



ปีการศึกษา 2539

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงความถี่สูง

HIGH FREQUENCY D.C WELDING

โดย

นาย จักรพันธ์ สุวรรณประเสริฐ

นาย ขนาริป เชียงทอง

นาย สุพรหม บุญมะยา

วัน เดือน ปี.....	30 ก.ย. 2539
เลขทะเบียน.....	638223
เลขเรียกหนังสือ.....	139203 จ 2251ค.

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

อาจารย์ อนุวัฒน์ อางวนิขเลิศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	V
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 2.1 หม้อแปลงสวิตชิง	2
2.2 เพาเวอร์มอสเฟต	13
2.3 เพาเวอร์ไดโอด	17
2.4 แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง	19
2.5 วงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์	21
2.6 ส่วนเอาต์พุต	22
2.7 วงจรสแน็บเบอร์	24
2.8 ตัวเหนี่ยวนำ	25
2.9 ตัวเก็บประจุ	26
บทที่3 วงจรคอนโทรล	28
บทที่4 การออกแบบหม้อแปลง	34
บทที่5 การทดลองและผลการทดลอง	47
บทที่6 บทวิจารณ์และสรุป	53
ภาคผนวก ก. ข้อมูลแกนเฟอร์ไรต์ของบริษัทผู้ผลิตและเบอร์เทียบ	
ข. ข้อมูลตัวอุปกรณ์มอสเฟตและไอจีบีที	
ค. ข้อมูลและตารางขนาดเบอร์ของตัวนำ	
ง. Transformer Area Product	
จ. การคำนวณวงจรและเลือกใช้	
ฉ. โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของชิ้นงาน	
ช. DATA SHEETของIC ต่างๆ	

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1.1 แสดงส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงสวิตชิง(ก) และการพันขดลวดทองแดง อาบนํ้าขบวนบอบบิ้น(ข)	2
รูปที่ 2.1.2 แสดงตัวอย่างและขนาดมาตรฐานของบอบบิ้นสำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบEE,EI	3
รูปที่ 2.1.3 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบEE,EI	4
รูปที่ 2.1.4 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8(ก),3C6A(ข)	6
รูปที่ 2.1.5 แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C8(ก),3C6A(ข)	7
รูปที่ 2.1.6 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เหมาะสมของแกนเฟอร์ไรต์	10
รูปที่ 2.2.1 โครงสร้างมอสเฟตแบบเอ็น-แชลแนล ดีเพรสชัน(ก)และพี-แชลแนล ดีเพรสชัน(ข)	13
รูปที่ 2.2.2 โครงสร้างเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟตแบบเอ็น-แชลแนล(ก)และพี-แชลแนล(ข)	14
รูปที่ 2.2.3 ลักษณะสมบัติการโอนย้ายของมอสเฟต	15
รูปที่ 2.2.4 ลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตของเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟต	16
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสมบัติของ ไดโอดทั้ง3ชนิดขณะนำกระแส	17
รูปที่ 2.4 แหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร	19
รูปที่ 2.5 ชุดฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของวงจร	22
รูปที่ 2.6 วงจรสับเบอร์ที่ใช้ร่วมกับวงจรด้านเอาต์พุต	22
รูปที่ 2.7 วงจรสับเบอร์	24
รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดพัลส์ของ ไอซี SG3524	28
รูปที่ 3.2 บัพเฟอร์แบบอินเวอร์เตอร์ต่อกับขาเอาต์พุตของ ไอซี SG 3524	29
รูปที่ 3.3 วงจรขับมอสเฟตโดยใช้ไอซี IR2110	29
รูปที่ 3.4 แสดงการต่อเนื่องสัญญาณจาก ไอซี SG 3524 ไปวงจรขับ	30
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรป้องกันทางด้านกระแส	30
รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์กำลังสวิตซ์ของวงจรป้องกัน	31
รูปที่ 3.7 วงจรป้องกันด้านความร้อน	31
รูปที่ 3.8 วงจรขับโดยใช้หม้อแปลงพัลส์	32
รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดจำนวนชั้นในพอร์ชัน	38
รูปที่ 4.2 แสดงการลดค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดของฟลักซ์รั่ว โดยการแบ่งครึ่งขดลวด ทางปฐมภูมิ	38
รูปที่ 4.3 แสดงการลดจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชันลงไปอีกโดยการแบ่งครึ่งขดทุติยภูมิด้วย	39

รูปที่ 4.4	แสดงค่า F_r ซึ่งขึ้นกับจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชั้น	39
รูปที่ 4.5	แสดงลักษณะพอร์ชั้นที่มีจำนวนชั้นเท่ากับครึ่งชั้น	40
รูปที่ 4.6	แสดงการผันขดลวดโดยใช้ลวดทองแดงขนานกัน	40
รูปที่ 4.7	แสดงความเหมาะสมของลวดทองแดงกับจำนวนชั้นขดลวดที่ค่า $F_r=1.5$	42
รูปที่ 4.8	แสดงความเหมาะสมของสตริปทองแดงกับจำนวนชั้นที่ค่า $F_r=1.5$	43
รูปที่ 4.9	ค่าเปอร์เซ็นต์อัตราส่วน F_r ของลวดทองแดงและสตริปทองแดงที่ค่า F_r ต่ำกว่า1.5	44
รูปที่ 4.10	แสดงรูปคลื่นแบบต่างๆค่ากระแสอาร์เอ็มเอสและค่ากระแสเฉลี่ย	45
รูปที่ 4.11	แสดงแฟคเตอร์อุณหภูมิความต้านทานขดลวดทองแดง	46
รูปที่ 5.1	สัญญาณ V_{gs1} และ V_{gs2} ที่10V/DIVและTIME/DIV=10 μ s	50
รูปที่ 5.2	สัญญาณ V_{out} (บน)ที่10 V/DIVและ V_{gs2} (ล่าง)ที่10V/DIV โดยการปรับ $t_{on}=5\mu$ s ที่แรงดันคร่อมC=200 V	50
รูปที่ 5.3	สัญญาณ V_{out} (บน)ที่20 V/DIVและ V_{gs2} (ล่าง)ที่10V/DIV โดยการปรับ $t_{on}=10\mu$ s ที่แรงดันคร่อมC=200 V	51
รูปที่ 5.4	สัญญาณ V_{out} (บน)ที่20 V/DIVและ V_{gs2} (ล่าง)ที่10V/DIV โดยการปรับ $t_{on}=12\mu$ s ที่แรงดันคร่อมC=200 V	51
รูปที่ 5.5	สัญญาณ V_{sec} (บน)ที่5V/DIVx10(prob)และ V_{gs2} (ล่าง)ที่10V/DIV โดยการปรับ $t_{on}=12\mu$ s ที่แรงดันคร่อมC=150 V	52
รูปที่ 5.6	สัญญาณ V_{sec} (บน)ที่5V/DIVx10(prob)และ V_{gs2} (ล่าง)ที่10V/DIV โดยการปรับ $t_{on}=15\mu$ s ที่แรงดันคร่อมC=100 V	52

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองโหลดด้วยถังน้ำเกลือ โดยปรับ $t_{on}=5\mu s$	48
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองโหลดด้วยถังน้ำเกลือ โดยปรับ $t_{on}=10\mu s$	48
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองโหลดด้วยถังน้ำเกลือ โดยปรับ $t_{on}=12\mu s$	49
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองโหลดด้วยถังน้ำเกลือ โดยปรับ $t_{on}=15\mu s$	49



เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสดรทรงความถี่สูง

นายจักรพันธ์ สุวรรณประเสริฐ

นายชนาธิป เชียงทอง

นายสุพรหม บุญมะขมา

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

อาจารย์. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสดรทรงแบบสวิตซ์ิ่ง ที่ให้ประสิทธิภาพสูง น้ำหนักเบา มีขนาดกระทัด โดยอาศัยหลักการของสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ความถี่สูงมาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะได้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าชนิดกระแสดรทรงดังกล่าว ที่เป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสดรทรงทั่วไปที่อาศัยหม้อแปลงความถี่ต่ำที่มีขนาดใหญ่และให้ประสิทธิภาพต่ำ

นอกจากนี้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสดรทรงสามารถเชื่อมได้ง่าย ให้ประสิทธิภาพการเชื่อมสูงกว่าเครื่องเชื่อมกระแสดรลับ และยังเหมาะกับการใช้งานตามสถานที่ต่างๆเพราะใช้ไฟบ้าน220 โวลต์

HIGH FREQUENCY D.C WELDING

Jakpan Suwanaprasert

Chanarthip Chcingthong

Suphrom Boonmaya

Viriya Pichetijumreon Adviser

Anuwat Jangwanitlert Adviser

1996

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present a DC welding machine. It has high efficiency light weight and small size. We use high frequency switching power supply concept, which is DC welding machine, that is an essential issue when compares to normal DC welding machine, which use low frequency transformer, that is big size and low efficiency.

Besides, the DC welding machine can use easily, well efficiency welding, that compare the AC welding machine and portable anyway and use 220v.

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันงานเชื่อมโลหะมีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเชื่อมจะมีความมั่นคงและแข็งแรง งานเชื่อมโลหะแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทำให้ต้องใช้เครื่องเชื่อมที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้า เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้แก๊ส เป็นต้น

ในส่วน of เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับและเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องเชื่อมโลหะที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับมีข้อดีคือสร้างได้ง่ายและราคาถูกกว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง แต่มีข้อจำกัดในด้านการเชื่อมที่ไม่สามารถเชื่อมโลหะบางชนิดได้ ส่วนเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีในแง่ของการเลือกขั้วเชื่อมได้ ทำให้เชื่อมโลหะได้ทุกชนิดรวมทั้งการเชื่อมโลหะที่เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับทำไม่ได้ เช่น อลูมิเนียม เหล็กหล่อ เป็นต้น นอกจากนี้ประกายไฟ (Arc) ของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงจะเรียบกว่าประกายไฟของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับทำให้เชื่อมได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง โดยทั่วไปแล้วเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่ให้แรงดันออกต่ำและกระแสออกสูง แหล่งจ่ายไฟตรงของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงใช้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์เป็นตัวลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับลงมาให้มีค่าเหมาะสม จากนั้นก็ใช้วงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสไฟตรงและในกรณีที่ต้องการปรับกระแสไฟเชื่อมจะทำได้โดยการปรับความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หลักการดังกล่าวข้างต้นนั้นจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เราสามารถลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบวิธีสวิตซ์ที่ใช้หลักการสวิตซ์ด้วยความถี่สูงวงจรอินเวอร์เตอร์ (INVERTER) ที่ถูกนำมาใช้จะเป็นแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เพราะสามารถรับเพาเวอร์ได้สูงตั้งแต่ 1000 วัตต์ ขึ้นไป และใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นตัวสวิตซ์ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไฟรมาธิ์ของหม้อแปลงเท่ากับแรงดันอินพุตแต่แรงดันตกคร่อมตัวมอสเฟต จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต

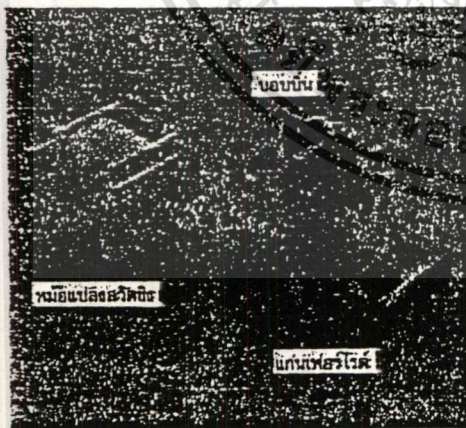
บทที่ 2

2.1 หม้อแปลงสวิตชิง

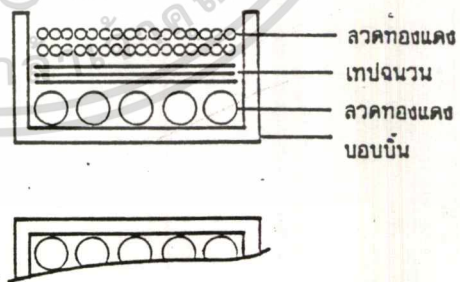
หม้อแปลงสวิตชิง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์สัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์สัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆ ของหม้อแปลงสวิตชิง ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดลวดทองแดง รวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตชิงขณะทำงาน ดังจะได้กล่าวไว้โดยละเอียดในบทนี้

ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค้ำต่ำที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงแสดงไว้ในรูปที่ 2.1.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1.1 แสดงส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงสวิตชิง (ก) และการพันขดลวดทองแดงรอบนํ้ายานบอบนั้ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

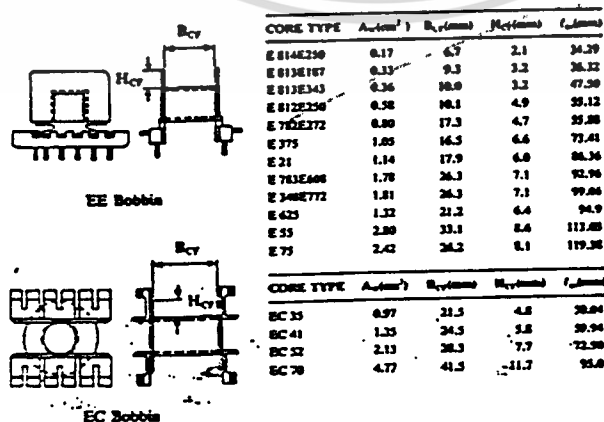
เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3.000 ถึง 4.000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

-บอบบิ้น (Bobbin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ตัวอย่างขนาดของบอบบิ้นดูได้จาก รูปที่ 2.1.2 บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาหักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

-ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

การพันขดลวดทั้งไฟโพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตชิงที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.1.2 แสดงตัวอย่างและขนาดมาตรฐานของบอบบิ้นสำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE , EC เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

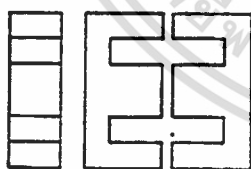
-ฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไฟโรรี่และขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิงเป็นหลัก

แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

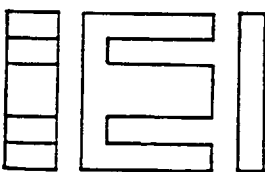
-ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของกลุ่มประกอบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.1.3



EE

CORE TYPE	A_e (cm ²)	A_w (cm ²)	V_e (cm ³)	l_e (mm)
EE 20/20/3	0.31	0.35	1.34	43.0
EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
EE 42/42/13	1.82	1.78	17.6	97.0
EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
EE 42/66/20	2.36	3.40	34.5	143.0
EE 55/55/21	3.54	2.50	43.7	123.0
EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0



EI

CORE TYPE	A_e (cm ²)	A_w (cm ²)	V_e (cm ³)	l_e (mm)
EI 19	0.24	0.517	0.950	39.6
EI 22/19	0.41	0.44	1.630	39.3
EI 25/19	0.42	0.819	2.02	48.6
EI 28/20	0.85	0.725	4.11	48.4
EI 30/26	1.11	0.791	6.45	58.1
EI 35/29	1.21	1.36	8.18	67.6
EI 40/35	1.48	1.08	11.3	76.9
EI 50/42	2.30	1.7	21.8	94.8
EI 60/44	2.48	2.94	27.2	109.7

รูปที่ 2.1.3 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE,EI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งที่ไม่ต้องการกำลังสูง (ไม่เกิน 125 วัตต์) และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดลวดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมใช้กันมากสำหรับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งที่ต้องการกำลังงานสูงจะเป็นแกนแบบ EI, EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบ POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้ อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยมจึงจะไม่ขอกล่าวถึง

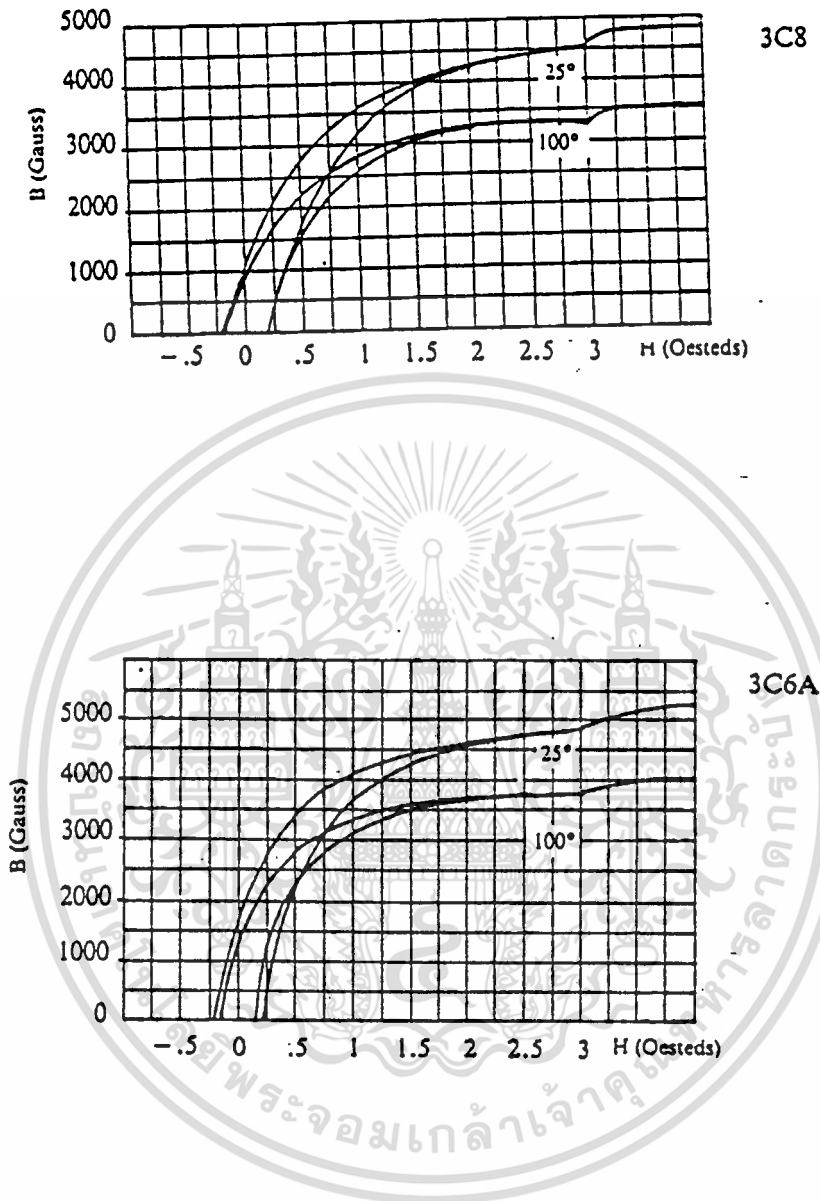
-ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการก็ตาม ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะต้องมียกยัดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลสำคัญที่ควรทำความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

-เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำขดลวดที่พันบนแกนในรูปที่ 2.1.4 (ก) และ 2.1.4 (ข) จะแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตคือ FERROXCUBE จากรูปจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก H มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตาม จากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่า แกนเริ่มมีการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation)

โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการเพียงแต่จะมีลักษณะกลับทิศกัน



รูปที่ 2.1.4 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8(ก)และ3C6A(ข)

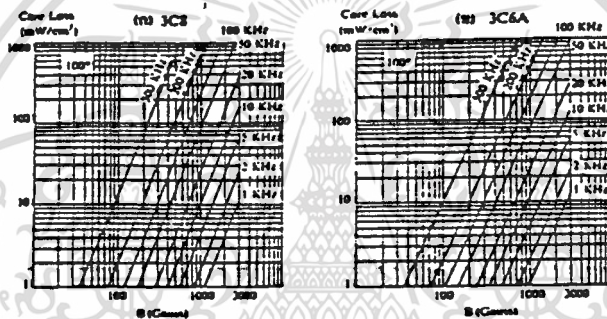
การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตช์จะต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นโดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงสวิตช์ จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์เพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อน ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ การสูญเสียที่เกิดจากลักษณะฮิสเตอร์รีซิสของแกน และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนภายในแกนเฟอร์ไรต์ (Eddy Current Loss)

ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์ การสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อย สำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์แสดงไว้ในรูปที่ 2.1.5 ก) และ 2.1.5 ข) ปกติค่ากำลังสูญเสียจะถูกระบุไว้เป็นมิลลิวัตต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าขึ้นกับค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ความถี่การใช้งาน รวมถึงอุณหภูมิขณะใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.1.5 แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C8(ก) และ 3C6A(ข)

-การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนของหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีและขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\Delta B = \frac{V * t * 10^8}{N_p * A_e}$$

เมื่อ ΔB คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน เป็นเกาส์

V คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี เป็นโวลต์

N_p คือ ค่าจำนวนรอบของขดไพรมารี เป็นรอบ

A_e คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร

t คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น เป็นวินาที

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีมีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยังมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดไพรมารีลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่มากขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์มอสเฟต ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆ แทนทำให้เพาเวอร์มอสเฟตพังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการคือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดอิ่มตัวขณะทำงาน
2. ที่ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่เหมาะสม

-การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงสวิตชิง จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ พิจารณาได้จากขนาดหน้าตัดของแกน (A_g) โดยอาจคำนวณได้จากสมการต่างๆ ดังต่อไปนี้

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{0.5 \Delta B(\max) * f * Ae * Aw}{D} \times 10^{-3}$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{\Delta B(\max) * f * Ae * Aw}{D} \times 10^{-3}$$

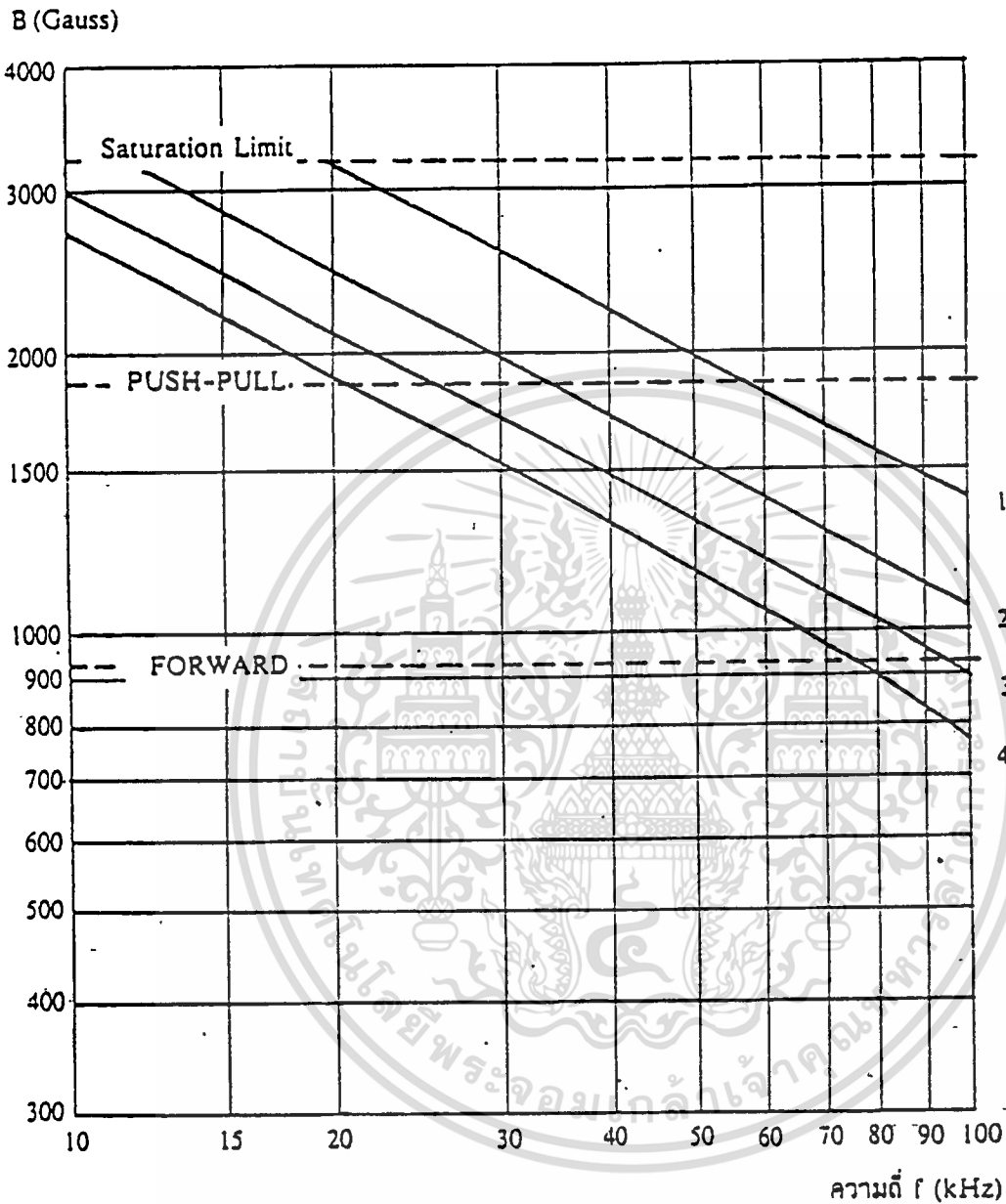
สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{1.4 \Delta B(\max) * f * Ae * Aw}{D} \times 10^{-3}$$

- โดยที่ $\Delta B(\max)$ = ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเกาส์
 f = ค่าความถี่การทำงานของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเฮิรตซ์.
 A_e = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
 A_w = พื้นที่ช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร
 D = ค่าความหนาแน่นกระแสในขดไฟโรมารี เป็นเซอร์คูลาร์มิลต่อแอมป์
 P = กำลังงานสูงสุดที่ได้จากแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์

ค่าของ $\Delta B(\max)$ ที่เหมาะสมหาได้จากรูปที่ 2.1.6 ส่วนค่าของ A_e และ A_w เป็นขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ โดยดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิตที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์ ค่าของ D กำหนดได้จากขนาดของลวดทองแดงที่ใช้พัน

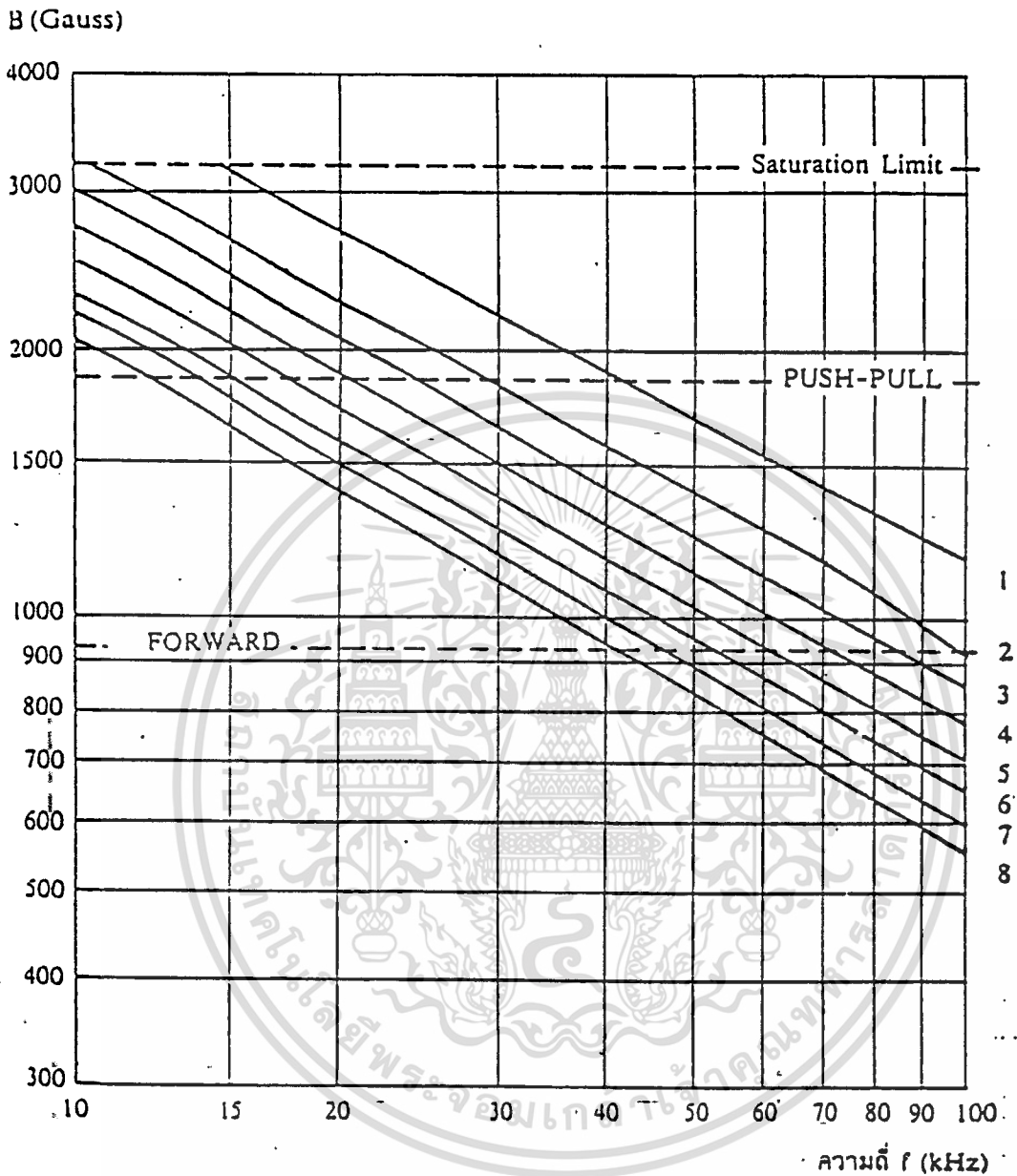




รูป 2.1.6 ก ขนาดแกนเฟอร์ไรต์

- (1) UU 15/22/6, EE 20/20/5
- (2) UU 20/32/7, EE 25/25/7, EE 30/30/7
- (3) UU 25/40/13
- (4) UU 30/15/16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



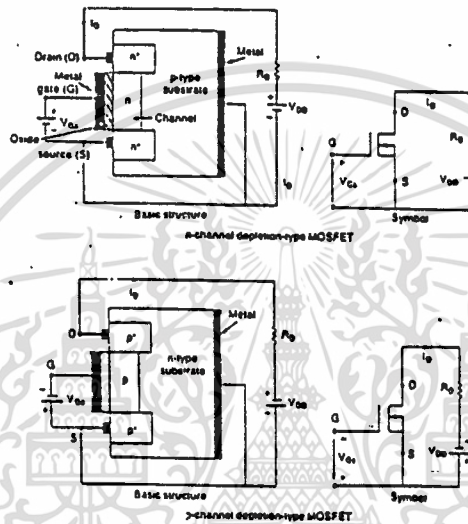
รูปที่ 2.1.6 ข. ขนาดแกนเฟอร์ไรต์

- (1) EC 35 (2) EC 41, EC 52 (3) EC 70 (4) EE 42/42/15
 (5) EE 42/42/20, EE 42/54/20, EE 42/66/20
 (6) EE 55/55/21 (7) EE 55/55/25, UU 64/70/20
 (8) EE 65/66/27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เพาเวอร์มอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน และต้องการกระแสอินพุตต่ำมาก ๆ ความเร็วในการสวิตช์สูง เวลาในการสวิตช์ต่ำมากเป็นนาโนวินาที มอสเฟตกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน คอนเวอร์เตอร์ ที่กำลังต่ำ, ความถี่สูง มอสเฟตไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์เซคันด์เบรคดาวน์(Second breakdown) เหมือนกับทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟตก็มีปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตย์และต้องการการเก็บรักษาอย่างเป็นพิเศษ



รูปที่ 2.2.1 ก) โครงสร้างมอสเฟตแบบ เอ็น-แชลแนล ดีเพรสชัน
ข) โครงสร้างมอสเฟตแบบ พี-แชลแนล ดีเพรสชัน

มอสเฟตมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ (1) ดีเพรสชัน มอสเฟต(depletion MOSFET) และ (2) เอ็นฮาร์ทเมนต์ (enhancement MOSFET) ดีเพรสชัน มอสเฟต แบบ เอ็น-แชลแนล จะมีโครงสร้างที่เป็นชั้นสารซิลิคอนชนิดพีดังรูป 1.2ก) และถูกได้ปโดยซิลิคอนแบบเอ็นบวกซึ่งมีความต้านทานต่ำ เกิดจะถูกแยกทางไฟฟ้าออกจากแชลแนลด้วยชั้นออกไซด์บางๆ ขาทั้งสามของมอสเฟตมีชื่อเรียกว่าเกต(gate) เดรน (drain) และซอร์ท(source) แรงดันที่เกตกับซอร์ท(V_{GS}) นั้นจะเป็นบวกหรือลบก็ได้

ถ้า V_{GS} เป็น อิเล็กตรอนบางส่วนในพื้นที่ของเอ็น-แชลแนล จะถูกผลักออกไปและบริเวณปลอดพาหะจะถูกสร้างขึ้นที่ด้านล่างของชั้นออกไซด์เป็นผลทำให้แชลแนลแคบลงความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์ท(R_{DS}) จะสูงขึ้น ถ้า V_{GS} มีค่าเป็นลบมากพอที่จะทำให้แชลแนล ปลอดพาหะอย่างสมบูรณ์ซึ่งทำให้ R_{DS} มีค่าสูงขึ้นจนไม่มีกระแสไหลจากเดรนไปยังซอร์ท $I_{DS}=0$ แล้วแรงดัน V_{GS} ดังกล่าวเรียกว่า พินช์-ออฟโวลต์เดจ(pinch-off voltage), V_p เมื่อ V_{GS} มีค่าเป็นบวก แชลแนล

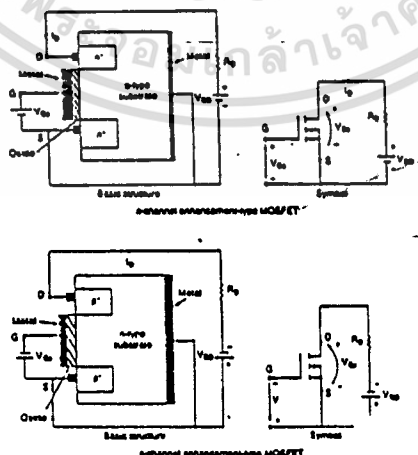
จะเริ่มกว้างมากขึ้นมีผลให้ I_{DS} เพิ่มขึ้น เนื่องจาก R_{DS} ลดลง สำหรับใน ดีเพรสชัน มอสเฟต แบบพี-แชลแนล จะมีขั้วของ V_{DS} , I_{DS} และ V_{GS} ที่ตรงกันข้ามกับ เอ็น-แชลแนล

ใน เอ็นฮาร์ทเมนต์แบบ เอ็น-แชลแนลนั้นจะไม่มี แชลแนลดังรูปที่ 2.2.2 ถ้า V_{GE} เป็น บวกอิเล็กตรอนจะถูกดูดไปสะสมที่บริเวณผิวของออกไซด์ โดยถ้า V_{GE} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ เทรชโฮลโวลต์เตจ(threshold voltage), V_t แล้ว อิเล็กตรอนที่สะสมจะมีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดเอ็น-แชลแนลเสมือนขึ้นและทำให้กระแสไหลจากเดรนไปยังซอร์สได้สำหรับในพี-แชลแนล เอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟต สภาพขั้วของ V_{ds} , I_{ds} , V_{ge} จะตรงข้ามกับ เอ็น-แชลแนล

-ลักษณะสมบัติที่สภาวะคงตัว(STEADY STATE) ของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมได้ด้วยแรงดัน มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากทำให้กระแสเกตไหลต่ำมากเป็นนาโนแอมแปร์ อัตราการขยายกระแสซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสเดรน I_D กับ กระแสเกต I_G โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าสูงถึง 10^9 อย่างไรก็ตามอัตราการขยายกระแสไม่ได้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ซึ่งเป็นอัตราส่วนของกระแสเดรนและแรงดันเกตจะเป็นพารามิเตอร์ ที่สำคัญกว่า

ลักษณะสมบัติโอนย้ายของมอสเฟตแบบ เอ็น-แชลแนล และ พี-แชลแนลแสดงดังรูปที่ 2.2.3 และรูปที่ 2.2.4 ซึ่งมันจะเป็นลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตของเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟตแบบ เอ็น-แชลแนลซึ่งจะมามีการทำงานใน 3 บริเวณคือ (1) บริเวณ คัทออฟ เมื่อ $V_{GS} < V_T$ (2) บริเวณอิ่มตัว หรือพินชออฟเมื่อ $V_{DS} > (V_{GS} - V_T)$ และ (3) บริเวณเชิงเส้นเมื่อ $V_{DS} < (V_{GS} - V_T)$



รูปที่ 2.2.2 ก) โครงสร้างเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟตแบบ เอ็น-แชลแนล

ข) โครงสร้างเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟตแบบ พี-แชลแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

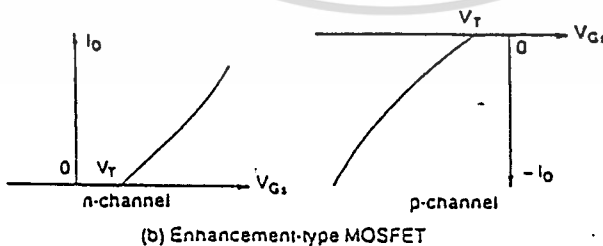
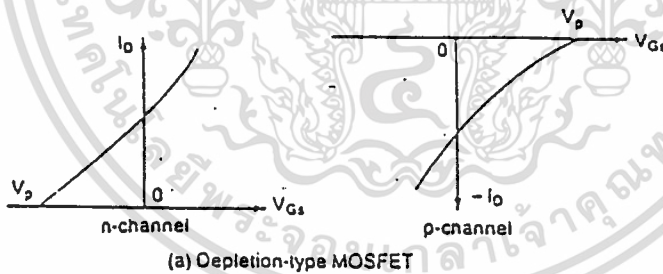
การพินช์ออฟ จะเกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} = V_{GS} - V_T$ ในบริเวณเชิงเส้น กระแส I_D จะเปลี่ยนไปโดยเป็นสัดส่วนกับแรงดัน V_{DS} เนื่องจากกระแสเดรนที่สูงและแรงดันเดรนต่ำ ทำให้มอสเฟटकำลังทำงานได้ในบริเวณเชิงเส้นสำหรับการสวิตช์ซึ่งในบริเวณอิมิตัวกระแสเดรนจะมีค่าคงที่เมื่อแรงดัน V_{DS} เพิ่มขึ้นในบริเวณนั้นมอสเฟตจึงถูกนำไปใช้ในการขยายแรงดัน มอสเฟตทั้งดีเพรสชัน และเอ็นฮาร์ทเมนต์ จะมีโมเดลที่คงที่ ดังรูปที่ 2.3 ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์, g_m หาได้ดังนี้

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{V_{DS}=\text{constant}}$$

ความต้านทานด้านเอาต์พุต, $r_o = R_{DS}$ หาได้จาก

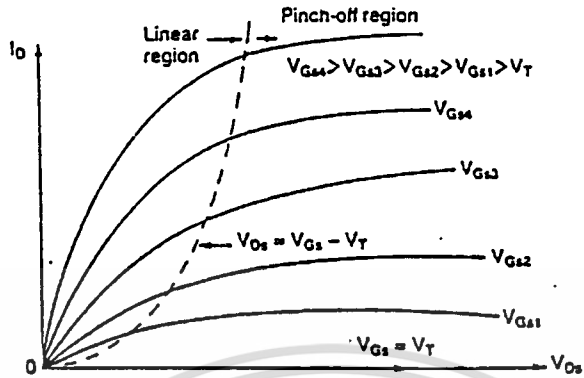
$$R_{DS} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$

R_{DS} ในบริเวณพินช์ออฟ จะมีค่าสูงเป็นเมกะโอห์ม และในบริเวณเชิงเส้นจะมีค่าต่ำเป็นมิลลิโอห์ม



รูปที่ 2.2.3 ลักษณะสมบัติไอออนย้ายของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



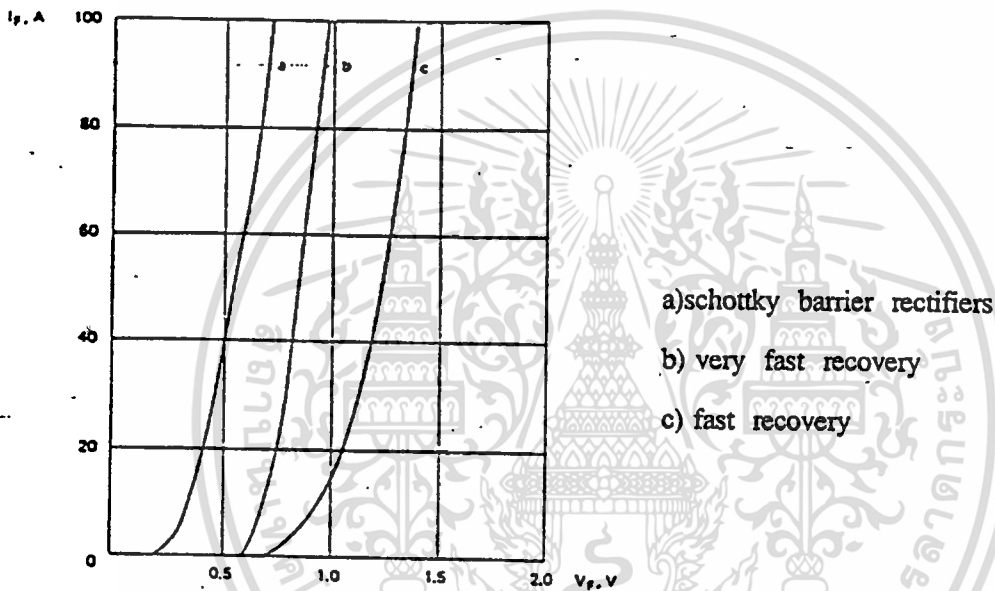
รูปที่ 2.2.4 ลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตของเอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟต

สำหรับดีเพรสเมนต์มอสเฟต ตัวมันจะทำงานที่แรงดันเกตเป็นบวกหรือลบก็ได้แต่เอ็นฮาร์ทเมนต์มอสเฟต จะตอบสนองที่แรงดันเกตเป็นบวกเท่านั้น มอสเฟตกำลังที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นชนิดเอ็นฮาร์ทเมนต์ อย่างไรก็ตาม ดีเพรสชันมอสเฟตก็ยังมีหลักการใช้ในการออกแบบทางลอจิกที่ต้องการเข้ากันได้กับสวิตช์DCหรือACซึ่งยังคงทำงานอยู่ได้เมื่อแหล่งจ่ายลอจิกตกลงจน V_{GS} เป็นศูนย์

2.3 เพาเวอร์ไดโอด

ไดโอดเรียงกระแสที่พบแพร่หลายในแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตชิ่งมีอยู่หลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวเพียง 3 ชนิด ที่นิยมใช้คือ

1. ฟาสต์รีคัพเวอร์ประสิทธิภาพสูง(HIGH-EFFICIENCY FAST RECOVERY)
2. เวอร์รีฟาสต์-รีคัพเวอร์ประสิทธิภาพสูง(HIGH-EFFICIENCY VERY FAST RECOVERY)
3. ชอตต์กีแบร์เรียคทีไฟเออร์(SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสมบัติของไดโอดทั้ง 3 ชนิด ขณะนำกระแส

จากกราฟลักษณะสมบัติขณะนำกระแสของไดโอดทั้ง 3 ชนิด ในรูปที่ 2.3 สังเกตพบว่า ไดโอดชนิดชอตต์กี(SCHOTTKY) นั้น มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ดี ไดโอดทั้งสามชนิดก็ยังมีรายละเอียดอีกมากมายที่น่าสนใจดังจะกล่าวต่อไป

-ไดโอดชนิด ฟาสต์(FAST) และ เวอร์รีฟาสต์-รีคัพเวอร์(VERY FAST RECOVERY)

ถึงแม้ว่าไดโอดชนิดฟาสต์และ เวอร์รีฟาสต์-รีคัพเวอร์ นั้นจะมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างสูงประมาณ 0.8-1.2 โวลต์ ก็ตาม แต่ไดโอดชนิดนี้ก็มีอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงนิยมใช้ไดโอดชนิดนี้ในงานที่ต้องการกำลังต่ำจนถึงกำลังขนาดปานกลางให้แรงดันเอาต์พุต 12 โวลต์ ขึ้นไป

เนื่องจากในปัจจุบันแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตชิ่งจะต้องทำงานในย่านความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิรตซ์ เป็นต้นไป การนำไดโอดชนิดฟาสต์และเวอร์รีฟาสต์-รีคัพเวอร์มาใช้ย่อมเป็นการช่วยลดช่วงเวลารีเวิร์ด

รีฟเวอร์ (REVERSE RECOVERY) (t_{RR}) ลงได้ ปกติแล้วจะเลือกค่า t_{RR} ของไดโอดให้น้อยกว่า t_{μ} ของมอสเฟตสวิตช์อย่างน้อย 3 เท่า

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของไดโอดชนิดนี้คือ ช่วยลดแรงดันกระชากที่เกิดจากรีบิลของแรงดันเอาต์พุต และทนต่ออุณหภูมิขณะใช้งานได้สูงถึงประมาณ 175 องศาโดยส่วนมากจะแสดงในรูปแบบของกราฟใช้งานในคาต้าชีต ซึ่งผู้ออกแบบสามารถคำนวณกระแสเอาต์พุตขณะใช้งานกับอุณหภูมิได้โดยตรง

- ไดโอดชนิดชอตต์กีไดโอด (SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER)

จากกราฟลักษณะสมบัติของไดโอดชนิดชอตต์กีแบร์เรกตีไฟเออร์ ในรูปที่มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำประมาณ 0.5 โวลต์ ในทางปฏิบัติแล้วจะใช้ไดโอดชนิดนี้ในงานที่ต้องการแรงดันเอาต์พุตต่ำ ๆ เช่นประมาณ 5 โวลต์ และต้องการความเร็วในการสวิตช์สูงเนื่องจากช่วงเวลา t_{RR} ของไดโอดชนิดชอตต์กีแบร์เรกตีไฟเออร์นั้นมีค่าน้อยมาก ๆ จนสามารถตัดทิ้งไปได้

แต่ไดโอดชนิดนี้ก็ยังมีข้อด้อยกว่าไดโอดชนิดฟอสต์และฟอสตรีฟเวอร์อยู่ 2 ประการคือ

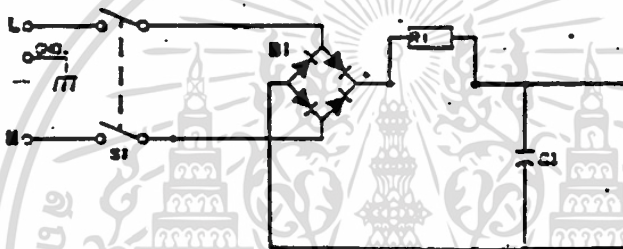
- ประการแรกมีอัตราทนแรงดันย้อนกลับต่ำประมาณ 100 โวลต์
- ประการที่สองมีกระแสรั่วไหลย้อนกลับค่อนข้างสูงเป็นผลให้เกิดความร้อนสูง

อย่างไรก็ดีปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันการโอเวอร์โวลด์ และการเลือกอุณหภูมิขณะใช้งานให้เหมาะสม



2.4 แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง

รูปที่ 2.4 เป็นวงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้แก่เครื่องเชื่อมไฟฟ้า กระแสตรงแบบวิธีสวิตช์ โดยรับแรงดันไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ 1 เฟส ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์และวงจรกรองที่ใช้ตัวเก็บประจุทำให้ได้ค่าแรงดันไฟตรงประมาณ 300 โวลต์ ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่กรององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับออกจากไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ทำให้แรงดันออกของวงจรกรองมีการกระเพื่อมน้อยลง โดยมีการกระเพื่อมน้อยกว่า 15 % ของปริมาณไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.4 แหล่งจ่ายไฟตรงจ่ายให้กับวงจร

ความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุมีหน้าที่จำกัดกระแสในตอนเปิดเครื่อง เพราะในช่วงเวลานี้ แรงดันที่ตัวเก็บประจุยังมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้กระแสที่ไหลอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุมีค่าค่อนข้างสูง กระแสจำนวนนี้จะไหลผ่านไดโอดของวงจรเรียงกระแสจนอาจทำให้ไดโอดเสียหายได้ เมื่อแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้นถึงระดับที่เหมาะสมแล้ว ตัวต้านทานนี้จะถูกสวิตช์วงจรด้วยแมกเนติกคอนแทกเตอร์เพื่อไม่ให้เกิดกำลังสูญเสียในความต้านทาน $R1$ การควบคุมการตัดต่อของสวิตช์ $S1$ จะอาศัยเวลาล่าช้าของการต่อวงจรของตัวแมกเนติกคอนแทกเตอร์เองซึ่งมีค่าประมาณ 10 มิลลิวินาที กล่าวคือก่อนเปิดเครื่อง $S1$ จะเปิดวงจรและเมื่อเปิดเครื่องจะมีกระแสไปประจุตัวเก็บประจุโดยผ่านความต้านทาน $R1$ เนื่องจากเวลาล่าช้าของตัวแมกเนติกคอนแทกเตอร์ หลังจากนั้น $S1$ จะปิดวงจรเอง ส่วนตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุมีหน้าที่คายประจุทิ้งไปเมื่อวงจรหยุดทำงานแล้ว เพื่อป้องกันมิให้เกิดอันตรายเนื่องจากประจุที่ค้างอยู่ทั้งนี้เพราะประจุที่ค้างอยู่มีปริมาณมากและมีแรงดันสูง รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ในภาคเรียงกระแสนี้จะกล่าวถึงเป็นหัวข้อต่อไป

-ภาคการเรียงกระแสอินพุต (INPUT RECTIFIER)

ในการเลือกใช้อุปกรณ์ภาคเรียงกระแสอินพุตนั้น ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

-ขีดจำกัดความสามารถในการนำกระแสสูงสุด (Maximum Current Capability)

ในการเลือกไดโอดจะต้องเลือกให้สามารถทนกระแสได้ไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของกระแสภาวะคงตัว(Steady State) ซึ่งคำนวณได้จากกำลังของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งนั่นเอง

-ขีดจำกัดในการทนต่อแรงดันเมื่อได้รับ โวลเทจกลับ (Peak Inverse Voltage)

เมื่อเลือกใช้ไดโอดกับแรงดันอินพุตระดับ 220 โวลต์เอซี ทำให้เกิดแรงดันไฟตรงสูงสุดประมาณ 310 โวลต์ดีซี โดยในทางปฏิบัติจะเลือกไดโอดที่ทนแรงดันนี้ได้ไม่ต่ำกว่า 600 โวลต์

- ขีดจำกัดในการทนกระแสกระชาก (High Surge Current) กระแสนี้จะมีค่าสูงเมื่อไดโอดนำกระแส

-ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุต (INPUT FILTER CAPACITOR)

สำหรับเรื่องการเลือกชนิดและขนาดของตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุตก็เป็นเรื่องที่สำคัญ เพราะอาจจะส่งผลโดยตรงกับการกระเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตได้ โดยทั่วไปตัวเก็บประจุที่ใช้มักจะเป็นตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติกแบบคุณภาพสูงสามารถทนกระแสกระเพื่อมได้สูง

สำหรับสูตรในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุกรองแรงดัน กำหนดให้

$$C = \frac{I_t}{\Delta v}$$

เมื่อ C คือ ค่าตัวเก็บประจุ, ไมโครฟารัด

I คือ กระแสโหลด, แอมป์

t คือ เวลาที่ตัวเก็บประจุ ข่ายกระแส,

Δv คือ แรงดันกระเพื่อมจากยอดถึงยอด,

2.5 วงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

จากเรื่อฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์(HALF BRIDGE INVERTER) นั้นพบว่าแรงดันตกคร่อม มอสเฟตขณะเปิดวงจรจะทำกับครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟตรงอินพุต และกระแสทรานซิชันขณะมอสเฟต ปิดวงจรจะเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับวงจรพุช-พูลอินเวอร์เตอร์(PUSH-PULL INVERTER)

คุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมาสรุปได้ว่าฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์นั้นยังไม่สามารถแก้ปัญหาของ พุท-พูลอินเวอร์เตอร์ได้ในเรื่องที่จะลดกระแสทรานทำให้ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เหมาะสมกับงานที่ต้องการกำลังปานกลางยังไม่เหมาะกับงานที่ใช้กำลังสูงๆ เนื่องจากต้องการมอสเฟตทนกระแสได้สูง

ถ้าหาวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้โดยการรวมคุณสมบัติด้านกระแสของพุท-พูลอินเวอร์เตอร์ กับ คุณสมบัติด้านแรงดันของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เข้าด้วยกันและเรียกอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ว่าฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์(FULL BRIDGE INVERTER) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ประกอบด้วยเพาเวอร์มอสเฟต 2 ชุด ชุดที่หนึ่ง (M_1 กับ M_4) จะทำงานตรงกันข้ามกับชุดที่สอง (M_2 กับ M_3) และมอสเฟตในแต่ละชุดจะยังทำงานในจังหวะเดียวกัน

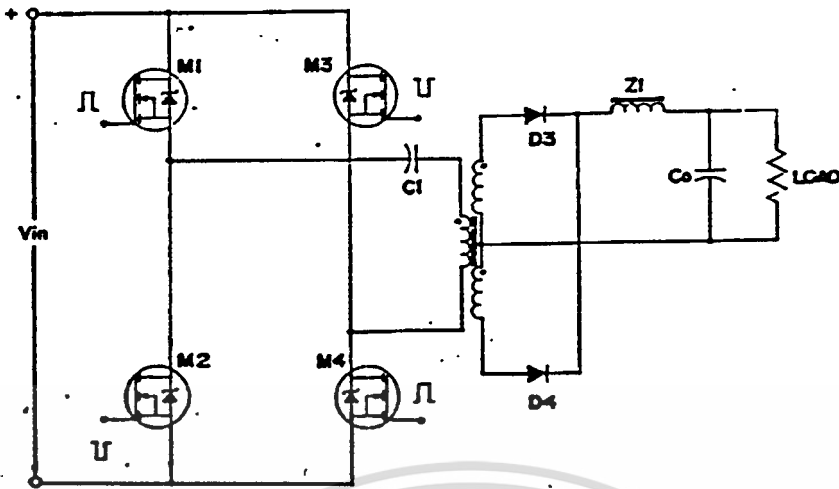
ผลของการปิด-เปิดวงจรของมอสเฟตทั้ง 2 ชุด ทำให้แรงดันหม้อแปลงด้านไพรมารีมีค่า ระหว่าง $+V_{in}$ กับ $-V_{in}$ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต ขณะเปิดวงจรก็จะมีทางเกินกว่า V_{in} แน่ นอน และกระแสทรานที่ไหลผ่านมอสเฟตขณะปิดวงจรก็จะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ด้วย

ดังนั้นฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องใช้มอสเฟตถึง 4 ตัว และใช้วงจรขับเคลื่อนที่มีระบบแยก กราวนด์ เพื่อขับเคลื่อนของมอสเฟตแต่ละชุด

สมมติประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ชนิดนี้เท่ากับ 80 %และมีคิวดัชนี 0.8 ดังนั้น

$$I_c = \frac{1.6 P_{out}}{V_{in}}$$

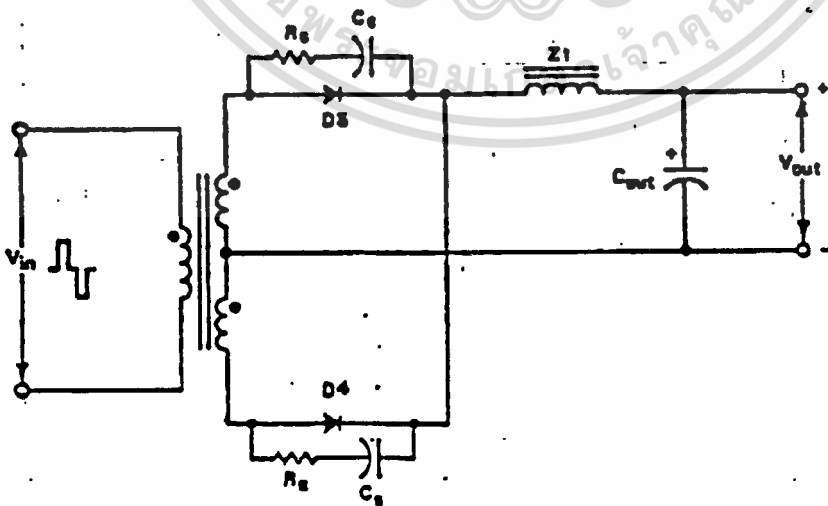
เนื่องจากฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ นั้นพัฒนามาจากฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ที่จำเป็น จึงสามารถใช้สูตรการคำนวณเดียวกันได้



รูปที่ 2.5 ชุดฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ของวงจร

2.6 ส่วนเอาต์พุต

ในส่วนเอาต์พุต จะมีการใช้ฟาสต์รีคัพเวอร์เรกติไฟเออร์ (Fast recovery rectifier) D3 และ D4 จากค่าล็กเกจอินคัตแดนซ์ ของหม้อแปลงความถี่สูงและค่าคาปาซิเตอร์ ที่รอยต่อของฟาสต์รีคัพเวอร์เรกติไฟเออร์ในช่วงการเทิร์นออฟ(turn-off) จะทำให้เกิดโวลต์เดจทรานเซียนท์ ที่แคว่งไกวสูงเมื่อผ่านการบลิ๊อคของฟาสต์รีคัพเวอร์ทำให้รูปคลื่น(wave form)ของแรงดันไม่เป็นศูนย์ทันทีในช่วงเทิร์นออฟ เราสามารถแก้ไขได้โดยการต่อวงจร snubber(RC-Snubber)ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันการแคว่งไกวในช่วงเทิร์นออฟ การต่อ snubber สามารถนำความต้านทานมาต่ออนุกรมกันและขนานกับไดโอด D3 และ D4 ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจร snubber ที่ใช้ร่วมในวงจรด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อสแน็ปเบอร์จะเป็นการลดสัญญาณฮาร์โมนิก(Harmonics) ในการสวิตชิง แรงดันไฟสลับ ความถี่สูงที่ออกมาจากหม้อแปลงความถี่สูงจะมีค่าประมาณ 75 โวลต์เป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อผ่าน ฮัลฟ บริดจ์เรกติไฟเออร์จะได้เป็นไฟบวก 60 โวลต์ ส่วนชุดกรองสัญญาณ(LC-Filter) จะช่วยให้กระแสไหล อย่างต่อเนื่อง และกรองแรงดันให้เรียบยิ่งขึ้น โดยที่คาปาซิเตอร์ จะเป็นตัวช่วยในการลดระลอกคลื่น (ripple) ในที่นี้จะจำกัด ระลอกคลื่นให้มีค่าประมาณ 1%

การคำนวณหาค่า C จากสมการ $V_{out} = 1/C \int i dt$

เมื่อ t_1 : ช่วงเวลาที่กระแสเป็นศูนย์ในทางบวก(positive direction)

t_2 : ช่วงเวลาตรงกลางของ 1 ไซเคิล

แต่กระแสระหว่างเวลา t_1 กับ t_2 คือ $(\Delta I_{out}/2)/2$ หรือ $\Delta I_{out}/4$

$$V_{out} = (\Delta I_{out}) / (4C) f / 2$$

$$= (\Delta I_{out}) / (8fC)$$

$$C_{out} = (\Delta I_{out}) / (8fV_{out})$$

$$\Delta I_{out} = 0.25 I_L$$

I_L = กระแสที่เข้าโหลด

ΔV_{out} = เอาต์พุตโวลต์เดจระลอกคลื่น

f = ความถี่ในการทำงาน

ในลำดับของค่าระลอกคลื่นต่ำสุด เราสามารถคำนวณ ESR ของ คาปาซิเตอร์ได้ดังนี้

$$ESR_{max} = \Delta V_{out} / \Delta I_{out}$$

การคำนวณหา L_{out} พิจารณาสวน เอาต์พุต ดังรูปที่ 2.6 จะได้เอาต์พุตรูปคลื่น E_{in}

และ E_{out} และกระแสโหลด I_{out} กับค่า ripple ΔI

$$V_L = L di/dt$$

จาก

$$V_L = E_{in} - E_{out}$$

$$di = \Delta I_L$$

เราจะได้

$$L = (E_{in} - E_{out}) \Delta t / \Delta I_L$$

และเวลา Δt คือ t_{off}

$$t_{off} = 1/2 (1 - (E_{in} - E_{out}) / V) / f$$

จากสมการ L และ t_{off} ทำให้เราสามารถนำมาคำนวณหา L ได้

2.7 วงจร snubber (snubber)

วงจร snubber เป็นวงจรส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งในการสวิตช์ที่ความถี่สูง เนื่องจากการสวิตช์ที่ความถี่สูงในช่วงแรงดันสูงจะเกิด สไปก์โวลต์เตจ (spike voltage) หรือกระแสสไปก์ ทำให้ อัตราการเพิ่มของแรงดันต่อเวลา (dV/dt) และอัตราการเพิ่มกระแสต่อเวลา (di/dt) เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อมอสเฟตกำลังในวงจรได้ จึงได้มีการนำเอาวงจร snubber มาใช้เพื่อที่จะลดค่าของ dV/dt และ di/dt ให้มีค่าน้อยลงพอที่วงจรจะทำงานได้โดยมอสเฟตกำลังไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C \geq (I_L * t_{off}) / (2 * V_s)$$

เมื่อ

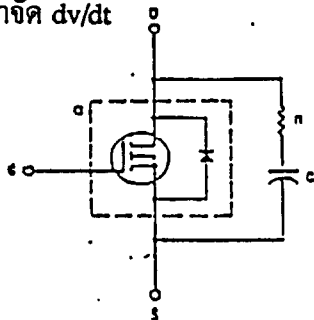
C_s = คาปาซิเตอร์ของวงจร snubber

I_L = กระแสโหลด

t_{off} = เวลาในการเทิร์นออฟ

$V_s = 1/2 * \text{แรงดันของแหล่งจ่ายไฟ}$

สำหรับวงจร snubber นั้นมีไว้เพื่อลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่มอสเฟตกำลัง เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กในขดลวด เมื่ออุปกรณ์สวิตช์หยุดการทำงาน (OFF) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้ากลับทิศในขดลวด ผลคือแรงดันส่วนนี้จะเข้าไปเสริมกับแหล่งจ่ายไฟ จึงทำให้ศักดาที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์นั้นพังได้ง่าย เราจึงควรต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดนั้นไม่ให้มีผลต่ออุปกรณ์สวิตช์ ซึ่งก็คือการใช้ snubber (Snubber) นั่นเอง และสำหรับวงจร snubber นี้ไดโอดที่ใช้จะต้องเป็นไดโอดชนิดฟาสต์รีคัพเวอร์ ซึ่งเมื่อเกิดสไปก์ไดโอดจะเป็นทางผ่านในการเก็บประจุในตัวเก็บประจุ และเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ทำงาน (ON) จะทำให้ตัวเก็บประจุทำการคายประจุผ่านความต้านทานออกมา ดังนั้นความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดเวลาในการคายประจุ ซึ่งค่าผลคูณของความต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC-time Constant) ถ้าค่าของ 5RC น้อยกว่าเวลาในช่วงเปิด (ON) ของอุปกรณ์สวิตช์ จะทำให้ตัวเก็บประจุไม่มีประจุหลงเหลืออยู่ภายใน ซึ่งจะต่อคร่อมอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อช่วยในการกำจัด dv/dt



รูปที่ 2.7 วงจร snubber

2.8 ตัวเหนี่ยวนำ

ทำหน้าที่สองประการ คือ หน้าที่หนึ่งกระแสให้กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง และหน้าที่ในการช่วยให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้น มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถใช้ทำตัวเหนี่ยวนำได้ ที่ใช้มาก ได้แก่ แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core) แกนผงเหล็ก (Iron powder) และแกนโมลิเพอมาลอย (Molypermalloy) MPP แกนผงเหล็ก และ MPP มักอยู่ในรูปทอรอยด์ (Toroid) และสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจาก

- มีค่าความอิ่มตัวของแกนสูง B_{sat} มากถึง 8000 เกาส์
- สามารถเก็บพลังงานได้มาก
- ไม่จำเป็นต้องมีช่องว่างอากาศ (Air gap)
- มีขนาดให้เลือกมากมาย

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์จำเป็นต้องมีช่องว่างอากาศ เนื่องจากมีค่าความอิ่มตัวของแกนต่ำ B_{sat} ประมาณ 3000-5000 เกาส์ และยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่ก็ยังคงนิยมใช้โดยเฉพาะพอกคอร์ (Pot core) ซึ่งมีการป้องกันการรบกวนของสนามแม่เหล็กได้ดี และง่ายต่อการพันขดลวด

-การออกแบบตัวเหนี่ยวนำกำลังด้านเอาต์พุต (OUTPUT POWER INDUCTOR)

ในส่วนของการออกแบบตัวเหนี่ยวนำกำลังด้านเอาต์พุตนั้น มีลักษณะคล้ายกับการออกแบบภาคกรองแรงดัน โดยตัวเหนี่ยวนำที่จะกล่าวต่อไปนี้มีหน้าที่หลักอยู่ 2 หน้าที่คือ

1.เป็นตัวเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลาเปิดวงจร ในทางทฤษฎีแล้วก็เพื่อเป็นตัวรักษาให้มีการจ่ายกระแสเอาต์พุตไปยังโหลดอย่างต่อเนื่อง

2.เพื่อกรองแรงดันให้เรียบ และลดแรงดันรีปเปลที่เอาต์พุตให้อยู่ในระดับแรงดันที่ยอมรับ

ในปัจจุบันการเลือกใช้แกนตัวเหนี่ยวนำก็เป็นส่วนสำคัญควบคู่กับการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับความถี่สูง วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นแกนตัวเหนี่ยวนำมากได้แก่ แกนเฟอร์ไรต์ แกนไอรอน เพาเดอร์ (Iron powder) และแกนโมลิเพอर्मอลลอย (molypermalloy, MPP)

ซึ่งแกนทั้งหมดที่กล่าวมานี้ล้วนแต่มีคุณสมบัติที่ดีเหมาะสมกับงานด้านการออกแบบตัวเหนี่ยวนำกำลัง โดยมีตัวแปร เช่น ราคา น้ำหนัก ขนาด รูปร่าง ดัดลวด แม้กระทั่งโรงงานผู้ผลิตจะเป็นส่วนช่วยในการเลือกและการตัดสินใจอีกครั้ง

แกนไอรอนเพาเดอร์และ MPP ส่วนใหญ่จะผลิตมาในรูปแบบทอรอยด์ (toroid) เนื่องจากแกนทั้งสองแบบนี้เหมาะที่จะทำเป็นเพาเวอร์โช๊ค (POWER CHOKES) เนื่องจากมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความหนาแน่นฟลักซ์อิ่มตัวสูง B_{sat} ถึง 8000 เกาส์
2. เก็บสะสมพลังงานได้มากกว่า
3. มีขนาดให้เลือกใช้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สมการในการออกแบบ

จากทฤษฎีไฟฟ้าพื้นฐาน แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

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

ซึ่ง

$$V_L = E_{in} - E_{out}$$

และ

$$di = \Delta I_L$$

ดังนั้นสมการ แก้มการ เพื่อหาค่า L ได้ดังนี้

$$L = \frac{(E_{in} - E_{out}) \Delta t}{\Delta I_L}$$

ในกรณีของ อินเวอร์เตอร์ แบบ ฮาล์ฟบริดจ์ หรือ ฟูลบริดจ์แรงดันอินพุต E_{in} จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันเอาต์พุต E_{out} ที่แรงดันด้านขดปฐมภูมิสูงสุด V_m

ดังนั้น

$$E_{out} = E_{in} \cdot E_{out}$$

ช่วงเวลา Δt จึงเท่ากับช่วงเวลา เดดไทม์(DEAD TIME) สูงสุด หรือช่วง t_{off} ซึ่งเกิดระหว่างการทำงานสลับกันในแต่ละครึ่งไซเคิลของสวิตช์แต่ละตัว ดังนั้นหน้าที่ของไคร์จึงอยู่ในช่วงนี้ คือ ช่างกระแสเอาต์พุตอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา เดดไทม์นั่นเอง โดยช่วงเวลานี้สามารถหาได้จาก

$$t = t_{off} = \frac{1}{2f} \frac{(1 - E_{out}/E_{in})}{f}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ของ คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงาน, กิโลเฮิรตซ์ ในทางปฏิบัติเพื่อที่จะให้ได้เอาต์พุตที่ราบเรียบ จะต้องมีย่านไม่เกิน $0.25 I_{out}$ ดังนั้นสมการ สามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$L = \frac{E_{out} t_{off}}{0.25 I_{out}}$$

2.9 ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ทำให้แรงดันเรียบ การเลือกตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับวงจรสวิตช์ ขนาดของกระแสที่ต้องจ่ายออก ซึ่งโดยมากจะเป็นตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) ที่มีค่าความต้านทานเสมือน ESR (Equivalent Series Resistance) ต่ำ ค่า ESR มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดันกระแสเพื่อ และค่า ESR นี้ เป็นตัวบ่งบอกถึงอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุ เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสูญเสียภายในตัวเก็บประจุ ถ้าค่า ESR สูง ในการใช้งานจะเกิดการสูญเสีย (loss) มาก ทำให้เกิดความร้อน ทำให้อายุการใช้งานสั้นลงแต่ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึง อีกประการหนึ่งก็คือ การเลือกค่า

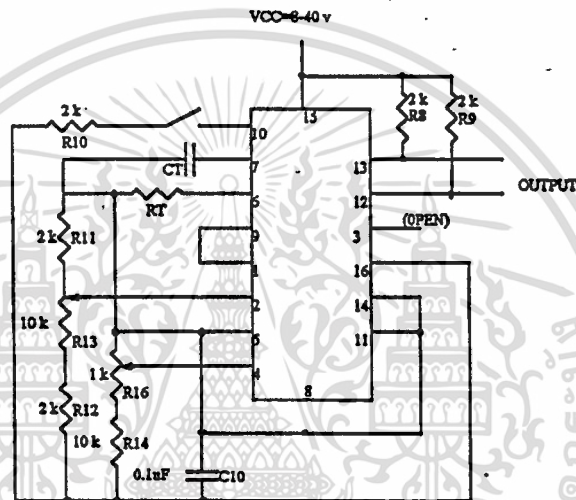
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ภายใต้การควบคุมของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต หากฝ่าฝืนจะมีความผิดตามกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองสิทธิบัตร และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LC ฟิลเตอร์ เพราะอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของแหล่งจ่ายไฟสวิตช์โดยตรงอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรกการใช้ L และ C ร่วมกันนั้นอาจส่งผลโดยตรงกับเสถียรภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตช์ และประการที่สองถ้าเลือกค่า L น้อย และค่า C มาก จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ช่วงขณะของเอาต์พุตฟิลเตอร์มีค่าต่ำ ซึ่งหมายความว่า การตอบสนองต่อทรานเซียนท์ (Transient response) ของแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตช์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดดีขึ้นนั่นเอง ในการพิจารณาการตอบสนองต่อทรานเซียนท์ของแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตช์นั้น องค์ประกอบที่สำคัญมีได้อยู่ที่ระยะเวลาที่แรงดันเอาต์พุตสามารถกลับคืนสู่ระดับปกติเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างฉับพลัน แต่จะให้ความสำคัญว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างฉับพลันแล้วนั้น ระดับแรงดันเอาต์พุตจะมีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเท่าใด เพราะถ้าแรงดันเปลี่ยนแปลงมากเกินไป อาจจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ ผิดพลาด



บทที่ 3

วงจรคอนโทรล (CONTROL CIRCUIT)



รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดพัลส์ ของไอซี SG3524

จากรูปที่ 3.1 ไอซี SG3524 จะเป็นตัวกำเนิดพัลส์ ออกมาจากขา 12 และ 13 ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตนี้เป็นแบบ โอเพน-คอลเลกเตอร์ (open collector) เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องต่อแหล่งจ่ายภายนอกผ่านความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม มาช่วยป้องกันกระแสในการจ่ายโหลด และเอาต์พุตที่ขา 12 และ 13 นี้จะตรงข้ามกัน

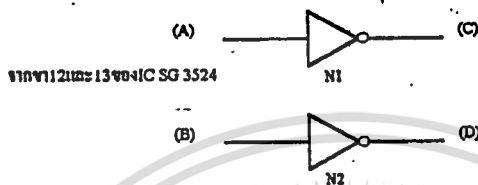
ขนาดค่าความถี่นั้นสามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 0-1 เมกกะเฮิรตซ์ ตามรายละเอียด (Spec) ของตัวไอซีเอง ซึ่งจะปรับความถี่ได้จากค่า R_T และ C_T ซึ่งจะดูค่าความถี่ที่ต้องการแล้วจึงกำหนดค่า นอกจากนั้นค่า ดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ก็จะถูกปรับด้วยค่าความต้านทาน ขนาด 10 กิโลโอห์มแบบปรับค่าได้ (Volume) ที่ต่ออยู่กับขา 2 ดิวตี้ไซเคิล นี้จะปรับได้สูงสุดคือ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นเราจะต้องแก้ปัญหาด้วยการทำให้ ไอซีSG3524 สามารถปรับค่า คิวตี้ไซเคิล ได้ในด้าน พัลส์บวก(positive pulse)

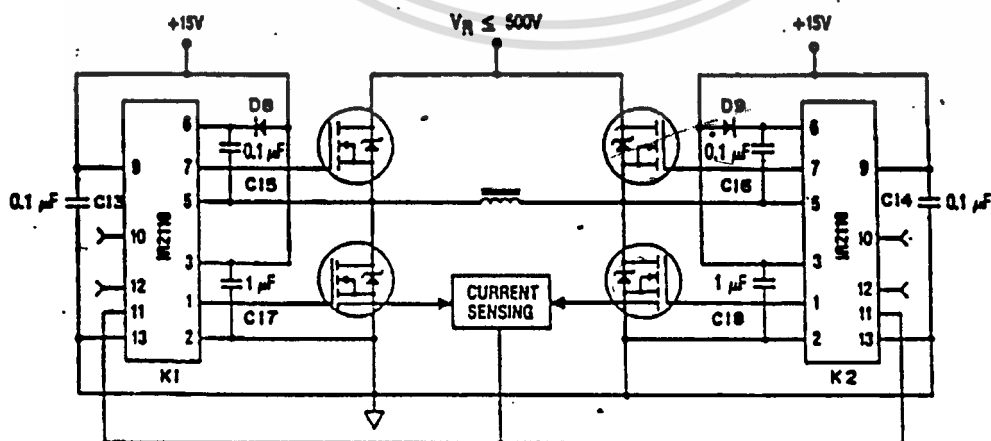
- วิธีการแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการต่อ บัฟเฟอร์(buffer)แบบอินเวอร์เตอร์ ไปอนุกรมกับขา เอาต์พุตของไอซีดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บัฟเฟอร์แบบอินเวอร์เตอร์ต่อกับขาเอาต์พุตของไอซี

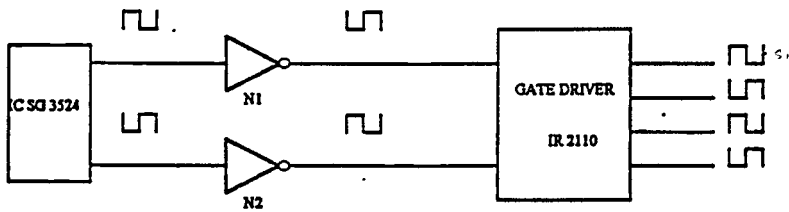
ดังนั้นพัลส์ หลังจากบัฟเฟอร์แบบอินเวอร์เตอร์(not gate) ก็จะสามารถปรับความกว้างและแคบทางด้านพัลส์บวกได้ดังนั้นเราจึงกำหนดค่าของเคปไทน์ได้โดยง่าย ขาที่จำเป็นต้องใช้ของไอซีSG3524อีก2ขา คือ ขา10และขา16 ใช้ในวงจรป้องกัน(protection) ทางด้านกระแสและความร้อนซึ่งจะกล่าวต่อไป

หลังจากผ่าน บัฟเฟอร์แบบอินเวอร์เตอร์มาแล้ว สัญญาณก็จะผ่านมายังไอซีขับเคลื่อนเบอร์ IR2110ซึ่งมีคุณสมบัติในการขับมอสเฟต อินพุตป้อนเข้าขา10,12 โดยการต่อขา10ของตัวที่1กับขา12ของตัวที่2เข้าด้วยกัน แล้วต่อเข้ากับบัฟเฟอร์อินเวอร์เตอร์ตัวที่1(อักษรC)และขา12ของตัวที่1ต่อเข้ากับขา10ของตัวที่2แล้วต่อบัฟเฟอร์อินเวอร์เตอร์ตัวที่2(อักษรD) ดังนั้นเวลาการทำงานมอสเฟตตัวที่1และ4จะเปิดและปิดพร้อมกันส่วนมอสเฟตตัวที่2และ3ก็จะทำงานเช่นเดียวกัน

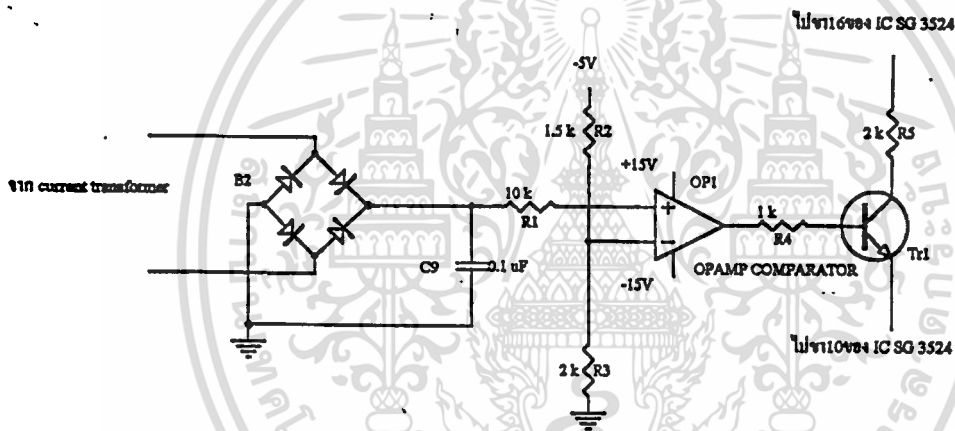


รูปที่ 3.3 วงจรขับมอสเฟตใช้ไอซีขับเคลื่อนเบอร์ IR2110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการต่อเนื่องสัญญาณจาก ไอซี SG3524 ไปวงจรขับมอสเฟต

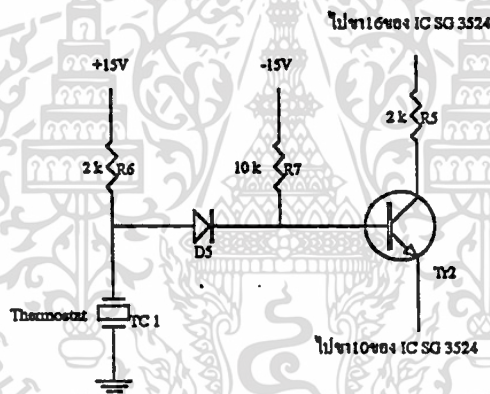


รูปที่ 3.5 แสดงวงจรป้องกันทางด้านกระแส (Current Protection)

ส่วนวงจรป้องกันกระแส กระแสจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันโดยตัวหม้อแปลงกระแสจะให้เอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ จากนั้นก็จะผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อทำเป็นไฟตรงโดยมีความต้านทาน 10 กิโลโอห์มคอยจำกัดค่ากระแสเอาไว้และป้อนเข้ามายังออปแอมป์คอมพาราเตอร์ ซึ่งมันจะเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขาบวกและลบ โดยขาลบจะถูกต่อเอาไว้เป็นแรงดันอ้างอิง(ที่ออกแบบไว้ประมาณ 2.8 โวลต์) และถ้าหากว่ากระแสของโหลดมีค่ามาก หม้อแปลงกระแสก็จะแปลงค่าออกมาเยอะและส่งผ่านไปยังออปแอมป์คอมพาราเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงหากมากกว่าก็จะออกมาทางเอาต์พุต และให้การไบแอสเดินหน้า(forward bias) แก่ ทรานซิสเตอร์จน ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะเปิด ก็จะทำให้ขา 10 และ 16 ของไอซี SG3524 ถูกต่อเข้าหากันและจะปิด (shut down) วงจรลงเพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย

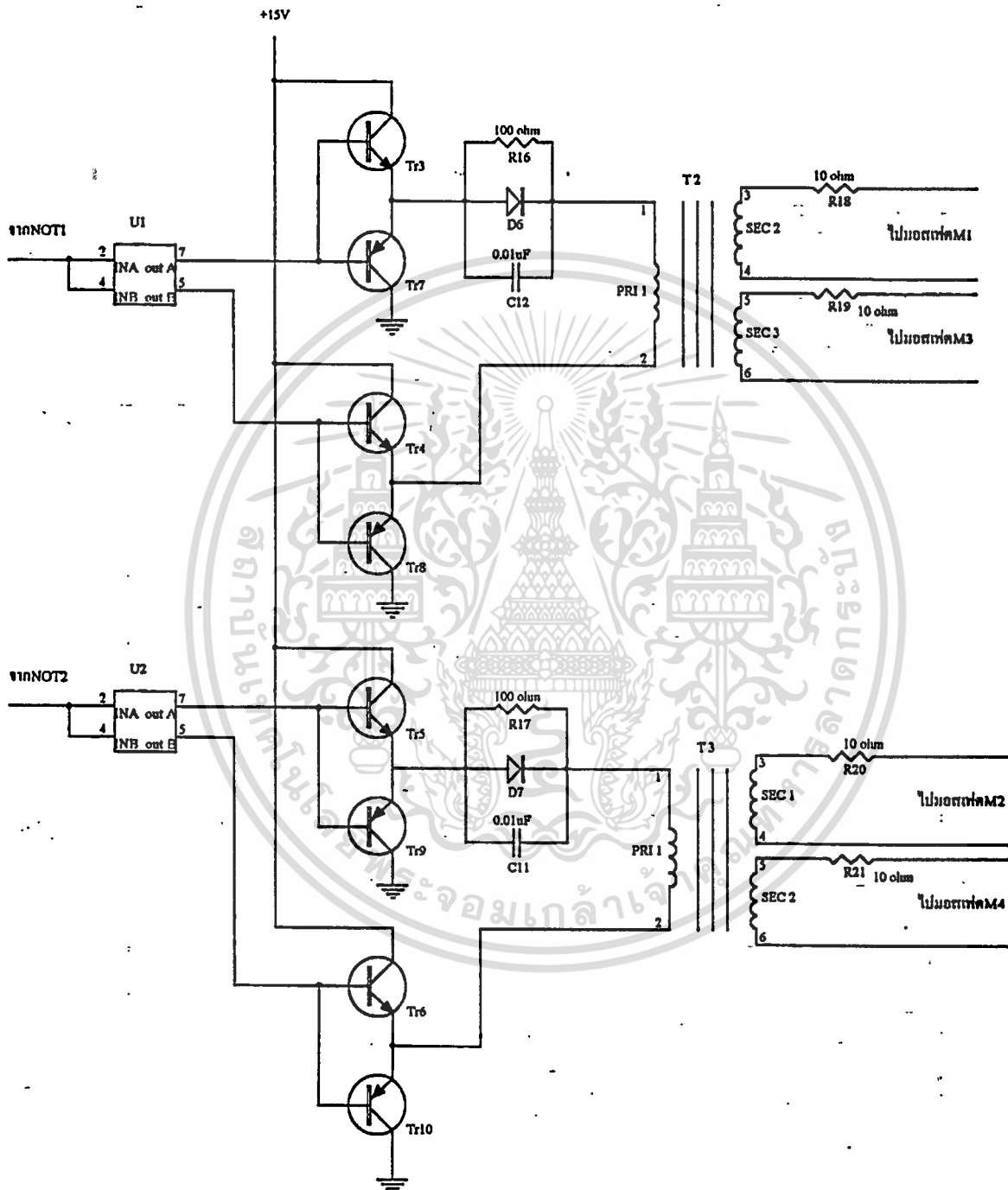
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่สวิตช์อยู่ 2 ตัวที่ต่อขนานกัน ซึ่งถ้าหากตัวใดตัวหนึ่งทำงานก็จะทำให้ไอซี SG3524 ปิดตัวเองลง



ส่วนของวงจรป้องกันด้านความร้อน(Thermal Protection)มีตัวเทอร์โมสตัท(Thermostat) ซึ่งคอนแทคของมันจะเป็นแบบNC (Normally Close) แรงดัน-15โวลต์จะให้ไบแอสย้อนกลับ (Reverse bias) กับทรานซิสเตอร์โดยแรงดัน+15โวลต์ จะผ่านความต้านทานขนาด2กิโลโอห์มแล้ว ผ่านเทอร์โมสตัทลงกราวด์ ซึ่งที่กล่าวมานี้คือค่าความร้อนอยู่ในช่วงปกติ แต่ถ้าหากเกิดความผิดปกติอันเนื่องมาจากความร้อนเกินก็จะทำให้เทอร์โมสตัทปิดหน้าคอนแทคออก ดังนั้นทรานซิสเตอร์ ก็จะได้ไบแอสเดินหน้า จากแหล่งจ่ายแรงดัน+15โวลต์ ผ่านความต้านทานขนาด2กิโลโอห์มและไดโอดก็จะทำให้ขา16และขา10ของไอซี SG3524 ถูกต่อเข้าหากันผ่านทรานซิสเตอร์และความต้านทานขนาด 2 กิโลโอห์มและวงจรถูกปิดลง เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย ตัวความต้านทานจะเป็นตัวจำกัดกระแสที่ผ่านเข้าขา10ของไอซี SG3524 โดยมีทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิตช์

และจากรูปที่ 3.8 วงจรขับที่ 2 ที่นำมาใช้เพราะมีการแยกกราวด์ที่ดีกว่าวงจรที่ใช้ไอซีเบอร์ IR2110 แต่มันทำงานหน้าที่เหมือนกันคือขับอุปกรณ์สวิตชิง



จากรูปจะเห็นว่าเป็นวงจรที่เหมือนกันทั้งบนและล่างคือมันจะมีสัญญาณที่เฟสตรงข้ามกัน ในที่นี้จะขอกล่าวแค่ชุดบน ภายใน U1 จะเป็นบัฟเฟอร์และอินเวอร์เตอร์อยู่ในตัวของมันเองหลังจากที่สัญญาณผ่านชุด U1 และ U2 มาแล้ว (จะกลับเฟสกัน) ก็จะมาเป็นตัวไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงTr3และTr7 ซึ่งก็จะทำให้Tr3นำกระแสแต่Tr7ไม่นำกระแส ดังนั้นกระแสไหลผ่าน
 กรบวงจรในหม้อแปลงฟัลส์T1 ผ่านTr8แล้วลงกราวน์ จะพบว่าคู่ทรานซิสเตอร์Tr3,Tr7และ
 Tr4,Tr8 จะนำกระแสไม่พร้อมกัน แต่Tr3,Tr8จะนำกระแสพร้อมกันและTr4,Tr7จะนำกระแส
 พร้อมกัน ส่วนC12จะมีไว้เพื่อหน่วงกระแสขณะที่สัญญาณอินพุตเป็นบวกและR16 จะเป็นตัวลด
 ขนาดกระแสและD6จะเป็นตัวป้องกันกระแสไหลย้อนกลับซึ่งจะใช้เป็นแบบฟาสต์รีคัฟเวอร์ีเพราะ
 สัญญาณตรงช่วงนี้จะมีค่าความถี่สูง

ในด้านเซกชั่นคาร์รีนั้นจะมีขดลวด2ชุดเนื่องจากว่าใช้เป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์
 ต้องใช้มอสเฟตถึง4ตัว สาเหตุที่ต้องใช้วงจรหม้อแปลงฟัลส์เป็นตัวขับเคลื่อนก็เพราะว่าในวงจรความถี่
 สูงนั้นมีสัญญาณรบกวนมากระบบกราวน์จึงเป็นปัญหาใหญ่ในการขับเคลื่อน - ซึ่งข้อดีของวงจรนี้คือ
 มันจะแยกกราวน์ระหว่างขดไฟรมารี่และเซกชั่นคาร์รีอย่างเด็ดขาดในตัวของหม้อแปลงฟัลส์ ดังนั้น
 จึงทำให้ขดไฟรมารี่ก็สามารถใช้กราวน์ร่วมกับชุดวงจรคอนโทรลได้

ในการออกแบบเราใช้แกนเฟอร์ไรต์เบอร์ EI256 และขนาดขดลวดใช้เบอร์33
 ขนาดแรงดันที่ไฟรมารี่คือ8โวลต์ และด้านเอาต์พุตออกแบบไว้ที่15โวลต์

การออกแบบหม้อแปลง

หม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) จะเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มกระแสที่จะไปสู่ตัวชุดเข้า หลอมให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อไปทำให้เกิดกระแสเอ็ดดี้ในตัวชิ้นงาน การทำงานที่ความถี่สูงแกนของหม้อแปลงจะใช้แกนเฟอร์ไรต์ ในบทนี้จะกล่าวถึง 5 ส่วนดังนี้คือ ขนาดของหม้อแปลง, จำนวนรอบการสูญเสียในแกน (core loss), การสูญเสียในขดลวด (copper loss), ผลของสกินเอฟเฟคท์ (skin effect)

4.1 ขนาดของตัวหม้อแปลง

จะเกี่ยวข้องกับขนาดของกำลังเอาต์พุต ผลกระทบของค่าสูญเสียในแกน ค่าสูญเสียในขดลวด สกินเอฟเฟคท์ หรือจิมิตีเอฟเฟคท์ (proximity effect), ประสิทธิภาพการระบายความร้อน, การฉนวนการอุปกรณ์ซึ่งจำกัดเขตการเพิ่มของอุณหภูมิ (temperature rise) และขนาดของหม้อแปลง ความจำเป็นที่ต้องจำกัด การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิให้เป็นค่าที่ยอมรับได้ภายใต้สภาวะการทำงานจริง ก็เป็นตัวไปจำกัดเขตพื้นที่ผิวที่ต้องการและขนาด

4.2 ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะเกิดขึ้นเมื่อการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในลวดมีค่าต่ำสุดในเทอมทั่วไป ในการส่งผ่านกำลัง การสูญเสียในแกนเหล็กจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดและการสวิงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และการสูญเสียในขดลวดจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดแกนและการสวิงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กลดลง ดังนั้นถ้าจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดก็ต้องให้การสูญเสียในแกนสมดุลกับการสูญเสียในขดลวด

ในทางปฏิบัติการแบ่งปันเป็นส่วนค่าความสูญเสียเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ทำแกน รูปทรงของแกน และความถี่ที่ใช้งาน นอกจากนี้แฟคเตอร์ที่ส่งผลต่อขนาดแกนก็คือ ความถี่ที่ใช้งาน, จำนวนรอบ, วัสดุที่ใช้ทำแกน จำนวนและตำแหน่งการวางของฉนวน และการทำฉนวนแบบพิเศษ ผลจากที่หม้อแปลงที่ทำงานที่ความถี่สูงการลงขดลวดแบบธรรมดาและข้อกำหนดทางฉนวน จะต้องการใช้ที่แกนขนาดเล็ก

4.3 การคำนวณขนาดของแกนในเทอมของพื้นที่แกนที่ใช้งาน (Area Product)

แอมแปร์-วัตต์ ความสัมพันธ์กับกำลังที่พิกัดของแกน โดยการจำกัดจำนวนของค่าที่แปรค่าได้ สมการของการเชื่อมของแกน Area Product กับกำลังเอาต์พุตสามารถสร้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า แอเรียโปรดักต์ ผู้ผลิตแกนจะมีค่าต่าง ๆ ให้ขนาดของแกนก็สามารถทำการเลือกได้อย่างรวดเร็วโดยการคำนวณ แต่ถ้าไม่มีมาให้ก็จะหามาได้จากมิติความกว้างยาวของแกน

$$(A_p = A_w * A_e)$$

$$A_o = (11.1 * P_{in} / K' * B * f) \text{ cm}^4 \text{ ที่มาหาได้จากภาคผนวก}$$

เมื่อ A_p = Area Product, cm^4

P_{in} = กำลังอินพุต, w

K' = แฟคเตอร์การใช้ประโยชน์ของขดลวดทองแดงทั้งหมด

B = การสวิงของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของแกน T

f = ความถี่ (Hz)

จากสมการนี้สมมติค่าตามนี้

- 1) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (temperature rise) สำหรับอากาศอิสระตามธรรมชาติ 30 C
- 2) ความหนาแน่นกระแสในสาย I_a ตัวนำทองแดงทำงานที่ความหนาแน่นกระแสเป็นสัดส่วนกันกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 30 C (ค่าที่ 450 /cm^2 สำหรับ Area product of unity) หม้อแปลงตัวใหญ่ต้องมีความหนาแน่นกระแสค่าเดียวกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวการระบายความร้อนต่อปริมาตรของส่วนที่ความร้อนถูกผลิตขึ้น ซึ่งอัตราส่วนนี้จะมีค่าต่ำ (ดูได้จาก ซึ่งได้มาจากการสังเกตและทดลอง)
- 3) ประสิทธิภาพ สมมติมีค่าเกินกว่า 98 % (การออกแบบที่ดีควรได้ค่าตามนี้)
- 4) แฟคเตอร์การใช้ประโยชน์ของขดลวดทองแดงทั้งหมด (K') $K' = K_u * K_p * K_t$ ค่า K' ดูได้จากตาราง ซึ่งค่า ขึ้นกับชนิดของคอนเวอร์เตอร์, กรรมวิธีการผลิตไฟร์, การทำฉนวน, รูปแบบของตัวนำแฟคเตอร์การใช้ประโยชน์ตรงที่ช่องหน้าต่าง ดูที่แฟคเตอร์ย่อยซึ่งจะได้แสดงไว้

Converter type	Primary form	Secondary form	$K_p(A_p/wb)$	K_u	$K_t(I_{dc}/I_p)$	$K' (K_p * K_u * K_t)$
forward	SE	CT	0.32	0.4	0.71	0.091
	SE	SE	0.4	0.4	0.71	0.114
full and half	SE	CT	0.41	0.4	1.0	0.164
bridge	SE	SE	0.5	0.4	1.0	0.2
CT pushpull	CT	CT	0.25	0.4	1.41	1.141
	CT	SE	0.295	0.5	1.41	0.208

แฟคเตอร์พื้นที่ทางปฐมภูมิ (primary area factor K_p)

แฟคเตอร์นี้เป็นอัตราส่วน A_p/wb (the effective primary copper area a_p to the available winding window area wb) A_p เกี่ยวเนื่องกับหัวข้อคอนเวอร์เตอร์ เช่น ตัวอย่างสัญญาณฟูลวเฟ มีเอกสารเป็นเอกสารหลวงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ปัดตรงกลางขด (a full wave center tapped winding) ใช้ค่าที่ 50 % ค่าแฟคเตอร์ สำหรับหัวข้อ
ในแบบอื่นก็ดูได้จากตารางข้างต้น

แฟคเตอร์การจัดวางขดลวด (winding packing factor K_u)

ในทางปฏิบัติประมาณ 40 % ของพื้นที่แกนช่องหน้าต่างใช้ประโยชน์สำหรับขดลวด K_u ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับจำนวนของการขดลวดและการทำฉนวนที่ใช้

แฟคเตอร์ของกระแสอาร์เอ็มเอส (RMS current factor K_i)

แฟคเตอร์อัตราส่วน I_{dc}/I_p เกี่ยวพันกับกระแสอินพุตต่อกระแสอาร์เอ็มเอสสูงสุดของ
ทางคานาปฐมภูมิ (the maximum rms primary current) มันจะมีผลมาจากชนิดของคอนเวอร์เตอร์
และการทำงานที่โหลดต่าง ๆ ค่า K_i สำหรับคอนเวอร์เตอร์ทั่วไปดูได้จากตารางข้างบน

4.4 ผลของความถี่กับขนาดของหม้อแปลง

$$N = 10^4 \cdot V / K \cdot F \cdot B \cdot A_p$$

N = ค่าจำนวนรอบค่าสุด (รอบ)

V = แรงดันที่ขดลวด

F = ค่าความถี่

B = ความหนาแน่นเส้นแรงสูงสุด

A_p = ค่าพื้นที่แกนที่ใช้

$K = 4.44$ สำหรับรูปคลื่นไซน์

$K = 4$ สำหรับรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม

จากสูตรนี้จะแสดงให้เห็นว่า จำนวนรอบและความถี่เป็นส่วนกลับกัน เช่นสมมติเพิ่ม
ความถี่ไป 2 เท่า จำนวนรอบก็จะลดเหลือครึ่งหนึ่งได้ จุดนี้เองที่ส่งผลให้ที่ความถี่เพิ่มขึ้นหม้อแปลง
ตัวเล็กลงได้ แต่ในทางปฏิบัติจริงจะทำให้การสูญเสียในแกนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
การใช้ที่ความถี่สูงความหนาแน่นเส้นแรงจะลดลงไปได้ แต่จำนวนของขดลวดไม่สามารถลด
ได้ตามที่คาดไว้ การลดของขนาดหม้อแปลงก็เป็นจริงไปไม่ได้ เว้นเสียแต่ใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่
ประยุกต์ใช้ในความถี่สูงได้ดี การออกแบบก็ต้องวิเคราะห์จุดวัสดุที่ใช้และการสวิงของความหนา
แน่นเส้นแรงที่เหมาะสมด้วยที่การทำงานที่ความถี่สูง

4.5 การคำนวณหาจำนวนรอบ

จำนวนรอบทางปฐมภูมิ

ขนาดแกนที่ถูกเลือก จำนวนของขดปฐมภูมิจะต้องถูกเลือกสำหรับที่ประสิทธิภาพที่เหมาะสม
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สม ให้มีความสูญเสียทางขดลวดน้อยที่สุด การจัดไว้ความถี่และแรงดันคงที่, จำนวนรอบทางปฐม
ไม่ว่ากรณีใดๆ หวังสนับอย่างเต็มที่หาเมื่อเกิดข้อสงสัย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

ภูมิที่น้อย, การสวิตของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าตามวัสดุที่ทำแกน ในการจำกัดนี้แกน จะเกิดการอิ่มตัว ผลกระทบที่สองของการลดจำนวนรอบและการเพิ่มความหนาแน่นเส้นแรงก็จะ เป็นการเพิ่มความสูญเสียในแกนเหล็กด้วย ที่ความถี่ต่ำ จะมีค่าน้อยกว่า มาก และแฟลคเตอร์ที่จะมา จำกัดจำนวนรอบน้อยที่สุดจะมีความจำเป็นเพื่อมาใช้ป้องกันการอิ่มตัวของแกน

การอิ่มตัวของแกนจะต้องถูกหลีกเลี่ยงไป ค่าอิมพีแดนซ์ของขดปฐมภูมิในย่านที่อิ่มตัวจะ ตกลงมามีค่าใกล้เคียงกับความต้านไฟตรงของขดลวด ความต้านทานต่ำจะทำให้เกิดความเสียหายมี กระแสสูงไหลในขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง

รูปคลื่นทางปฐมภูมิในสวิตช์โหมคคอนเวอร์เตอร์เป็นรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม สมการหม้อ แปลงตามกฎของฟารนเคย์ในสมการนี้รอบมีความสัมพันธ์กับ โวลท์ - วินาที ตามนี้

$$N = V \cdot T/B \cdot A_c$$

เมื่อ N = รอบทางปฐมภูมิ

V = Dc voltage ที่ขดลวดเมื่อการสวิตในช่วง "on"

T = ช่วงเวลาของครึ่งคาบ

B = การสวิตความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

A_c = พื้นที่หน้าตัดขวางของแกน

การคำนวณรอบทางทุติยภูมิ

เมื่อจำนวนรอบทางปฐมภูมิได้ถูกคำนวณมาแล้ว รอบทางทุติยภูมิก็สามารถสร้างได้จาก อัตราส่วนแรงดันทางปฐมภูมิต่อทุติยภูมิ

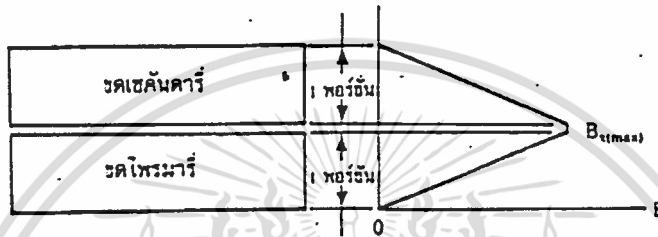
$$\text{แรงดันปฐมภูมิ/แรงดันทุติยภูมิ} = \text{จำนวนรอบทางปฐมภูมิ/จำนวนรอบทางทุติยภูมิ}$$

4.8 ขนาดของตัวนำ

อันดับแรกต้องรู้ความหนาแน่นกระแสของตัวนำ เลือกที่อุณหภูมิ 30°C (ตามสมการ $J = 450 \cdot 10^4 \cdot A_p^{-0.125} \text{ a.m}^2$) หลังจากนั้นก็เอามาเลือกขนาดของพื้นที่หน้าตัดขวางของตัวนำ ก็รู้ได้ ว่าที่กระแสเท่าไรจะต้องใช้ตัวนำเบอร์อะไร (ดูจากตารางขดลวดภาคผนวก) หรือจะทำการขนาน ตัวนำอย่างไรบ้าง จะได้ศึกษาในเรื่องเทคนิคการพันต่อไป

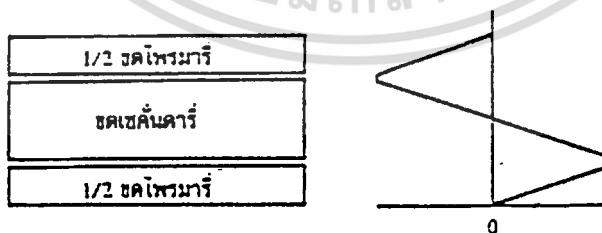
4.7 เทคนิคการพันขดลวดทองแดงสำหรับหม้อแปลง

ในการพันขดลวดทองแดงมีความหมายดังนี้ หนึ่งพอร์ชั้น กำหนดจากชั้นของขดลวดชุดหนึ่งๆที่มีค่าความหนาแน่นฟลักซ์น้อยที่สุดไปจนถึงชั้นที่มีค่าความหนาแน่นฟลักซ์ร่วสูงสุด และจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชั้น (Layer) จะหมายถึง จำนวนชั้นของลวดทองแดงที่เรียงซ้อนกันอยู่ภายในพอร์ชั้นนั้นๆดูได้จาก รูปที่ 4.1 จำนวนชั้นทั้งหมดของขดลวดไพรมารีพันอยู่ในหนึ่งพอร์ชั้น และจำนวนชั้นของขดลวดเซคันดารีก็พันอยู่ในหนึ่งพอร์ชั้นเช่นเดียวกัน

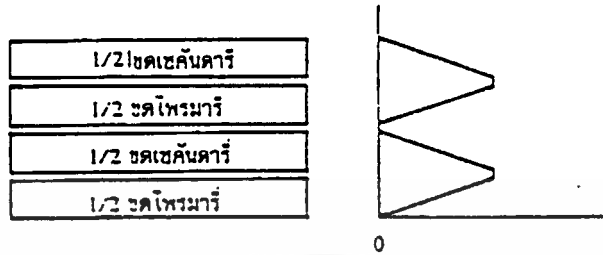


รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดจำนวนชั้นในพอร์ชั้น

ถ้าแยกขดไพรมารีออกเป็นสองส่วนดังรูปที่ 4.2 จะทำให้ความหนาแน่นสูงสุดของฟลักซ์ร่วและจำนวนชั้นต่อหนึ่งพอร์ชั้นลดลงครึ่งหนึ่งด้วย(เนื่องจากความหนาแน่นของฟลักซ์ร่วจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของขดลวด) ไม่ว่าจะเป็นขดไพรมารีหรือเซคันดารีก็ตาม จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการลดลงของจำนวนชั้นต่อหนึ่งพอร์ชั้นจะทำให้ค่าอัตราส่วน F_r ของขดลวดลดลงดังนั้นหากมีการจัดรูปแบบในการพันที่เหมาะสมจะทำให้ลดการสูญเสียที่เกิดในขดลวดทองแดงได้

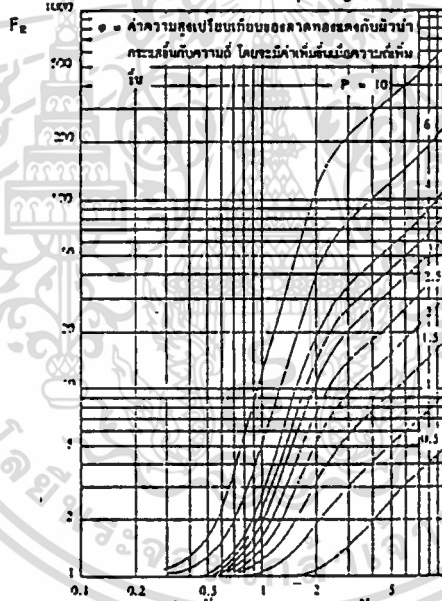


รูปที่ 4.2 แสดงการลดค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดของฟลักซ์ร่วโดยการแบ่งครึ่งขดลวดทางปฐมภูมิ



รูปที่ 4.3 แสดงการลดจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชันลงไปอีก

โดยการแบ่งครึ่งขดทุกขดด้วย



รูปที่ 4.4 แสดงค่า E_r ซึ่งขึ้นกับจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชัน

การพันขดลวดแบบธรรมดา (Simple winding)

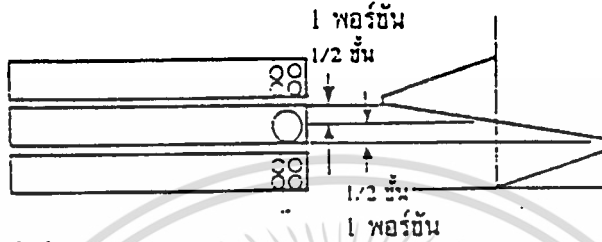
ทำได้โดยพันขดลวดทองแดงรอบแกนให้ครบเพื่อให้เป็นขดโพรมารี แล้วก็พันขดเซคันดารีทับลงไปบนขดโพรมารี ดังรูปที่ 4.1

การจัดขดลวดแบบแบ่งครึ่งพัน (Split Winding)

คือจะพันให้ได้จำนวนรอบตามต้องการแต่จะแบ่งขดลวดออกเป็นสองส่วนและนำชุดอื่นมาแทรกคั่นระหว่างกลาง การแบ่งส่วนพันจะเป็นการลดค่าความหนาแน่นของฟลักซ์รั่วและจำนวนชั้นในแต่ละพอร์ชันลงได้ หลักคือ จำนวนรอบของขดลวดที่แบ่งพันจะต้องเป็นจำนวนคู่และจำนวนชั้นทั้งหมดก่อนแบ่งพันจะต้องเป็นจำนวนคู่ด้วยเพื่อความสมมาตรหลังจากพันแล้วไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดขดลวดแบบพันแทรกกลาง (Sandwiched winding)

คือจะพันแทรกเข้าไประหว่างกลางของขดลวดที่พันแบบครึ่งพัน ดังรูปที่ 4.5

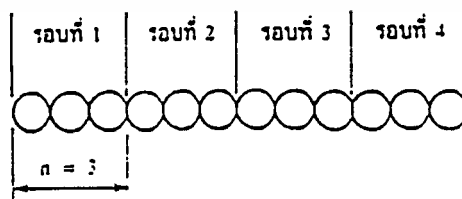


รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพอร์ชันที่มีจำนวนชั้นเท่ากับครึ่งชั้น

การพันขดลวดโดยใช้ลวดทองแดงขนานกัน

เมื่อเทียบกับการใช้ลวดทองแดงเพียงเส้นเดียว จะทำให้ค่าความต้านทานที่กระแสสลับของขดลวดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดลดลงประมาณ $n^{-\frac{1}{3}}$ แต่ความสูงจะเพิ่มขึ้นประมาณ $n^{\frac{1}{3}}$ ด้วย เมื่อ n คือจำนวนเส้นลวดทองแดงขนานกัน

โดยทั่วไปการขนาน 2 เส้นลดความต้านทานไฟสลับไป 20 % แต่ความสูงเพิ่มไป 30% ถ้าขนาน 3 เส้นลดความต้านทานไฟสลับไป 30% แต่ความสูงเพิ่มขึ้น 45 %



รูปที่ 4.6 แสดงการพันขดลวดโดยใช้ขดลวดทองแดงขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลจากสกินเอฟเฟกต์และความลึกของตัวนำ

ก่อนที่จะเลือกขนาดสาย สกินเอฟเฟกต์ (Skin Effect) และผลของการอยู่ใกล้เคียงกัน (Proximity Effect) จะต้องถูกนำมาพิจารณาด้วย ที่ความถี่สูงเอฟเฟกต์ทั้งสองนี้ เกิดจากสนามไฟฟ้าภายในตัวนำเองและสนามไฟฟ้าที่ขดลวดที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นแรงให้กระแสไหลที่ผิว บางๆ ของตัวนำ การไหลของกระแสไหลวนจะเป็นการจำกัดพื้นที่นำกระแสของลวดทองแดงลดลงจากพื้นที่นำกระแสของลวดทองแดง และมีผลเหมือนพื้นที่นำกระแสของลวดทองแดงลดลงจากพื้นที่หน้าตัดเดิม

จากผิวทองแดงลึกกลงมาในเนื้อทองแดงจนถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสมีค่ากระแสลดลงมาเหลือเพียง 37 % ของความหนาแน่นกระแสที่ผิวนั้น ระยะที่ความลึกของกระแสที่ทะลุผ่าน (Penetration Depth) คือ

$$\Delta = \frac{66}{\sqrt{f}}$$

เมื่อ Δ = ความหนาผิวหน้ากระแสของลวดทองแดง

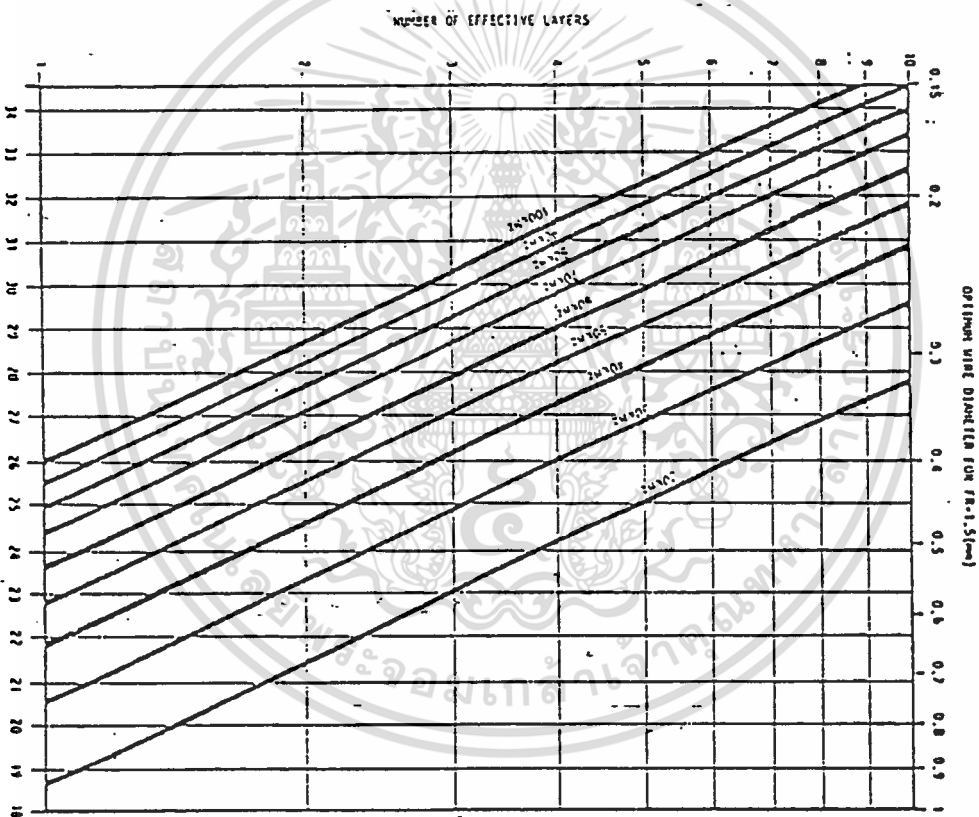
f = ความถี่ (Hz)

ดังนั้น ถ้ารัศมีของตัวนำเกินความหนาผิวกระแส มันก็จะเป็นตัวนำที่ไม่ดีเป็นการเพิ่มค่าความสูญเสียในทองแดง

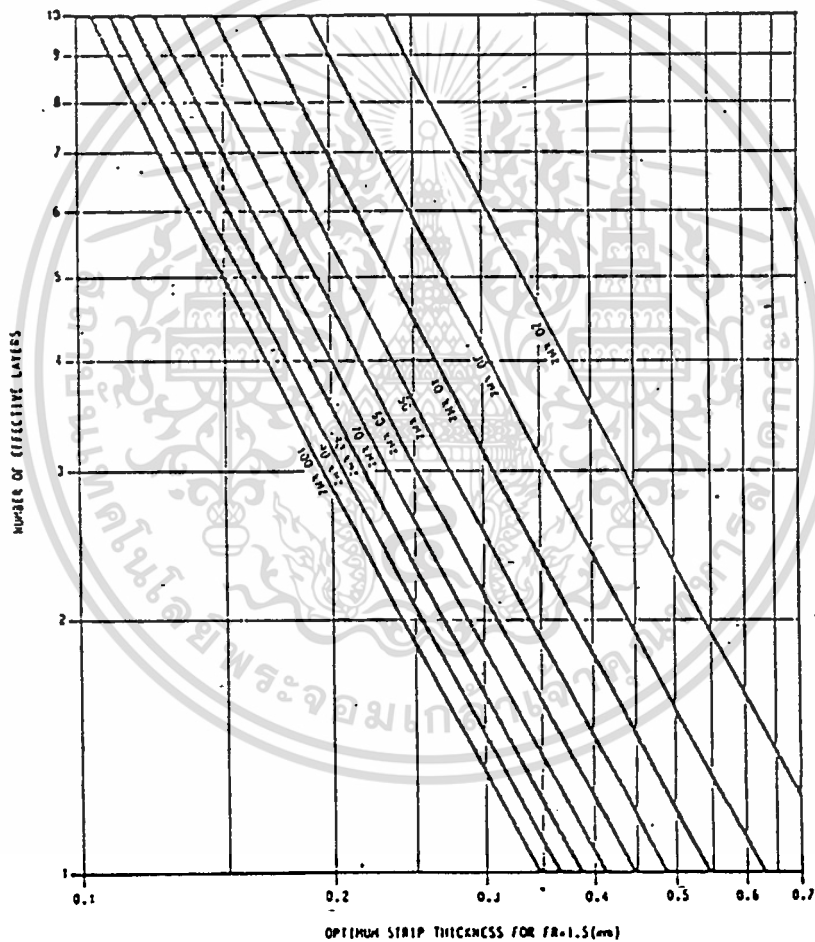
ในหม้อแปลงจะมีความซับซ้อนมากกว่านี้ เพราะว่าสนามแม่เหล็กจากขดลวดที่อยู่ใกล้ๆ กัน ดังนั้นชนิดการพันขดลวดก็จะมีผลสำคัญในการเลือกขนาดตัวนำ การวางขดลวดไว้ใกล้กัน และขั้วต่างๆ ก็จะไปส่งผลไปที่ขบด้านในและขบด้านนอกของตัวนำได้ ทำให้เอฟเฟกต์พื้นที่การนำกระแสลดลง ดังนั้นเมื่อใช้การพันมากกว่า 1 ชั้น ขนาดของตัวนำควรจะลดลงด้วย

ในทางปฏิบัติ ค่าอัตราค่าสุด Fr (ค่าอัตราส่วนระหว่างความต้านทานระหว่างความต้านทานไฟตรงต่อความต้านทานไฟสลับ) ค่าค่าสุดจะประมาณ 1.5 ในการออกแบบที่ดี การทำให้ได้ผลดี เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำหรือความหนาของสตริป (Strip Thickness) ต้องเหมาะสมสำหรับการทำงานที่ความถี่และจำนวนของชั้น รูปที่ 4.7 , 4.8 , 4.9 จะแสดงให้เห็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำสูงสุดหรือความหนาสตริปสูงสุดที่ใช้ในหม้อแปลงที่ค่า $Fr = 1.5$

ถ้าพื้นที่หน้าตัดขวางของตัวนำที่ได้ให้เต็มพื้นที่ตรงช่องหน้าต่างหรือขนาดที่แสดงโดยความหนาแน่นของกระแสมีค่าเกิน ซึ่งจะต้องใช้สองอันหรือหลายอันขึ้นไป ก็เช็คเอาตามพื้นที่หน้าตัดขวาง

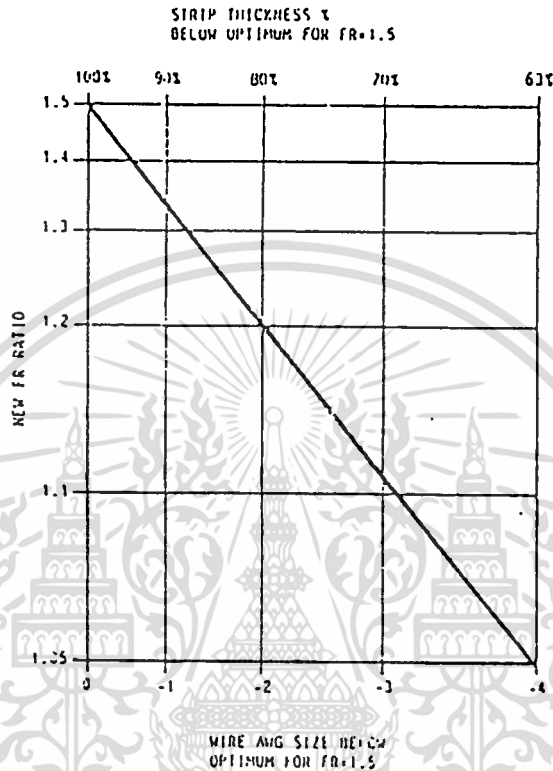


รูปที่ 4.7 แสดงความเหมาะสมของลวดทองแดง
กับจำนวนชั้นของขดลวดที่ค่า $Fr=1.5$



รูปที่ 4.8 แสดงความเหมาะสมของสตริปทองแดงกับจำนวนชั้นที่ค่า $Fr=1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์อัตราส่วน Fr ของลวดทองแดงและสตริปทองแดง
ที่ค่า Fr ต่ำกว่า 1.5

อัตราส่วน Fr จะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของลวดทองแดงมากขึ้น ตามความจริงค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับจะมีค่าลดลงเมื่อขนาดลวดทองแดงใหญ่ขึ้น แต่เนื่องจากค่าความต้านทานที่ไฟกระแสตรงมีค่าลดลงมากกว่าเมื่อขนาดของลวดทองแดงใหญ่ขึ้น ดังนั้นค่า Fr จึงมีค่ามากขึ้น ดังนั้นการใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ที่ความถี่สูง จะเกิดการสูญเสียมากกว่าเนื่องจากค่าความต้านทานที่กระแสสลับของมันขณะที่มีกระแสไหล

ค่าอัตราส่วน Fr จึงมีประโยชน์ในการเลือกขนาดของลวดทองแดง การกำหนดขนาดของลวดทองแดงและวิธีการพันขดลวดที่ให้ค่า Fr น้อยสุด จะทำให้เกิดการสูญเสียในลวดทองแดงมีค่าน้อยที่สุดเช่นกัน

4.9 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature Rise)

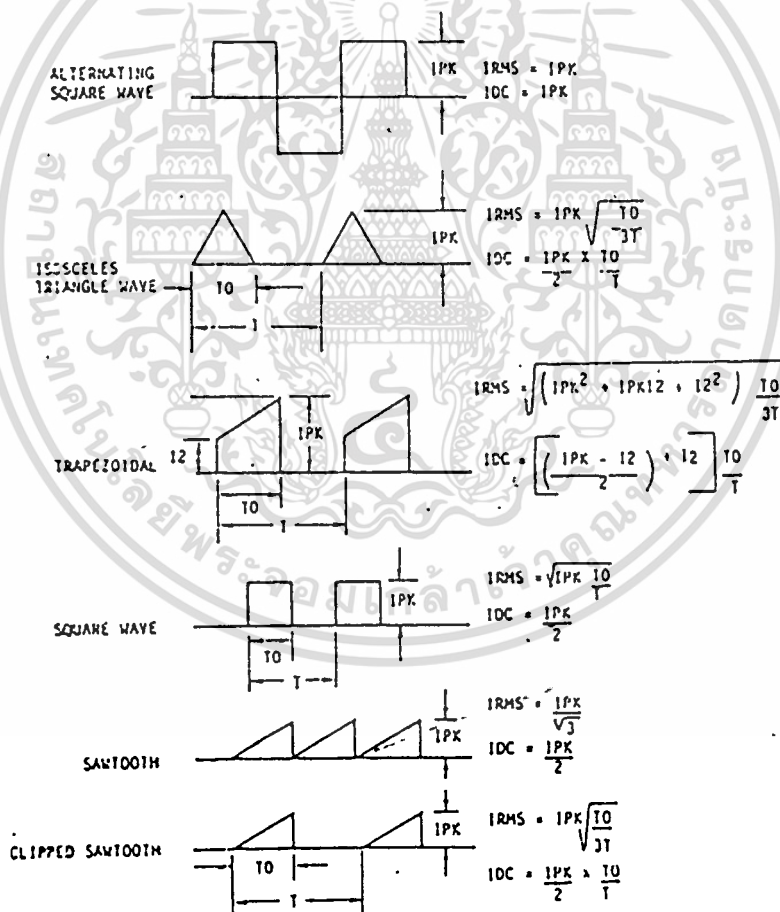
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเกี่ยวข้องกับผลรวมของค่าความสูญเสียภายใน และพื้นที่ผิว การออกแบบโดยทั่วไปควรหาคำนวณค่าความสูญเสียด้วย

ค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

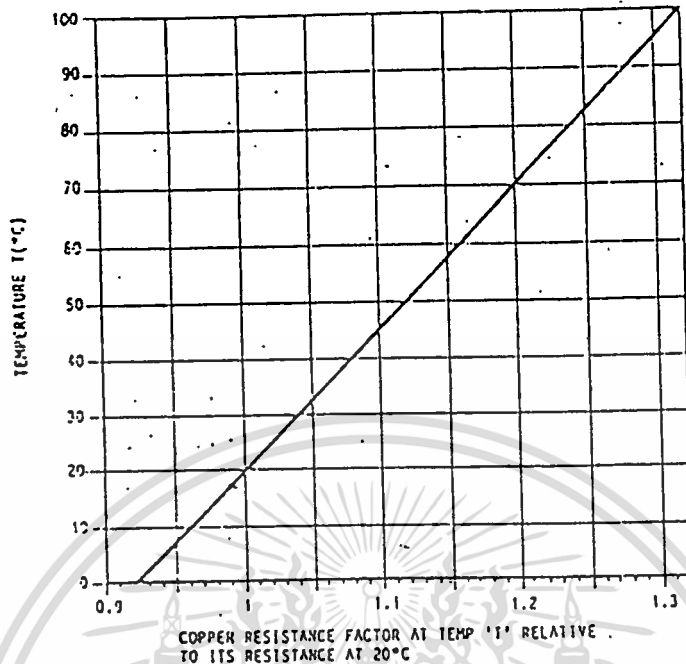
จะเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ทำแกน, การสวิตช์ของฟลักซ์, ความถี่ และขนาดของแกน สามารถดูได้จากคู่มือแกนของผู้ผลิต

ค่าความสูญเสียของขดลวดทองแดง (Copper Loss)

จะเกี่ยวข้องกับความต้านทานของขดลวด, อัตราส่วน F_r และค่ากระแสอาร์เอ็มเอส



รูปที่ 4.10 . แสดงรูปคลื่นแบบต่างๆ ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสและค่ากระแสเฉลี่ย



รูปที่ 4.11 แสดงแฟกเตอร์อุณหภูมิความต้านทานขดลวดทองแดง

ค่าความต้านทานไฟกระแสตรงของขดลวดคำนวณจากผลรวมความยาวเฉลี่ยของ ลวด คูณด้วยจำนวนรอบและความต้านทานต่อหน่วยความยาว ค่าความต้านทานไฟตรงคูณด้วยอัตราส่วน F_r จากรูปที่ และแฟกเตอร์อุณหภูมิความต้านทานของขดลวดทองแดงจากรูปที่ ก็จะได้ค่าประสิทธิภาพผลความต้านทานไฟสลับที่ความถี่ที่ใช้งานและค่าประมาณอุณหภูมิการทำงาน

$$P_{IF} = I_{rms}^2 * R_s$$

เมื่อ P_{IF} = ค่าความสูญเสียของการพันขดลวด

I_{rms} = กระแสอาร์เอ็มเอส

R_s = ค่าประสิทธิภาพผลความต้านทานของขดลวด

ค่าความสูญเสียในขดลวดควรจะทำในหนึ่งละขด ผลรวมของค่าความสูญเสียของแกนเหล็ก และค่าความสูญเสียของขดลวดก็คือ ผลรวมความสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลง

ประสิทธิภาพ (Efficiency)

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } \text{Eff} = \frac{\text{power output}}{\text{power output} + \text{loss}} * 100 \quad \%$$

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. จ่ายไฟผ่านตัววารีแอคปรับแรงดันจาก 0-220VAC หรือวัดแรงดันไฟตรงที่คร่อมตัวคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์จาก 0-310VDC
2. ปรับความดันทานที่ชุดผลิตความถี่ให้ได้เท่ากับ 25 กิโลเฮิร์ตซ์
3. ปรับความดันทานเก็อมมาเพื่อเปลี่ยนแปลงเนื้อพัลส์ตามต้องการ จากการทดลองเรากำหนดที่ $t_{on}=5\mu s, 10\mu s, 12\mu s, 15\mu s$
4. ต่อสายเชื่อมจากขั้วบวกและลบของเครื่องเชื่อมแล้วนำไปต่อกับโหลดถึงน้ำเกลือ ซึ่งสามารถปรับระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 และความลึกที่จุ่มในน้ำเกลือได้
5. ค่อยๆปรับวารีแอควัดแรงดันตกคร่อม C ฟิลเตอร์ไปเรื่อยๆจนถึงค่าสูงสุดที่ 310 VDC วัดค่ากระแสและแรงดันทางด้านอินพุตและเอาต์พุต
6. บันทึกค่าต่างๆคำนวณหาประสิทธิภาพและโวลต์เดจเรกยูเลชัน

เราทดลองด้วยโหลดถึงน้ำเกลือที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด 15cm ความลึกที่จุ่มลงในน้ำเกลือ 4 cm

จากข้อกำหนด $t_{on(max)} = 0.4T = 0.4 \times 40\mu s = 16\mu s$ เมื่อทำการทดลองตามขั้นตอน 1-6 จะได้ตารางออกมาดังนี้

ตาราง 5.1 แสดงการทดลองโหลดด้วยถึงน้ำเกลือที่ $t_{on}=5\mu s$

ตาราง 5.2 แสดงการทดลองโหลดด้วยถึงน้ำเกลือที่ $t_{on}=10\mu s$

ตาราง 5.3 แสดงการทดลองโหลดด้วยถึงน้ำเกลือที่ $t_{on}=12\mu s$

ตาราง 5.4 แสดงการทดลองโหลดด้วยถึงน้ำเกลือที่ $t_{on}=15\mu s$

จากตารางที่ 5.1 เราวัด $V_{no-load}$ ที่ 310V ได้ 30V จะได้ค่า $\%REG = (30-10)/30 = 67\%$

จากตารางที่ 5.2 เราวัด $V_{no-load}$ ที่ 310V ได้ 47V จะได้ค่า $\%REG = (47-20)/47 = 57\%$

จากตารางที่ 5.3 เราวัด $V_{no-load}$ ที่ 310V ได้ 52V จะได้ค่า $\%REG = (52-22)/52 = 58\%$

จากตารางที่ 5.4 เราวัด $V_{no-load}$ ที่ 310V ได้ 58V จะได้ค่า $\%REG = (58-23)/58 = 60\%$

ตารางที่ 5.1

INPUT			OUTPUT			EFF
V	A	P	V	A	P	
50	0.5	25	1.4	1	1.4	6%
100	1	100	3	7	21	21%
150	1	150	5	15	75	50%
200	1.5	300	7	22	154	51%
250	2	500	8	31	248	50%
310	2.5	775	10	40	400	52%

ตารางที่ 5.2

INPUT			OUTPUT			EFF
V	A	P	V	A	P	
50	1.2	60	6	8	48	80%
100	2.8	280	7	26	182	65%
150	4	600	11	42	462	77%
200	6	1200	15	59	885	74%
250	7.5	1875	17	70	1190	63%
310	8	2480	20	85	1700	69%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

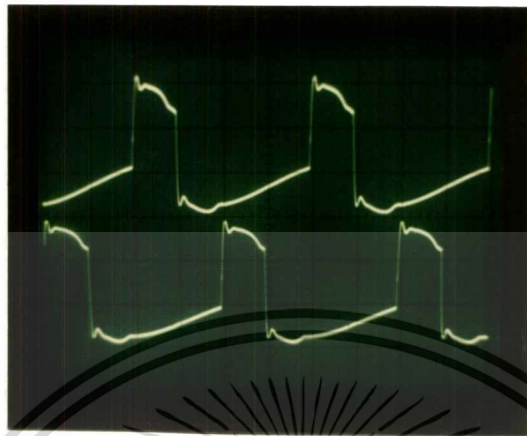
ตารางที่ 5.3

INPUT			OUTPUT			EFF
V	A	P	V	A	P	
150	5.5	825	12	59	708	86%
200	8.5	1700	17	80	1360	80%
250	10	2500	19	110	2090	80%
310	15	4650	22	125	2750	59%

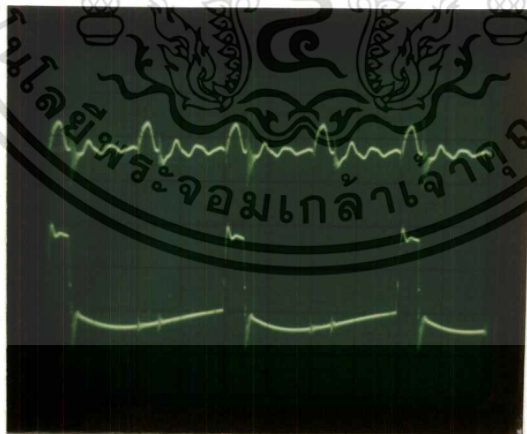
ตารางที่ 5.4

INPUT			OUTPUT			EFF
V	A	P	V	A	P	
100	6.5	650	10	50	500	77%
150	9.5	1425	15	75	1125	79%
200	12	2400	17	98	1666	69%
250	15.5	3875	19	117	2223	57%
310	18	5580	23	128	2944	52%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

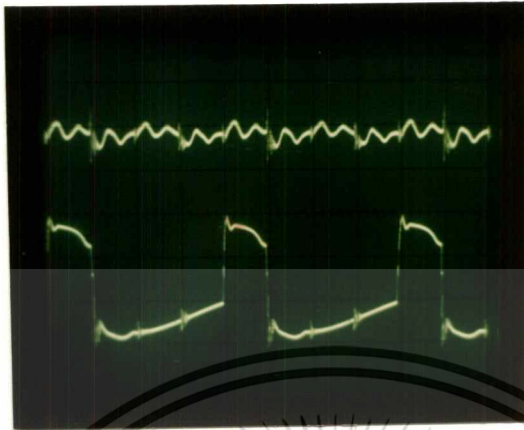


รูปที่ 5.1 สัญญาณ V_{gs1} และ V_{gs2} ที่ $10V/DIV$ และ $TIME/DIV=10ns$ GND6,3

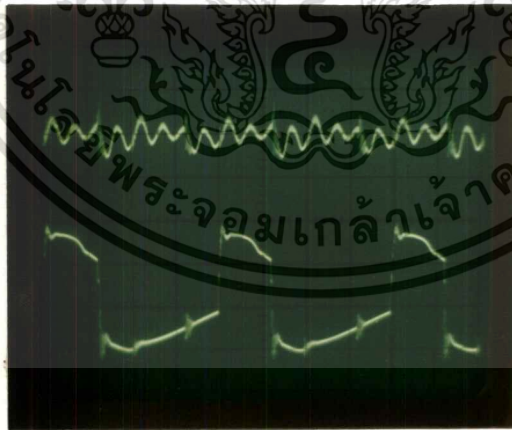


รูปที่ 5.2 สัญญาณ V_{out} (บน) ที่ $10V/DIV$ GND6 และ V_{gs2} (ล่าง) ที่ $10V/DIV$ GND3 โดยการปรับ $t_{on}=5ns$ ที่แรงดันกร้อน $C=200V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

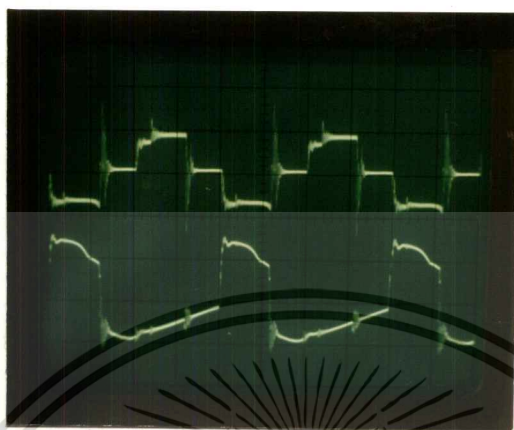


รูปที่ 5.3 สัญญาณ V_{out} บนที่ 20 V/DIV GND6 และ V_{gs2} (ล่าง) ที่ 10V/DIV GND3 โดยการปรับ $t_{on} = 10\mu s$ ที่แรงดันคร่อม $C=200\text{ V}$

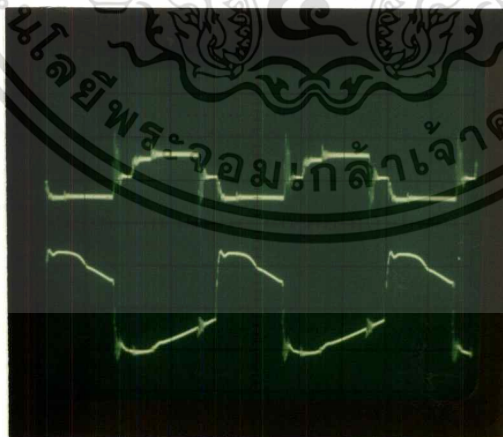


รูปที่ 5.4 สัญญาณ V_{out} บนที่ 20 V/DIV GND6 และ V_{gs2} (ล่าง) ที่ 10V/DIV GND3 โดยการปรับ $t_{on}=12\mu s$ ที่แรงดันคร่อม $C=200\text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 สัญญาณ V_{sec} (บน)ที่ $5V/DIV \times 10$ (prob) GND6 และ V_{gs2} (ล่าง)ที่ $10V/DIV$ GND3 โดย
การปรับ $t_{on}=12\mu s$ ที่แรงดันกร่อม $C=150\text{ V}$



รูปที่ 5.6 สัญญาณ V_{sec} (บน)ที่ $5V/DIV \times 10$ (prob) GND6 และ V_{gs2} (ล่าง)ที่ $10V/DIV$ GND3 โดย
การปรับ $t_{on}=15\mu s$ ที่แรงดันกร่อม $C=100$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการทดลองพบว่าเราไม่สามารถที่จะป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไป 220 โวลต์ได้เลยโดยตรง จำเป็นที่จะต้องอาศัยตัววารีแอกค้อยๆปรับค่าแรงดันเข้ามาเพราะยิ่งป้อนแรงดันมากเท่าไรสัญญาณฮาร์โมนิกก็จะสูง แต่โหลดที่ใช้ทดลองต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะดึงกระแสสูงๆค่าวัตต์หลายๆหากใช้โหลดขนาดวัตต์ต่ำๆจะทำให้ได้กระแสโหลดต่ำมากและถ้าป้อนแรงดันเพิ่มจะทำให้ตัวโหลดเสียหายได้ เราทำการทดลองโดยใช้ถังน้ำเกลือสามารถปรับระยะห่างและความลึกของขั้วอิเล็กโทรดได้เกลือจะเป็นตัวทำให้ค่าความต้านทานของน้ำลดลงใกล้เคียงศูนย์นั่นคือเปรียบเสมือนเราเอาขั้วอิเล็กโทรดบวกและลบของสายเชื่อมชนกัน หากเราลดความถี่ลงมาถึงระดับที่ตัวไอจีบีทีรับได้เราจะสามารถป้อนแรงดันได้มากกว่าเดิมและจะทนกระแสมากกว่าเดิมจากผลการทดลองอยู่ในขั้นน่าพอใจ

ในการปรับกระแสเราทำได้โดยการปรับเนื่อพัลส์ให้มากที่สุดแต่ถ้าเรานำเอาไปสวิตซ์ที่ความถี่สูงๆจะพบว่ามันมีโอกาที่สวิตซ์พร้อมกัน ผลคืออุปกรณ์ตัวสวิตซ์ได้รับความเสียหายแก้ไขโดยการปรับเนื่อพัลส์ในระยะที่เหมาะสมไม่แคบเกินไปเพราะนั่นหมายถึงกระแสที่ใช้ในการเชื่อมก็จะลดลงด้วย

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นของตัวหม้อแปลงสวิตซ์ความถี่สูงจะทำให้เครื่องสามารถรับโหลดในการเชื่อมได้มากขึ้น ซึ่งในเมืองไทยที่มีขายอยู่ตอนนี้ขนาดใหญ่สุดคือเบอร์ EE 80/78 ซึ่งรับพิกัดได้ประมาณ 1000 วัตต์หากต้องการให้รับพิกัดมากกว่านี้ต้องทำการขนานหม้อแปลงทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่มาก แต่ถ้าหากเป็นเบอร์ EC-70 จะสามารถรับพิกัดได้ถึง 4000 วัตต์ซึ่งเบอร์นี้ในเมืองไทยไม่มีจำหน่ายต้องสั่งจากต่างประเทศ ข้อควรคำนึงอีกอย่างหนึ่งคือเมื่อเราเพิ่มพิกัดหม้อแปลงให้สูงขึ้นแล้วนั่นหมายถึงเราต้องเพิ่มขนาดของตัวอินคัลเตอร์ให้สูงขึ้นด้วย

จากโครงงานชิ้นนี้เราสามารถป้อนโหลดได้เกือบ 3 กิโลวัตต์ กินกระแสสูงสุด 123 แอมป์ที่เนื่อพัลส์ $\alpha = 15$ ไมโครวินาที โดยใช้ตัวไอจีบีทีพิกัด 66 แอมป์เป็นตัวสวิตซ์ที่ความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ ผลการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 5 ซึ่งก่อนหน้านี้เราใช้มอสเฟตพิกัด 20 แอมป์เป็นตัวสวิตซ์ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์ปรากฏว่าได้กระแสโหลดสูงสุด 40 แอมป์หม้อแปลงมีเสียงครางมากและอุปกรณ์ตัวมอสเฟตได้รับความเสียหาย

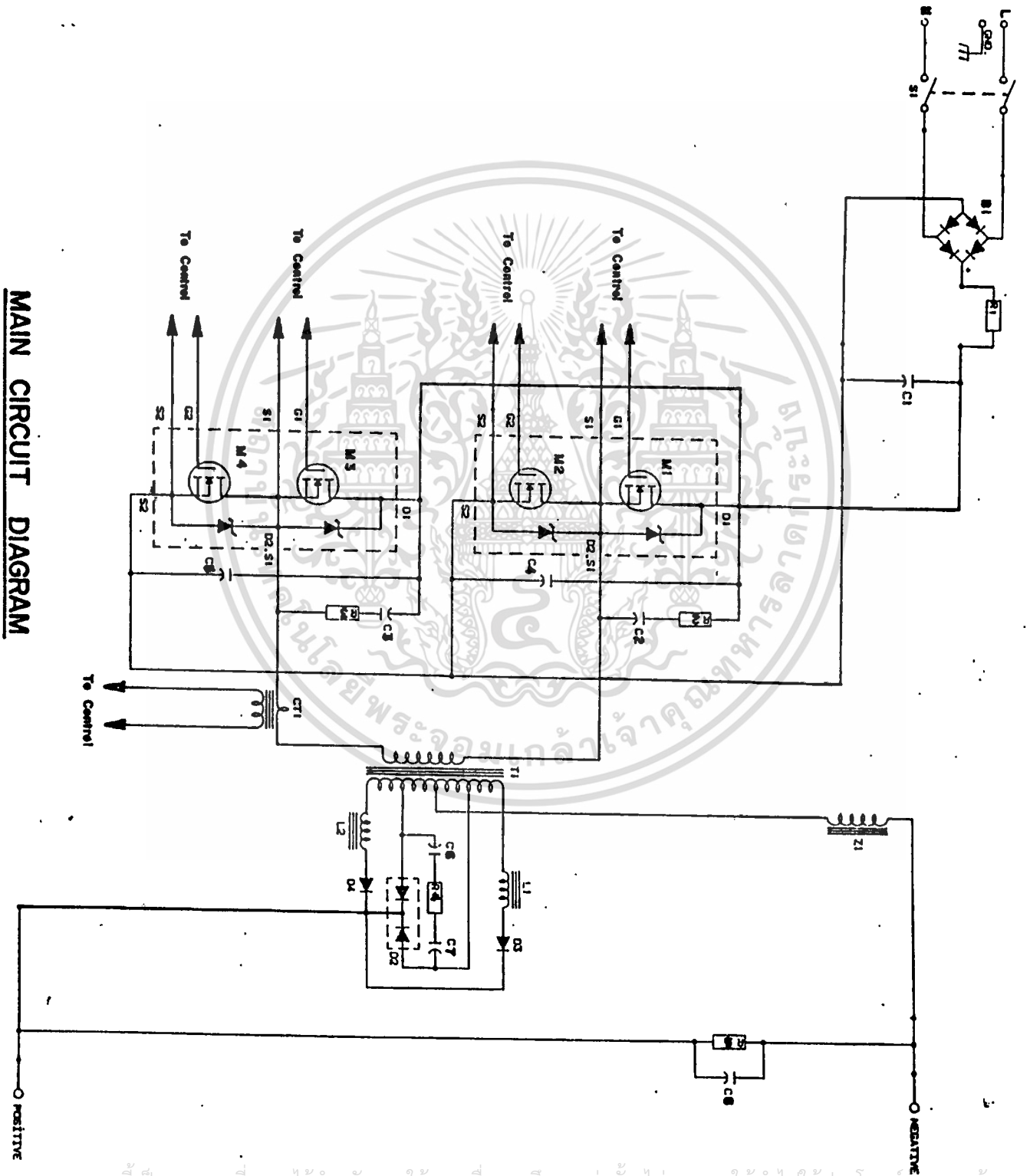
จากตารางผลการทดลองจะเห็นว่าค่ากระแสมากพอที่จะหลอมลวดเชื่อมขนาดกลางได้ แต่ยังไม่สามารถที่จะเชื่อมเป็นรอยได้ตามที่คาดหวังไว้ นั่นเป็นเพราะระบบวงจรป้องกันยังไม่ดีพอที่จะรองรับกระแสเชื่อมที่มีค่ามากและเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว จำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปรับปรุงวงจรป้องกันให้ดีกว่านี้อีกทั้งตัวอุปกรณ์สวิทช์พวก ไอจีบีทีหรือมอสเฟตควรที่จะใช้เป็นโมดูลเพราะมีพิคตมากกว่าและต่อสำเร็จไว้แล้วภายในทำให้ลดปัญหาการต่อสายซึ่งเป็นต้นเหตุของฮาร์โมนิคได้ระดับหนึ่ง





MAIN CIRCUIT DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

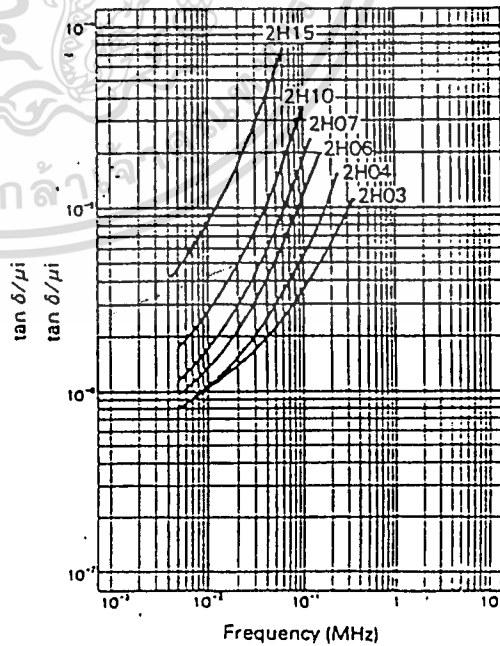
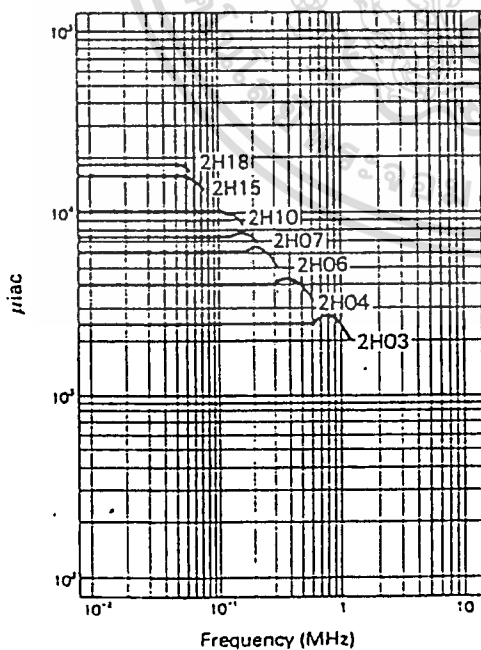
ข้อมูลแกนเฟอร์ไรต์ของบริษัทผู้ผลิต และเบอร์เทียบ



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	$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-4}$	< 4 (100kHz)	< 10 (100kHz)	< 30 (100kHz)	< 5 (10kHz)	< 7.0 (10kHz)	< 15 (10kHz)	< 90 (10kHz)
Temperature coefficient	-30 to 20°C	$\alpha \mu$	$\times 10^{-4}$	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	B_s	Gauss	4700	4200	4200	4100	4000	4000	4000
		mT	470	420	420	410	400	400	400
Residual magnetic flux density	B_r	Gauss	1000	800	800	600	600	600	800
		mT	100	80	80	60	60	60	80
Coercivity	H_c	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_s	$\frac{\times 10^{-3}}{mT}$		< 0.8 (10kHz)	< 0.8 (10kHz)	< 0.6 (10kHz)	< 1.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)
Disaccommodation factor	DF	$\times 10^{-3}$		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 2.0	< 1.0	< 1.0
Curie temperature	T_c	°C	> 200	> 140	> 140	> 130	< 120	< 120	< 120
Resistivity	ρ	$\Omega \cdot m$	1	1	0.2	0.1	0.01	0.01	0.01
Density	d	$kg/m^3 \times 10^3$	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.0

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

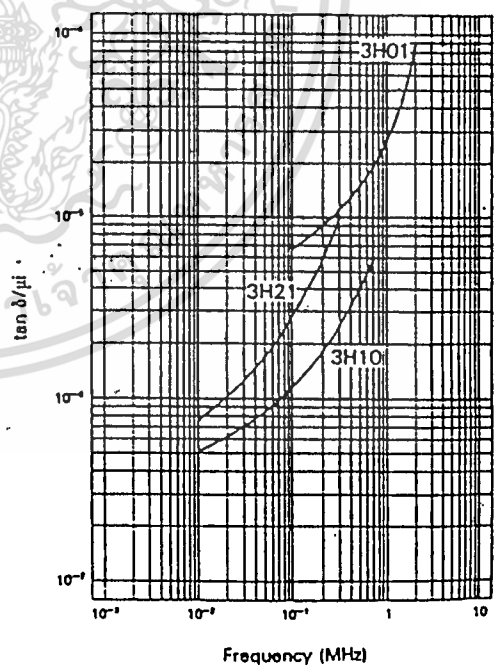
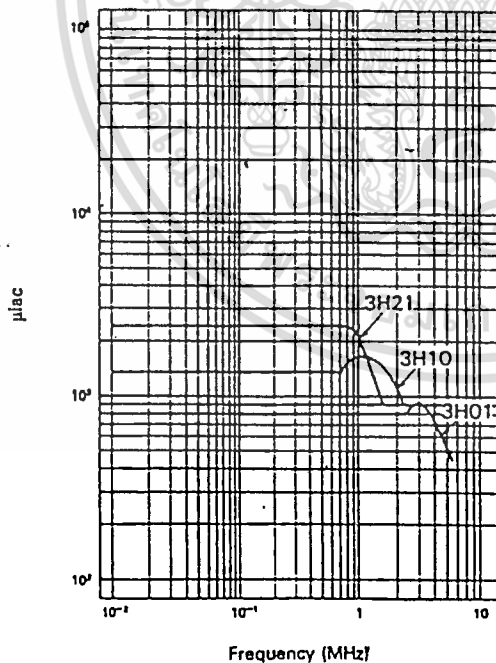


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard material characteristics (Linear material)

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FERRITE MATERIALS

Material characteristics

Material	Symbol	Unit	H 56 Z	H 55 Z	H 54 Z	H 53 Z	H 52 A	H 52 B	H 52 Z	H 51 A	H 51 Z
Initial permeability	$\mu_{i ac}$		11 $\pm 20\%$	17 $\pm 20\%$	50 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	250 $\pm 20\%$	800 $\pm 20\%$	1200 $\pm 20\%$	1200 $\pm 20\%$	1200 $\pm 15\%$
Relative loss factor	$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-4}$	< 200 40MHz < 250 100MHz	< 160 40MHz < 220 100MHz	< 60 5 MHz < 80 10MHz	< 30 1 MHz < 120 10MHz	< 25 1 MHz < 60 5 MHz	< 20 0.5MHz < 40 1 MHz	< 5 0.1MHz < 12 0.5MHz	< 3 0.1MHz < 8 0.5MHz	< 1.5 0.1MHz < 4 0.5MHz
Temperature factor -30~20 °C 20~55 °C 20~70 °C	$\alpha \mu r$	$\times 10^{-4}$				3~10 4~20		0~2 1.5~7			0.3~2 0.2~1
Saturation flux density	Bs	Gauss	2000	2100	2500	2900	3300	3900	3800	4650	4650
		mT	200	210	250	290	330	390	380	465	465
Residual flux density	Br	Gauss	1100	1200	1300	1600	2200	1700	1600	1500	1500
		mT	110	120	130	160	220	170	160	150	150
Coercive force	Hc	Oe	12	10	8.0	3.0	2.0	0.7	0.5	0.5	0.5
		A/m	960	800	640	240	160	56	40	40	40
Hysteresis material constant	ηB	$\frac{\times 10^{-4}}{mT}$						< 1.8 10kHz	< 0.5 10kHz	< 0.6 100kHz	< 0.4 100kHz
Disaccommodation factor	DF	$\times 10^{-3}$	< 50	< 50	< 30	< 20	< 10	< 20	< 10	< 6	< 4
Curie temperature	Tc	°C	> 450	> 450	> 400	> 350	> 300	> 250	> 230	> 200	> 200
Resistivity	ρ	$\Omega \cdot cm$	10^8	10^8	10^8	10^8	10^8	500	500	500	500
Density	d	g/cm ³	4.3	4.3	4.5	4.5	4.4	4.6	4.7	4.7	4.7

- Note : 1) The values were obtained with toroidal cores (FR 25 ϕ / 15 ϕ / 5).
 2) The values were obtained at 23 ± 2 °C unless otherwise specified.
 3) Initial permeability were measured at 10 kHz, 0.8 A/m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H 21 B	H 22 Z	H 23 B	H 24 B	H 24 A	H 24 Z	H 25 Z	H 28 B	H 49 N	H 49 B	H 45	H 63	H 63 B	H 45 A	H 63 A
2000 ±20%	2000 ±20%	3500 ±20%	4000 ±20%	5000 ±20%	7000 ±25%	12000 ±30%	3500 ±20%	1600 ±20%	1700 ±20%	2500 ±20%	2500 ±20%	2000 ±20%	2400 ±20%	1250 ±20%
<3.5 100kHz	<2.5 100kHz	<3.0 10kHz	<15 100kHz	<40 100kHz	<7 10kHz	<8 10kHz	<50 100kHz	<5 100kHz	<8 100kHz	<4 100kHz	<4 100kHz	<5 100kHz	<5 100kHz	<3 100kHz
0.5~2 0.5~2	0.4~1.2 0.4~1.2	0~2.0 0~2.0	0~1.5 0~1.5	-0.5~2 -0.5~2	0~2.0 0~2.0	0~1.5	-3~3							
4100	4200	4000	4400	4500	4000	4000	4700	5000	5300	4700	5200	5000	4800	4700
410	420	400	440	450	400	400	470	500	530	470	520	500	480	470
1100	800	900	1500	1500	900	950	1000	1500	1800	1000	1200	1500	1200	3100
110	80	90	150	150	90	95	100	150	180	100	120	150	120	310
0.30	0.15	0.30	0.13	0.13	0.13	0.05	0.20	0.16	0.20	0.16	0.16	0.16	0.16	0.25
24.0	12.0	24.0	10.4	10.4	10.4	4.0	16.0	12.8	16.0	12.8	12.8	12.8	12.8	20.0
<0.4 10kHz	<0.4 10kHz	<1.0 10kHz	<1.0 10kHz	<1.0 10kHz	<1.0 10kHz	<1.0 10kHz	<0.8 100kHz							
<3.0	<2.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<2.0	<3.0							
>160	>170	>125	>145	>145	>125	>125	>200	>230	>230	>200	>230	>200	>200	>270
400	500	20	20	10	3	3	100	100	1000	100	100	100	100	1000
4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms and definitions

I. Permeability

1-1. Initial permeability, μ_i

This is the limit value of B/H where H is indefinitely close to zero ($H \sim 0$) at the virgin magnetization curve of a ferromagnetic substance, and is derived by the following equation:

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H}$$

Where μ_0 : permeability in vacuum

H : AC magnetic field strength

B : AC magnetic flux density

(Note) The essential permeability of a core material is measured using a toroidal core wound with a coil, and is represented by the following equation:

$$\mu_i = \frac{L - L_0}{4\pi N^2 A_e} \cdot 10^7$$

Where L : self-inductance of core including coil (mH)

L_0 : self-inductance of coil (mH)

N : number of turns

A_e : average cross-sectional area of toroidal core (mm^2)

l_e : average magnetic path length of toroidal core (mm)

1-2. Effective permeability, μ_e

This is usually defined as the permeability of a core forming a closed circuit where leakage flux is negligibly small.

$$\mu_e = \frac{L}{4\pi N^2 A_e} \cdot 10^7$$

Where L : self-inductance of core with coil (mH)

N : number of turns

$$\frac{l_e}{A_e} = C, = \text{core factor (mm}^{-1}\text{)}$$

1-3. Apparent effective permeability, μ_{app}

This is generally a ratio of two inductances in a closed circuit:

$$\mu_{app} = \frac{L}{L_0}$$

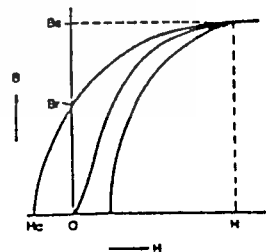
Where L : self-inductance of coil including core

L_0 : self-inductance of coil not including core

Magnetization curves

2-1. Saturation magnetic flux density, B_s

When the strength of a DC magnetic field H is intensified around a completely demagnetized magnetic core, the magnetic flux density B increases from the initial point "0" as shown in the figure on the right. This is called an initial magnetization curve. The magnetic flux density eventually reaches its upper limit, called the saturation magnetic flux density B_s , where the value of B is defined as B_s , when $H = 10 \text{ Oe}$.



3. Loss

2-2. Residual magnetic flux density, Br

This is the amount of residual magnetic flux density retained by the core after the DC magnetic field is weakened and finally removed to the level of $H = 0$.

2-3. Coercivity, Hc

This is the strength of the magnetic field whereby the residual flux density becomes zero under the intensification, in the opposite direction, of the DC magnetic field.

3-1. Loss factor $\tan \delta$

The core loss factors of three different types of losses: hysteresis loss, eddy-current loss and residual loss.

$$\begin{aligned}\tan \delta &= \tan \delta_h + \tan \delta_e + \tan \delta_r \\ &= h_1 \sqrt{\frac{L}{V}} + e_1 \cdot f + r_1\end{aligned}$$

The loss coefficient $\tan \delta$ can be also represented by the ratio of resistance to reactance as follows:

$$\tan \delta = \frac{R_m}{\omega L} = \frac{R_{eff} \cdot I_{rw}}{\omega L}$$

Where

$\tan \delta_h$: hysteresis loss coefficient

$\tan \delta_e$: eddy-current loss coefficient

$\tan \delta_r$: residual loss coefficient

L : self inductance of core with coil (mH)

V : core volume (mm³)

I : current (A)

h_1 : hysteresis loss coefficient

e_1 : eddy-current loss coefficient

r_1 : residual loss coefficient

f : frequency (Hz)

R_m : resistance of magnetic core (Ω)

R_{eff} : resistance of core and coil (Ω)

R_{rw} : resistance of coil (Ω)

ω : angular velocity (radian/sec.)

(Note) h_1 is expressed as follows:

$$h_1 = \frac{1}{\omega L} \cdot \sqrt{\frac{V}{L}} \cdot \frac{R_2 - R_1}{I_2 - I_1}$$

Where R_1 = resistance for current I_1

R_2 = resistance for current I_2

Terms and definitions

3-2. Relative loss factor $\tan \delta / \mu i$

This is the amount of loss per unit permeability and is expressed as follows:

$$\tan \delta / \mu i \text{ (for magnetic materials)}$$

$$\tan \delta / \mu_0 \text{ (where gaps are added to the magnetic circuit)}$$

3-3. Relative hysteresis loss coefficient, h_{10} (h-one-zero)

This is the value of h_i when $\mu i = 1000$ and is used for comparing different materials. It is expressed as:

$$h_{10} = h_i \cdot \left(\frac{1000}{\mu i} \right)^{1/2}$$

(Note) The relationship between h_{10} and η_h is represented as follows:

$$h_{10} = 50.1 \eta_h \times 10^3$$

3-4. Quality factor, Q

This is the reciprocal of the loss coefficient and is given by:

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{\omega L}{R_m}$$

(Note) The Q for the coil with the core is expressed as follows:

$$Q_c = \frac{\omega L}{R_{eff}}$$

Temperature characteristics

4-1. Temperature coefficient, $\alpha \mu$

This is the fractional difference of permeability per 1°C in a temperature range of from T_1 to T_2 .

$$\alpha \mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}$$

Where μ_1 : permeability at temperature T_1

μ_2 : permeability at temperature T_2

4-2. Relative temperature coefficient, $\alpha \mu r$

This is the temperature coefficient per unit permeability and is represented by:

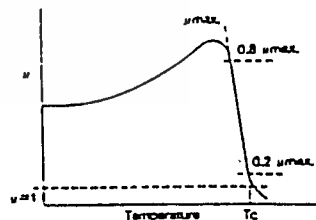
$$\alpha \mu r = \frac{\alpha \mu}{\mu}$$

Thus, the temperature coefficient of an actual core is obtained as follows:

$$\alpha \mu = \alpha \mu r \times \mu_0$$

4-3. Curie point, T_c

As shown by the typical temperature characteristic of permeability in the figure on the right, the Curie point T_c is defined as the temperature at which the magnetic core changes from the ferromagnetic to the paramagnetic state. It is the temperature obtained at the intersection point of the horizontal line of $\mu = 1$ and the line passing through the points $0.8 \mu_{max}$ and $0.2 \mu_{max}$.



5. Disaccommodation factor, DF

This is the factor representing the variation of permeability through time after a complete demagnetization of the core at a constant temperature.

$$DF = \frac{\mu_r \mu_i}{\log \frac{\mu_i}{\mu_1}} \cdot \frac{1}{\mu_1} \quad (t_2 > t_1)$$

Where μ_i : initial permeability t_1 minutes after complete demagnetization

μ_1 : initial permeability t_1 minutes after complete demagnetization

(Note) Generally, t_1 to t_2 is set at 10 to 100 minutes.

6. Electrical resistivity, ρ ($\Omega \cdot m$)

This is the electrical resistance per unit length and cross-sectional area of a magnetic core.

7. Density, d (kg/m^3)

This is the weight per unit volume of a magnetic core as expressed below:

$$d = \frac{W}{V}$$

Where W : weight of magnetic body (kg)

V : volume of magnetic body (m^3)

8. Power loss

Power loss denotes the loss by an electrical transformer, such as a switching regulator, under a magnetization condition featuring a high frequency and a large amplitude. Operating magnetic flux density, B , is generally expressed as follows:

$$B = \frac{E}{4.44 f N A_e} \times 10^6 \text{ (mT)}$$

Where B : magnetic flux density (mT)

E : coil terminal voltage (V)

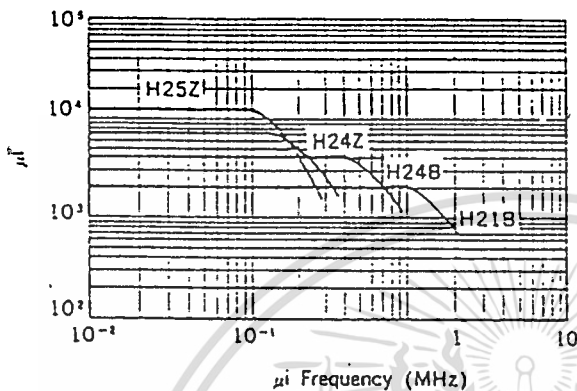
f : frequency (kHz)

N : number of coil turns

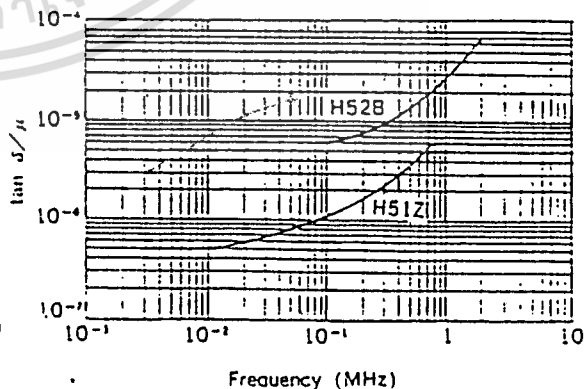
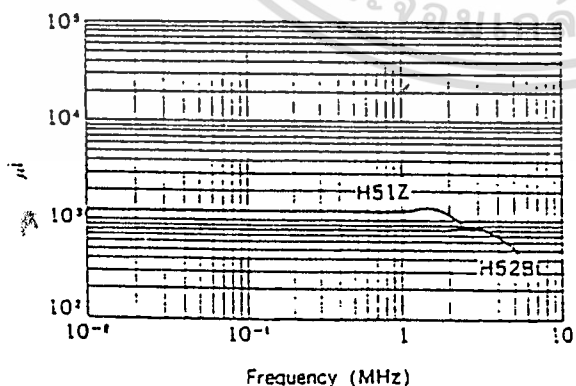
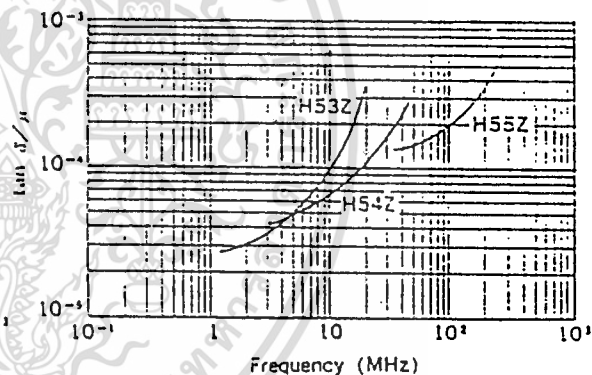
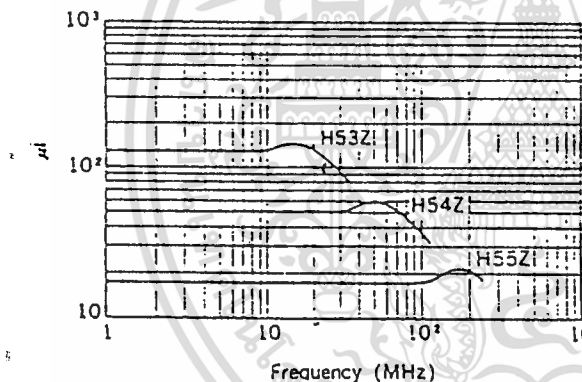
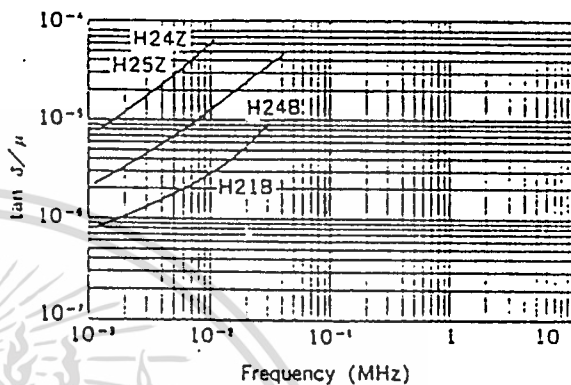
A_e : effective cross-sectional area (mm^2)

FERRITE MATERIALS

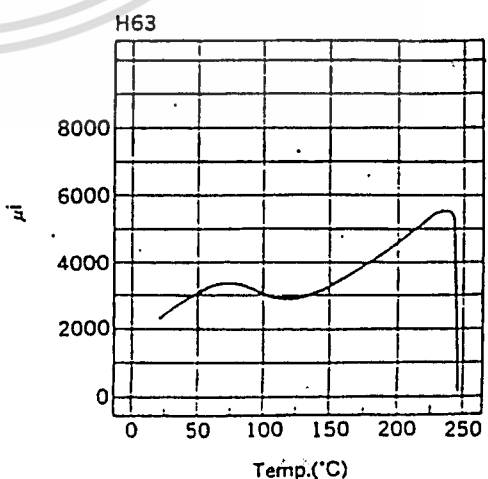
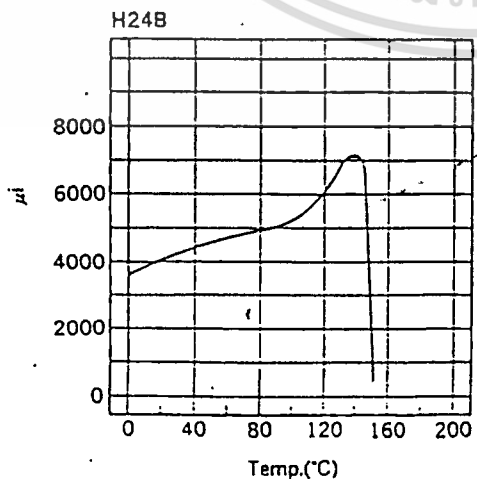
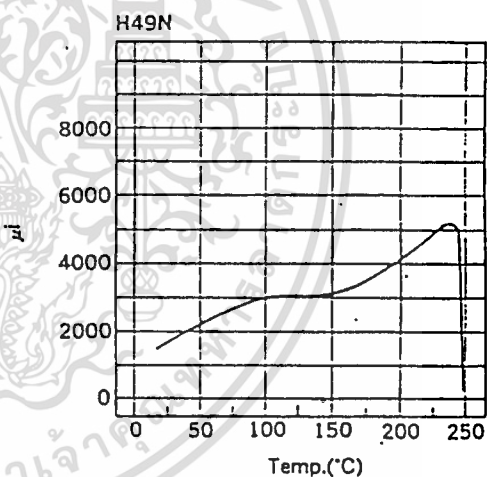
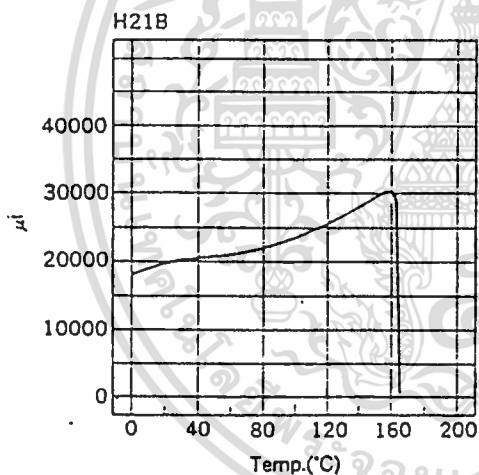
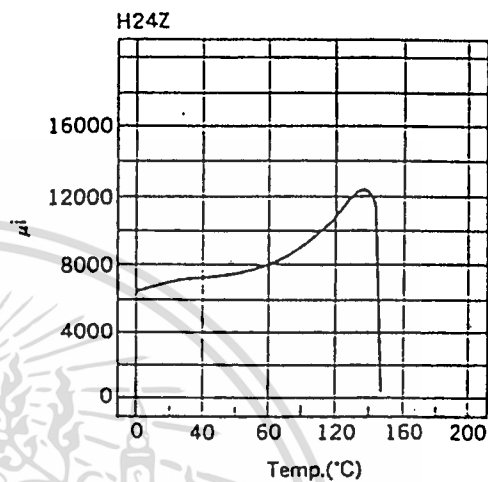
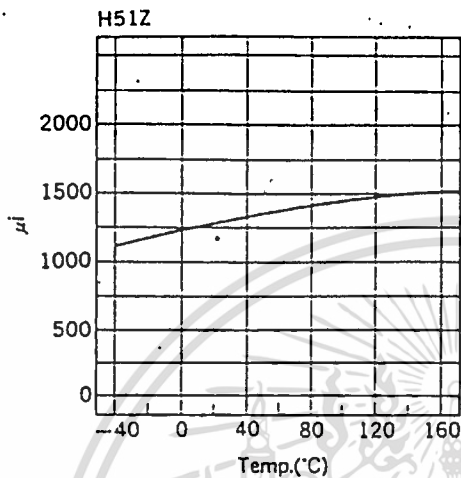
μ_i vs. frequency



$\tan \delta / \mu_i$ vs. frequency



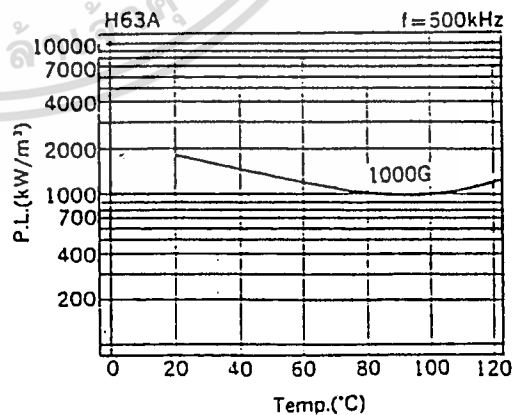
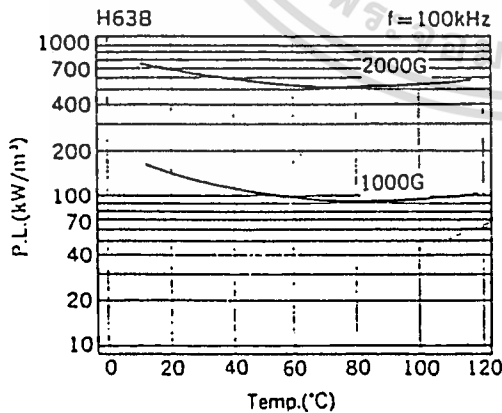
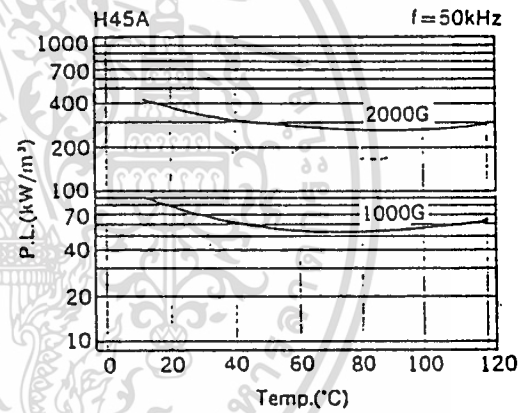
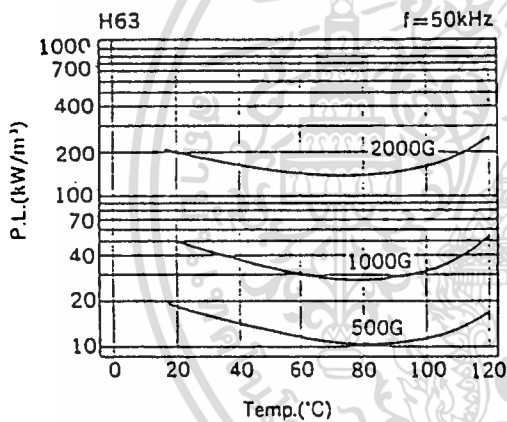
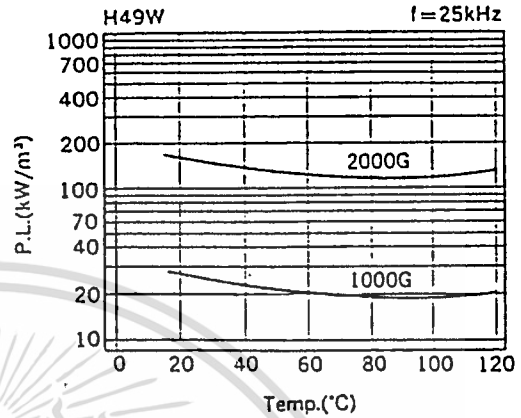
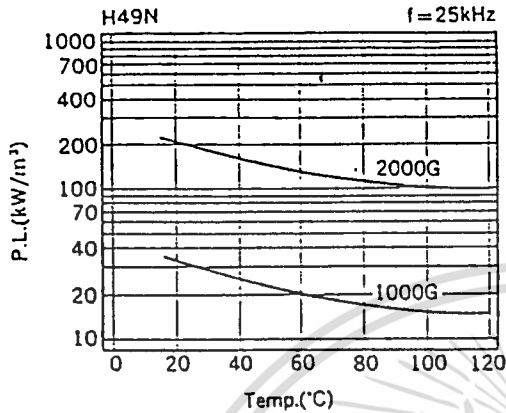
μi vs. temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

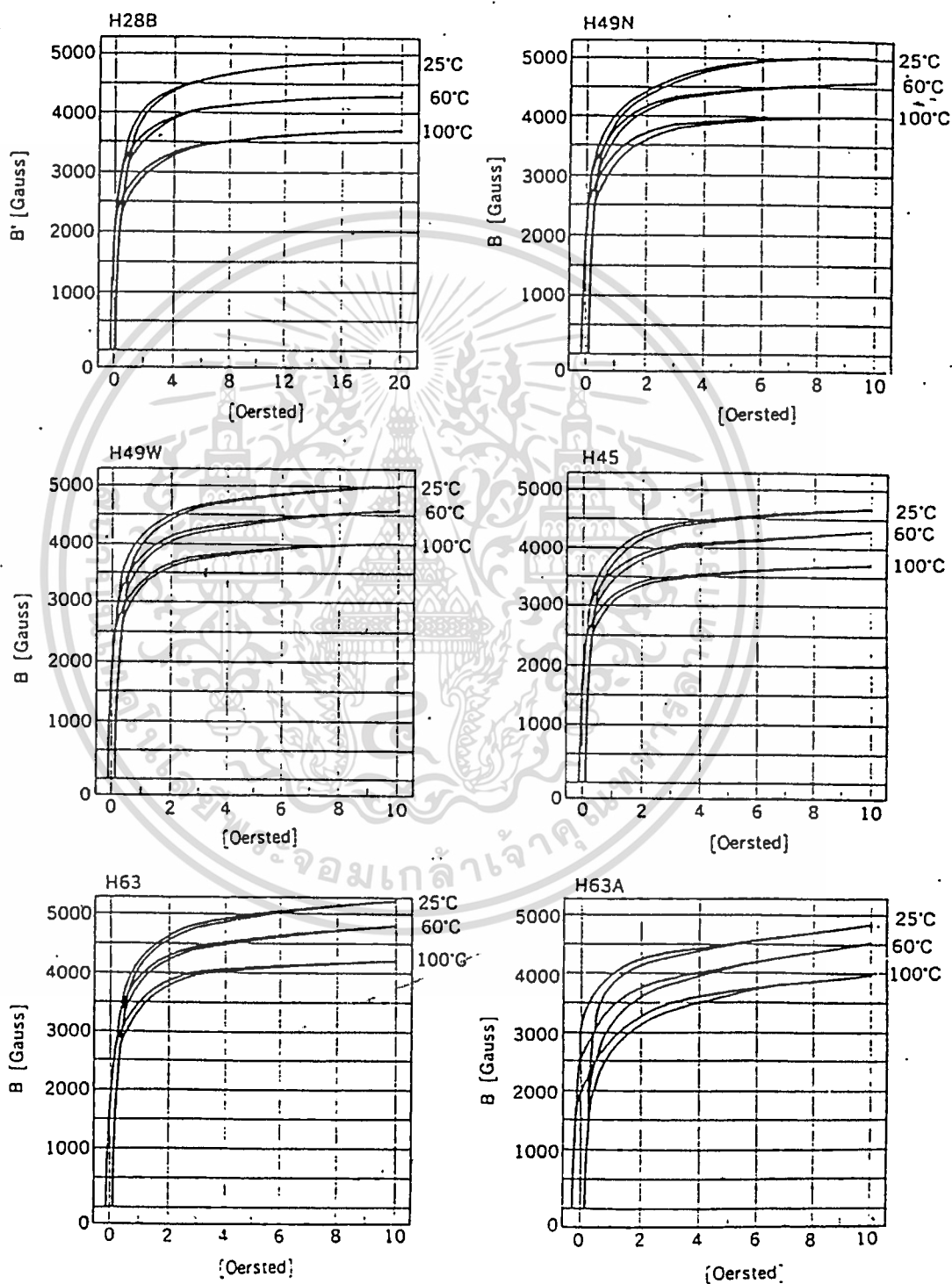
FERRITE MATERIALS

Power loss vs. temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

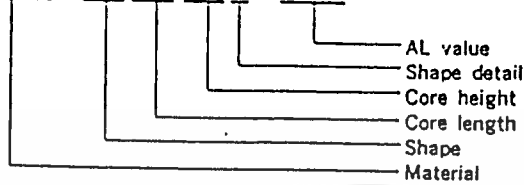
Static magnetization curves



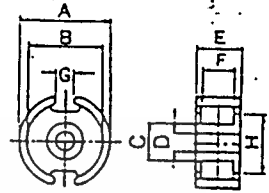
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SP CORES

H218 SP 26 16 T-160



Type A



Core name	Type	Dimension (mm)								Magneto characteristics				
		A	B	C	D	E	F	G	H	μ (Non ⁻¹)	δ (cm)	A_e (cm ²)	V_e (cm ³)	(g/set)
SP 0704 T	A	7.25 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.1	3.0 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.05	4.2 $\pm$ 0.1	2.8 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.2	5.5 $\pm$ 0.25	14.3	1.00	0.07	0.07	0.5
SP 0905 T	A	9.3 $\pm$ 0.35	7.5 $\pm$ 0.3	3.9 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.1	5.4 $\pm$ 0.3	3.6 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.2	6.5 $\pm$ 0.25	12.5	1.24	0.099	0.123	0.8
SP 1107 T	A	11.1 $\pm$ 0.2	9.0 $\pm$ 0.4	4.7 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.1	6.5 $\pm$ 0.1	4.4 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.2	7.0 $\pm$ 0.5	9.56	1.55	0.162	0.251	1.8
SP 1408 T	B	14.0 $\pm$ 0.2	11.6 $\pm$ 0.4	6.0 $\pm$ 0.2	3.0 $\pm$ 0.2	8.4 $\pm$ 0.2	5.6 $\pm$ 0.4	3.3 $\pm$ 0.6	9.5 $\pm$ 0.3	7.89	1.96	0.251	0.496	3.2
SP 1414 T	B	14.0 $\pm$ 0.2	12.0 $\pm$ 0.5	6.0 $\pm$ 0.15	3.1 $\pm$ 0.1	14.0 $\pm$ 0.3	11.0 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.3	10.0 $\pm$ 0.4	11.3	2.93	0.259	0.759	3.8
SP 1811 T	B	17.9 $\pm$ 0.3	14.9 $\pm$ 0.5	7.6 $\pm$ 0.3	3.0 $\pm$ 0.2	10.7 $\pm$ 0.3	7.2 $\pm$ 0.5	3.5 $\pm$ 0.6	13.0 $\pm$ 0.5	5.97	2.59	0.434	1.12	5.4
SP 2213 T	B	22.0 $\pm$ 0.4	17.9 $\pm$ 0.6	9.4 $\pm$ 0.3	4.4 $\pm$ 0.2	13.6 $\pm$ 0.4	9.2 $\pm$ 0.4	3.8 $\pm$ 0.6	15.0 $\pm$ 0.3	4.97	3.15	0.634	2.00	12.6
SP 2614 T	A	25.5 $\pm$ 0.5	21.7 $\pm$ 0.5	11.3 $\pm$ 0.2	5.55 $\pm$ 0.15	14.0 $\pm$ 0.3	9.2 $\pm$ 0.5	4.0 $\pm$ 0.3	18.2 $\pm$ 0.3	3.65	3.40	0.931	1.17	19
SP 2616 T	B	25.5 $\pm$ 0.5	21.2 $\pm$ 0.8	11.5 $\pm$ 0.4	5.5 $\pm$ 0.2	16.0 $\pm$ 0.3	11.0 $\pm$ 0.4	3.8 $\pm$ 0.6	18.0 $\pm$ 0.4	4.00	3.55	0.888	1.15	21.6
SP 3019 T	B	30.0 $\pm$ 0.5	25.0 $\pm$ 0.8	13.5 $\pm$ 0.4	5.5 $\pm$ 0.2	18.0 $\pm$ 0.5	13.0 $\pm$ 0.5	4.3 $\pm$ 0.6	20.5 $\pm$ 0.5	3.30	4.50	1.26	5.12	36

Letter for AL value tolerance

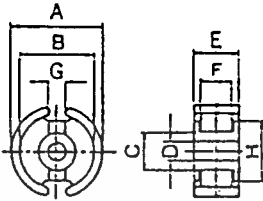
S : $\pm 3\%$ J : $\pm 10\%$ T : $\pm 25\%$
U : $\pm 5\%$ N : $\pm 20\%$ M : $\pm 30\%$

Core name	Gap	Ferrite material AL value (nH/N ²), tolerance									
		H53 Z	H52 B	H51 Z	H21 B	H24 B	H24 A	H24 Z	H25 Z	H63	H23 B
SP 0704 T	with gap	8, 25/S	63/S		100/S						
	without gap	90/T			1000/T	1300/T	1400/T	2500/T	2500/M		
SP 0905 T	with gap	10, 16/S	25, 40, 63/S		100, 160/S	200, 250/U					
	without gap	100/T			1250/T	1700/T	1800/T	2500/T	5000/M		
SP 1107 T	with gap	16, 25, 40/S	63, 100/S	100, 160/S	250/S	400/U					
	without gap	130/T			1600/T	2500/T	2700/T	5000/T	6500/M		
SP 1408 T	with gap	16, 25/S	40, 63/S	100, 160/S	250, 315/S	400/U					
	without gap	160/T			2100/T	3200/T	3500/T	6500/M	9000/M		
SP 1414 T	with gap	25/S	40, 63/S	100, 160/S	250, 315/S	400/U					
	without gap	140/T			2000/T	3000/T	3000/T	5500/T	7600/M		
SP 1811 T	with gap	25, 40/S	63, 100, 160/S	250, 315/S	400/U	630, 1000/J					
	without gap	200/T			2500/T	5000/T	5700/T	(9000/T)	(12000/M)		
SP 2213 T	with gap	40, 63/S	100, 160/S	250, 315, 630/S	630, 1000/U	1600/U					
	without gap				3700/T	6500/T	7500/T	(12000/T)	(16000/M)	3300/T	4700/T
SP 2614 T	with gap	63, 100/S	160, 250/S		315, 400, 630, 800/S	1000/U					
	without gap				4600/T	8000/T	9500/T			4200/T	5700/T
SP 2616 T	with gap	63, 100/S	160, 250/S		315, 400, 630, 800/S	1000/U					
	without gap				4500/T	8000/T	9000/T			4000/T	5500/T
SP 3019 T	with gap				315, 400, 630, 800/S	1000/U					
	without gap				5500/T	10000/T	(12000/T)			6000/T	9000/T

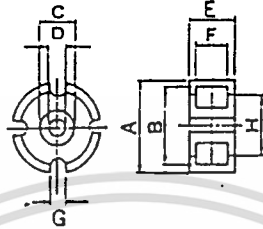
() : Upon request

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

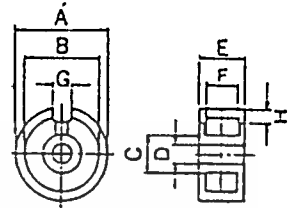
Type B



Type C



Type G



Core name	Type	Dimension (mm)								Magnetic characteristics				
		A	B	C	D	E	F	G	H	l (mm)	l_e (cm)	A_e (cm ²)	V_e (cm ³)	ρ (g/cm ³)
SP 3523 T	B	35.0±0.5	27.0±0.5	12.3±0.2	5.4	23.0	13.6±0.4	5.0±0.3	23.0±0.3	2.72	4.38	1.61	7.05	60
SP 3622 T	B	36.0±1.0	29.9±1.0	16.0±0.4	5.5±0.2	22.0±0.5	14.6±0.4	4.9±0.6	26.2±0.6	2.64	5.30	2.01	10.7	56
SP 5936 T	B	59.6±1.2	48.8±1.0	25.5±0.8	5.5±0.2	25.6±0.8	23.8±0.8	7.5±0.5	41.5±1.0	1.84	8.80	4.77	42.0	270
SP 1408 FU	C	14.0±0.2	11.6±0.4	6.0±0.2	3.0±0.2	8.4±0.3	5.6±0.4	2.7±0.3	8.2±0.5	8.67	2.04	0.235	0.480	3.2
SP 1814 FU	C	17.7±0.3	14.9±0.5	7.8±0.3	3.0±0.2	14.0±0.3	10.8±0.4	2.9±0.3	11.5±0.4	7.07	3.01	0.426	1.28	9
SP 2614 FU	C	25.5±0.5	21.7±0.5	11.3±0.2	5.55±0.15	14.0±0.3	9.2±0.5	4.0±0.3	17.0±0.4	3.98	3.47	0.872	3.03	19
SP 3019 FU	C	30.0±0.5	25.5±0.5	13.3±0.2	5.55±0.15	18.0±0.3	13.0±0.5	4.0±0.3	20.3±0.4	3.61	4.62	1.28	5.91	36
SP 1211 TVG	A	12.0±0.5	9.8±0.3	5.0±0.15		10.8±0.4	8.2±0.6	1.0±0.3	7.0±0.3	10.1	2.47	0.238	0.528	2.3
SP 1814 LVG	D	18.0±0.3	14.7±0.5	7.4±0.2		14.2±0.6	10.1±0.8	3.0±0.3	3.3±0.8	6.75	3.01	0.446	1.34	9.5
SP 6656 LV	D	66.5±1.5	53.5±1.2	28.8±1.0	6.35±0.3	56.0±1.0	42.0±1.2	7.0±0.7	10.0±0.8	1.74	12.40	7.13	88.5	554

Letter for AL value tolerance

S : ±3% J : ±10% T : ±25%
 U : ±5% N : ±20% M : ±30%

Core name	Gap	Ferrite material AL value (nH/N ²), tolerance									
		H53 Z	H52 B	H51 Z	H21 B	H24 B	H24 A	H24 Z	H25 Z	H63	H28 B
SP 3523 T	with gap				315, 400 630, 1000/S	1250, 1800/U					
	without gap				7500/T	13000/T	(15000/T)			6700/T	9500/T
SP 3622 T	with gap				315, 400 630, 1000/S	1800/U	2500/J				
	without gap				7700/T	13000/T	(15000/T)			7000/T	10000/T
SP 5936 T	with gap				315, 400 630, 1000/S	1800/U	2500/J				
	without gap				12000/T	19000/T					
SP 1408 FU	with gap			100, 160/S	250, 315/S	400/U					
	without gap				2100/T	3200/T	3500/T	6000/T	8500/M		
SP 1814 FU	with gap			250, 315/S	400/U	630, 1000/J					
	without gap				2600/T	4500/T	5200/T	(8500/T)	(11000/M)		
SP 2614 FU	with gap				315, 400 630, 800/S						
	without gap				4400/T	7600/T	8500/T			4000/T	5500/T
SP 3019 FU	with gap				315, 400 630, 800/S	1000/U	1600/J				
	without gap				6200/T	9500/T	(11000/T)			5700/T	7500/T
SP 1211 TVG	with gap	25, 40/S	63/S	100, 160/S	250, 315/S						
	without gap	120/T			1500/T	2300/T	2500/T	4500/T	5500/M		
SP 1814 LVG	with gap	25, 40/S	63, 100/S	250, 315/S	400/U	630, 1000/J					
	without gap	150/T			2300/T	4500/T	5000/T	(8000/T)	(11000/M)		
SP 6656 LV	with gap				315, 400 630, 1000/S	1600/U	2500/J				
	without gap				14000/T						

() : Upon request

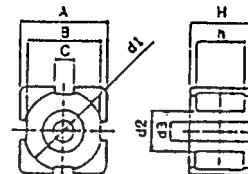
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CP CORES

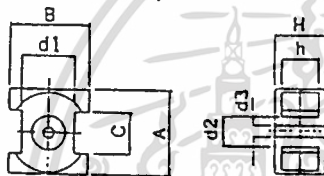
H21B CP 1309 FV-160

AL value
Shape detail
Core height
Core length
Shape
Material

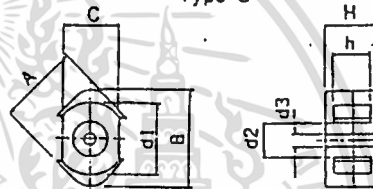
Type A



Type B



Type C



Core name	Type	Dimension (mm)								Magnetic characteristics				
		A	B	C	d1	d2	d3	H	h	[I/(A·cm ⁻¹)]	μ _s (cm)	A _e (cm ²)	V _e (cm ³)	(g/3wt)
CP 0906 FV	A	9.4 ^{+0.3} _{-0.8}	7.0	2.0	8.3 ^{+0.3} _{-0.2}	4.0 ^{+0.2} _{-0.2}	1.8 ^{+0.3} _{-0.2}	6.5 ^{+0.4} _{-0.4}	1.7 ^{+0.3} _{-0.3}	10.2	1.25	2.127	0.160	1.10
CP 1309 FV	A	13.5 ^{+0.4} _{-0.4}	11.1	1.0	12.1 ^{+0.4} _{-0.3}	6.6 ^{+0.3} _{-0.3}	1.0 ^{+0.2} _{-0.2}	9.5 ^{+0.3} _{-0.3}	6.7 ^{+0.4} _{-0.4}	7.44	2.25	0.300	0.675	4.3
CP 1409 TV	B	15.2 ^{+0.3} _{-0.3}	14.7 ^{+0.3} _{-0.3}	17.75 ^{+0.25} _{-0.25}	9.5 ^{+0.25} _{-0.25}	6.0 ^{+0.15} _{-0.15}	2.05 ^{+0.1} _{-0.1}	9.6 ^{+0.2} _{-0.2}	7.0 ^{+0.2} _{-0.2}	7.56	1.80	0.238	0.428	4.8
CP 1715	C	18.7 ^{+0.7} _{-0.7}	20.0 ^{+0.8} _{-0.8}	9.9 ^{+0.25} _{-0.4}	13.8 ^{+0.6} _{-0.6}	7.0 ^{+0.3} _{-0.3}	1.0 ^{+0.1} _{-0.1}	15.2 ^{+0.2} _{-0.2}	10.6 ^{+0.2} _{-0.2}	8.62	1.18	0.369	1.17	8.5
CP 2014 FV	A	20.0 ^{+0.5} _{-0.5}	16.5	6.0	18.4 ^{+0.5} _{-0.4}	9.8 ^{+0.4} _{-0.4}	1.0 ^{+0.2} _{-0.2}	13.5 ^{+0.4} _{-0.4}	10.0 ^{+0.4} _{-0.4}	4.80	1.34	0.700	2.33	13
CP 2323 FV	A	23.3 ^{+0.5} _{-0.5}	20.0	6.0	21.2 ^{+0.5} _{-0.3}	11.65 ^{+0.5} _{-0.3}	1.0 ^{+0.2} _{-0.2}	21.3 ^{+0.5} _{-0.5}	17.0 ^{+0.4} _{-0.4}	4.12	4.96	1.20	6.00	32

Letter for AL value tolerance

S : ±3% N : ±20%
U : ±5% T : ±25%
J : ±10% M : ±30%

Core name	Gap	Ferite material AL value (nH/N ²) tolerance									
		H53 Z	H52 B	H51 Z	H21 B	H24 B	H24 A	H24 Z	H25 Z	H63	H28 B
CP 0906 FV	with gap	10, 16/S	25, 40, 63/S		100, 160/S	200, 250/S					
	without gap	120/T			1500/T	2100/T	2000/T	4000/T	5000/M		
CP 1309 FV	with gap	16, 25/S	40, 63/S	100, 160, 250/S	315/S	400/U					
	without gap	160/T			2300/T	3400/T	3800/T	7000/T	10000/M		
CP 1409 TV	with gap			160, 250/T	250/T	315/T					
	without gap				2000/T	3500/T	3300/T	6500/T	9000/M		
CP 1715	with gap			160, 250/S	315/S	400/U					
	without gap				2400/T	3500/T	3900/T	(7000/T)	(10000/M)		
CP 2014 FV	with gap	53/S	100, 160/S	25, 315, 400/S	500, 800/U	1000/U					
	without gap				3500/T	6700/T	7200/T			1300/T	4600/T
CP 2323 FV	with gap			25, 315, 400/S	630, 1000/S	1250, 1600/U					
	without gap				4500/T	3000/T	(8200/T)			4000/T	5400/T

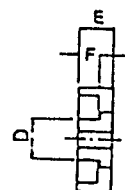
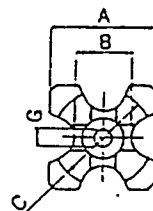
() : Upon request

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X CORES

H21B X 25 15 FUG-350

AL value
Shape detail
Core height
Core length
Shape
Material



Type A With center hole
Type B Without center hole

Core name	Type	A	B	C	D	E	F	G
X 2515 FU	A	$24.5^{+0}_{-0.9}$	$13.7^{+0}_{-0.6}$	$23.6^{+0.9}_{-0}$	$9.8^{+0}_{-0.4}$	$7.8^{+0}_{-0.2}$	$4.8^{+0.2}_{-0}$	$4.4^{+0.2}_{-0}$
X 2515 FUG	B	$24.5^{+0}_{-0.9}$	$13.7^{+0}_{-0.6}$	$23.6^{+0.9}_{-0}$	$9.8^{+0}_{-0.4}$	$7.8^{+0}_{-0.2}$	$4.8^{+0.2}_{-0}$	
X 3023 FU	A	28.9 ± 0.5	16.3 ± 0.4	$26.8^{+1.2}_{-0}$	$11.4^{+0}_{-0.5}$	$11.5^{+0.3}_{-0}$	$7.5^{+0.5}_{-0}$	$4.4^{+0.2}_{-0}$
X 3023 FUG	B	28.9 ± 0.5	16.3 ± 0.4	$26.8^{+1.2}_{-0}$	$11.4^{+0}_{-0.5}$	$11.5^{+0.3}_{-0}$	$7.5^{+0.5}_{-0}$	
X 3623 FUG	B	36.5 ± 0.8	22.1 ± 0.4	$35.2^{+1.6}_{-0}$	$15.2^{+0}_{-0.5}$	$11.8^{+0}_{-0.3}$	$7.5^{+0.5}_{-0}$	

Core name	$\Sigma \ell / A$	ℓ_e	A_e	V_e	W
X 2515 FU	5.7	4.15	0.73	3.03	16.5
X 2515 FUG	5.7	4.15	0.73	3.03	16.7
X 3023 FU	4.89	5.58	1.14	6.36	38
X 3023 FUG	4.90	5.5	1.15	6.3	39
X 3623 FUG	3.15	6.60	2.10	13.9	74

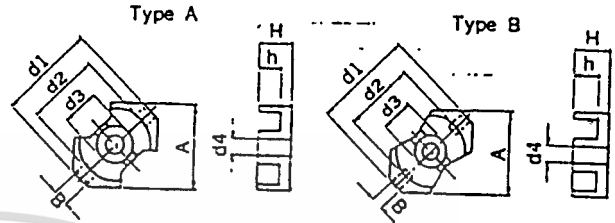
Core name	Gap	H 53 Z	H 52 B	H 51 Z	H 21 B	H 24 B	H 24 A	H 24 Z	H 25 Z
X 2515 FU	with gap	100/S	250/S	400/S 800/U	1250, 1600/J				
	without gap				3500/T				
X 2515 FUG						1000, 1250/J			
						5400/T	5200/T	11000/T	16000/M
X 3023 FU			250/S	400, 800/S 1000/U	1250, 1600/U				
					4300/T				
X 3023 FUG						1250, 1600/J			
						6300/T	(7200/T)	13000/T	18500/M
X 3623 FUG									
					6400/T	9500/T	11000/T	19000/T	28000/M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RM CORES

H21 B RM 6-400

AL value
Core length
Shape
Material



Core name	Type	Dimension (mm)								Magnetic characteristics				
		A	B	d1	d2	d3	d4	H	h	μ_i (mT)	μ_e (cm)	A_e (cm ²)	V_e (cm ³)	(g/set)
RM 5	A	12.3 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.3	14.6 $\pm$ 0.3	10.2 $\pm$ 0.4	4.3 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.1	5.25 $\pm$ 0.1	1.15 $\pm$ 0.2	10.1	2.14	0.21	0.45	1.1
RM 6	B	14.7 $\pm$ 0.6	2.8 $\pm$ 0.4	17.9 $\pm$ 0.6	12.4 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 0.2	3.0 $\pm$ 0.1	6.25 $\pm$ 0.1	4.0 $\pm$ 0.2	8.63	2.70	0.31	0.85	4.7
RM 8	A	19.7 $\pm$ 0.7	5.0 $\pm$ 0.4	23.2 $\pm$ 0.9	17.0 $\pm$ 0.6	8.55 $\pm$ 0.3	4.4 $\pm$ 0.2	8.25 $\pm$ 0.2	5.4 $\pm$ 0.3	6.80	3.55	0.52	1.85	10
RM 10	A	24.7 $\pm$ 1.1	5.0 $\pm$ 0.4	28.5 $\pm$ 1.3	21.2 $\pm$ 0.9	10.9 $\pm$ 0.4	5.4 $\pm$ 0.2	9.15 $\pm$ 0.2	6.2 $\pm$ 0.3	5.05	4.20	0.83	3.47	20
RM 14	A	34.7 $\pm$ 1.9	5.6 $\pm$ 0.4	42.2 $\pm$ 1.2	29.0 $\pm$ 1.0	15.0 $\pm$ 0.5	5.4 $\pm$ 0.2	14.5 $\pm$ 0.2	10.4 $\pm$ 0.3	1.9	7.0	1.78	12.4	65

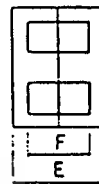
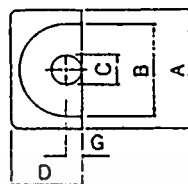
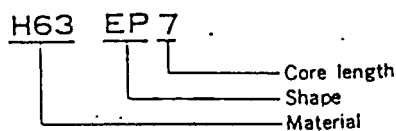
Letter for AL value tolerance
S : $\pm 3\%$ H : $\pm 20\%$
U : $\pm 5\%$ T : $\pm 25\%$
J : $\pm 10\%$ M : $\pm 30\%$

Core name	Gap	Ferite material AL value (nH/N ²), tolerance									
		H53 Z	H52 B	H51 Z	H21 B	H24 B	H24 A	H24 Z	H25 Z	H63	H28 B
RM 5	with gap	10, 16, 25/S	40, 63/S	100, 160/S	250, 315/S	400/S					
	without gap	120/T	900/T		1800/T	* 2100/T	* 3400/T	* 5500/T	* 6300/M	* 1700/T	* 2200/T
RM 6	with gap	16, 25, 40/S	63, 100, 160/S	250, 315/S	400/U 530/J	1000, 1250/J					
	without gap	140/T	940/T		2000/T	* 3200/T	* 4000/T	* 6500/T	* 8000/M	* 2000/T	* 3000/T
RM 8	with gap	40, 63/S	100, 160, 250/S	315, 400/S	530, 1000/U	1250, 1600/J					
	without gap	180/T	1200/T		2500/T	* 5400/T	* 6300/T	* (11000/T)	* (13000/M)	* 2900/T	* 4300/T
RM 10	with gap				250, 315 400, 530/S	1000/U 1600/J					
	without gap					* 7500/T	* 8800/T			* 3900/T	* 5700/T
RM 14	with gap				315, 400 530, 800/S	1250, 1600/J					
	without gap					8000/T	(9300/T)			1700/T	5400/T

(): Upon request
* without center hole

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EP CORES

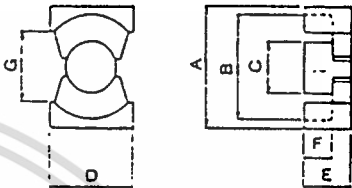
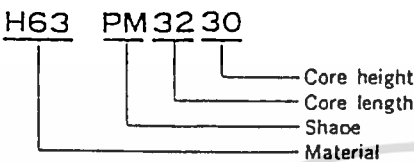


Characteristics		Core name					
		EP 7	EP 10	EP 13	EP 15	EP 17	EP 20
Dimension	A (mm)	9.2±0.2	11.5±0.2	12.5±0.3	15.0±0.5	18.0±0.4	24.0±0.5
	B (mm)	7.4±0.2	9.4±0.2	10.0±0.3	11.8±0.5	12.0±0.4	16.5±0.4
	C (mm)	3.4 ⁺⁰ _{-0.2}	3.45 ⁺⁰ _{-0.3}	4.5 ⁺⁰ _{-0.3}	4.8±0.5	5.85 ⁺⁰ _{-0.35}	9.0 ⁺⁰ _{-0.3}
	D (mm)	6.5 ⁺⁰ _{-0.3}	7.85 ⁺⁰ _{-0.4}	9.0 ⁺⁰ _{-0.4}	10.0±0.4	11.25 ⁺⁰ _{-0.5}	15.3 ⁺⁰ _{-0.7}
	E (mm)	7.5 ⁺⁰ _{-0.2}	10.4 ⁺⁰ _{-0.4}	13.0 ⁺⁰ _{-0.3}	15.0±0.4	17.0 ⁺⁰ _{-0.4}	21.6 ⁺⁰ _{-0.4}
	F (mm)	5.0 ⁺⁰ _{-0.4}	7.2 ⁺⁰ _{-0.4}	9.0 ⁺⁰ _{-0.4}	10.4±0.3	11.0 ⁺⁰ _{-0.6}	14.0 ⁺⁰ _{-0.6}
	G (mm)	1.8 ⁺⁰ _{-0.3}	1.95 ⁺⁰ _{-0.25}	2.5 ⁺⁰ _{-0.25}	2.75±0.2	3.25±0.2	4.5±0.2
Core factor	$\Sigma \frac{L}{A} (\text{cm}^{-1})$	15.2	17.0	12.4	10.3	8.0	5.0
Effective length	$L_e (\text{cm})$	1.57	1.92	2.42	3.1	3.4	4.5
Effective area	$A_e (\text{cm}^2)$	0.10	0.11	0.20	0.30	0.43	0.84
Effective volume	$V_e (\text{cm}^3)$	0.16	0.22	0.47	0.93	1.50	3.80
Approx. weight	W(g/set)	1.4	2.8	5.1	7.5	11.8	27.6
AL value (nH/N' ±25%)	H49N	600	600	900	1050	1350	2300
	H63	850	850	1200	1350	1750	2900
	H24B	1100	1100	1700	1900	2500	4200
	H24A	1600	1600	23000	2650	3400	5700
	H24Z	2200	2200	3400	3800	(5000)	

() : Upon request

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PM CORES

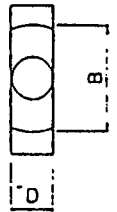
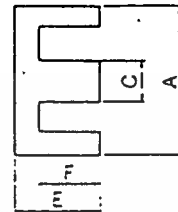
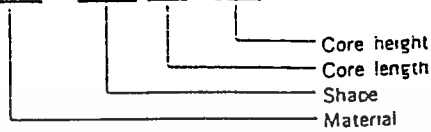


Characteristics		Core name							
		PM-2016	PM-2020	PM-2620	PM-2625	PM-3220	PM-3230	PM-3535	PM-4040
Dimension	A (mm)	20.5±0.4	21.5±0.4	26.5±0.45	26.5±0.45	32.0±0.5	32.0±0.5	35.0±0.5	40.0±0.4
	B (mm)	18.0±0.4	18.0±0.4	22.5±0.45	22.5±0.45	27.5±0.5	27.5±0.5	32.0±0.5	37.0±0.6
	C (mm)	9.0±0.4	9.0±0.4	12.2±0.4	12.2±0.4	13.7±0.5	13.7±0.5	14.5±0.5	15.2±0.6
	D (mm)	14.0±0.4	14.0±0.4	19.0±0.45	19.0±0.45	22.0±0.5	22.0±0.5	26.0±0.5	28.0±0.5
	E (mm)	8.2±0.2	10.2±0.2	10.2±0.25	12.5±0.25	10.4±0.25	15.3±0.25	17.5±0.25	20.0±0.25
	F (mm)	5.0±0.3	7.3±0.3	5.6±0.3	7.9±0.3	5.6±0.3	10.5±0.3	12.35±0.3	14.6±0.3
	G (mm)	12.0 min.	12.3 min.	15.5 min.	15.5 min.	19.0 min.	19.0 min.	23.5 min.	27.5 min.
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A}$ (cm ⁻¹)	6.05	7.35	3.91	4.71	3.25	4.64	4.48	5.08
Effective length	l_e (cm)	3.74	4.54	4.63	5.55	5.55	7.46	8.79	10.19
Effective area	A_e (cm ²)	0.62	1.62	1.19	1.18	1.70	1.61	1.96	2.01
Effective volume	V_e (cm ³)	2.31	2.73	5.45	5.53	3.42	11.97	17.26	20.45
Approx. weight	W(g/set)	13	15	31	36	42	55	73	95
AL value (nH/N ² ±25%)	H63	1500	2000	5500	5200	5200	5000	5000	4500
	H45	1700	2200	5900	5500	7200	5200	5200	4700
	H49W	3600	3100	5600	5300	5500	5100	5100	4600
	H49N	2500	2200	4100	3900	4600	3700	3700	3400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EER CORES

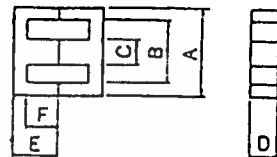
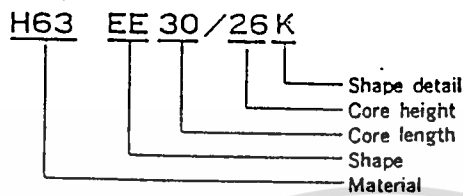
H63 EER 35/34



Characteristics		Core name									
		EER19/24	EER26/33	EER34/35 (ETD34)	EER35/41	EER39/44	EER39/40 (ETD39)	EER42/42	EER44/45 (ETD44)	EER49/62	EER49/49 (ETD49)
Dimension	A (mm)	19.2±0.4	26.2±0.4	35.0±0.6	35.0±0.5	39.0±0.5	40.0±0.8	42.0±0.5	45.0±0.6	49.0±0.6	49.8±0.2
	B (mm)	13.6 min.	19.5 min.	25.6±0.4	25.6 min.	28.5 min.	29.3±0.8	31.0±0.5	32.5±0.6	36.4 min.	38.1±0.8
	C (mm)	5.6±0.3	7.2±0.3	11.1±0.6	11.3±0.3	12.8±0.3	12.8±0.6	15.2±0.3	15.2±0.6	17.2±0.2	16.7±0.6
	D (mm)	5.6±0.3	7.2±0.3	11.1±0.6	11.3±0.3	12.8±0.3	12.8±0.6	15.2±0.3	15.2±0.6	17.2±0.3	16.7±0.6
	E (mm)	12.1±0.2	16.3±0.3	17.3±0.2	21.7±0.3	22.0±0.3	19.8±0.2	21.2±0.3	22.3±0.2	31.2±0.3	24.7±0.2
	F (mm)	8.9±0.2	12.8±0.3	11.8±0.6	14.7±0.3	17.0±0.3	14.2±0.8	15.2±0.3	16.1±0.6	22.7±0.3	17.7±0.8
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A} (cm^{-1})$	18.8	15.23	8.12	8.12	7.61	7.38	5.26	5.93	6.21	5.40
Effective length	$l_e (cm)$	5.23	7.43	7.90	8.61	10.12	8.22	9.63	10.36	14.60	11.40
Effective area	$A_e (cm^2)$	0.28	1.44	0.97	1.11	1.33	1.25	1.83	1.75	2.35	2.11
Effective volume	$V_e (cm^3)$	1.45	1.27	7.68	10.0	12.5	11.53	17.64	18.09	34.3	24.05
Approx. weight	W (g/set)	7.3	17	40	52	69	60	91	94	171	124
AL value (nH/N' ±25%)	H45			2500	2500	3100	3200	4100	3600	3500	4000
	H49N	900	900	1700	1800	2100	2200	2700	2500	2500	2700
	H49W			2300	2400	2900	3000	3800	3400	3300	3700
	H63	1150	1200	2100	2200	2600	2700	3500	3200	3000	3500
	H24B H24A	2000 2350	2000 2400								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE CORES

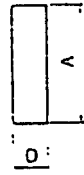
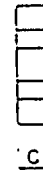
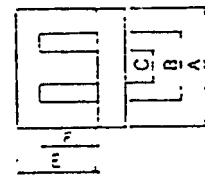
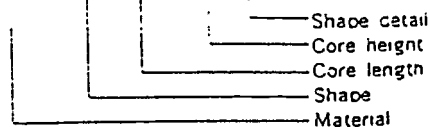


Characteristics		Core name									
		EE16/14K	EE19/16K	EE22/18K	EE30/26K	EE40/34K	EE42/42A-15W	EE42/42A-20W	EE50/42K	EE55/55A	EE60/44K
Dimension	A (mm)	16.0±0.3	19.1±0.3	22.0±0.3	30.0±0.5	40.0±0.5	42.0±0.9	42.0±0.9	50.0±0.7	55.0±1.5	60.0±0.8
	B (mm)	11.7 min.	14.2 min.	12.8 min.	19.5 min.	27.4 min.	29.5 min.	29.5 min.	34.2 min.	37.5 min.	43.8 min.
	C (mm)	4.0±0.4	4.7±0.3	6.0±0.5	11.0±0.6	11.0±0.6	12.2±0.5	12.2±0.5	15.2±0.8	17.2±0.8	16.0±0.8
	D (mm)	5.0±0.4	5.2±0.4	6.0±0.5	11.0±0.6	11.0±0.6	15.2±0.5	20.0±0.8	15.0±0.8	21.0±0.8	16.0±0.8
	E (mm)	7.1±0.3	7.8±0.3	9.2±0.3	13.0±0.3	16.7±0.8	21.2±0.4	21.2±0.4	21.0±0.5	27.8±0.8	22.0±0.8
	F (mm)	5.1±0.25	5.5±0.2	5.2±0.3	8.0±0.3	10.0±0.5	14.8±0.7	14.8±0.7	12.5±0.5	18.5±0.8	11.8±0.5
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A} (cm^{-1})$	18.0	17.0	9.75	5.28	6.05	5.42	4.22	4.25	3.51	4.50
Effective length	$l_e (cm)$	3.52	3.96	3.97	5.78	7.73	9.70	9.70	9.61	12.40	11.0
Effective area	$A_e (cm^2)$	0.19	0.23	0.41	1.09	1.28	1.79	2.30	2.26	3.53	2.45
Effective volume	$V_e (cm^3)$	0.66	0.92	1.62	6.33	9.86	17.36	22.31	21.7	43.77	27.1
Approx. weight	$W (g/set)$	3.3	4.6	9.2	33	52	89	116	113	222	140
AL value (nH/N ² ±25%)	H45	1100	1250	2400	4600	3900	4300	5700	5700	6000	5300
	H49N	850	350	1650	3000	2700	3000	4000	4000	4300	3600
	H49W	1050	1200	2300	4400	2800	4000	5300	5300	6000	4800
	H63	1050	1200	2100	4100	2500	3700	4900	4900	5200	4500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

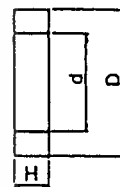
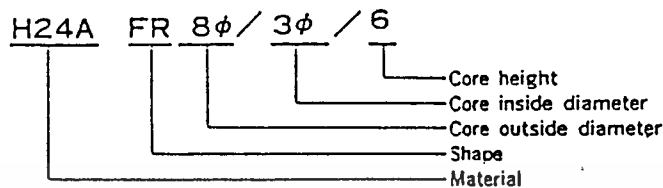
EI CORES

H63 EI 30/25K



Characteristics		Core name							
		EI 22/19K	EI 25/19	EI 28/20	EI 30/26K	EI 35/29	EI 40/35K	EI 50/42K	EI 60/44K
Dimension	A (mm)	22.0±0.3	25.0±0.5	28.0±0.5	30.0±0.4	35.0±0.5	40.0±0.5	50.0±0.7	60.0±0.3
	B (mm)	12.8 min.	12.15 min.	18.6 min.	19.5 min.	24.5 min.	26.8 min.	33.5 min.	43.6 min.
	C (mm)	6.0 ^{+0.5} _{-0.5}	5.5±0.25	7.5 ^{+0.5} _{-0.5}	11.0 ^{+0.5} _{-0.5}	10.3 ^{+0.5} _{-0.5}	12.0 ^{+0.5} _{-0.5}	15.0 ^{+0.5} _{-0.5}	15.0 ^{+0.5} _{-0.5}
	D (mm)	6.0 ^{+0.5} _{-0.5}	5.5±0.25	11.0 ^{+0.5} _{-0.5}	11.0 ^{+0.5} _{-0.5}	10.3 ^{+0.5} _{-0.5}	12.0 ^{+0.5} _{-0.5}	15.0 ^{+0.5} _{-0.5}	15.0 ^{+0.5} _{-0.5}
	E (mm)	14.3 ^{+0.5} _{-0.5}	16.3 ^{+0.5} _{-0.5}	16.5 ^{+0.5} _{-0.5}	21.0 ^{+0.5} _{-0.5}	24.2±0.4	27.0 ^{+0.5} _{-0.5}	33.0 ^{+0.5} _{-0.5}	35.5 ^{+0.5} _{-0.5}
	F (mm)	10.3 ^{+0.5} _{-0.5}	12.0 ^{+0.5} _{-0.5}	12.0 ^{+0.5} _{-0.5}	16.0 ^{+0.5} _{-0.5}	18.2±0.3	23.0 ^{+0.5} _{-0.5}	24.5 ^{+0.5} _{-0.5}	27.5 ^{+0.5} _{-0.5}
	G (mm)	4.5±0.2	1.0±0.2	3.5±0.2	5.5±0.2	5.0±0.2	7.5±0.3	9.0±0.3	8.5±0.3
Core factor	$2 \frac{A}{\lambda} \text{ cm}^{-1}$	3.51	11.7	5.69	5.24	5.59	5.22	4.12	4.43
Effective length	2 el cm	-	4.36	4.84	5.81	5.76	7.59	9.48	10.97
Effective area	$A_e \text{ cm}^2$	0.41	1.42	0.85	1.11	1.21	1.47	2.30	2.48
Effective volume	$V_e \text{ cm}^3$	1.64	2.72	4.11	5.45	3.18	11.3	21.8	27.2
Approx. weight	$W \text{ (g/set)}$	9.4	10	22	34	37	60	114	139
AL value (nH/M ±25%)	H45	2400	2250	4200	4200	3700	4600	5800	5300
	H49N	1650	1350	3750	2750	2500	3100	3900	3600
	H49W	2300	1950	4050	4250	3500	4500	5600	4900
	H63	2100	1800	3700	3700	3300	4200	5500	4500

TOROIDAL CORES



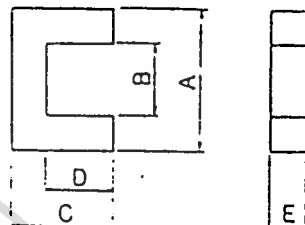
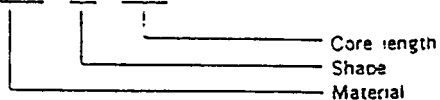
Core name	Dimension (mm)			AL value (nH/N ²)				
	ϕD	ϕd	H	H 45 ($\pm 25\%$)	H 24 B ($\pm 25\%$)	H 24 A ($\pm 25\%$)	H 24 Z ($\pm 25\%$)	H 25 Z ($\pm 30\%$)
FR 4 ϕ / 2.2 ϕ / 2.7	4.0 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.2	2.7 $\pm$ 0.2	800	1250	1600	2200	2800
FR 5 ϕ / 3.2 ϕ / 3	5.0 $\pm$ 0.2	3.2 $\pm$ 0.2	3.0 $\pm$ 0.2	650	1100	1350	1850	3200
FR 8 ϕ / 3 ϕ / 6	8.0 $\pm$ 0.3	3.0 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.3	2700	4300	5400	7600	13000
FR 11 ϕ / 5 ϕ / 3	11.0 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.2	3.0 $\pm$ 0.3	1100	1750	2200	3100	5300
FR 13 ϕ / 7 ϕ / 5	13.0 $\pm$ 0.4	7.0 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.3	1500	2400	3000	4200	(7100)
FR 14 ϕ / 7 ϕ / 7	14.0 $\pm$ 0.4	7.0 $\pm$ 0.3	7.0 $\pm$ 0.3	2300	3700	4600	6500	(11000)
FR 15 ϕ / 9 ϕ / 13	15.0 $\pm$ 0.3	9.0 $\pm$ 0.3	13.0 $\pm$ 0.3	3250	5200	6500	9100	(15000)
FR 16 ϕ / 10 ϕ / 7	16.0 $\pm$ 0.5	10.0 $\pm$ 0.5	7.0 $\pm$ 0.3	1600	2600	3200	4500	(7000)
FR 16 ϕ / 12 ϕ / 8	16.0 $\pm$ 0.3	12.0 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 0.3	1150	1800	2300	3200	
FR 19 ϕ / 10 ϕ / 10	18.45 $\pm$ 0.3	9.75 $\pm$ 0.3	10.25 $\pm$ 0.3	3000	4800	6000	(8300)	
FR 20 ϕ / 12 ϕ / 4	19.95 $\pm$ 0.3	12.05 $\pm$ 0.3	4.15 $\pm$ 0.3	3400	5500	7000	(9700)	
FR 25 ϕ / 15 ϕ / 12	25.0 $\pm$ 0.5	15.0 $\pm$ 0.5	12.0 $\pm$ 0.5	3000	4800	6000	(8300)	
FR 31 ϕ / 20 ϕ / 10	31.0 $\pm$ _{-0.8} ⁰	20.0 $\pm$ _{-0.6} ^{0.5}	10.0 $\pm$ _{-0.6} ⁰	2100	3500	4300	(6000)	
FR 38 ϕ / 19 ϕ / 13	38.1 $\pm$ 0.5	19.0 $\pm$ 0.5	12.7 $\pm$ 0.5	4300	(6900)	(8500)		
FR 40 ϕ / 20 ϕ / 12	40.0 $\pm$ _{-1.0} ⁰	20.0 $\pm$ _{-0.6} ^{0.5}	12.0 $\pm$ _{-0.6} ^{0.8}	5000	(8000)	(9800)		
FR 50 ϕ / 25 ϕ / 10	50.0 $\pm$ _{-1.2} ⁰	25.0 $\pm$ _{-0.6} ^{0.8}	10.0 $\pm$ _{-0.6} ^{0.8}	3300	(5300)	(6500)		

() : Upon request

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U CORES

H45 U-15



Characteristics		Core name						
		U-15	U-21	U-25	U-30	U-40	U-50	U-60
Dimension	A (mm)	15.2±0.7	21.6 max.	24.8±0.7	30.0±0.5	39.9±0.5	50.0±0.6	63.9±1.0
	B (mm)	5.2±0.3	3.0 min.	3.2±0.3	20.0±0.5	22.9±0.5	34.0±0.6	30.0±1.0
	C (mm)	11.2±0.5	15.3 max.	19.5±0.5	10.5±0.3	25.15±0.3	12.5±0.3	28.0±2.3
	D (mm)	5.0±0.4	3.0 min.	11.2±0.3	5.5±0.3	16.65±0.3	4.0±0.3	13.0±0.3
	E (mm)	5.5±0.3	3.5±0.3	11.7±0.3	10.7±0.3	3.5±0.3	15.0±0.5	15.0±2.5
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A} (cm^{-1})$	15.2	12.5	3.99	14.52	19.25	8.76	7.07
Effective length	$l_e (cm)$	5.04	3.83	3.73	7.77	13.91	10.99	15.91
Effective area	$\lambda_e (cm^2)$	0.33	1.54	0.97	0.54	0.72	1.25	2.25
Effective volume	$V_e (cm^3)$	1.66	1.75	3.48	4.20	10.05	13.78	25.90
AL value (nH/N! ±25%)	H45	1550	1900	2550	1650	1250	2800	2500
	H43N	1240	1520	2120	1320	1000	2240	1900

FERRITE MATERIAL REFERENCE TABLE

VOL. 1

SEPTEMBER, 1984
FUJI ELECTROCHEMICAL CO., LTD.

F U J I	PHILIPS	SIEMENS	FERRINOX (L C C)	CERAMAG STACKP.	FERROX- CUBE	INDIANA GENERAL	MAGNE- TICS	FAIR- RITE	T. D. K
H 2 1 B	3 B 1 3 H 2	N 2 2 T 2 6	T 1 0 T 1 3 T 1 4	2 6 2 8	3 B 9	TC-9	D G	7 2 7 3	H 6 A H 6 Z H 6 B
H 2 3 B	3 E 1				203				H 5 A
H 2 4	3 E 2	T 3 5	T 4	2 4 K	2E4				H 5 B 2
H 2 4 A	3 E 4	N 3 0		2 4 H	3E2A	2E1	O-6	7 5	HP5000
H 2 4 B			T 6						HP4000
H 2 5	3 E 3	T 3 8			2E2				H 5 C 2
H 2 8 B		N 4 1	T 2 2		2E6				H 7 A
H 5 2	3 C 2	N 5 8		2 7 A			C		H 6 H 3
H 5 2 1	3 B 3 3 D 3	M 2 5 M 3 3	T 3 1 B 1 0	2 5	3 D 3		A	3 3	H 6 F
H 5 2 N	4 B 1		H 2 0	9				6 2 6 4	K 5
H 5 3	4 C 1		H 3 2	1 1	4 C 4	Q-1		6 1	K 6 A
H 5 4	4 D 1 4 D 2		H 5 2	1 2		Q-2		6 7	
H 5 5	4 E 1	K 1 2	H 6 2	1 4		Q-3		6 8	K 8
H 5 6		U 1 7		1 4 A					
H 6 3			B 5 1		2E7				H 7 C 1
H 6 4					2E8				H 7 C 4
H 4 4									H 4 M
H 4 5	3 C 8		B 5 0	2 4	3 C 8	2E6	O-5		H 3 S
H 4 9	3 C 6	N 2 7	B 3 0	2 4 B				7 7	H 3 T
H 4 9 N									H 7 C 2
H45A									H7C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลตัวอุปกรณ์ มอสเฟตและไอจีบีที



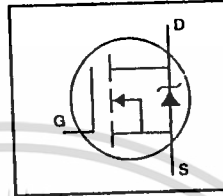
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Rectifier

IRFP460

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DS} = 500V$$

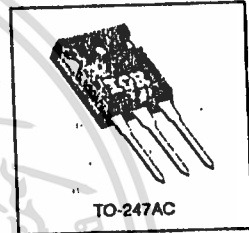
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ C$	20	A
I_D @ $T_C = 100^\circ C$	13	A
I_{DM}	80	A
P_D @ $T_C = 25^\circ C$	280	W
	2.2	W/C
V_{GS}	± 20	V
E_{AS}	960	mJ
I_{AS}	20	A
E_{AR}	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
T_J	-55 to +150	$^\circ C$
T_{STG}	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	—	0.24	—	$^{\circ}C/W$
R_{JA}	—	—	40	$^{\circ}C/W$

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

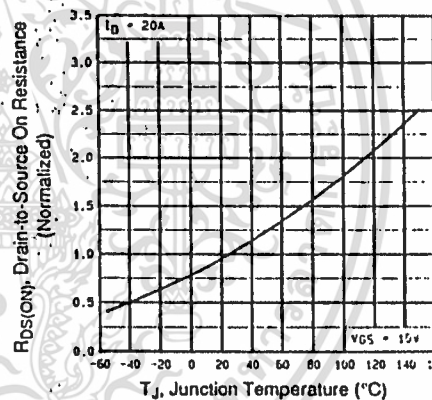
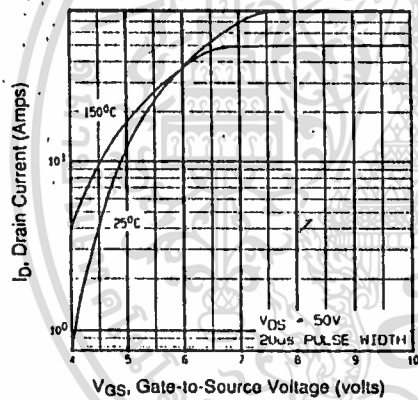
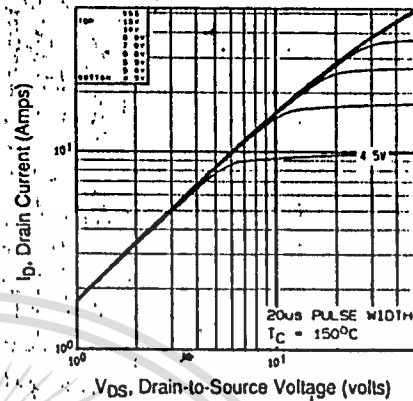
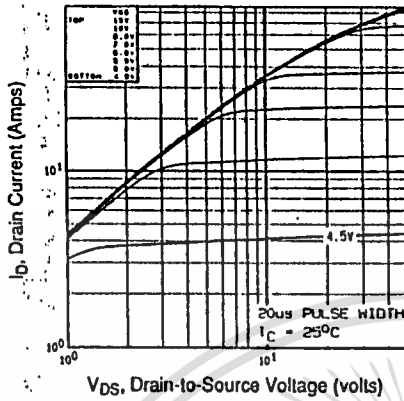
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{DS(BR)SS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0\text{V}$, $I_D=250\mu\text{A}$
$\Delta V_{DS(BR)SS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C , $I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10\text{V}$, $I_D=12\text{A}$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}$, $I_D=250\mu\text{A}$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50\text{V}$, $I_D=12\text{A}$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500\text{V}$, $V_{GS}=0\text{V}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS}=400\text{V}$, $V_{GS}=0\text{V}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=20\text{V}$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20\text{A}$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	$V_{DS}=400\text{V}$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	$V_{GS}=10\text{V}$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250\text{V}$, $I_D=20\text{A}$
t_r	Rise Time	—	59	—	ns	$R_G=4.3\Omega$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
t_f	Fall Time	—	58	—	ns	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0\text{V}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—	pF	$V_{DS}=25\text{V}$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}$, $I_S=20\text{A}$, $V_{GS}=0\text{V}$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}$, $I_F=20\text{A}$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	$di/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$ ③
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $I_{SD}\leq 20\text{A}$, $di/dt\leq 160\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD}\leq V_{DS(BR)SS}$, $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ③ $V_{DD}=50\text{V}$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.3\text{mH}$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=20\text{A}$ (See Figure 12)
- ④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.



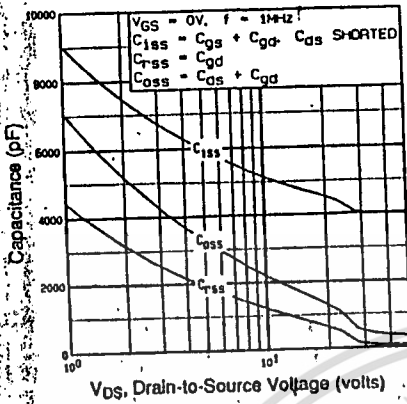


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

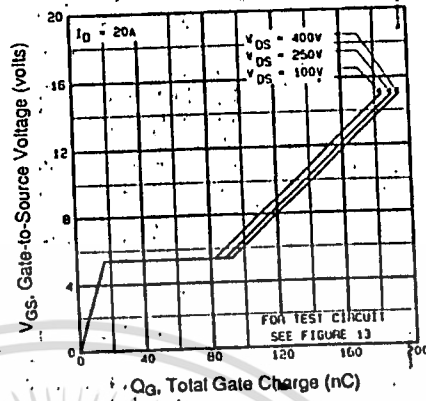


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

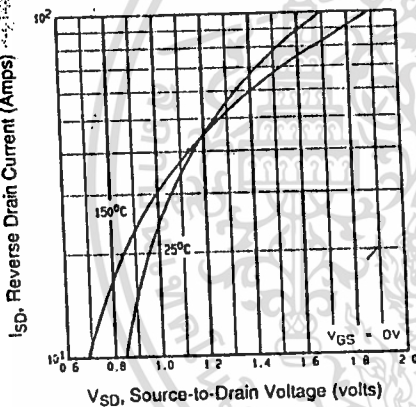


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

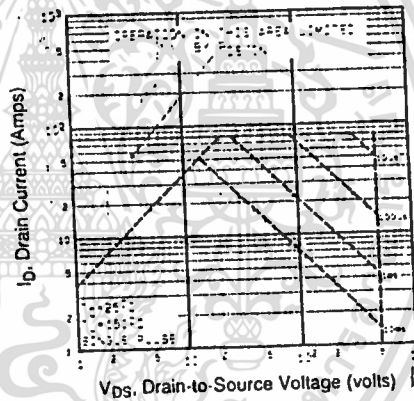


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

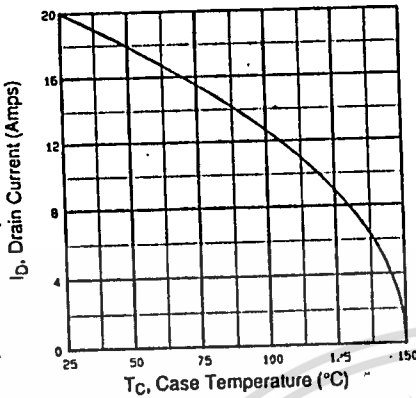


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

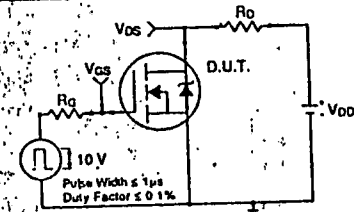


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

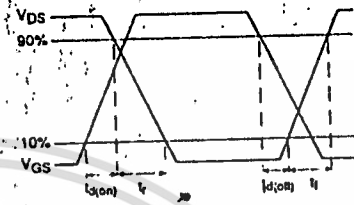


Fig 10b. Switching Time Waveforms

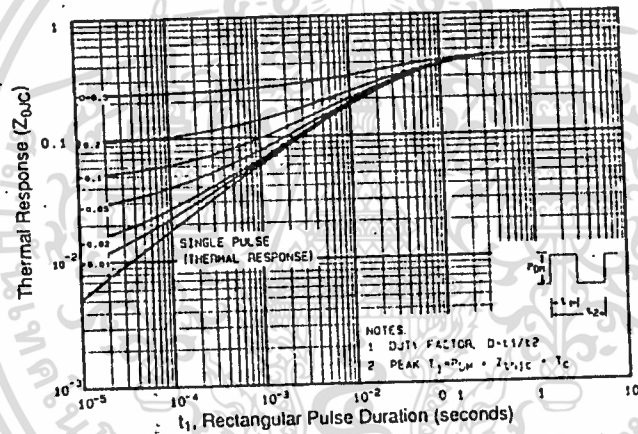


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

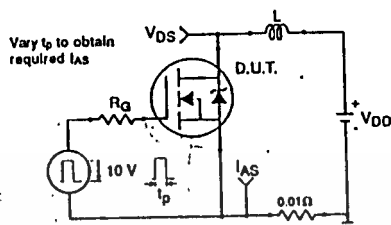


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

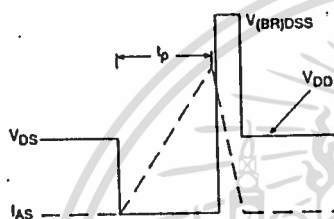


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

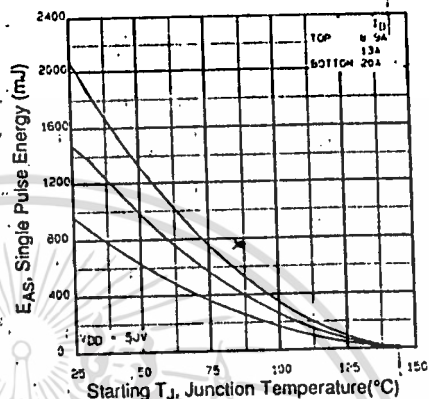


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

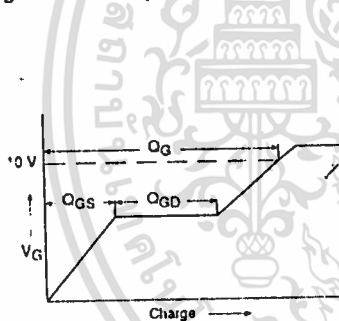


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

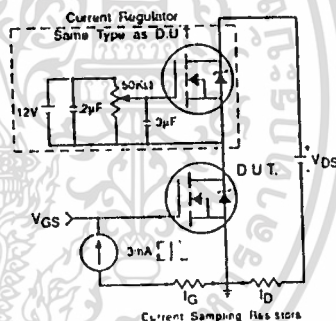


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IR Rectifier

Designer's™ Data Sheet
Insulated Gate Bipolar Transistor
with Anti-Parallel Diode
N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

This Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is co-packaged with a soft recovery ultra-fast rectifier and uses an advanced termination scheme to provide an enhanced and reliable high voltage-blocking capability. Short circuit rated IGBT's are specifically suited for applications requiring a guaranteed short circuit withstand time such as Motor Control Drives. Fast switching characteristics result in efficient operations at high frequencies. Co-packaged IGBT's save space, reduce assembly time and cost.

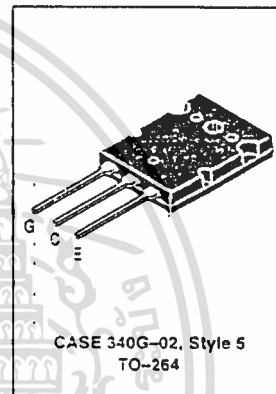
- Industry Standard High Power TO-254 Package (TO-3PBL)
- High Speed E_{off} : 60 μ s per Amp typical at 125°C
- High Short Circuit Capability - 10 μ s minimum
- Soft Recovery Free Wheeling Diode is included in the package
- Robust High Voltage Termination
- Robust RBSOA



MGY40N60D

Motorola Preferred Device

IGBT & DIODE IN TO-264
40 A @ 90°C
56 A @ 25°C
500 VOLTS
SHORT CIRCUIT RATED



CASE 340G-02, Style 5
TO-264

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	500	Vdc
Collector-Gate Voltage ($R_{GE} = 1.0\text{ M}\Omega$)	V_{CGR}	600	Vdc
Gate-Emitter Voltage — Continuous	V_{GE}	± 20	Vdc
Collector Current — Continuous @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ — Continuous @ $T_C = 90^\circ\text{C}$ — Repetitive Pulsed Current (1)	I_{C25} I_{C90} I_{CM}	56 40 132	Adc Apk
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	260 2.08	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	°C
Short Circuit Withstand Time ($V_{CC} = 360\text{ Vdc}$, $V_{GE} = 15\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $R_G = 20\text{ }\Omega$)	I_{sc}	10	μ s
Thermal Resistance — Junction to Case — IGBT — Junction to Case — Diode — Junction to Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	0.48 1.13 35	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T_L	250	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw		10 lbf-in (1.13 N-m)	

(1) Pulse width is limited by maximum junction temperature.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

MGY40N60D

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbool	Min	Typ	Max	Unit
----------------	---------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-to-Emitter Breakdown Voltage (V _{GE} = 0 Vdc, I _C = 250 μ Adc) Temperature Coefficient (Positive)	BV _{CES}	500 —	— 870	— —	Vdc mV/°C
Zero Gate Voltage Collector Current (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc) (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	I _{CES}	— —	— —	100 2500	μ Adc
Gate-Body Leakage Current (V _{GE} = $\pm$ 20 Vdc, V _{CE} = 0 Vdc)	I _{GES}	—	—	250	nAdc

ON CHARACTERISTICS (1)

Collector-to-Emitter On-State Voltage (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 20 Adc) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 20 Adc, T _J = 125°C) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 40 Adc)	V _{CE(on)}	— — —	2.20 2.10 2.60	2.80 — 3.25	Vdc
Gate Threshold Voltage (V _{CE} = V _{GE} , I _C = 1 mAdc) Threshold Temperature Coefficient (Negative)	V _{GE(th)}	4.0 —	6.0 10	8.0 —	Vdc mV/°C
Forward Transconductance (V _{CE} = 10 Vdc, I _C = 40 Adc)	g _{fs}	—	12	—	Mhos

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Inout Capacitance	V _{CE} = 25 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, f = 1.0 MHz	C _{ies}	—	6810	—	pF
Output Capacitance		C _{oes}	—	464	—	
Transfer Capacitance		C _{res}	—	15	—	

SWITCHING CHARACTERISTICS (1)

Turn-On Delay Time	V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 40 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μ H R _G = 20 Ω , T _J = 25°C Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	126	—	ns
Rise Time		t _r	—	95	—	
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	530	—	
Fall Time		t _f	—	180	—	mJ
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	1.50	2.10	
Turn-On Switching Loss	V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 40 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μ H R _G = 20 Ω , T _J = 125°C Energy losses include "tail"	E _{on}	—	2.30	—	
Total Switching Loss		E _{ts}	—	3.80	—	ns
Turn-On Delay Time		t _{d(on)}	—	113	—	
Rise Time		t _r	—	104	—	
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	588	—	mJ
Fall Time	V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 40 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μ H R _G = 20 Ω , T _J = 125°C Energy losses include "tail"	t _f	—	346	—	
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	2.70	—	
Turn-On Switching Loss		E _{on}	—	3.80	—	nC
Total Switching Loss		E _{ts}	—	6.50	—	
Gate Charge		Q _T	—	248	—	
	V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 40 Adc, V _{GE} = 15 Vdc)	Q ₁	—	49	—	
		Q ₂	—	81	—	

DIODE CHARACTERISTICS

Diode Forward Voltage Drop (I _{EC} = 20 Adc) (I _{EC} = 20 Adc, T _J = 125°C) (I _{EC} = 40 Adc)	V _{FEC}	— — —	1.19 1.04 1.36	1.70 — 2.00	Vdc
--	------------------	-------------	----------------------	-------------------	-----

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq$ 300 μ s, Duty Cycle $\leq$ 2%.

(continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — continued ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

DIODE CHARACTERISTICS — continued

Reverse Recovery Time	$I_F = 40\text{ A dc}, V_R = 360\text{ V dc}, dI_F/dt = 200\text{ A/us}$	t_{rr}	—	138	—	ns
		t_a	—	78	—	
		t_b	—	60	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q_{RR}	—	2.1	—	μC
Reverse Recovery Time	$I_F = 40\text{ A dc}, V_R = 360\text{ V dc}, dI_F/dt = 200\text{ A/us}, T_J = 125^\circ\text{C}$	t_{rr}	—	213	—	ns
		t_a	—	122	—	
		t_b	—	91	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q_{RR}	—	4.9	—	μC

INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE

Internal Emitter Inductance (Measured from the emitter lead 3.25" from package to emitter bond pad)	L_E	—	13	—	nH
--	-------	---	----	---	----

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

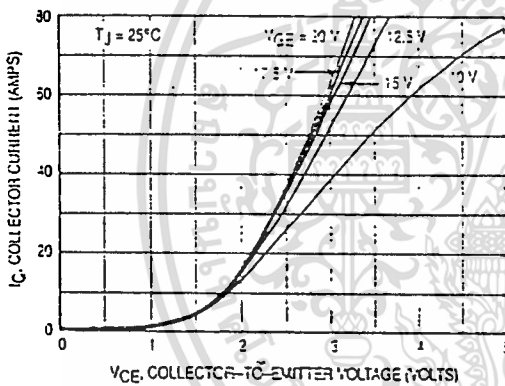


Figure 1. Output Characteristics, $T_J = 25^\circ\text{C}$

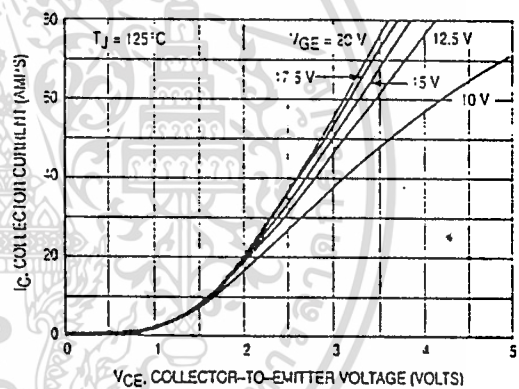


Figure 2. Output Characteristics, $T_J = 125^\circ\text{C}$

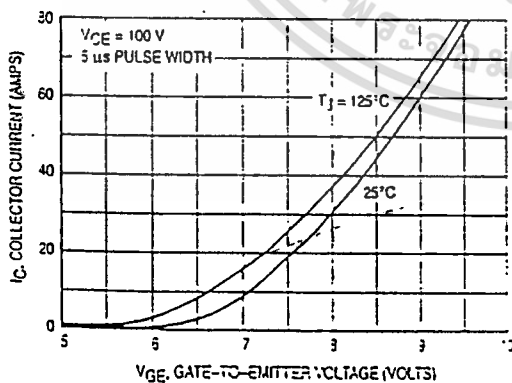


Figure 3. Transfer Characteristics

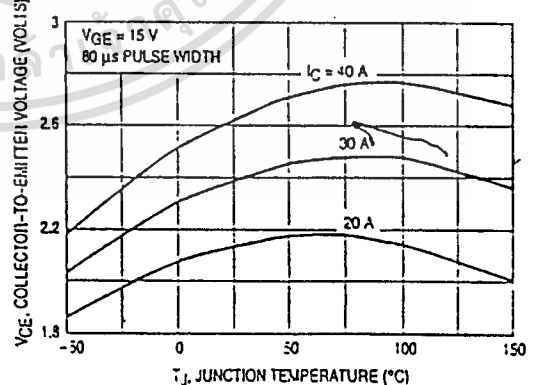


Figure 4. Collector-to-Emitter Saturation Voltage versus Junction Temperature

MGY40N60D

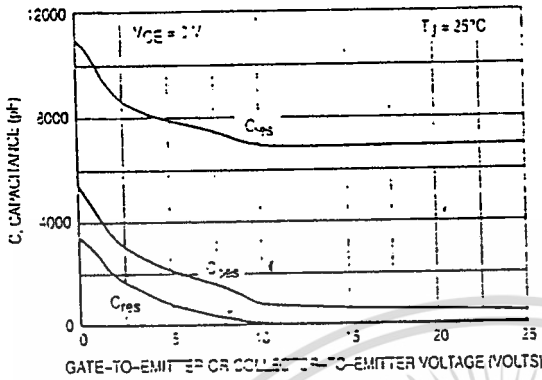


Figure 5. Capacitance Variation

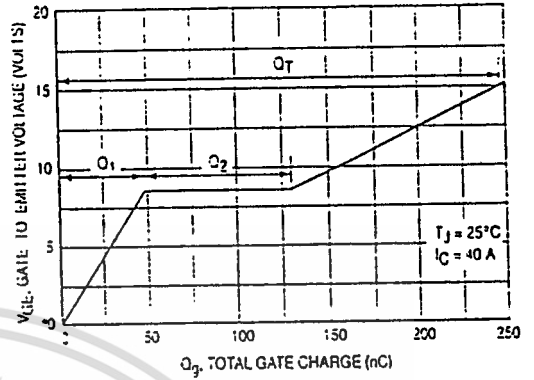


Figure 6. Gate-to-Emitter Voltage versus Total Charge

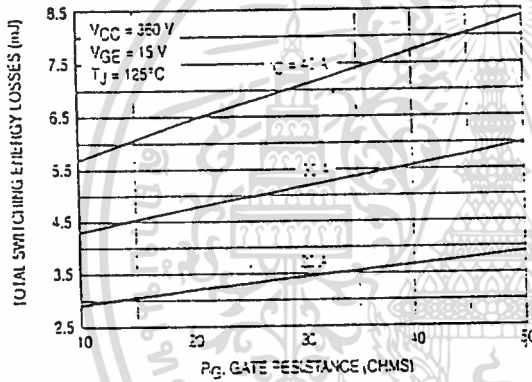


Figure 7. Total Switching Losses versus Gate Resistance

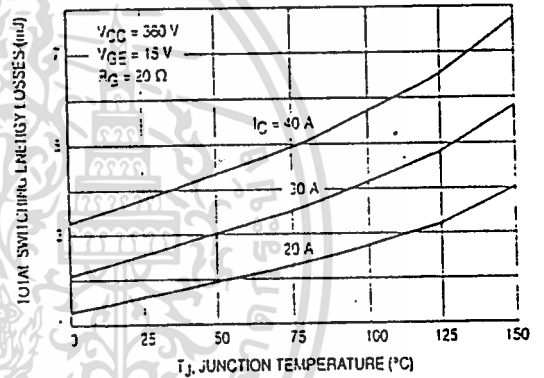


Figure 8. Total Switching Losses versus Junction Temperature

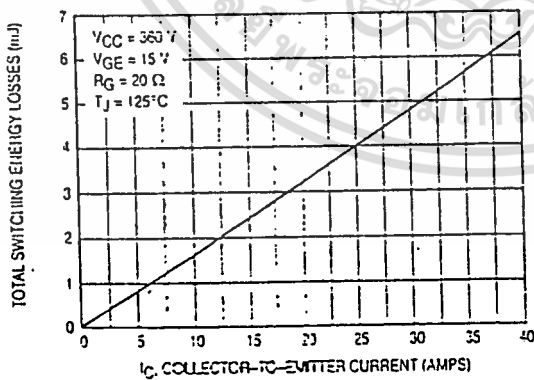


Figure 9. Total Switching Losses versus Collector-to-Emitter Current

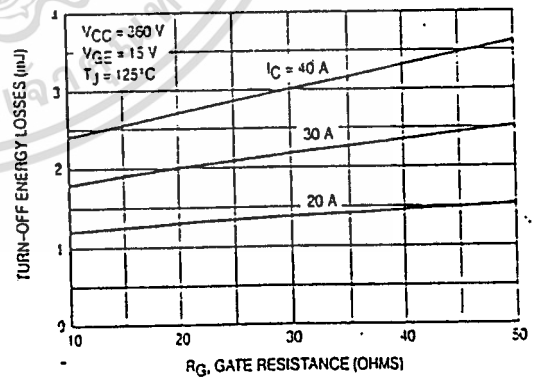


Figure 10. Turn-Off Losses versus Gate Resistance

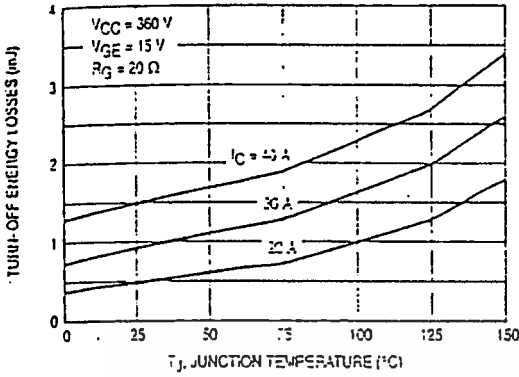


Figure 11. Turn-Off Losses versus Junction Temperature

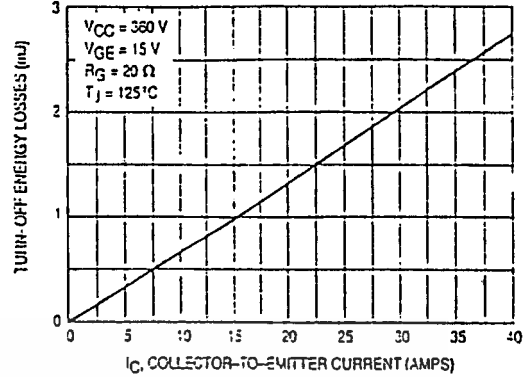


Figure 12. Turn-Off Losses versus Collector-to-Emitter Current

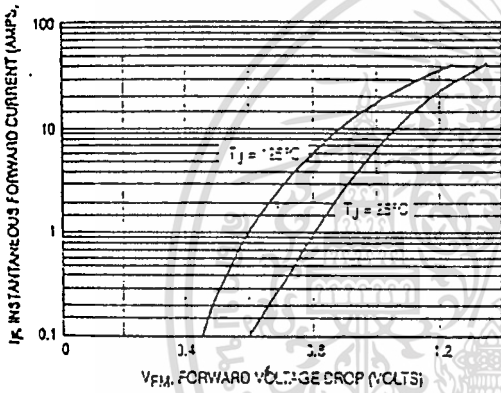


Figure 13. Typical Diode Forward Drop versus Instantaneous Forward Current

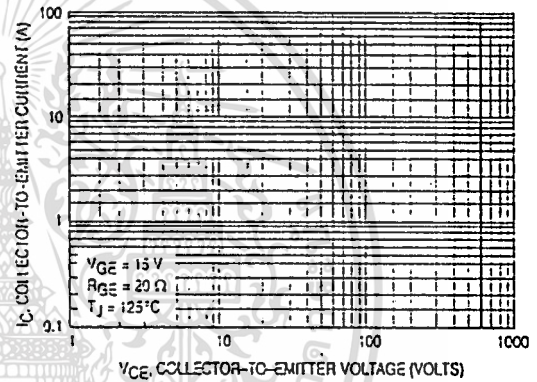


Figure 14. Reverse Biased Safe Operating Area

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลและเบอร์ของตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 4-8 MAGNET WIRE DESIGN DATA (Courtesy Electronic Design)

AWG Size	Sole Wire				Single Film					Double Film				
	Max OD	Max I	Max Tensile Strength	Ω/ft	Max OD	lt/lb	Ω/lb	T_{91}	T_{91}^2	Max OD	lt/lb	Ω/lb	T_{91}	T_{91}^2
10	0.1004	33.6	32.4	0.00100	0.1047	31.6	0.0315	9.551	91.32	0.1051	31.5	0.0315	9.425	89.81
11	0.0912	29.2	55.3	0.03125	0.0935	33.3	0.0501	10.70	114.4	0.0948	29.7	0.0503	10.55	111.3
12	0.0812	23.7	51.3	0.03159	0.0834	50.3	0.0800	11.99	143.3	0.0847	50.0	0.0815	11.51	132.4
13	0.0724	19.9	41.2	0.00200	0.0745	63.3	0.1255	13.40	179.7	0.0757	52.9	0.1258	13.21	174.5
14	0.0644	16.7	32.5	0.00252	0.0666	79.9	0.2012	15.02	225.5	0.0682	79.2	0.1998	14.65	215.0
15	0.0574	14.1	25.9	0.00318	0.0594	101	0.3212	16.84	283.4	0.0609	100	0.3180	16.42	269.6
16	0.0511	11.3	20.5	0.00402	0.0531	127	0.5105	18.63	354.7	0.0545	125	0.5055	18.35	335.7
17	0.0455	9.94	16.3	0.00505	0.0475	159	0.8029	21.05	443.2	0.0488	153	0.7979	20.49	419.9
18	0.0405	8.35	12.9	0.00639	0.0424	201	1.254	23.55	556.2	0.0437	199	1.272	22.83	523.5
19	0.0361	7.02	10.2	0.00805	0.0379	253	2.037	25.39	656.2	0.0391	251	2.020	25.58	654.1
20	0.0322	5.92	8.14	0.0101	0.0339	315	3.212	29.50	870.2	0.0351	315	3.182	29.49	871.7
21	0.0288	4.95	5.42	0.0129	0.0303	402	5.146	33.00	1089	0.0314	357	5.082	31.55	1014
22	0.0254	4.15	5.67	0.0162	0.0270	505	8.230	37.04	1372	0.0281	503	8.145	31.53	1035
23	0.0227	3.50	4.95	0.0203	0.0243	633	12.35	41.15	1694	0.0253	625	12.69	39.53	1562
24	0.0202	2.94	3.20	0.0257	0.0217	805	20.71	46.08	2124	0.0227	794	20.41	44.05	1941
25	0.0180	2.47	2.54	0.0324	0.0194	1013	32.82	51.55	2557	0.0203	990	32.08	49.25	2427
26	0.0160	2.07	2.01	0.0410	0.0173	1252	52.56	57.80	3341	0.0182	1250	51.66	54.95	3019
27	0.0143	1.75	1.51	0.0514	0.0156	1608	82.55	64.10	4109	0.0164	1580	91.21	60.98	3718
28	0.0127	1.47	1.27	0.0653	0.0140	2033	132.8	71.43	5102	0.0147	1990	129.9	53.03	4625
29	0.0114	1.25	1.02	0.0812	0.0125	2525	205.0	79.37	6299	0.0133	2470	200.6	75.19	5553
30	0.0101	1.04	0.801	0.104	0.0112	3215	334.4	89.23	7972	0.0119	3140	325.6	84.33	7133
31	0.0090	0.874	0.636	0.131	0.0100	4055	532.5	100.6	10000	0.0105	3850	517.4	92.59	8573
32	0.0081	0.747	0.515	0.162	0.0091	5000	810.0	109.9	12075	0.0098	4830	790.6	102.0	10412
33	0.0072	0.625	0.407	0.205	0.0081	6369	1312	123.5	15242	0.0088	5172	1271	113.6	12913
34	0.0064	0.524	0.322	0.251	0.0072	8064	2105	138.9	19290	0.0073	7870	2054	125.0	15637
35	0.0057	0.441	0.255	0.331	0.0064	10210	3380	155.2	24414	0.0070	9940	3290	142.9	20406
36	0.0051	0.373	0.204	0.415	0.0058	12760	5295	172.4	29727	0.0063	12440	5163	155.7	25195
37	0.0046	0.319	0.166	0.512	0.0052	15800	8090	192.3	36982	0.0057	15300	7834	175.4	30779
38	0.0041	0.259	0.132	0.648	0.0047	19920	12908	212.8	45269	0.0051	19300	12505	195.1	38147
39	0.0036	0.221	0.101	0.847	0.0041	26040	22056	243.9	59485	0.0045	25100	21260	222.2	49383
40	0.0032	0.185	0.0804	1.08	0.0037	33110	35759	270.3	73046	0.0040	32200	34776	250.0	62500
41	0.0029	0.160	0.0661	1.32	0.0033	40100	52932	303.0	91827	0.0036	39500	52140	277.8	77160
42	0.0025	0.136	0.0531	1.66	0.0030	51000	84660	333.3	111111	0.0032	49600	82558	312.5	97656
43	0.0023	0.113	0.0475	2.14	0.0026	65800	140.8k	384.6	147929	0.0029	63700	136.3k	344.8	118905
44	0.0021	0.0985	0.0346	2.59	0.0024	79400	205.6k	416.7	173611	0.0027	76300	197.6k	370.4	137174
45	0.00176	0.0755	0.0243	3.62	0.00205	104k	376.5k	487.8	237954	0.00230	99500	360.6k	434.8	189036
46	0.00157	0.0637	0.0194	4.54	0.00185	132k	599.3k	540.5	292184	0.00210	126k	572.0k	476.2	226757
47	0.00140	0.0536	0.0154	5.71	0.00170	162k	925.0k	588.2	346020	0.00190	153k	873.6k	525.3	277003
48	0.00124	0.0447	0.0121	7.29	0.00150	205k	1.494M	666.6	444444	0.00170	199k	1.451M	583.2	340020
49	0.00111	0.0379	0.0097	9.09	0.00130	258k	2.345M	769.2	591716	0.00150	252k	2.291M	666.6	444444
50	0.00099	0.0319	0.0077	11.4	0.00120	312k	3.557M	833.3	694444	0.00140	306k	3.488M	714.3	510204
51	0.00088	0.0267	0.0061	14.5	0.00110	416k	6.032M	903.1	826446					
52	0.00078	0.0223	0.0048	18.4	0.00100	555k	10.21M	1000	1.000M					
53	0.00070	0.0190	0.0038	22.9	0.00085	667k	15.27M	1176	1.384M					
54	0.00062	0.0158	0.0030	29.1	0.00075	859k	25.00M	1333	1.777M					
55	0.00055	0.0132	0.0024	37.0	0.00070	1.090M	40.33M	1429	2.041M					
56	0.00049	0.0111	0.0019	46.6	0.00055	1.380M	64.31M	1538	2.357M					
Units	inches	amperes	pounds	Ω/ft	inches	lt/lb	Ω/lb	T_{91}	T_{91}^2	inches	lt/lb	Ω/lb	T_{91}	T_{91}^2

Maximum ODs, Ω/ft and ft/lb are taken from Materials and Processes Handbook. Maximum rated current is 10% of the fusing current at 20°C. Maximum tension is based upon a tensile strength of 10.00 PSI. Ω/lb is derived from $(\Omega/\text{ft}) \times (\text{ft}/\text{lb})$. $T_{91} = 1/\text{Max OD}$. $T_{91}^2 = (1/\text{Max OD})^2$.

ภาคผนวก ง.

Transformer Area Product



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่แกนที่ใช้งานของหม้อแปลง (Transformer Area Product , Ap)

ค่ากำลังอินพุตเกี่ยวข้องกับกำลังเอาต์พุตโดยค่าประสิทธิภาพ

$$P_{in} = P_{out}/\eta \quad (1)$$

η = ประสิทธิภาพ

I_{dc} คือกระแสอินพุตเฉลี่ยที่ไปยังหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ ก็มีการเกี่ยวข้องกับกำลังอินพุต P_{in} และแรงดันอินพุตคือ V_{in} ดังนี้

$$I_{dc} = P_{in}/V_{in} \quad (2)$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสทางด้านปฐมภูมิ (I_{pm}) เกิดขึ้นเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าต่ำสุด $V_{in(min)}$ และความกว้างพัลส์สูงสุดแฟลคเตอร์ K_t สัมพันธ์กับอินพุตคือ V_{in} ไปยังกระแสปฐมภูมิในคอนเวอร์เตอร์

$$K_t = I_{dc}/I_{pm}$$

$$I_{pm} = I_{cc}/K_t \quad (3)$$

แทนที่สมการ (2) ลงในสมการ (3) ที่แรงดันอินพุตต่ำสุด

$$I_{pm} = P_{in}/V_{in(min)} * K_t \quad (4)$$

ค่า (window area) A_p (หาได้สำหรับขดลวดปฐมภูมิมีความเกี่ยวข้องกับผลรวมหน้าต่าง window area (primary area factor) K_p (antilization factor) K_u ดังนั้น

$$A_p = A_w * K_p * K_u \quad (5)$$

จำนวนของขดลวดปฐมภูมิ N_p ซึ่งจะต้องใส่ในช่องว่างพื้นที่หน้าต่าง A_p โดยที่มีความหนาแน่นของกระแส J สัมพันธ์ด้วยกับกระแสปฐมภูมิ ดังนั้น

$$N_p = A_p * J / I_{pm} \quad (6)$$

แทนสมการ (4) , (5) ในสมการที่ (6)

$$N_p = A_w * K_p * K_u * J * V_{in(min)} * K_t / P_{in} \quad (7)$$

หรือ

$$A_w = N_p P_{in} / K_p * K_u * J * V_{in(min)} * K_t$$

จากกฎของฟาราเดย์

$$E_{dt} = N C_0 \quad (8)$$

$$\text{ดังนั้น } V_{in(min)} * t_{on(max)} = N_p * B * C$$

หรือ

$$A_c = V_{in(min)} * t_{on(max)} / N_p * B$$

เมื่อ t_{on} = คาบช่วง on

B = ความหนาแน่นฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วง “ on ”

C = ความหนาแน่นฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วง effective core area

ค่าสูงสุด “ on ” คือการทำงานครั้งคาบที่ความถี่ทำงาน f ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{on(max)} - 1/2f \quad (9)$$

แทนที่ (9) ลงในสมการ (8)

$$A_c = V_{in(min)}/N_p \cdot B \cdot 2f \quad (10)$$

$$A_P = A_w \cdot A_c$$

รวมสมการ (7) และ (10)

$$A_p = P_{in}/K_t \cdot K_u \cdot K_p \cdot J \cdot b \cdot 2f \quad (11)$$

ถ้าหม้อแปลงจำกัดที่ 30 °C การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ภายใต้สภาวะ ความหนาแน่นของกระแสที่ได้ มาจากการสังเกตและทดลอง

$$J = 450 \cdot 10^4 \cdot A_p^{-0.125} \text{ a/m}^2$$

(สำหรับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตั้งที่ , ความหนาแน่นของกระแสตกลงก็เท่ากับว่าขนาดของ หม้อแปลงเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของปริมาตรต่อพื้นที่ผิวตกลงด้วยการเพิ่มขึ้นของขนาด)

แทนสมการ (12) ลงใน (11) และเปลี่ยน A_p ไปเป็นหน่วยเซนติเมตร

$$A_p = P_{in} \cdot 10^3 / K_t \cdot K_u \cdot K_p \cdot 450 \cdot 10^4 \cdot A_p^{-0.125} \cdot B \cdot 2f \quad \text{cm}^4$$

$$A_p^{(1-0.125)} = (P_{in} \cdot 10^3 / K_t \cdot K_u \cdot K_p \cdot 450 \cdot B \cdot 2f)^{1.143} \quad \text{cm}^4$$

ดังนั้น

$$A_p = P_{in} \cdot 10^3 / K_t \cdot K_u \cdot K_p \cdot 450 \cdot 10^4 \cdot A_p^{-0.125} \cdot B \cdot 2f \quad \text{cm}^4 \quad (13)$$

$K' = K_t \cdot K_u \cdot K_p$ (ดูตารางที่หัวข้อ 3.3 บทที่ 3) และแทนค่า K' ลงในสมการ (13) และทำให้ง่ายลง คือ

$$A_p = (11.1 P_{in} / k' \cdot B \cdot f)^{1.143} \quad \text{cm}^4$$

ดังนั้นขนาดของหม้อแปลงของ A_p สามารถหาได้โดยการรู้ (P_{in}) กำลังอินพุต, B , ความถี่ (f), และค่าคงที่ K' สำหรับอากาศทั่วไปที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (temperature rise) 30 °C

ภาคผนวก จ.

การคำนวณวงจรและเลือกใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและคำนวณวงจร

1. เรกติไฟเออร์และฟیلเตอร์ด้านอินพุต

$$\begin{aligned} \text{จาก } P_{dc} &= V \cdot I_{dc} \\ 2000 \text{ W} &= 310 I_{dc} \\ \therefore I_{dc} &= \frac{2000}{310} = 6.45 \text{ A} \end{aligned}$$

ใช้เป็นแบบ full - bridge $\therefore I_{dc} = \frac{6.45}{2} = 3.22 \text{ A}$

เพื่อทนกระแสเป็น 2 เท่า ของสภาวะคงตัว $= 6.45 \text{ A} (I_{FRM})$

การทนแรงดันเมื่อได้รับแรงดันป้อนกลับ $= 600 \text{ V} (V_{RRM})$

เลือกใช้ไดโอด เบอร์ MDA 2506 Series $I_o = 25 \text{ A}$ $V_{RRM} = 600 \text{ V}$

ฟิเตอร์ $P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta}$ กำหนดประสิทธิภาพ 80 %
 $\therefore P_{in} = \frac{2000}{0.8} = 2500 \text{ W}$

มีแรงดันไฟตรง 310 V ; $I = \frac{P_{in}}{V} = \frac{2500}{310} = 8.06 \text{ A}$

สมมติในการออกแบบมีแรงดันกระเพื่อมจากขอดถึงขอด (ripple) $= 40 \text{ V}_{p-p}$ และตัวเก็บประจุจะเก็บประจุทุก ๆ 1/2 ไซเคิล หรือประมาณ 10 ms เนื่องจากความถี่ 50 Hz

$$\therefore C = \frac{I \times t}{\Delta V} = \frac{8.06 \times (10 \times 10^{-3})}{40} = 2016 \mu\text{F}$$

เลือกใช้ C ขนาด 2200 μF แบบ อิเล็กโทรไลติก

2. มอสเฟต (อ้างอิงของMOTOROLA)

กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านตัวมอสเฟต $I_w = \frac{1.4 P_{out}}{V_{in}} = \frac{1.4 \times 2000}{220} = 12.72 \text{ A}$

แรงดันสูงสุดที่มอสเฟต $V_{dsw} = V_{in} \times \sqrt{2} = 220 \times \sqrt{2} = 310 \text{ V}$

เลือกใช้มอสเฟต เบอร์ IRFP460 20 A 400 V

4 วงจรสับเบอร์

$$C = \frac{I_p \times t_{off}}{2V_{in}} \quad \text{ที่ } f = 100 \text{ kHz} \quad t_{off}, t_{on} = 0.5 \mu\text{s}$$

$$= \frac{20 \times 0.5 \times 10^{-6}}{2 \times 310} = 0.016 \mu\text{F}$$

$$R = \frac{t_{on}(\text{min})}{2 \times 3 \times C} = \frac{0.5 \times 10^{-6}}{2 \times 3 \times 0.016 \times 10^{-6}} = 5.2 \Omega$$

เลือกใช้ R แบบ wirewound 35Ω 50 W

C ขนาด 0.0047 μF 1000 V

5. เเรกตีไฟเออร์ด้านเอาต์พุต ใช้แบบอูลตราฟาสต์รีคัพเวอร์

$$V = \frac{2000 \text{ V}}{100 \text{ A}} = 20 \text{ V}$$

$$\text{กระแสไหลผ่านไดโอด} = \frac{100}{2} = 50 \text{ A}$$

$$\text{แรงดันตกคร่อมไดโอด} = 20 \times 20 = 40 \text{ V}$$

เลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR 2002 OCT 200 A 200 V

6. อินดักเตอร์

$$\text{จาก } L = \frac{(E_{in} - E_{out}) \Delta t}{\Delta I_L}$$

$$t_{off} = \frac{1 - (E_{out}/E_{in})}{2f} = \frac{1 - (100/2)}{2 \times 100 \times 10^3} = 2.5 \mu\text{s}$$

$$\therefore L = \frac{E_{out} \times t_{off}}{0.25 \times I_{out}} = \frac{100 \times 2.5 \times 10^{-6}}{0.25 \times 100} = 10 \mu\text{H}$$

7. หม้อแปลงสวิตซิ่ง

หม้อแปลง 2 ตัว ตัวละ 1000 W

$$A_c A_c = \frac{0.68 \times P_{out} D \times 10^3}{B_{max} \cdot f} = \frac{0.68 \times 1500 \times 400 \times 10^3}{2000 \times 100 \times 10^3} = 1.36 \text{ cm}^2$$

$$\text{เลือกใช้แกน EE80/78 } A_c = 377 \text{ mm}^2 \quad A_c = 372 \text{ mm}^2$$

$$N_p = (V_p \times 10^8) / (4 f B_{max} A_c)$$

$$N_p = (310 \times 10^8) / (4 \times 100 \times 10^3 \times 2000 \times 3.77) = 38.75 \text{ รอบ} = 40 \text{ รอบ}$$

$$N_s = N_p \times (V_s/V_p)$$

$$= 12 \times (100/310) = 3.87 = 5 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กระแส } 100 \text{ A} \quad \text{โหลดผ่านแต่ละตัว} = \frac{100}{2} = 50 \text{ A} \quad \text{เลือก } D = 400 \text{ cmil/A}$$

$$\therefore \text{ขนาดขดลวดด้าน sec} = 400 \times 50 = 20000 \text{ cmil} = 10.13 \text{ mm}^2 \text{ AWG\#7}$$

ลดผลของฮากินเอฟเฟกต์ใช้แผ่นทองแดงบางซ้อนกัน จนมีขนาดพื้นที่หน้าตัด = 10 mm^2
แล้วพัน

$$\text{ขนาดขดลวดด้าน Pri} = \frac{1000}{310} = 3.22 \text{ A} \quad \text{เลือก } D = 400 \text{ cmil/A}$$

$$\therefore 400 \times 3.22 = \text{cmil} = 0.65 \text{ mm}^2 \text{ AWG\#18}$$



รายการอุปกรณ์ที่ใช้

1.วงจรเมน

1. S1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20A 2ขั้ว 1เฟส
2. B1 บริจเรกติไฟเออร์ 25 แอมป์
3. C1 คาปาซิเตอร์แบบอิเล็กโทรไลติก ขนาด 2200ไมโครฟารัด
4. M1,M2,M3,M4 มอสเฟตเบอร์ IRFP460 ขนาด20แอมป์ 400โวลต์
5. R1 ความต้านทาน2โอห์ม 10วัตต์
6. R2,R3 ความต้านทาน 35โอห์ม 50วัตต์
7. R4 ความต้านทาน100กิโลโอห์ม 1/4 วัตต์
8. R5 ความต้านทาน100 โอห์ม 5 วัตต์
9. C2,C3 คาปาซิเตอร์ขนาด 0.0047 ไมโครฟารัด 1000 โวลต์
10. C4,C5 คาปาซิเตอร์ขนาด 0.068 ไมโครฟารัด 630 โวลต์
11. C6,C7 คาปาซิเตอร์ขนาด 0.027 ไมโครฟารัด 630 โวลต์
12. C8 คาปาซิเตอร์ขนาด 0.001 ไมโครฟารัด 100โวลต์
13. Z1 อินดักเตอร์ขนาด 10 ไมโครเฮนรี่
14. D2 ไดโอดชนิดอุณหภูมิต่ำฟาสต์ เบอร์MUR2002 100แอมป์
15. D3,D4 ไดโอดชนิดฟาสต์รีคัฟเวอร์ เบอร์MUR 5020 50แอมป์
16. CT หม้อแปลงกระแส

2.ชุดป้องกันกระแส

1. B2 บริดจ์ไดโอดชนิดฟอสตริกซ์เพอร์เบอร์MR811 ขนาด 1 แอมป์
2. Tr1 ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 NPN
3. OP1 ออปแอมป์คอมพาราเตอร์เบอร์ LM311
4. R1 ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
5. R2 ความต้านทาน 1.5 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
6. R3,R5 ความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
7. R4 ความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
8. C9 คาปาซิเตอร์ 0.0001 ไมโครฟารัด

3.ชุดป้องกันความร้อน

1. TC1 เทอร์โมสแตทชนิด N.C
2. Tr2 ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 NPN
3. R5,R6 ความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
4. R7 ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม $\frac{1}{4}$ วัตต์
5. D5 ไดโอดแบบฟอสตริกซ์เพอร์ 1 แอมป์ เบอร์ MR811

4.ชุดผลิตความถี่

1. ไอซีเบอร์ SG 3524
2. R8,R9,R10,R11,R12 ความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม 1 วัตต์
3. R13 ความต้านทานปรับค่า 10 กิโลโอห์ม 1 วัตต์
4. R14 ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1 วัตต์
5. R15 ความต้านทานปรับค่า 1 กิโลโอห์ม 1 วัตต์
6. RT ความต้านทานปรับค่า 100 กิโลโอห์ม
7. C10 คาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด
8. CT คาปาซิเตอร์ 0.001 ไมโครฟารัด

5.วงจรชั้น 1

1. K1,K2 ไอซีขับเกตเบอร์ 1R2110
2. D8,D9 ไดโอดชนิดฟอสตริ์กัฟเวอร์เบอร์ MR811 แอมป์ 100 โวลต์
3. C13,C14,C15,C16 คาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด
4. C17,C18 คาปาซิเตอร์ขนาด 1 ไมโครฟารัด

6.วงจรชั้นชุดที่ 2

1. U1,U2 ไอซีเบอร์ MC 14049B 2 ตัว
2. Tr 3,Tr 4,Tr 5,Tr 6 ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 5190 NPN
3. Tr 7,Tr 8,Tr 9,Tr 10 ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 5193 PNP
4. D6,D7 ไดโอดแบบฟอสตริ์กัฟเวอร์ เบอร์ MR 811 1 แอมป์ 100 โวลต์
5. R16,R17 ความต้านทาน 100 โอห์ม 1 วัตต์
6. R18,R19,R20,R21 ความต้านทาน 10 โอห์ม 5 วัตต์
7. C11,C12 คาปาซิเตอร์ 0.01 ไมโครฟารัด
8. T2,T3 หม้อแปลงพัลส์

7. อื่นๆ

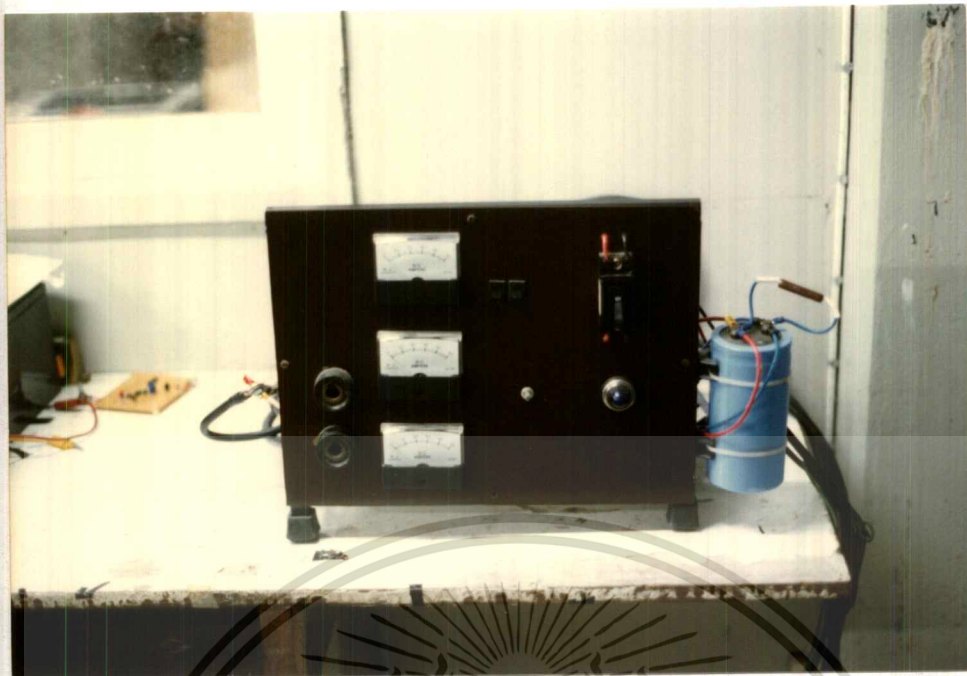
1. สายเชื่อมขนาด 25 mm²
2. กาวเชื่อมและปากคีม
3. แผ่นระบายความร้อน
4. แอมป์มิเตอร์กระแสตรง 50 แอมป์ 3 เครื่อง
5. ขั้วต่อสายเชื่อม

ภาคผนวก จ.

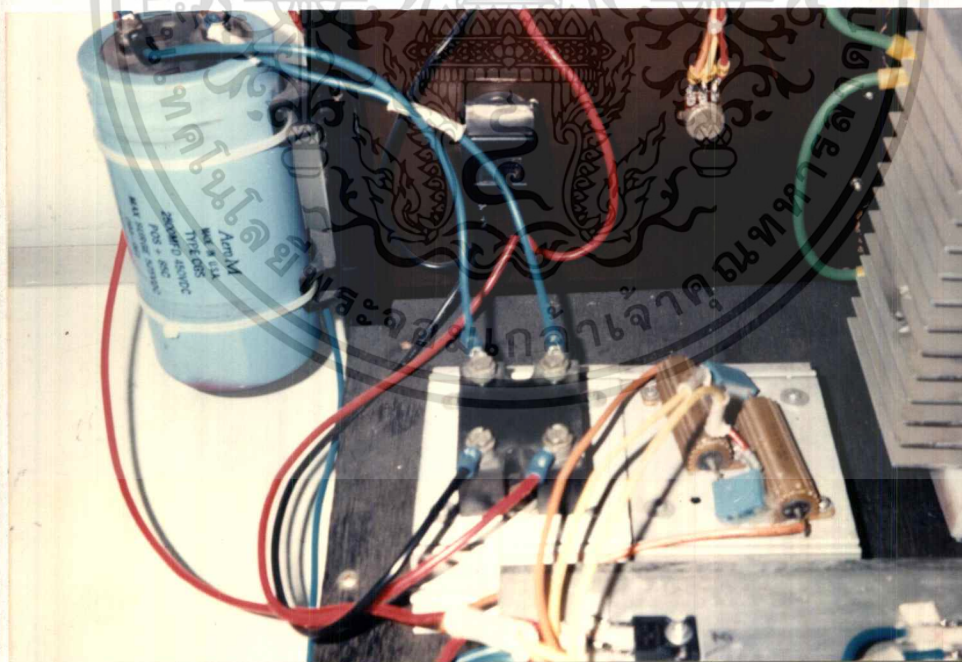
ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของชิ้นงาน



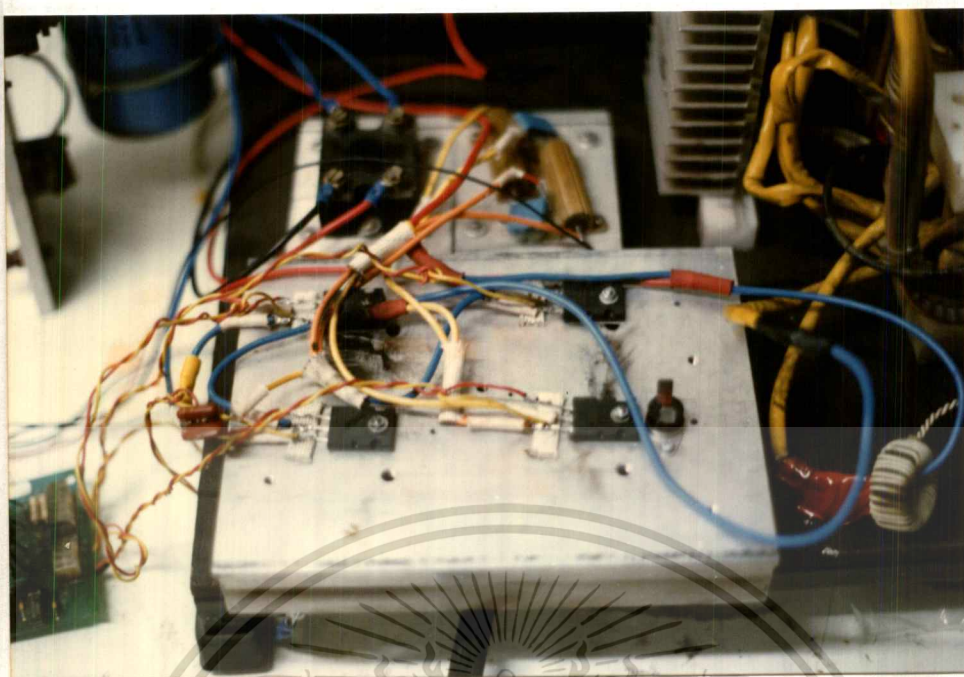
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



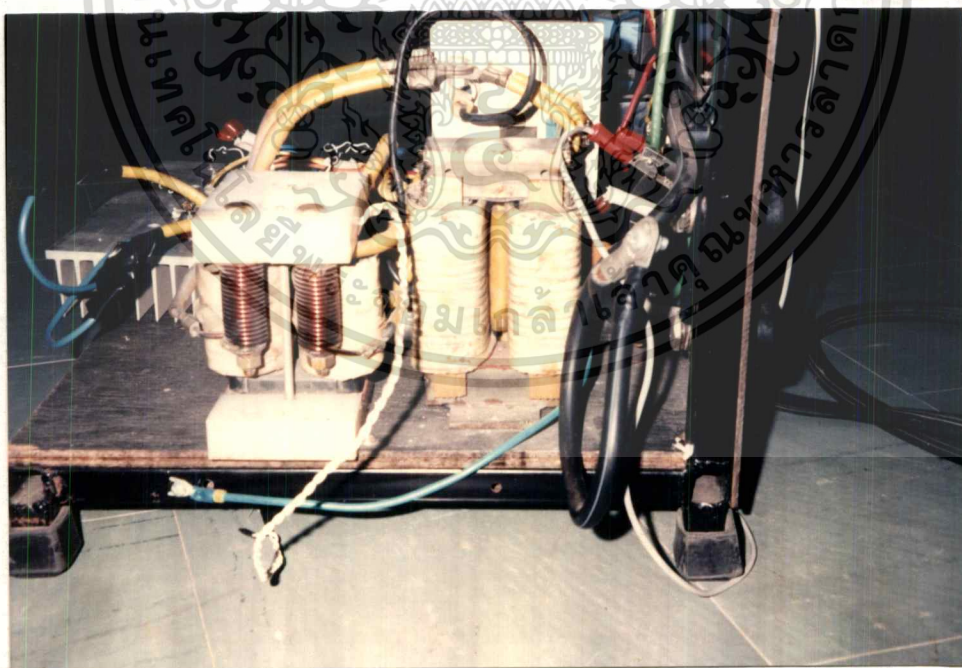
รูปที่ 1 แสดงลักษณะ โครงสร้างภายนอกของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงความถี่สูง



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2 ส่วนของวงจรเรียงกระแสด้วยอินพุตและฟิสิกส์และวงจรสับเบอร์ด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

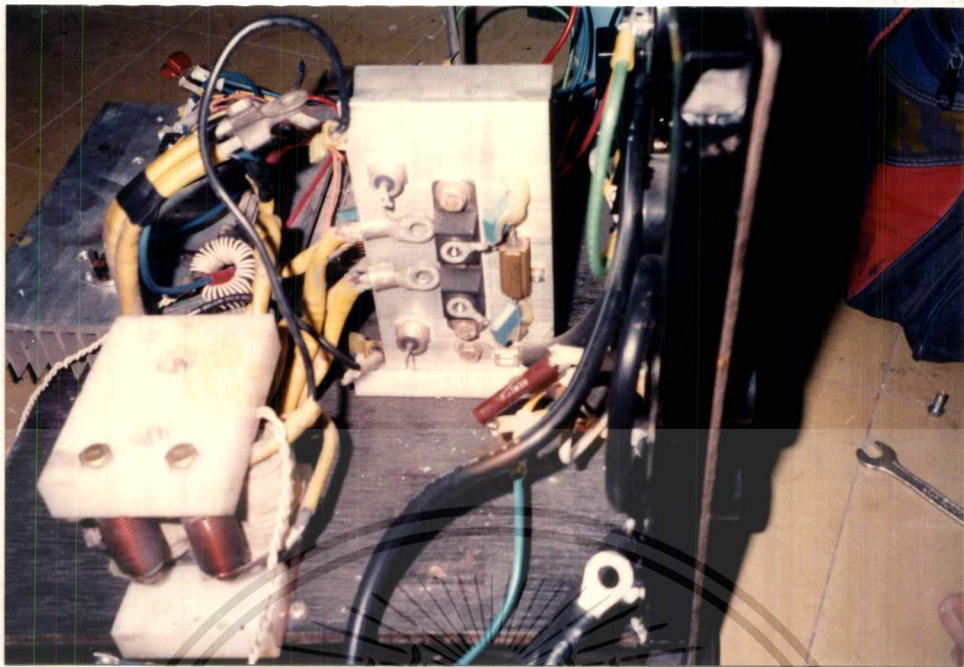


รูปที่ 3 วงจรฟลูอิดิกอินเวอร์เตอร์ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับ

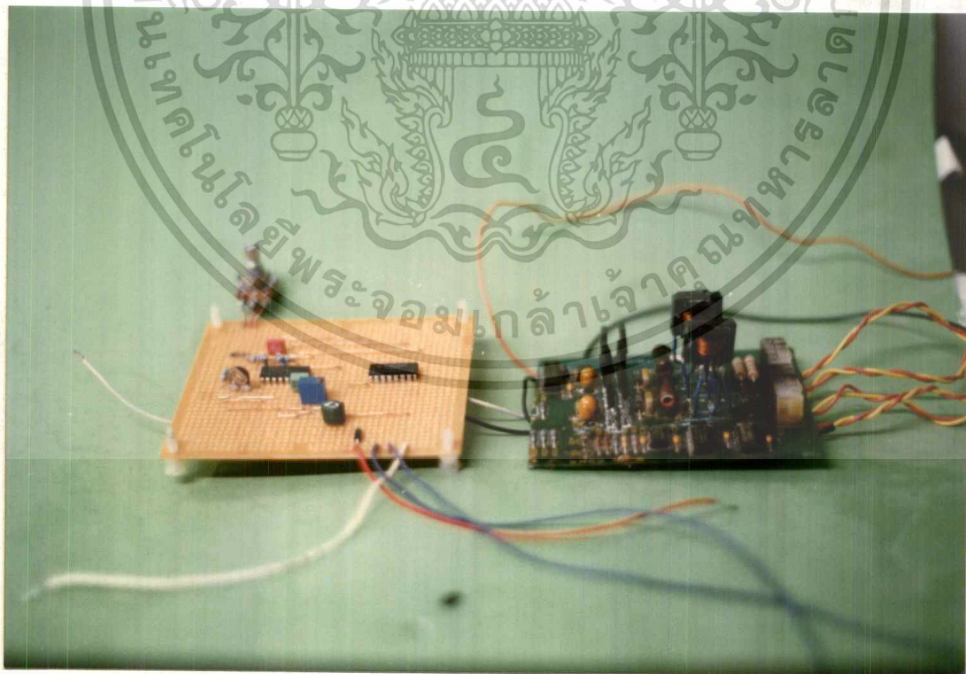


รูปที่ 4 หม้อแปลงสวิตชิ่งความถี่สูงและอินดักเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 วงจรเรียงกระแสต้านเอาต์พุต

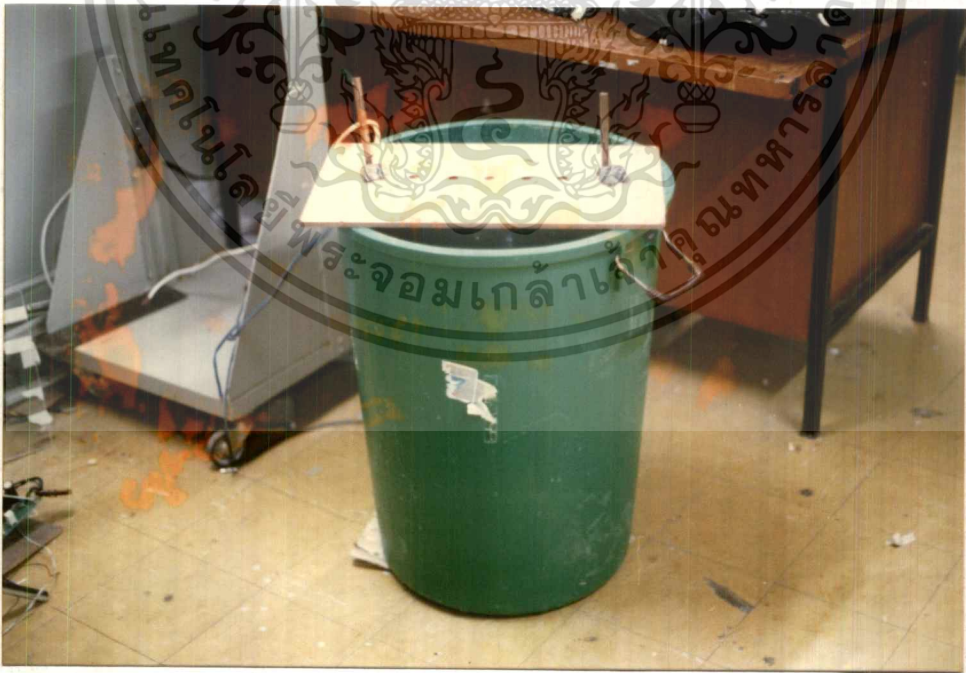


รูปที่ 6 วงจรขดลวดเหนี่ยวนำและวงจรขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 สายเชื่อมและลวดเชื่อม



รูปที่ 8 โพลัดถังน้ำเกลือที่ใช้ในการทำดอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

DATA SHEET ICต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

TYPES SG1524, SG2524, SG3524 REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

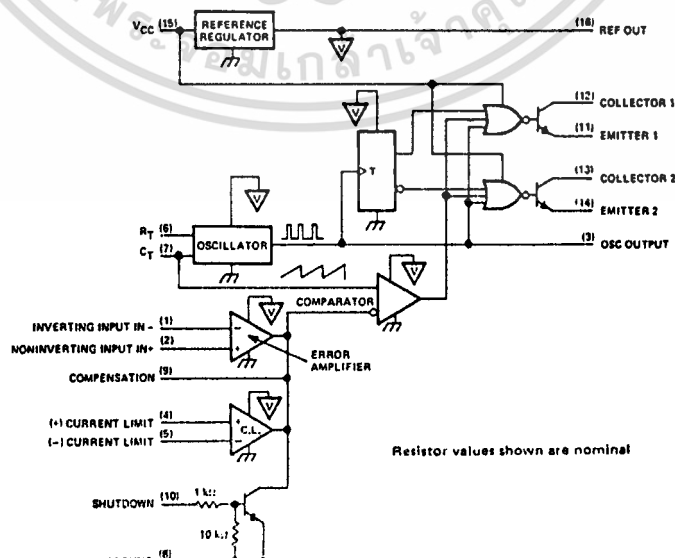
D2294, APRIL 1977 — REVISED DECEMBER 1982

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for Single-Ended or Push-Pull Applications
- Low Standby Current . . . 8 mA Typ
- Interchangeable With Silicon General SG1524, SG2524, and SG3524

description

The SG1524, SG2524, and SG3524 incorporate on single monolithic chips all the functions required in the construction of a regulating power supply, inverter, or switching regulator. They can also be used as the control element for high-power-output applications. The SG1524 family was designed for switching regulators of either polarity, transformer-coupled dc-to-dc converters, transformerless voltage doublers, and polarity converter applications employing fixed-frequency, pulse-width-modulation techniques. The complementary output allows either single-ended or push-pull application. Each device includes an on-chip regulator, error amplifier, programmable oscillator, pulse-steering flip-flop, two uncommitted pass transistors, a high-gain comparator, and current-limiting and shut-down circuitry.

functional block diagram



SG1524 . . . J
SG2524, SG3524 . . . J OR LN
DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)

IN -	1	16	REF OUT
IN +	2	15	VCC
OSC OUT	3	14	EMIT 2
CURR LIM +	4	13	COL 2
CURR LIM -	5	12	COL 1
R _T	6	11	EMIT 1
C _T	7	10	SHUT DOWN
GND	8	9	COMP

The SG1524 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SG2524 is characterized for operation from -25°C to 85°C , and the SG3524 is characterized for operation from 0°C to 70°C .

TYPES SG1524, SG2524, SG3524 REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 20\text{ V}$, $f = 20\text{ kHz}$
(unless otherwise noted)

current limiting section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SG1524, SG2524			SG3524			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Input voltage range (either input)		-1			-1			V
		to			to			
		+1			+1			
Sense voltage at $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V(\text{pin } 2) - V(\text{pin } 1) > 50\text{ mV}$,	190	200	210	180	200	220	mV
Temperature coefficient of sense voltage	$V(\text{pin } 9) = 2\text{ V}$		0.2			0.2		mV/°C

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Standby current	VCC = 40 V, Pin 2 at 2 V, Pins 1,4,7,8,9,11,14 grounded, All other inputs and outputs open		8	10	mA

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

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

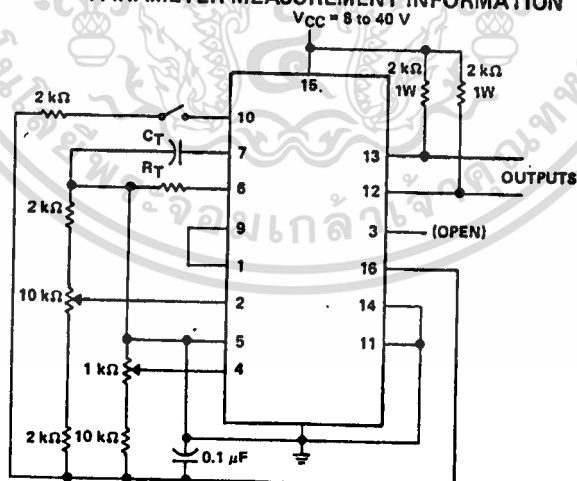


FIGURE 1—GENERAL TEST CIRCUIT

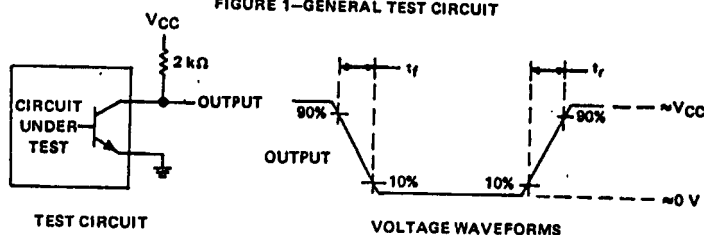


FIGURE 2—SWITCHING TIMES

FIGURE 2—SWITCHING TIMES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SG1524, SG2524, SG3524
REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

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

Supply Voltage, V _{CC} (see Notes 1 and 2)	40 V
Collector Output Current	100 mA
Reference Output Current	50 mA
Current Through C _T Terminal	-5 mA
Continuous Total Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature (See Note 3)	1000 mW
Operating Free-Air Temperature Range: SG1524	-55°C to 125°C
SG2524	-25°C to 85°C
SG3524	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to network ground terminal.
2. The reference regulator may be bypassed for operation from a fixed 5-volt supply by connecting the V_{CC} and reference output pins both to the supply voltage. In this configuration the maximum supply voltage is 6 volts.
3. For operation above 25°C free-air temperature refer to Figures 16 and 17. In the J package, SG1524 chips are alloy mounted; SG2524 and SG3524 chips are glass mounted.

recommended operating conditions

	SG1524		SG2524		SG3524		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	8	40	8	40	8	40	V
Reference output current	0	50	0	50	0	50	mA
Current thru C _T terminal	-0.03	-2	-0.03	-2	-0.03	-2	mA
Timing resistor, R _T	1.8	100	1.8	100	1.8	100	kΩ
Timing capacitor, C _T	0.001	0.1	0.001	0.1	0.001	0.1	μF
Operating free-air temperature	-55	125	-25	85	0	70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, V_{CC} = 20 V, f = 20 kHz (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SG1524			SG2524			SG3524			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage		4.8	5	5.2	4.8	5	5.2	4.8	5	5.4	V
Input regulation	V _{CC} = 8 to 40 V		10	20		10	20		10	30	mV
Ripple rejection	f = 120 Hz		66			66			66		dB
Output regulation	I _O = 0 to 20 mA		20	50		20	50		20	50	mV
Output voltage change with temperature	T _A = MIN to MAX		0.6	2		0.3	1		0.3	1	%
Short-circuit output current §	V _{ref} = 0		100			100			100		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values except output voltage change with temperature are at T_A = 25°C.
§ Duration of the short-circuit should not exceed one second.

TYPES SG1524, SG2524, SG3524 REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 20\text{ V}$, $f = 20\text{ kHz}$
(unless otherwise noted)

oscillator section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
Frequency	$C_T = 0.001\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 2\text{ k}\Omega$		450		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of voltage, temperature, resistance, and capacitance constant		5		%
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 8\text{ to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$			1	%
Frequency change with temperature	$T_A = \text{MIN to MAX}$			2	%
Output amplitude at pin 3			3.5		V
Output pulse width at pin 3	$C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$		0.5		μs

error amplifier section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SG1524, SG2524		SG3524		UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	TYP‡	
Input offset voltage	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$		0.5	5	2	mV
Input bias current	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$		2	10	2	μA
Open-loop voltage amplification		72	80	60	80	dB
Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.8 to 3.4		1.8 to 3.4		V
Common-mode rejection ratio			70		70	dB
Unity-gain bandwidth			3		3	MHz
Output swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	0.5	V

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
Collector-emitter breakdown voltage		40			V
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$		0.01	50	μA
Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 50\text{ mA}$		1	2	V
Emitter output voltage	$V_C = 20\text{ V}$, $I_E = -250\text{ }\mu\text{A}$	17	.18		V
Turn-off voltage rise time	$R_C = 2\text{ k}\Omega$		0.2		μs
Turn-on voltage fall time	$R_C = 2\text{ k}\Omega$		0.1		μs

comparator section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
Maximum duty cycle, each output		45			%
Input threshold voltage at pin 9	Zero duty cycle		1		V
	Maximum duty cycle		3.5		
Input bias current			-1		μA

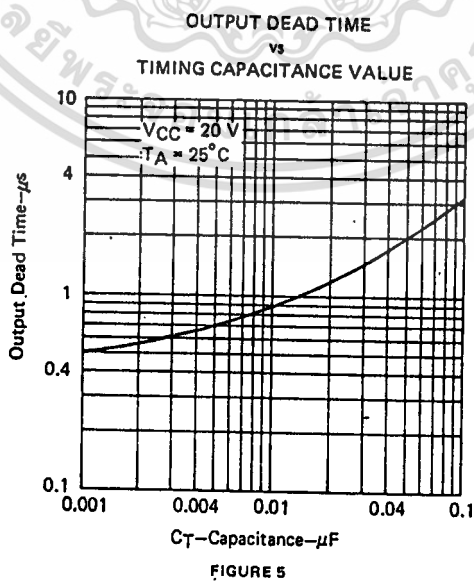
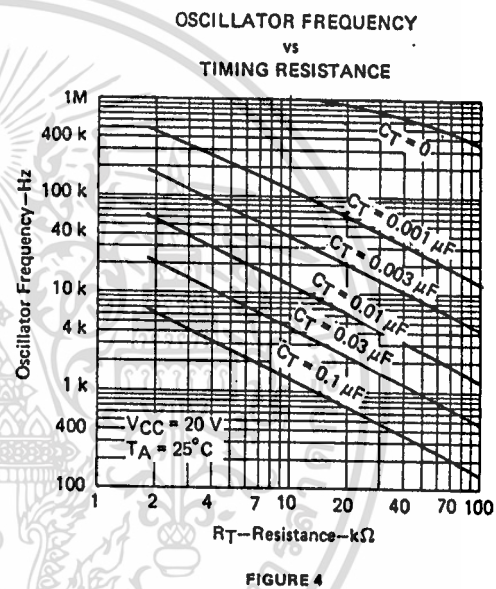
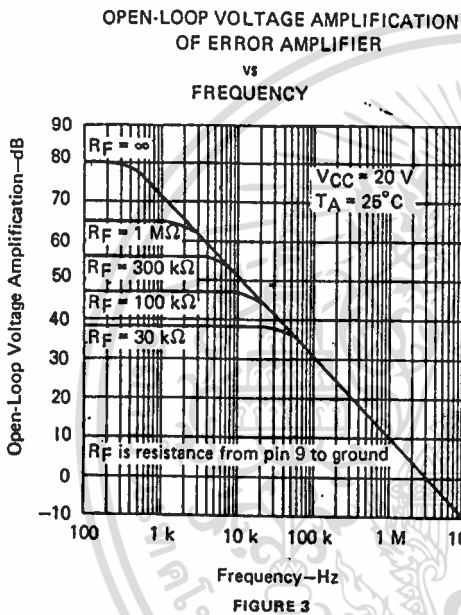
† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values except for temperature coefficients 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 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$

TYPES SG1524, SG2524, SG3524
REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

TYPICAL CHARACTERISTICS





MOTOROLA

MC14049B MC14050B

HEX BUFFER

The MC14049B Hex Inverter/Buffer and MC14050B Noninverting Hex Buffer are constructed with MOS P-Channel and N-Channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These complementary MOS devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. These devices provide logic level conversion using only one supply voltage, V_{DD} .

The input-signal high level (V_{IH}) can exceed the V_{DD} supply voltage for logic level conversions. Two TTL/DTL loads can be driven when the devices are used as a CMOS-to-TTL/DTL converter ($V_{DD} = 5.0$ V, $V_{OL} \leq 0.4$ V, $I_{OL} \geq 3.2$ mA).

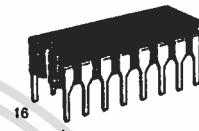
Note that pins 13 and 16 are not connected internally on these devices; consequently connections to these terminals will not affect circuit operation.

- High Source and Sink Currents
- High-to-Low Level Converter
- Supply Voltage Range = 3.0 V to 18 V
- V_{IN} can exceed V_{DD}
- Meets JEDEC B Specifications
- Improved ESD Protection On All Inputs

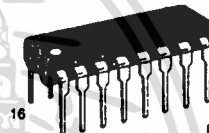
MAXIMUM RATINGS¹ (Voltages referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V_{DD}	-0.5 to +18	Vdc
Input Voltage (DC or Transient)	V_{IN}	-0.5 to +18	Vdc
Output Voltage (DC or Transient)	V_{out}	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	Vdc
Input Current (DC or Transient), per pin	I_{in}	± 10	mA
Output Current (DC or Transient), per pin	I_{out}	+45	mA
Power Dissipation, per Package ² (Plastic/Ceramic) (SOIC)	PD	825 740	mW
Storage Temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead Temperature (8-Second Soldering)	T_L	260	°C

¹Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
²Temperature Derating: See Figure 3.



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



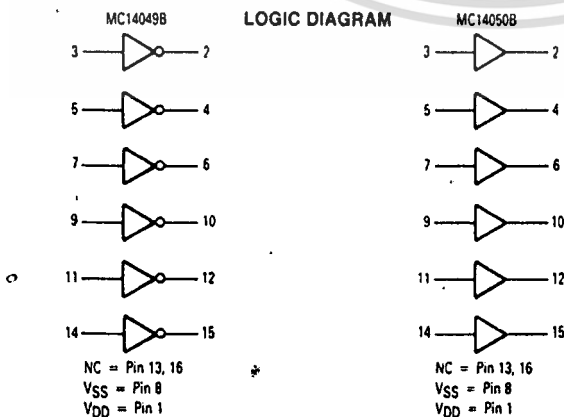
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

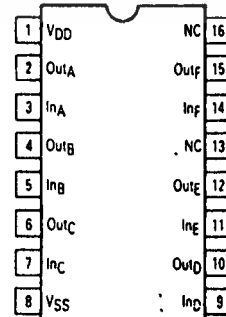
MC14XXBCL Ceramic
MC14XXBCP Plastic
MC14XXBD SOIC

$T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ for all packages

LOGIC DIAGRAM



PIN ASSIGNMENT



MC14049B • MC14050B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{Dc}	-55°C		+25°C			+125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ ¹	Max	Min	Max		
Output Voltage V _{in} = V _{DD}	"0" Level V _{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	V _{Dc}	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
	"1" Level V _{OH}	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	V _{Dc}	
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Input Voltage	"0" Level (V _O = 4.5 V _{Dc}) (V _O = 9.0 V _{Dc}) (V _O = 13.5 V _{Dc})	V _{IL}	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	V _{Dc}
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0		
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0		
	"1" Level (V _O = 0.5 V _{Dc}) (V _O = 1.0 V _{Dc}) (V _O = 1.5 V _{Dc})	V _{IH}	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	V _{Dc}
		10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—		
		15	11	—	11	8.25	—	11	—		
Output Drive Current	Source (V _{OH} = 2.5 V _{Dc}) (V _{OH} = 9.5 V _{Dc}) (V _{OH} = 13.5 V _{Dc})	I _{OH}	5.0	-1.6	—	-1.25	-2.5	—	-1.0	—	mA _{Dc}
		10	-1.6	—	-1.30	-2.6	—	-1.0	—		
		15	-4.7	—	-3.75	-10	—	-3.0	—		
	Sink (V _{OL} = 0.4 V _{Dc}) (V _{OL} = 0.5 V _{Dc}) (V _{OL} = 1.5 V _{Dc})	I _{OL}	5.0	3.75	—	3.2	6.0	—	2.6	—	mA _{Dc}
		10	10	—	8.0	16	—	6.6	—		
		15	30	—	24	40	—	19	—		
Input Current	I _{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μA _{Dc}	
Input Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	—	—	—	—	10	20	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	I _{DD}	5.0	—	1.0	—	0.002	1.0	—	30	μA _{Dc}	
		10	—	2.0	—	0.004	2.0	—	60		
		15	—	4.0	—	0.006	4.0	—	120		
Total Supply Current 2,3 (Dynamic plus Quiescent, per package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0	I _T = (1.8 μA/kHz) f + I _{DD}							μA _{Dc}	
		10	I _T = (3.5 μA/kHz) f + I _{DD}								
		15	I _T = (5.3 μA/kHz) f + I _{DD}								

¹ Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

² The formulas given are for the typical characteristics only at +25°C

³ To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) V_{in}$$

Where: I_T is in μA (per Package), C_L in pF, V = (V_{DD} - V_{SS}) in volts, f in kHz is input frequency and k = 0.002

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields referenced to the V_{SS} pin only. Extra precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than the maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, the ranges V_{SS} ~ V_{in} < 18 V and V_{SS} < V_{out} < V_{DD} are recommended.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

MC14049B • MC14050B

AC SWITCHING CHARACTERISTICS¹ ($C_L = 50 \text{ pF}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	VDD Vdc	Min	Typ ²	Max	Unit
Output Rise Time $t_{TLH} = (0.7 \text{ ns/pF}) C_L + 65 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 37.5 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$	t_{TLH}	5.0 10 15	— — —	100 50 40	160 80 60	ns
Output Fall Time $t_{THL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 17 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.04 \text{ ns/pF}) C_L + 13 \text{ ns}$	t_{THL}	5.0 10 15	— — —	40 20 15	60 40 30	ns
Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.33 \text{ ns/pF}) C_L + 63.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.19 \text{ ns/pF}) C_L + 30.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 27 \text{ ns}$	t_{PLH}	5.0 10 15	— — —	80 40 30	140 80 60	ns
Propagation Delay Time $t_{PHL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.1 \text{ ns/pF}) C_L + 15 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.05 \text{ ns/pF}) C_L + 12.5 \text{ ns}$	t_{PHL}	5.0 10 15	— — —	40 20 15	80 40 30	ns

¹ The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C .

² Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

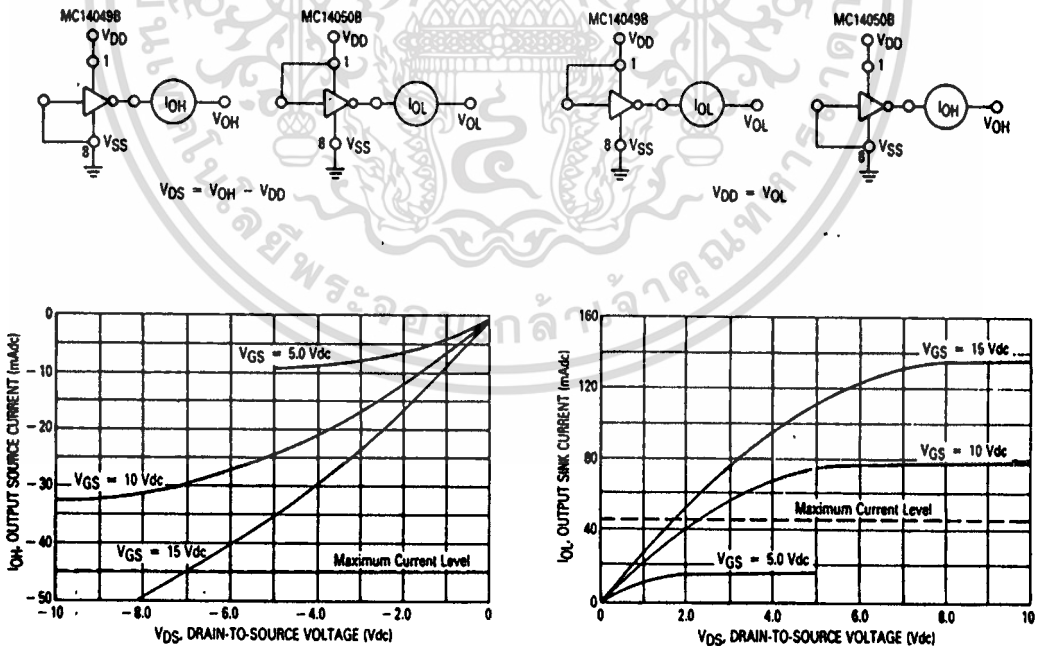


FIGURE 1 — TYPICAL OUTPUT SOURCE CHARACTERISTICS

FIGURE 2 — TYPICAL OUTPUT SINK CHARACTERISTICS

MC14049B • MC14050B

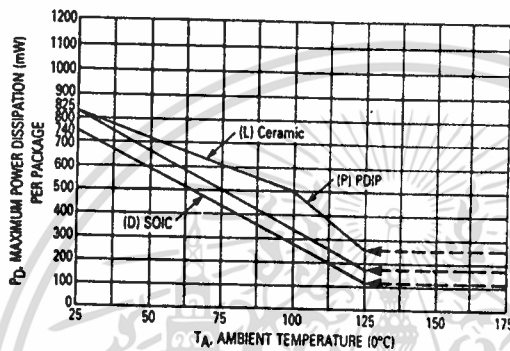


FIGURE 3 — AMBIENT TEMPERATURE POWER DERATING

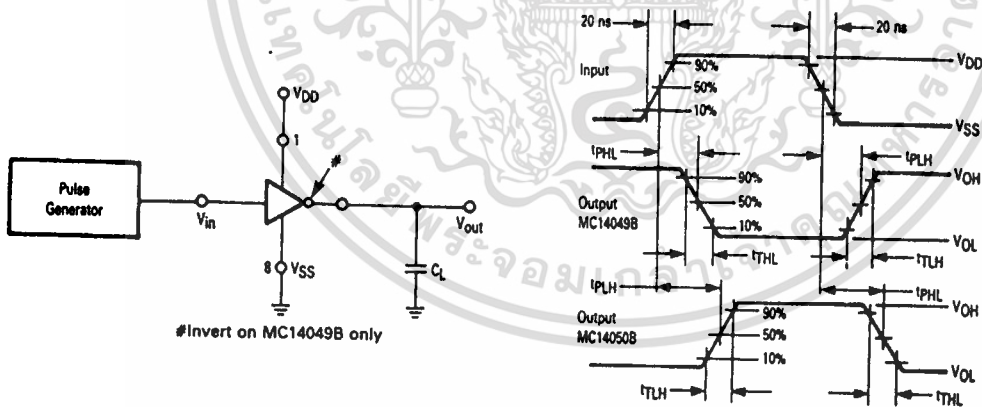


FIGURE 4 — SWITCHING TIME TEST CIRCUIT AND WAVEFORMS

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์วิริยะ พิเชฐจำเริญและอาจารย์อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศที่กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำชิ้นงานชิ้นนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนชิ้นงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งพี่ๆในภาคไฟฟ้าที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารอ้างอิง

1. สุวัฒน์ คั่น, เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัทเอนเทลไทย จำกัด กรุงเทพฯ, 2537
2. สมบูรณ์ มаланนท์ และ สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย, แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ, 2538

