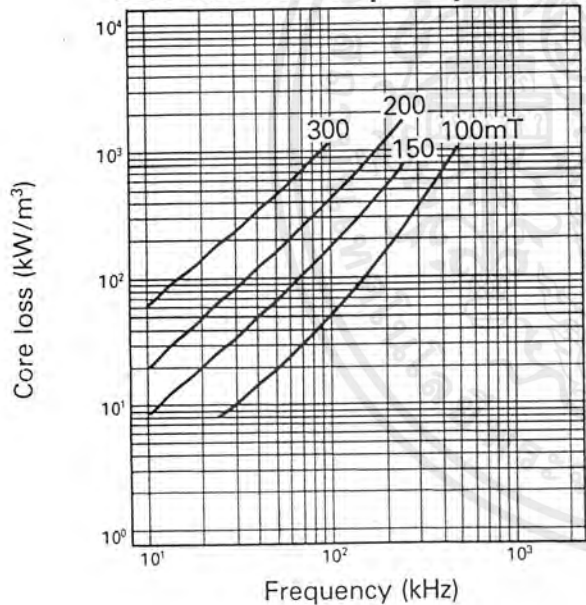
Core loss vs. Frequency

FREQ.—500[kHz]
LEVEL—50[mT]



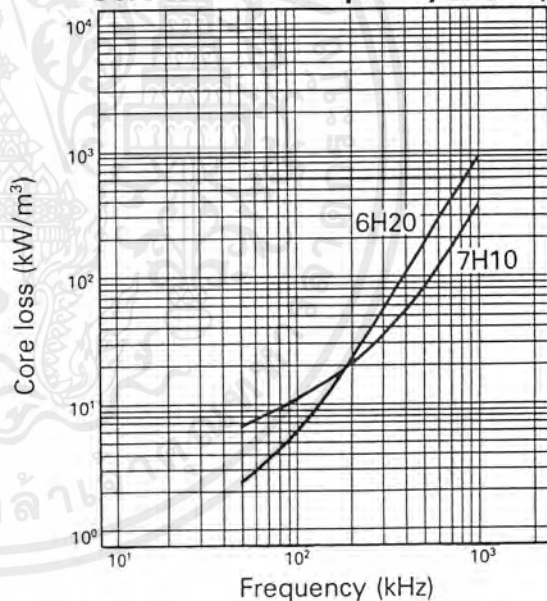
Core loss vs. Frequency

6H20
TEMP.—100[°C]



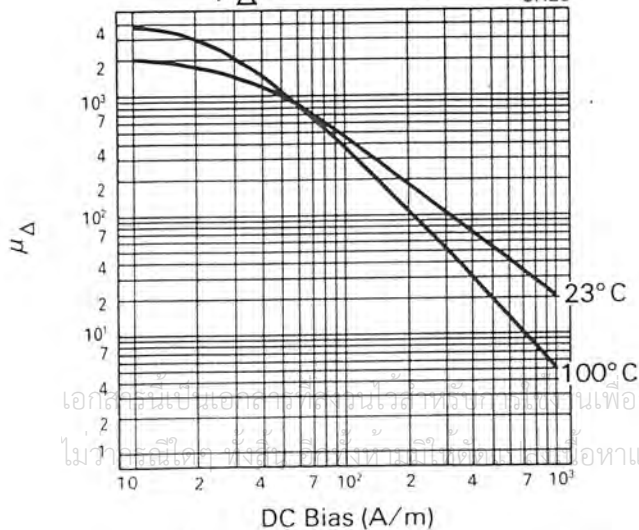
Core loss vs. Frequency

TEMP.—80[°C]
LEVEL—50[mT]



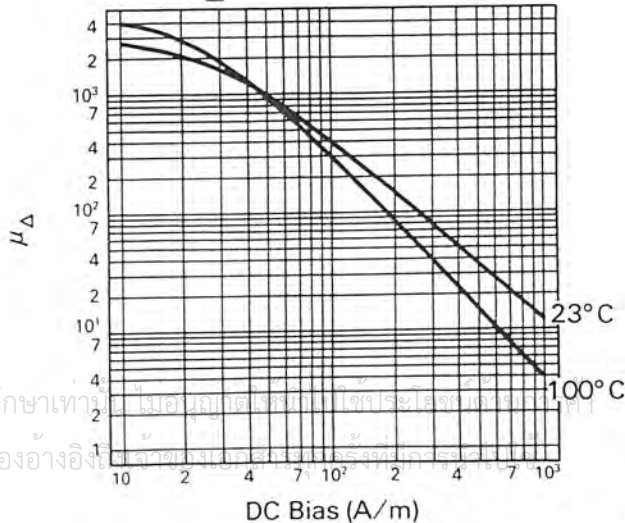
μ_{Δ} vs. DC Bias

6H20



μ_{Δ} vs. DC Bias

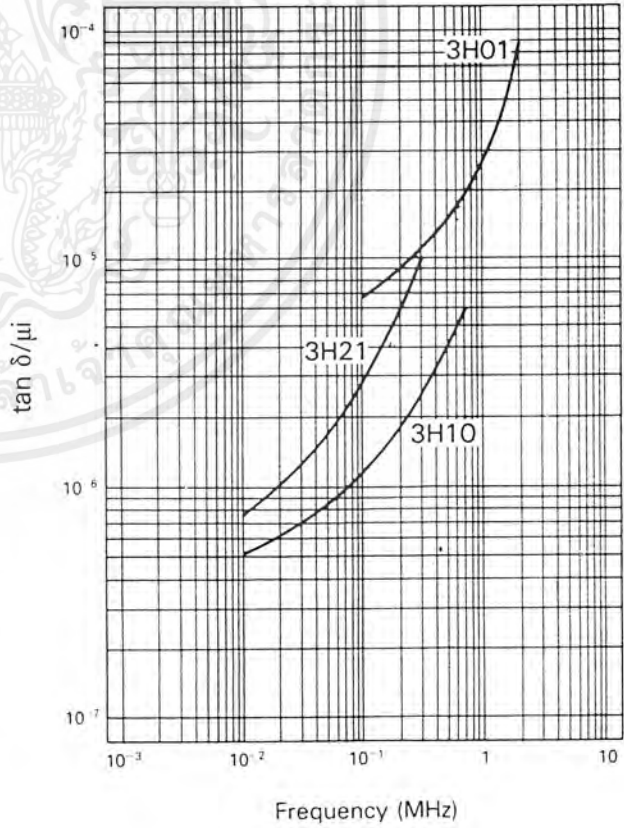
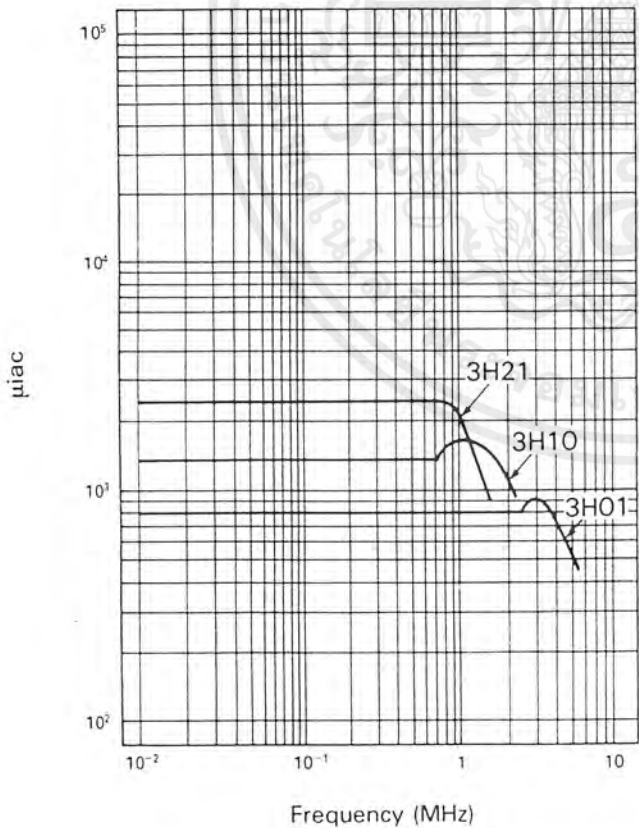
7H10



Standard material characteristics (Linear material)

Property		Symbol	Unit	3H01	3H10	3H20	3H21
Initial permeability		μ_{iac}		800 $\pm 20\%$	1200 $\pm 20\%$	2200 $\pm 20\%$	2400 $\pm 20\%$
Relative loss factor		$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-6}$	< 20 (0.5MHz) < 40 (1MHz)	< 1.5 (0.1MHz) < 4 (0.5MHz)	< 2.5 (0.1MHz)	< 3.5 (0.1MHz)
Temperature coefficient	-30 to 20°C	$\alpha \mu r$	$\times 10^{-6}$	0 to 2	0.3 to 2	0.4 to 1.6	0.4 to 2
	20 to 55°C			0 to 2	0.2 to 1	0.4 to 1.2	0.4 to 2
	20 to 70°C			0 to 2	0.2 to 1	0.4 to 1.2	0.4 to 2
Saturation magnetic flux density		Bs	Gauss	3900	4650	4200	4100
			mT	390	465	420	410
Residual magnetic flux density		Br	Gauss	1700	1500	800	1100
			mT	170	150	80	110
Coercivity		Hc	Oe	0.7	0.5	0.15	0.3
			A/m	56	40	12	24
Hysteresis material constant		η_B	$\frac{\times 10^{-6}}{\text{mT}}$	< 1.8 (10kHz)	< 0.4 (100kHz)	< 0.4 (10kHz)	< 0.6 (10kHz)
Disaccommodation factor		DF	$\times 10^{-6}$	< 20	< 4	< 2	< 3
Curie temperature		Tc	°C	> 250	> 200	> 160	> 160
Resistivity		ρ	$\Omega \cdot \text{m}$	5	5	5	4
Density		d	$\text{kg/m}^3 \times 10^3$	4.6	4.7	4.8	4.8

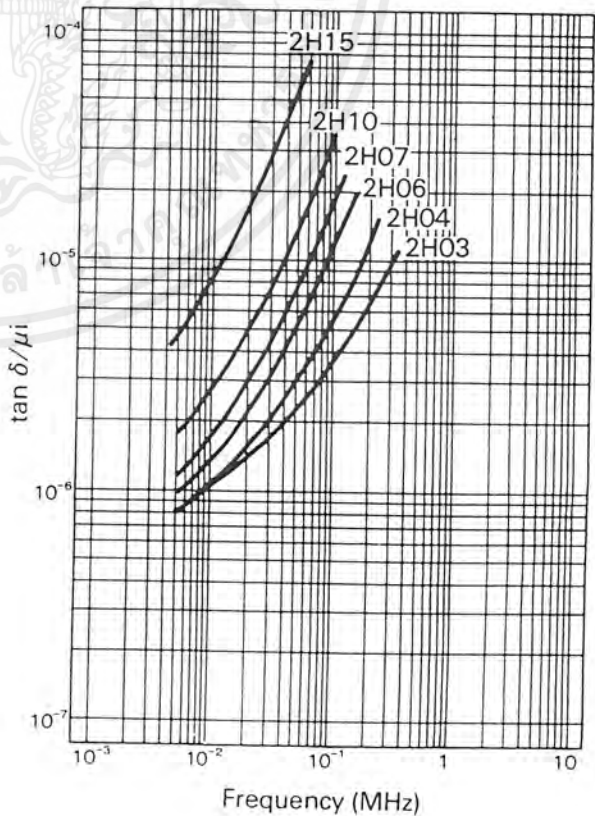
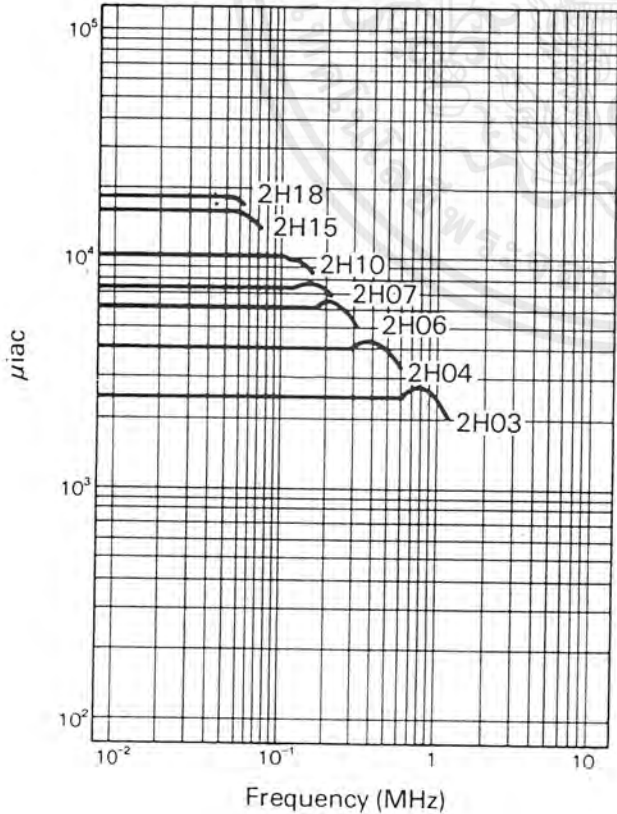
Note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).
2) The values were obtained at 23±2°C unless otherwise specified.
3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.



Standard material characteristics (Linear material)

Property		Symbol	Unit	2H03	2H04	2H06	2H07	2H10	2H15	2H18
Initial permeability		μ_{iac}		2500 $\pm 20\%$	4000 $\pm 20\%$	5500 $\pm 20\%$	7500 $\pm 25\%$	10000 $\pm 30\%$	15000 $\pm 30\%$	18000 $\pm 30\%$
Relative loss factor		$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-6}$	< 4 (100kHz)	< 10 (100kHz)	< 30 (100kHz)	< 5 (10kHz)	< 7.0 (10kHz)	< 15 (10kHz)	< 90 (10kHz)
Temperature coefficient	-30 to 20°C	$\alpha \mu r$	$\times 10^{-6}$		0 to 2.0	0 to 2.0	0 to 2.0	0 to 1.5	0 to 1.5	0 to 1.5
	20 to 55°C				0 to 2.0	0 to 2.0	0 to 2.0	-0.5 to 1.5	-0.5 to 1.5	-0.5 to 1.5
	20 to 70°C									
Saturation magnetic flux density		Bs	Gauss	4700	4200	4200	4100	4000	4000	4000
			mT	470	420	420	410	400	400	400
Residual magnetic flux density		Br	Gauss	1000	800	800	600	600	600	800
			mT	100	80	80	60	60	60	80
Coercivity		Hc	Oe	0.16	0.10	0.10	0.05	0.025	0.02	0.02
			A/m	12.8	8	8	4	2	1.6	1.6
Hysteresis material constant		η_B	$\frac{\times 10^{-6}}{\text{mT}}$		< 0.8 (10kHz)	< 0.8 (10kHz)	< 0.6 (10kHz)	< 1.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)
Disaccommodation factor		DF	$\times 10^{-6}$		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 2.0	< 1.0	< 1.0
Curie temperature		Tc	°C	> 200	> 140	> 140	> 130	< 120	< 120	< 120
Resistivity		ρ	$\Omega \cdot \text{m}$	1	1	0.2	0.1	0.01	0.01	0.01
Density		d	$\text{kg/m}^3 \times 10^3$	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.0

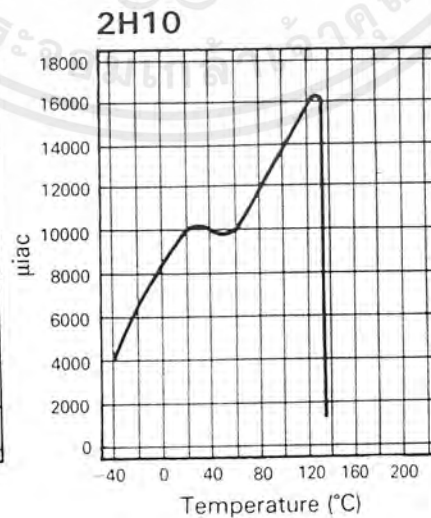
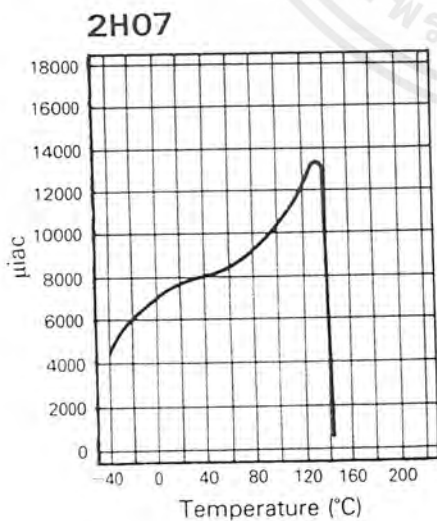
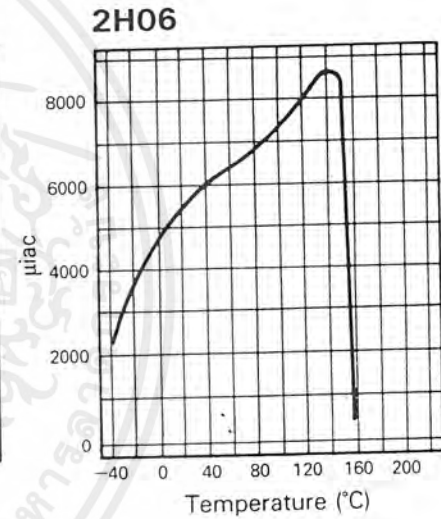
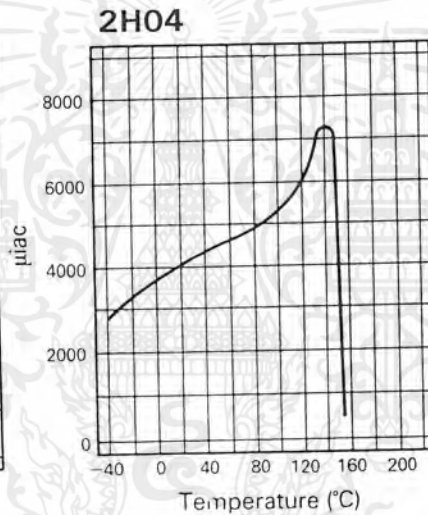
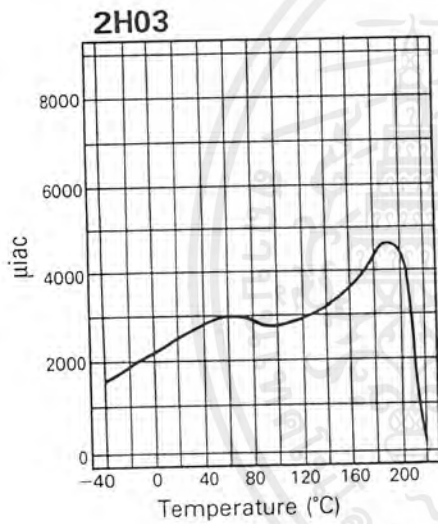
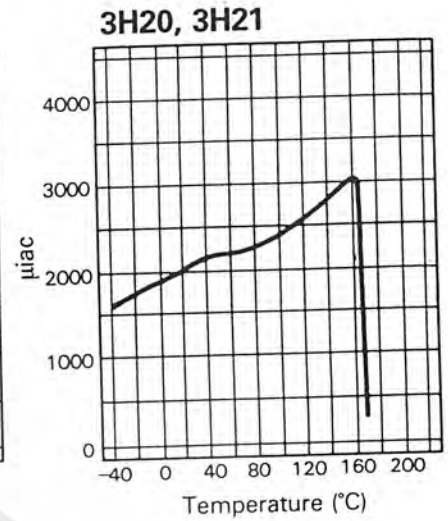
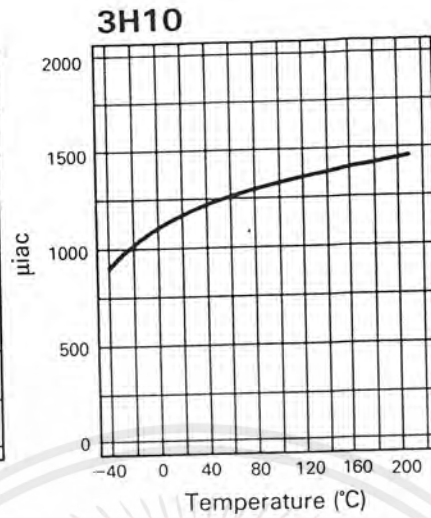
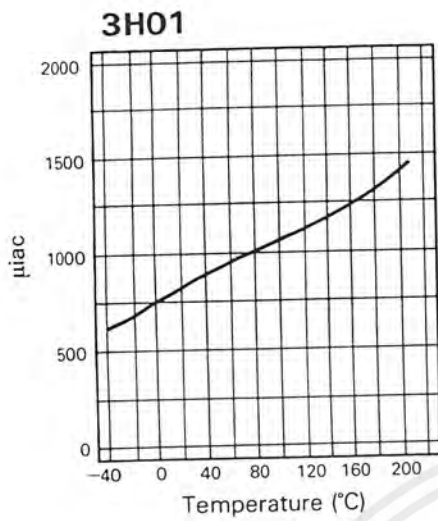
- note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).
2) The values were obtained at 23±2°C unless otherwise specified.
3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

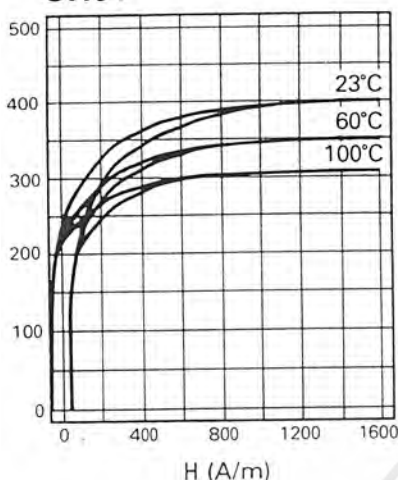
Material characteristics curves

(Linear material)
 μ_{iac} vs. temperature

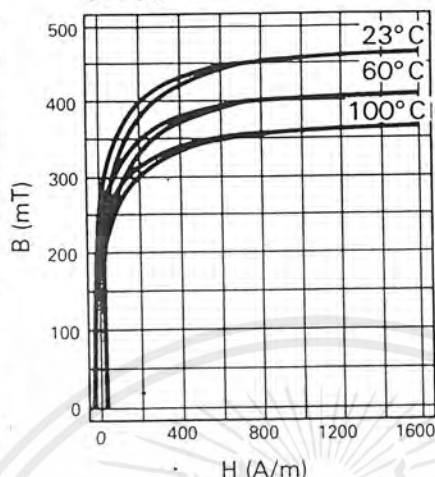


Material characteristics curves (Linear material) B vs. H

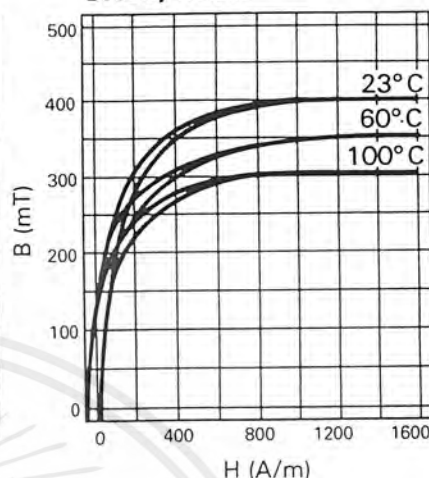
3H01



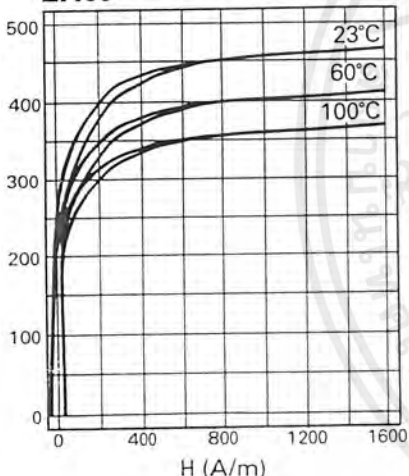
3H10



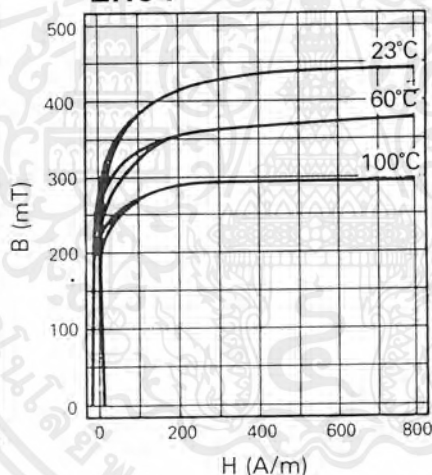
3H20, 3H21



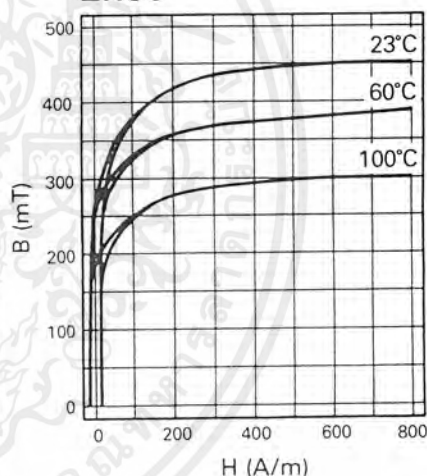
2H03



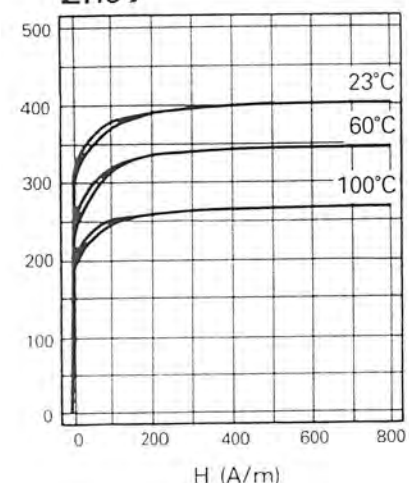
2H04



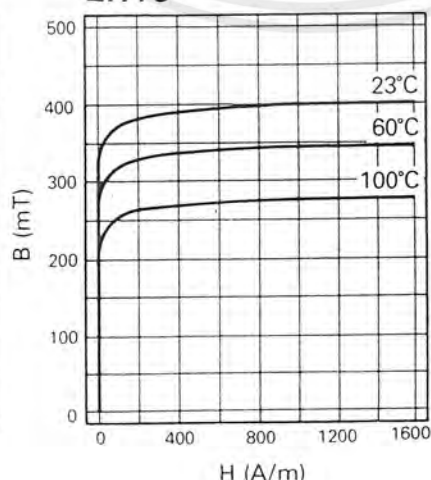
2H06



2H07



2H10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MOHAN,UNDELAND,ROBBIN,"Power Electronics",New York john wiley & Sons,Inc.2ndEdition,1995.
- [2] V.J. Thottuvel, T.G Wilson and H.A. Owen, JR "High Frequency Techniques for magnetic cores "IEEE Trans Power Electronics Vol. 5 .No 1990.
- [3] E C Snelling, B Sc (Eng),C Eng, FIEE " Soft Ferrite Properties and Applications", Second Edition,1988
- [4] ชานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ “ การอินเตอร์เฟส IBM PC” บริษัท ฟิสกัสเซ็นเตอร์ การพิมพ์, หน้า 1-51,191-196 ,การพิมพ์ครั้งที่ 1
- [5] จักรพงษ์ สุขประเสริฐ “ คู่มือการเขียนโปรแกรมด้วย Delphi 4.0 ” สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, พ.ศ.2542

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการนี้ที่ช่วยแนะนำแนวทางในการแก้ไข
ปัญหาของโครงการ และขอขอบคุณพี่ต๋อง พี่หัด ที่คอยช่วยแนะนำแนวทางแก้ปัญหาและช่วยแก้ปัญหา
ในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ สมาชิกในกลุ่มที่ช่วยกัน
ทำงานเพื่อให้โครงการสำเร็จและบรรลุเป้าหมายของโครงการที่วางไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้