

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์  
DESIGN OF HIGH FREQUENCY TRANSFORMER  
FOR INVERTER CIRCUIT



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62070  
วัน,เดือน,ปี..... 27 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์  
DESIGN OF HIGH FREQUENCY TRANSFORMER  
FOR INVERTER CIRCUIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์  
DESIGN OF HIGH FREQUENCY TRANSFORMER  
FOR INVERTER CIRCUIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์  
DESIGN OF HIGH FREQUENCY TRANSFORMER FOR INVERTER CIRCUIT

ผู้จัดทำ

1. นายบุญวัฒน์ พุฒิเมธาพงศ์ รหัสประจำตัว 44010270
2. นายวิโรจน์ แดงงาม รหัสประจำตัว 44010457
3. นายเอกชัย กรุทวิมาน รหัสประจำตัว 44010623



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

นาย บุญวัฒน์ พุฒิเมธาพงศ์ 44010270  
นาย วิโรจน์ แดงงาม 44010457  
นาย เอกชัย ครุทวิมาน 44010623  
รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ กระบวนการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มีการใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งบ่อยครั้งมีการใช้หม้อแปลงความถี่สูงแปลงแรงดันไฟฟ้าในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่ง หม้อแปลงเหล่านี้จะทำให้ น้ำหนัก, ขนาด และ อุกรณ์ต่างๆ ของวงจรมีค่ามาก นอกจากนี้ยังมีผลอย่างสำคัญยิ่งต่อประสิทธิภาพของระบบ จึงนำมาซึ่งการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ที่จะทำให้ค่าตัวประกอบต่างๆ เช่น น้ำหนัก, ขนาด, ประสิทธิภาพ และ ราคา ซึ่งมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดเมื่อนำไปใช้งาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาทฤษฎี และ ขั้นตอน รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด และคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ เพื่อที่จะให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Design of High Frequency Transformer for Inverter Circuit

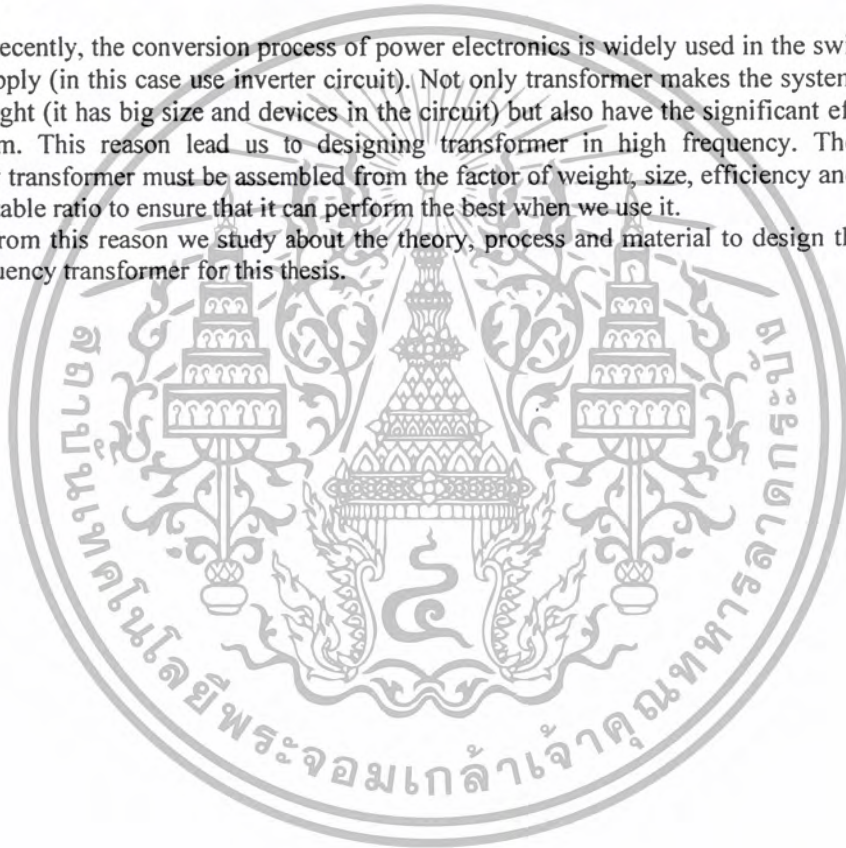
Boonyawat Buddhimethapong  
Wiroj Dangngam  
Ekkachai Krutvimarn

Assist. Dr. Viriya Pichetjamroen Advisor  
Dr. Sompob Polmai Advisor  
Department of Electrical Engineering  
Year 2004

### ABSTRACT

Recently, the conversion process of power electronics is widely used in the switching power supply (in this case use inverter circuit). Not only transformer makes the system get a lot of weight (it has big size and devices in the circuit) but also have the significant effect to the system. This reason lead us to designing transformer in high frequency. The high frequency transformer must be assembled from the factor of weight, size, efficiency and price in the suitable ratio to ensure that it can perform the best when we use it.

From this reason we study about the theory, process and material to design the best high frequency transformer for this thesis.



### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จและสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน และบุคคลสำคัญที่ลืมไม่ได้ที่จะกล่าวคำขอบคุณจากใจ เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีก็คือ ท่าน รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำริญญ และ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา

และต้องขอขอบพระคุณท่าน บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพและรักยิ่ง ที่ทำให้พวกเราในวันนี้ พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณอีกหลายๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และขอภัยล่วงหน้าที่ไม่ได้ออกนาม ณ ที่นี้



## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 การดำเนินงาน	3
<b>บทที่ 2</b> วงจรต่างๆที่ใช้ในโครงการ	<b>4</b>
2.1 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์	5
2.1.1 วงจรเรกติไฟเออร์	5
2.1.2 ฟิวส์	5
2.2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์	6
2.3 วงจรเรกนูเรเตอร์	7
2.4 วงจรสร้างสัญญาณจับเกท	7
<b>บทที่ 3</b> หม้อแปลงความถี่สูงและทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	<b>9</b>
3.1 ทฤษฎีพื้นฐานหม้อแปลง	9
3.1.1 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส ( Hysteresis Curve )	10
3.1.2 ค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	10
3.2 ทฤษฎีแกนแม่เหล็กความถี่สูง	11
3.2.1 แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound Core)	12
3.2.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด (Powder Core)	13
3.2.3 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)	15
3.3 เหตุผลที่เลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบ EE Core	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4	ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูง	19
3.4.1	แกนแม่เหล็ก	20
3.4.2	ขอบบิ้น	21
3.4.3	ลวดทองแดงอาบน้ำยา	21
3.4.4	เทปฉนวน	21
3.5	สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	22
3.5.1	การเลือกอุปกรณ์	22
3.5.2	ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาถึง	22
3.5.3	ขีดจำกัดของแกน	22
3.6	การออกแบบเพื่อเลือกชื่อขนาดแกน โดยวิธี Electrical Solution	23
3.7	การออกแบบเพื่อเลือกชื่อขนาดแกน โดยวิธี Ap Approach	25
3.8	ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงวิธีผลคูณพื้นที่ ( Area Product Design )	27
<b>บทที่ 4</b>	<b>ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง</b>	<b>31</b>
4.1	การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	31
4.2	ผลการทดลอง	34
<b>บทที่ 5</b>	<b>โปรแกรมสำหรับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์</b>	<b>43</b>
5.1	วัตถุประสงค์และการทำงานของโปรแกรม	43
5.2	การทำงานของโปรแกรม	43
5.3	ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	44
<b>บทที่ 6</b>	<b>สรุปและวิจารณ์</b>	<b>66</b>
6.1	วิจารณ์ผลการทดลอง	66
6.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	67
6.3	แนวทางในการดำเนินงานต่อไป	67
<b>ภาคผนวก ก</b>		
<b>ภาคผนวก ข</b>		
<b>เอกสารอ้างอิง</b>		

## สารบัญตาราง

	หน้าที่	
ตารางที่ 3.1	การเปรียบเทียบ powder core แบบต่างๆ	15
ตารางที่ 3.2	การเปรียบเทียบความถี่ใช้งานของแกนแม่เหล็กชนิดต่างๆ ตามลำดับ	18
ตารางที่ 3.3	สรุปอุปกรณ์แม่เหล็กที่ใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่ง	19
ตารางที่ 4.1	ตารางผลการทดลองที่ 1	42
ตารางที่ 4.2	ตารางผลการทดลองที่ 2	42
ตารางที่ 5.1	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 1 ของโปรแกรม	46
ตารางที่ 5.2	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 2 ของโปรแกรม	48
ตารางที่ 5.3	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 3 ของโปรแกรม	53
ตารางที่ 5.4	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 4 ของโปรแกรม	59
ตารางที่ 5.5	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้า Data base ที่ 1	64
ตารางที่ 3.3	การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้า Data base ที่ 2	65



## สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่	
รูปที่ 2.1	แผนผังการทำงานของวงจร	4
รูปที่ 2.2	วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์	5
รูปที่ 2.3	วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์	6
รูปที่ 2.4	วงจรเรกกูเรเตอร์	7
รูปที่ 2.5	วงจรสร้างสัญญาณขับเกท	8
รูปที่ 3.1	แสดงหม้อแปลงแบบสองขด	9
รูปที่ 3.2	แสดง Hysteresis Loop	10
รูปที่ 3.3	การแบ่งประเภทของสารแม่เหล็กที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	12
รูปที่ 3.4	ภาพของแกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ	13
รูปที่ 3.5	แกนแม่เหล็กแบบเทอร์รอยด์	14
รูปที่ 3.6	แกนแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์	16
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างรูปทรง แกนแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ	17
รูปที่ 3.8	ลักษณะและขนาดของแกน	20
รูปที่ 3.9	ลักษณะของบอบบิ้น	21
รูปที่ 4.1	รูปแสดงสัญญาณแรงดัน Input และ Output จากทฤษฎี	34
รูปที่ 4.2	รูปแสดงสัญญาณแรงดัน Input และ Output จากการทดสอบ	35
รูปที่ 4.3 (ก)	รูปสัญญาณแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	35
(ข)	รูปสัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	35
รูปที่ 4.4 (ก)	รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 300w, 30kHz	36
(ข)	รูปสัญญาณกระแส ที่ 300w, 30kHz	36
(ค)	รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า ที่ 300w, 30kHz	36
รูปที่ 4.5 (ก)	รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 300w, 30kHz ที่เพิ่มภาระทางไฟฟ้า	37
(ข)	รูปสัญญาณกระแส ที่ 300w, 30kHz ที่เพิ่มภาระทางไฟฟ้า	37
(ค)	รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า 300w, 30kHz ที่เพิ่มภาระทางไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.6 (ก)	รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 500w, 30kHz	38
(ข)	รูปสัญญาณกระแส ที่ 500w, 30kHz	38
(ค)	รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า ที่ 500w, 30kHz	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7	(ก) รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 300w, 50kHz	39
	(ข) รูปสัญญาณกระแส ที่ 300w, 50kHz	39
	(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ 300w, 50kHz	39
รูปที่ 4.8	(ก) รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 400w, 50kHz	40
	(ข) รูปสัญญาณกระแส ที่ 400w, 50kHz	40
	(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ 500w, 50kHz	40
รูปที่ 4.9	(ก) รูปสัญญาณแรงดัน ที่ 500w, 50kHz	41
	(ข) รูปสัญญาณกระแส ที่ 500w, 50kHz	41
	(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ 500w, 50kHz	41
รูปที่ 5.1	Flow Chart การทำงานของโปรแกรม	44
รูปที่ 5.2	หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 1	45
รูปที่ 5.3	หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 2	47
รูปที่ 5.4	หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 3	52
รูปที่ 5.5	หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 4	58
รูปที่ 5.6	หน้าจอของโปรแกรม Data base ที่ 1	63
รูปที่ 5.7	หน้าจอของโปรแกรม Data base ที่ 2	64



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งนั้น เป็นแหล่งจ่ายไฟคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง ซึ่งเราสามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำหรือค่าสูง สำหรับใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรือไฟฟ้ากำลังเหมือนกับแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบเชิงเส้น ส่วนสำคัญของแหล่งจ่ายกำลังไฟทั้งสองแบบที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าคือ หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน โดยที่หม้อแปลงกำลังของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งจะทำงานที่ความถี่สูงประมาณ 20 – 200 kHz ทำให้ขนาดของหม้อแปลงกำลังของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งมีขนาดเล็ก และมีประสิทธิภาพสูง โดยปกติแล้วแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่งจะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 65-85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบเชิงเส้น ที่ทำงานที่ความถี่ 50 Hz ทำให้หม้อแปลงกำลังแบบเชิงเส้นมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก เมื่อนำมาเทียบกับหม้อแปลงกำลังของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง ดังนั้นการพัฒนาของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบเชิงเส้นที่กำลังงานขาออกสูงๆ นั้น จึงมีข้อจำกัดอยู่ที่การใช้หม้อแปลงกำลังที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก รวมทั้งประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน วิศวกรที่ออกแบบวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง ได้พยายามหาหนทางใหม่ ๆ ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรที่ออกแบบ ในขณะที่เดียวกันก็จะได้พยายามที่จะลดขนาดของวงจรนั้นลงให้เล็กที่สุด ซึ่งในการออกแบบวงจรส่งกำลังสูงๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งความถี่สูง เหตุผลที่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟในลักษณะแบบนี้ก็คือ ที่ความถี่สูง ส่วนประกอบในวงจรที่เป็นสารแม่เหล็ก จะสามารถรองรับพลังงานต่อหน่วยปริมาตรได้มากกว่า ดังนั้นผลที่ได้รับก็คือ หม้อแปลงจะมีขนาดที่เล็กลงได้ ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ รอบข้างสามารถมีขนาดที่เล็กลงได้อย่างมาก

แต่อย่างไรก็ตาม แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งความถี่สูงๆ นั้น ก็ยังมีข้อเสียอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น คือ มีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า, การออกแบบวงจรมีความซับซ้อนมากกว่า, อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีราคาแพงและหายาก และสารแม่เหล็กที่ใช้ทำเป็นแกนหลักของหม้อแปลงที่ความถี่สูงจะมีการสูญเสียในลักษณะเส้นโค้งฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) และกระแสไหลวน (eddy current) มากยิ่งขึ้น และนอกจากนี้ที่ความถี่สูงๆ ยังมีผลของ “ปรากฏการณ์ทางผิว” (skin effect) ในขดลวดอีกด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานเช่นกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำเป็นแกนหลัก และมีวิธีการในการคำนวณการออกแบบที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้หม้อแปลงที่ออกแบบมานั้น สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เสนอแนะวิธีการออกแบบสร้างหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อที่จะลดค่าความสูญเสียเหล่านี้ลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งความถี่สูงมีค่าสูงขึ้น โดยอาศัยข้อดีของหม้อแปลงกำลังความถี่สูงแบบแกนร่วมที่มีการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าต่ำ เมื่อนำมาใช้เป็นหม้อแปลงกำลังของแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งความถี่สูง ค่าของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลที่ต่ำ

ก็จะทำให้อัตราการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวหม้อแปลงแต่เดิมที่มีค่าสูงก็จะมีค่าลงไปด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้การใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง ได้เข้ามามีบทบาทแทนที่แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบเชิงเส้นมากขึ้น เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งมีขนาดเล็ก, ประสิทธิภาพสูง และมีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบเชิงเส้น ทำให้แหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในวงการต่างๆมากมาย เช่น วงการอุตสาหกรรม, วงการคอมพิวเตอร์, วงการอวกาศ และวงการพาณิชย์ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษา ทดลอง และออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง ตามทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง
2. ศึกษาและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน ที่อยู่ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง
3. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงความถี่สูง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นโครงการที่วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยโครงการนี้มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของการออกแบบวงจรที่จะใช้ในการป้อนสัญญาณ โดยในการออกแบบนั้นจะต้องอาศัยวงจรซึ่งเป็นตัวสร้างสัญญาณ Square wave เพื่อเป็นสัญญาณ Input ให้กับตัวหม้อแปลงความถี่สูง โดยวงจรถูกกล่าวถึง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ

1. วงจรกำลัง ซึ่งประกอบด้วย
  - วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier Circuit)
  - วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter Circuit)
2. วงจรควบคุม ซึ่งประกอบด้วย
  - วงจรรักษาระดับแรงดัน (Regulator Circuit)
  - วงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน (Gate Driver Circuit)

ส่วนที่ 2 ถือเป็นเสมือนหัวใจสำคัญของโครงการ คือ การออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นการทำวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการในการออกแบบแกนหม้อแปลง และ ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบรวมทั้งคุณสมบัติของหม้อแปลง ความเป็นไปได้ของผู้ใช้งานให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะทำการศึกษาวิธีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1. Area Product Ap Approach Method

วิธีที่ 2. Area Product Design Method

วิธีที่ 3. Electrical Solution Method

จากนั้นทำการสรุปและเลือกวิธีที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด เพื่อนำมาทำการออกแบบหม้อแปลง แล้วทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้และความถูกต้องระหว่างภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับส่วนที่ 3 คือ ส่วนของโปรแกรมสำหรับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง โดยจัดเป็นองค์ประกอบสุดท้ายของโครงการที่จะช่วยให้การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงให้มีความถูกต้อง และ สะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยตัวโปรแกรมถูกออกแบบให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ง่ายต่อความเข้าใจและการใช้งาน ซึ่งผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีการออกแบบได้ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1. Area Product Ap Approach Method

วิธีที่ 2. Area Product Design Method

วิธีที่ 3. Electrical Solution Method

โดยแต่ละวิธีนั้นจะมีข้อมูล Data base ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานคุณสมบัติของแกนหม้อแปลงที่จะเลือกใช้ และข้อมูลขนาดของพื้นที่หน้าตัดของขลวดตามมาตรฐาน SWG ให้ผู้ใช้อ้างอิงในการออกแบบ

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ทำให้การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนั้นเป็นไปอย่างถูกต้อง
2. ทำให้สามารถผลิตหม้อแปลงความถี่สูงได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้อง เนื่องจากสามารถหาค่าต่างๆ ที่จำเป็นในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้จากโปรแกรมที่เขียนขึ้น
3. สามารถนำหม้อแปลงความถี่สูงไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน และ โหลดที่จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่สูงๆ ตั้งแต่ 30 - 100 kHz

#### 1.5 วิธีการดำเนินงาน

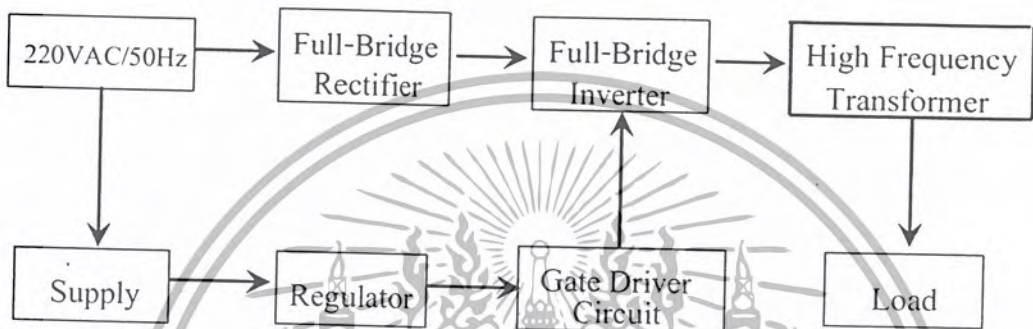
งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งก็มีเรื่องหลักๆ อยู่ 4 เรื่องด้วยกัน คือ ทฤษฎีพื้นฐานหม้อแปลง, ทฤษฎีแกนเหล็กความถี่สูง, ทฤษฎีหม้อแปลงความถี่สูง และทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2 และ 3 จากนั้นก็จะนำเอาความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมดมาออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 4 และโปรแกรมสำหรับออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงมีรายละเอียดในบทที่ 5

และบทที่ 6 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายก็จะเป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม รวมถึงแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

## บทที่ 2

### วงจรที่ใช้ในโครงการ

หลักการทำงานโดยรวมของวงจรที่ใช้ในโครงการ



รูปที่ 2-1 แผนผังการทำงานของวงจร

จากแผนผังดังรูปที่ 2-1 แสดงถึงหลักการทำงานโดยรวมของโครงการนี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรกำลังและส่วนของวงจรควบคุม

ส่วนของวงจรกำลัง เริ่มจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V, 50Hz เข้าสู่วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 310V เพื่อจ่ายเป็นอินพุตให้กับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบสวิตชิ่งซึ่งความถี่สูง ส่งให้กับขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง หลังจากนั้นหม้อแปลงกำลังความถี่สูง จะทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง แล้วจ่ายโหลดต่อไป สำหรับโครงการนี้ได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้านี้เป็นโหลด เนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังเป็น 1 เสมอ

ส่วนของวงจรควบคุม ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยวงจรควบคุมนั้นต้องอาศัยไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายภายนอก 4 แหล่งจ่าย ซึ่งแต่ละแหล่งจ่ายนั้น จะเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีตัวรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้ได้ใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7812 ค่อยรวมอยู่ในวงจรด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกำลัง ประกอบไปด้วย

1. วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์
2. วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

## 2.1 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์

วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ จะเป็นส่วนที่รับแรงดันไฟฟ้า 220VAC, 50Hz เข้ามา แล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้กับอินพุทฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

### 2.1.1 วงจรเรกติไฟเออร์

เป็นตัวกำหนดค่าอัตราทดกระแสของ RFI input Filter ประกอบด้วย ไดโอด ตัวเก็บประจุ ซึ่งเรกติไฟเออร์ที่ใช้เป็นแบบฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยการต่อขานานตัวเก็บประจุไว้ เพื่อเป็นการกรองสัญญาณให้เรียบ โดยให้มีการกระเพื่อมของแรงดันน้อยที่สุด

### 2.1.2 ฟิวส์

ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์เนื่องจากกระแสเกิน และแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเกิดการลัดวงจร โดยพิจารณาจากค่าอัตราทดแรงดัน ซึ่งต้องใช้ฟิวส์ที่มีค่าอัตราทดแรงดันมากกว่าหรือเท่ากับแรงดันของวงจร เพื่อลดความเสียหายที่ฟิวส์

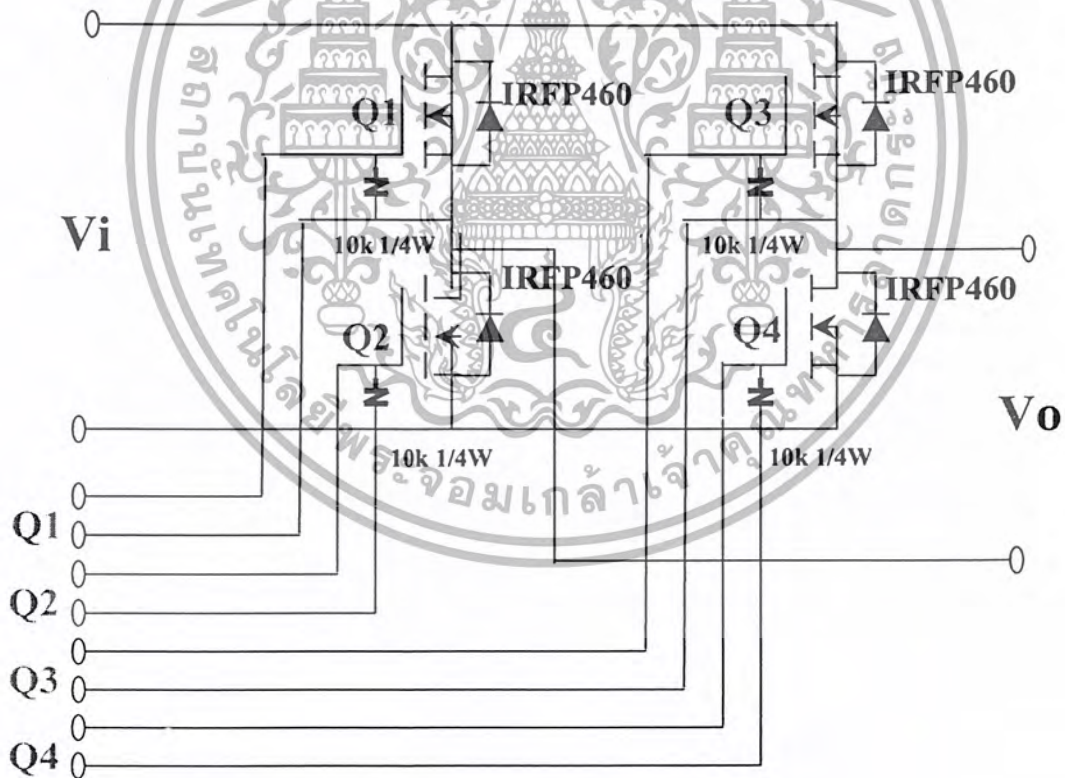
รูปที่ 2.2 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์

## 2.2 วงจรจรรยาบรรณอินเวอร์เตอร์

โครงการนี้จะใช้เพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF 460 เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งความถี่สูง เนื่องจากทำงานที่ความถี่สูงได้ดี ทนกระแสไฟฟ้าได้สูง ราคาไม่แพงเกินไป ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ทได้ 500VDC และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขาเดรนไปยังขาซอร์ทได้ 20A ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 13A ที่ 100 องศาเซลเซียส

วงจรรพจรอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ซึ่งสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณความถี่สูง เพื่อจ่ายให้กับขดลวดค้ำานปฐมภูมิของหม้อแปลง โดยการทำงานของวงจรรพจรอินเวอร์เตอร์นั้นได้รับสัญญาณควบคุมจากวงจรสร้างสัญญาณขั้วเกท (Gate Drive Circuit) หรือวงจรควบคุมนั่นเอง

จากวงจรสร้างสัญญาณขั้วเกท (Gate Drive Circuit) เราใช้ IC เบอร์ TL494 ในการกำเนิดสัญญาณที่ความถี่สูง โดยเพาเวอร์มอสเฟตที่ใช้เป็นสวิตช์ซึ่งแต่ละตัวนั้น จะสลับกันทำงานเป็นคู่ ๆ ดังนั้นเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 4 จะทำงานพร้อมกัน โดยได้รับสัญญาณควบคุมจากขา 9 ของ IC เบอร์ TL494 ซึ่งตรงกันข้ามกับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ที่จะทำงานพร้อมกันโดยได้รับสัญญาณควบคุมจากขา 10 ของ IC เบอร์ TL494 เช่นกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้จากวงจรรพจรอินเวอร์เตอร์นั้น จะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่สูง



รูปที่ 2.3 วงจรรพจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรควบคุม

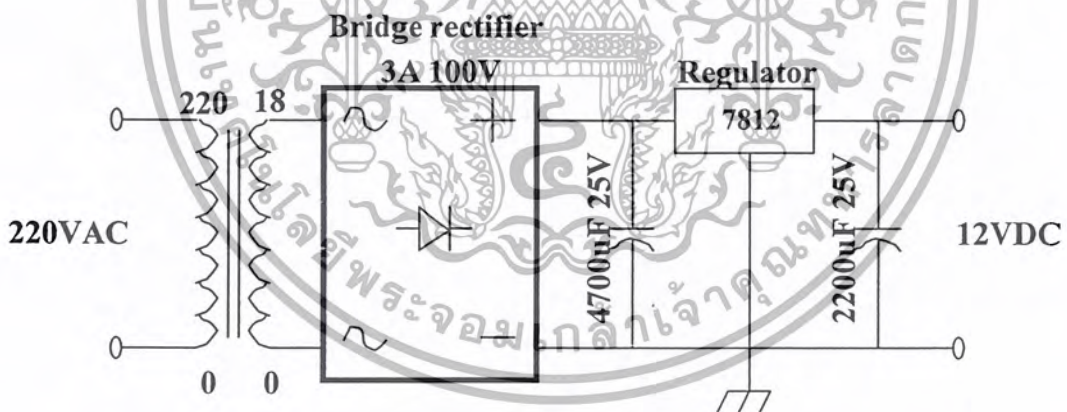
วงจรควบคุม เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรพูลบริคจ์อินเวอร์เตอร์ การควบคุมการใช้พัลส์ขนาด 12V ส่งสัญญาณไปที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตและให้จุดกราวด์ต่อกับขาซอร์ทของเพาเวอร์มอสเฟต สัญญาณควบคุมจะมี 4 สัญญาณ เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัว

การควบคุมแบบนี้สามารถควบคุมความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปยังวงจรพูลบริคจ์อินเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรพูลบริคจ์อินเวอร์เตอร์ได้อีกด้วย ประกอบไปด้วย

1. วงจรเรกกูเรเตอร์
2. วงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน (Gate Drive Circuit)

### 2.3 วงจรเรกกูเรเตอร์

วงจรเรกกูเรเตอร์ ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมทั้งหมด จะใช้เป็นวงจรอย่างง่าย ๆ คือ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าสลับจาก 220V, 50Hz จากนั้นนำเข้าบริคจ์เรกติไฟเออร์ แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสจ่ายให้กับไอซีเรกกูเรเตอร์เบอร์ 7812 เพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ก่อนจ่ายให้กับ IC เบอร์ TL 494 และวงจรขับเคลื่อนเพาเวอร์มอสเฟต โดยค่านินพุตและเอาต์พุตของวงจรเรกกูเรเตอร์ จะต่อเข้ากับตัวเก็บประจุไว้เพื่อกรองให้สัญญาณเรียบมีการกระเพื่อมของสัญญาณน้อยที่สุด

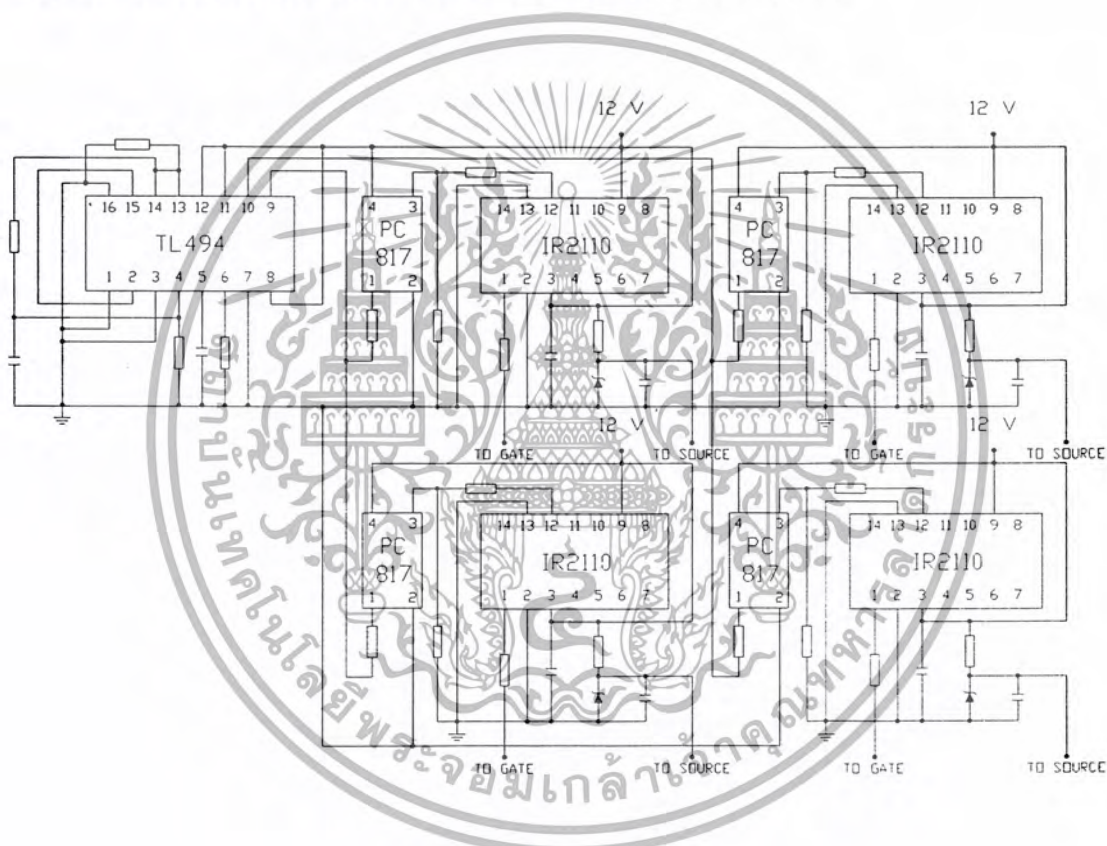


รูปที่ 2.4 วงจรเรกกูเรเตอร์

### 2.4 วงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน (Gate Drive Circuit)

วงจรควบคุม เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรพูลบริคจ์อินเวอร์เตอร์ การควบคุมการใช้พัลส์ขนาด 12V ส่งสัญญาณไปที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตและให้จุดกราวด์ต่อกับขาซอร์ทของเพาเวอร์มอสเฟต สัญญาณควบคุมจะมี 4 สัญญาณ เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัว

โครงการนี้ใช้ความถี่ 50Hz ที่สร้างมาจาก IC เบอร์ TL494 จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Opto couple เบอร์ PC817 เพื่อทำการแยกกราวด์ของสัญญาณที่ออกจาก IC เบอร์ TL494 ออกเป็น 2 ชุด เพื่อนำไปทริกขาเกตของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งทั้ง 2 ตัว ซึ่งต้องการอิสระทางไฟฟ้าต่อกัน แต่สัญญาณที่ได้ ออกมานั้นไม่สามารถนำไปทริกขาของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งได้ เนื่องจากความสามารถของ Opto couple ทำให้สัญญาณที่ได้ช่วงขาเวลาขึ้น และ เวลาขาลงมีความผิดเพี้ยนได้จาก IC เบอร์ TL494 จึงต้องนำสัญญาณที่ได้มา ปรับแต่งสัญญาณ โดยใช้คุณลักษณะของอุปกรณ์ IC เบอร์ IR 2110 พร้อมทั้งนำ Zener diode ต่อกับวงจร เพื่อให้ค่าสัญญาณที่พร้อมจะนำไปขับขาเกตของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในวงจรอินเวอร์เตอร์ มีค่าเป็น +7V ในซีกบวก และ -5V โวลต์ ในซีกลบของสัญญาณคังรูป เหตุผลที่ต้องทำให้สัญญาณอยู่ในรูปนี้ เนื่องจากต้องการให้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง มีช่วงเวลาคาบประจุที่สะสมไว้ในขณะทำการเปิดวงจรครั้งต่อไป



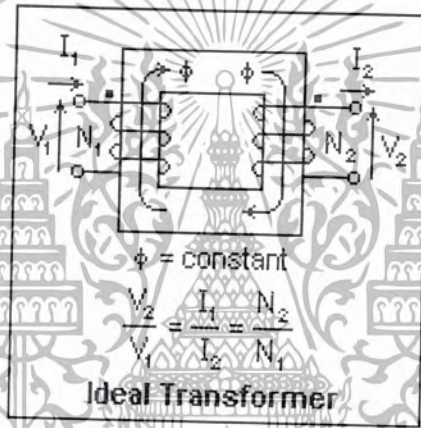
รูปที่ 2.5 วงจรสร้างสัญญาณขับเกต

## บทที่ 3

# หม้อแปลงความถี่สูงและทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

### 3.1 ทฤษฎีพื้นฐานหม้อแปลง

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะพบว่า รอบๆ แกนปิดจะเกิดการเหนี่ยวนำฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นภายในแกนเหล็ก และถ้าเพิ่มจำนวนขดลวดอีกขดหนึ่งให้พันอยู่ในแกนเดียวกัน ฟลักซ์จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันและกระแสไหลที่ขดลวดขดที่สอง เราเรียกขดลวดขดที่หนึ่งว่า “ขดลวดปฐมภูมิ” และขดลวดขดที่สองที่พันเพิ่มเข้าไปเรียกว่า “ขดลวดทุติยภูมิ”



รูปที่ 3.1 แสดงหม้อแปลงแบบสองขด

โดยทั่วไปหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดยกำหนดจากสมการ

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

ดังนั้น หม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step-up หรือ Step-down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมินั้นสูงกว่า หรือต่ำกว่าที่ขดลวดปฐมภูมิ และถ้าทำการเพิ่มขดลวดทุติยภูมิอีกหลายๆ ขด เราจะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง โดยใช้คุณลักษณะสมบัติของหม้อแปลงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

### 3.1.1 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกน ซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็กก็ตาม จากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่า แกนเริ่มอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation) โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 3.2 แสดง Hysteresis Loop

### 3.1.2 ค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กจะทำให้แกนเฟอร์โรอิเล็กทริก ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ การสูญเสียที่เกิดจากลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกน (Hysteresis Loss) และ การสูญเสียเนื่องจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กที่ความถี่ต่ำกว่า 100 kHz การสูญเสียเนื่องจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อยมากสำหรับแกนที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนเหล็กนั้น สามารถพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว

### 3.2 ทฤษฎีแกนแม่เหล็กความถี่สูง

แกนแม่เหล็กมีหน้าที่หลัก คือ เป็นเส้นทางเดินหักสำหรับเส้นแรงแม่เหล็กในกาเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์แม่เหล็ก หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ทำหน้าที่เป็นเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานแม่เหล็กกับโหลดทางแม่เหล็ก เช่น สำหรับในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า แหล่งจ่ายพลังงานแม่เหล็กจะได้แก่ ขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งหมายรวมถึงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและโหลดทางแม่เหล็กจะได้แก่ ขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

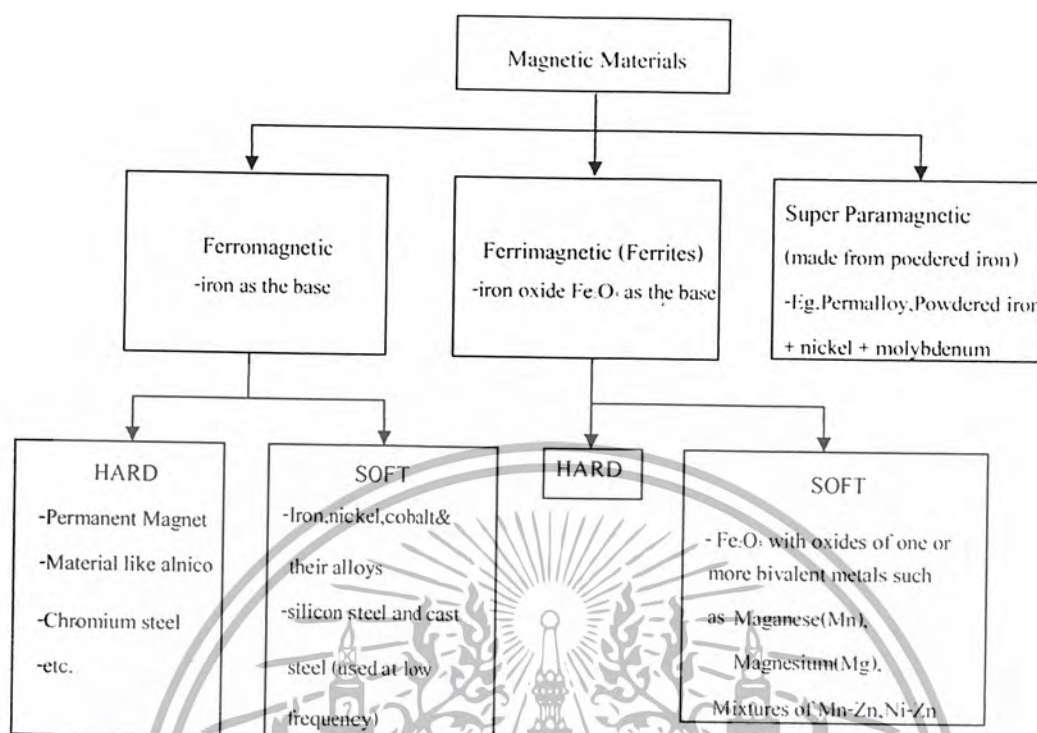
โดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ที่ต่ำ และหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความถี่สูง โดยมีความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50-60Hz) และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงนั้น (หลักกิโลเฮิรตซ์หรือมากกว่า) จะอยู่ที่ชนิดเนื้อสารของแกนแม่เหล็กที่ใช้ โดยที่หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำจะใช้แกนเหล็ก (iron core) ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะใช้แกนเฟอร์ไรต์ (ferrite core) เป็นต้น

สารแม่เหล็กที่ใช้ทำเป็นแกนแม่เหล็กในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะต้องมียุทสมบัติที่มีค่าความซึมซาบสัมพัทธ์สูงๆ ดังแสดงแผนผังในรูปที่ 3.3 แสดงสารแม่เหล็กที่นิยมใช้ทำเป็นแกนแม่เหล็กชนิดต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

1. เฟอร์ไรต์แมกเนติกหรืออาจจะเรียกว่า โลหะแม่เหล็ก (magnetic metals) จะแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่ แบบแข็ง (hard materials) ซึ่งนิยมใช้ทำแม่เหล็กถาวร และแบบอ่อน (soft materials) ซึ่งจะใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยเฟอร์ไรต์แมกเนติกจะมียุทสมบัติ ได้แก่ มีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มตัวสูง (7,000-23,000 เกาส์ : โดยที่ 1 เกาส์ เท่ากับ  $10^{-4}$  เทสลา) และมีค่าความซึมซาบได้สัมพัทธ์สูง (1,000-200,000) ค่าความนำไฟฟ้าก็มีความสูงด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้เป็นแผ่นแม่เหล็กบางๆ ประกอบกัน (laminated or tape form) เพื่อลดการสูญเสีย เนื่องจากกระแสไหลวนรูปแกนแม่เหล็กมีทั้งขนาดเล็กจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่ และด้วยคุณสมบัติที่มีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มตัวสูง จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุปกรณ์แม่เหล็กที่ใช้งานความถี่ต่ำ (50-400Hz) อย่างไรก็ตาม จากปัญหาในเรื่องของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน ทำให้ไม่สามารถใช้งานความถี่สูงได้ ( $\leq 200\text{kHz}$ )

2. เฟอร์ไรต์ (ferrite) จะสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบแข็ง ซึ่งนิยมใช้ทำแม่เหล็กถาวร และแบบอ่อน ซึ่งจะนิยมใช้ทำเป็นแกนหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า เหมือนกรณีของเฟอร์ไรต์แมกเนติก อย่างไรก็ตามการเกิดผลผลิตเฟอร์ไรต์ ที่ทำให้มีความต้านทานไฟฟ้าสูง ( $10^4-10^9 \Omega \cdot \text{m}$ ) และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้แกนเฟอร์ไรต์จะมีกระแสไหลวนภายในต่ำที่ความถี่สูง

3. ซูเปอร์พาราแมกเนติก (superparamagnetic) หรืออาจจะเรียกว่า ผงโลหะอัด (powdered metal) ด้วยกรรมวิธีการผลิตทำให้มีค่าความซึมซาบได้สัมพัทธ์ต่ำ (8-80 ยกเว้นกรณีผงโลหะอัดชนิด โมลิเพอมาลอยด์ (MolyPermalloy Powder core : MPP) ที่ความถี่สูงถึง 550 ) และใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ จึงนิยมประยุกต์ใช้งานเป็นตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองในย่านความถี่ประมาณ 1-100kHz ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวจะอยู่ระหว่าง 5,000-10,000 เกาส์



รูปที่ 3.3 การแบ่งประเภทของสารแม่เหล็กที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

### 3.2.1 แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound Core)

แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound Core หรือ metal alloy tape wound cores) ซึ่งนิยมเรียกกันว่า TWC จัดเป็นเฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อน (soft ferromagnetic) โดยเกิดการใช้อัลลอยด์ (alloy) เช่น เพอมาลอยด์ (permalloy) ซึ่งแกนเหล็กที่ทำจากสารดังกล่าว จะมีคราฟลูตลักษณะของความหนาแน่นต่อความเข้มสนามแม่เหล็กใกล้เคียงอุดมคติ คือ เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ค่าความซาบซึมแม่เหล็กและความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุ่มมีค่าสูง อย่างไรก็ตาม ความต้านทานไฟฟ้าภายในแกนแม่เหล็กจะมีค่าต่ำ จึงเป็นที่มาของการแบ่ง TWC ออกเป็นแผ่นบางๆ เพื่อลดค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนภายในแกนแม่เหล็ก โดยส่วนใหญ่แล้ว TWC จะนิยมใช้กับความถี่กำลัง เช่น 50, 60 และ 400Hz เป็นต้น แต่ TWC จะไม่นิยมใช้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซิ่ง เพราะแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่งจะทำงานที่ความถี่สูง (ประมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 70kHz) เป็นผลทำให้ ถ้าใช้แกนแม่เหล็กดังกล่าว จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนมีค่าสูงนั่นเอง



รูปที่ 3.4 ภาพของแกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ

อย่างไรก็ตาม สารโลหะผสมชนิดอะมอร์ฟัส (amorphous metal alloy) เป็นสารแม่เหล็กอัลลอยด์ชนิดใหม่ โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ค่าลึงไฟฟ้าสูญเสียต่ำ และเป็นที่ยอมรับใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งที่มีความถี่สวิตซ์ซึ่งประมาณ 100-200kHz และโดยส่วนมากนั้นจะใช้เป็นวงจรขยายแบบแม่เหล็ก (magnetic amplifier) ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งดังกล่าว

ตัวอย่างสารแม่เหล็กที่ใช้ทำเป็น TWC จากบริษัท Magnetic จะได้แก่ MAGNESEL (3 percent SiFe), Orthonol (50 percent Ni), supermendur, permalloy (80 percent Ni) และ amorphous (iron-base or cobalt-base) เป็นต้น นอกจากนี้ ข้อดีของ TWC อื่นๆที่มีคือจะมีค่าสูงมาก ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารเฟอร์ไรต์อีกด้วย

### 3.2.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด (Powder Core)

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะอัด จะเกิดจากสารอัลลอยด์ (alloy material) เป็นหลักการในการทำเป็นผงแป้งละเอียด (fine powder) จากนั้นนำผงแป้งดังกล่าวผสมกับสารซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกอนุภาค (particle) ต่างๆ ออกจากกัน ซึ่งจะเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานไฟฟ้านั่นเอง จากนั้นจะนำมาขึ้นรูปแกนแม่เหล็ก ซึ่งโดยมากรูปทรงของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด มักจะอยู่ในรูปทรงทอรอยด์ (toroidal shape) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นแกนแม่เหล็กแบบผงโลหะอัด จะคุณสมบัติในการสะสมพลังงานได้ดีจึงนิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำ และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรหลายแบบ อย่างไรก็ตามพลังงานไม่ได้สะสมในส่วนที่มีค่าความซึมซาบได้สูงๆ แต่จะสะสมในย่านที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (non-magnetic) หรือในย่าน ที่มีค่าความซึมซาบได้ต่ำๆ ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปในแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด โดยที่การแบ่งประเภทของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกตามค่าความซึมซาบได้ ซึ่งจอยุ่ในย่าน  $\mu_r = 15-200$  ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาค หรือส่วนผสมต่างๆ นอกจากนั้น แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด ยังไม่นิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพราะมีค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ต่ำ เป็นผลทำให้ค่ากระแสทำแม่เหล็กจะมีค่าสูง และมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงาน (energy storage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว เพราะ เมื่อค่ากระแสทำแม่เหล็กสูง หมายถึง กำลังสูญเสียจะมีค่าสูงขึ้น และหน้าที่หลักของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นคือ ถ่ายพลังงาน (energy transfer) ไม่ใช่การสะสมพลังงาน

แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกเป็น 3 สามชนิด ได้แก่ MolyPermalloy, High Flux และ Kool Mu ซึ่งรายละเอียดของทั้ง 3 แบบ แสดงได้ดังต่อไปนี้



### รูปที่ 3.5 แกนแม่เหล็กแบบทอรอยด์

#### 1. แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด โมลิเพอร์มาลอยด์ (MolyPermalloy Powder (MPP) Core)

MPP จะเกิดจากเพอร์มาลอยด์เป็นส่วนผสม ในทำนองเดียวกันกับของกรณี TWC เพียงแต่ว่า MPP จะมีความเข้มข้นได้น้อยกว่า โดยจะมีให้เลือกทั้งหมด 10 ค่า ตั้งแต่ 14-550 ซึ่งจะแตกต่างจากสารโลหะเพอร์มาลอยด์ (permalloy metal) ทั่วไปที่จะมีความเข้มข้นประมาณตั้งแต่ 10,000-20,000 โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดสอบ สาเหตุที่ MPP มีความเข้มข้นได้ลดลง เนื่องจากเกิดการแยกองค์ประกอบของเพอร์มาลอยด์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (insulating medium) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องอากาศกระจายอยู่ภายในแกน MPP ดังกล่าว และด้วยช่องอากาศที่กระจายอยู่ภายในแกนดังกล่าว มีผลทำให้ผงโลหะอัดเพอร์มาลอยด์ (permalloy powder) สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี

คุณสมบัติเด่นของแกนแม่เหล็กชนิด MPP ก็คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำมากและสะสมพลังงานได้สูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังความถี่สูง

#### 2. แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด ไฮฟลักซ์ (High Flux Powder Power Core)

เรียกย่อๆ ว่า ไฮฟลักซ์ (High Flux) จะเกิดจากการใช้สารที่คล้ายคลึงกับ Orthonol (50Ni-50Fe) เป็นส่วนผสมแทนเพอร์มาลอยด์ เป็นผลทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าสูงกว่ากรณีเพอร์มาลอยด์ จึงเป็นที่มาชื่อ "ไฮฟลักซ์" นอกจากนั้นก็คล้ายกับกรณีเพอร์มาลอยด์ คือ สะสมพลังงานได้สูง และสามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี และข้อเด่นของ ไฮฟลักซ์เหนือกว่าเพอร์มาลอยด์ ก็คือ มีขนาดเล็กลงและมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่ากรณีเพอร์มาลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัลลอยด์ (Kool Mu Powder Core)

เรียกย่อๆ ว่า "คูลมู" (Kool Mu) จะเกิดจากการใช้สารเฟอร์รัสอัลลอยด์ (ferrous alloy) เป็นส่วนผสม โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่า MPP แต่จะมีราคาถูกกว่า ในขณะที่พลังงานสะสมมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตาม คูลมูจะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำกว่ากรณี iron powder cores นอกจากนี้คุณสมบัติของคูลมูยังนิยมใช้ทำเป็นวงจรกรองสัญญาณรบกวน (In-line noise filter) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำภายในวงจรดังกล่าวจะต้องรองรับไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูงๆ โดยที่แกนแม่เหล็กต้องไม่เกิดการอิ่มตัว ซึ่งตัวเหนี่ยวนำที่ดีจะมีขนาดเล็ก และมีจำนวนรอบในการพันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้แกนเฟอร์ไรต์ คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของคูลมู ก็คือ มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูง (10,000 เกาส์) และ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นผลทำให้คูลมูนั้น นิยมใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงหนึ่งทิศทาง (unidirectional drive application) และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรหลายเบ็ค เป็นต้น

ดังนั้น สามารถสรุปการเลือกใช้สารแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัล สำหรับการออกแบบอุปกรณ์แม่เหล็กในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้ดังนี้ เลือกใช้ MPP ในการออกแบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูงและเลือกใช้ "ไฮฟลักซ์" ในการออกแบบที่มีจำกัดเรื่องขนาด ในขณะที่ "คูลมู" จะเลือกใช้เมื่อต้องการออกแบบโดยเน้นในเรื่องของราคา และมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในตาราง

Permeability	14-550	14-160	26-125
Core Loss	Lowest	Moderate	Low
Perm vs. DC Bias	Better	Best	Good
Saturation ( $B_{sat}$ )	7.5 Kilogauss	15 Kilogauss	10.5 Kilogauss
Nickel Content	80%	50%	0%
Relative Cost	High	Medium	Low

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบ powder core แบบต่างๆ

### 3.2.3 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

กรรมวิธีการผลิตเฟอร์ไรต์นั้น จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เนื่องจาก วัตถุดิบที่ใช้ (raw materials) จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ (oxides of various metals) เช่น เหล็ก (iron) แมงกานีส (manganese) สังกะสี (Zinc) ซึ่งโดยทั่วไป ออกไซด์จะทำหน้าเป็นฉนวน เป็นผลทำให้เฟอร์ไรต์มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่ากรณีใช้อัลลอยด์ (Magnetic Alloy) ทำให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ความถี่สูงๆ จนกระทั่งถึงย่านเมกะเฮิรตซ์ และด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการเผาส่วนผสมจากออกไซด์เหล็ก (iron oxide) ร่วมกับออกไซด์ หรือคาร์บอนของแมงกานีสและสังกะสี หรืออาจจะร่วมกับออกไซด์ หรือคาร์บอนของนิกเกิลและสังกะสี เป็นต้น ทำให้แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นสารเซรามิก (ceramic material) โดยที่ MnZn Ferrite จะใช้กับงานที่มีความถี่ใช้งานสูงถึง 1-2 MHz ซึ่งหมายรวมถึง power ferrite materials ที่นิยมใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบกำลังสวิตซ์ซึ่ง ในขณะที่ NiZn Ferrite ซึ่งจะมีค่าความซึมซาบได้ต่ำ และมีความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

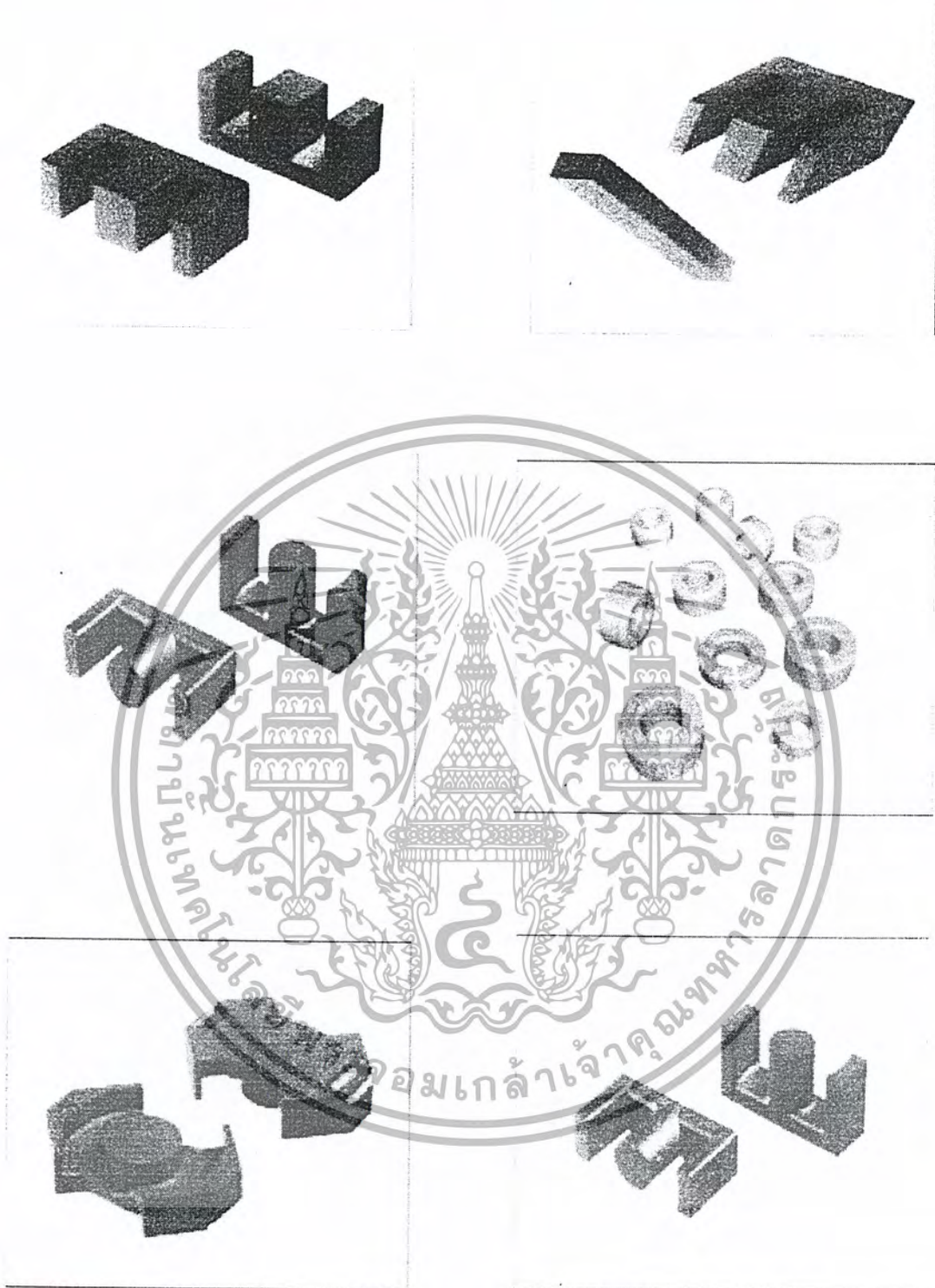
ไฟฟ้าสูง ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำ ซึ่งนิยมใช้ตั้งแต่ความถี่ 1 MHz จนกระทั่งหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ โดยทั่วไปค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.500-3.000 นอกจากนั้นแกนเฟอร์ไรต์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า เหตุผลที่แกนเฟอร์ไรต์เป็นที่นิยมใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังก็เพราะว่า มีราคาถูก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนมีค่าต่ำกว่าแกนที่ทำมาจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ



รูปทรงของแกนแม่เหล็กยังมีหลายแบบดังแสดงในรูปที่ 3.7 อย่างไรก็ตามข้อเสียหลักของแกนเฟอร์ไรต์ คือ การเป็นขรามิก นั่นก็หมายถึง โครงสร้างของแกนเฟอร์ไรต์จะเปราะและแตกง่าย และความค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว มีค่าต่ำกว่าแม่เหล็กชนิดอื่นๆ โดยเปรียบเทียบ powder core กับเฟอร์ไรต์ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดของ powder core (0.8 เทสลา) จะมีค่าสูงกว่าของแกนเฟอร์ไรต์ (0.3 เทสลา) ซึ่งทำให้ขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากแกน powder core จะมีขนาดเล็กกว่าแกนเฟอร์ไรต์ อย่างไรก็ตาม ตัวเหนี่ยวนำที่มีความถี่ใช้งานสูงกว่า 100kHz จะนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากกว่าแกนแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เพราะ มีปัญหาเรื่องความสูญเสียในแกน powder core จะมีค่าสูงมาก เมื่อความถี่ที่ใช้งานสูงกว่า 100kHz และปัญหาในเรื่องการพันขดลวดทองแดง

จากคุณสมบัติต่างๆ ของสารแม่เหล็กที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น ทำให้เราสามารถสรุปได้ทันทีว่า สารแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาใช้งานในช่วงความถี่สูงนั้น ก็ สารชนิดเฟอร์ไรต์ เพราะ เฟอร์ไรต์นั้น มีค่าความสูญเสียต่ำมาก เมื่อใช้งานในช่วงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างรูปทรง แกนแม่เหล็กแบบฟอร์ไรต์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 62070 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAGNETIC MATERIAL	FREQUENCY RANGE			
	1KHz	10KHz	100KHz	1MHz
TRANSFORMER LAMINATIONS (NICKEL-IRON)	UO = 5,000 - 60,000 Bm = 8,000 - 15,000			
TAPE WOUND CORES (NICKEL-IRON)	UO = 5,000 - 100,000 Bm = 8,000 - 20,000			
TAPE WOUND CORES (NICKEL-IRON)	UO = 3,000 - 20,000 Bm = 5,000 - 16,000			
CUT CORES (NICKEL-IRON)	UO = 1,000 - 25,000 Bm = 8,000 - 20,000			
BOBBIN CORES (NICKEL-IRON)		UO = 5,000 - 100,000 Bm = 8,000 - 15,000		
PERMALLOY POWDER CORES (80% Ni)		UO = 14 - 550 Bm = 7,000		
HIGH FLUX POWDER CORES (50 Ni - 5% Fe)		UO = 14 - 160 Bm = 14,000		
KOOL MU POWDER CORES		UO = 28 - 125 Bm = 14,000		
FERRITES (MnZn)			UO = 750 - 16,000 Bm = 3,500 - 5,000	

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบความถี่ใช้งานของแกนแม่เหล็กชนิดต่างๆ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์แม่เหล็กที่ใช้อยู่ในแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิ่ง	คุณลักษณะของแกนแม่เหล็กที่ต้องการ
วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI filter) - common mode filter - In-line-filter	ค่าความซาบซึมได้สูง (high permeability) จุดอิ่มตัวสูง (high saturation : $B_{max}$ )
ตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรปรับปรุงค่าประกอบกำลัง (Power Factor Correction Inductor : PFC choke)	ค่าไบอัสไฟฟ้กระแสตรงสูง (high DC bias)
หม้อแปลงไฟฟ้ - ความถี่สูง (มากกว่า 20 kHz) - ความถี่ต่ำ (น้อยกว่า 20 kHz)	ค่าความสูญเสียต่ำ จุดอิ่มตัวสูง (high saturation : $B_{max}$ )
Magnetic Amplifier (Mag Amp)	ค่าความสูญเสียต่ำ ค่า $B_r / B_m$ สูง
ตัวเหนี่ยวนำค้ำนออก (regulating inductor)	จุดอิ่มตัวสูง (high saturation : $B_{max}$ )

ตารางที่ 3.3 สรุปอุปกรณ์แม่เหล็กที่ใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซิ่ง

### 3.3 เหตุผลที่เลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบ EE Core

ข้อดี

1. ราคาของแกนไม่แพง
2. การประกอบทำได้ง่าย และสามารถประกอบกลับทิศทางกันได้
3. สามารถปรับเปลี่ยนขนาดสายไฟได้ง่าย
4. สามารถเพิ่มช่องอากาศ สำหรับ Inductance ที่เฉพาะเจาะจงได้
5. ค่าความสูญเสียต่ำ เมื่อเทียบกับแกนรูปทรงอื่น เมื่อใช้ที่ความถี่สูง
6. ระบายความร้อนได้ดี

ข้อเสีย

1. การปกป้องอยู่ในระดับต่ำ เพราะ แดกง่าย

### 3.4 ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูง มีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตจากฟูลบริดจ์ ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 V ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟฟ้ค่าต่ำที่เอาต์พุต และ ทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้ดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งมีรายละเอียดดังนี้

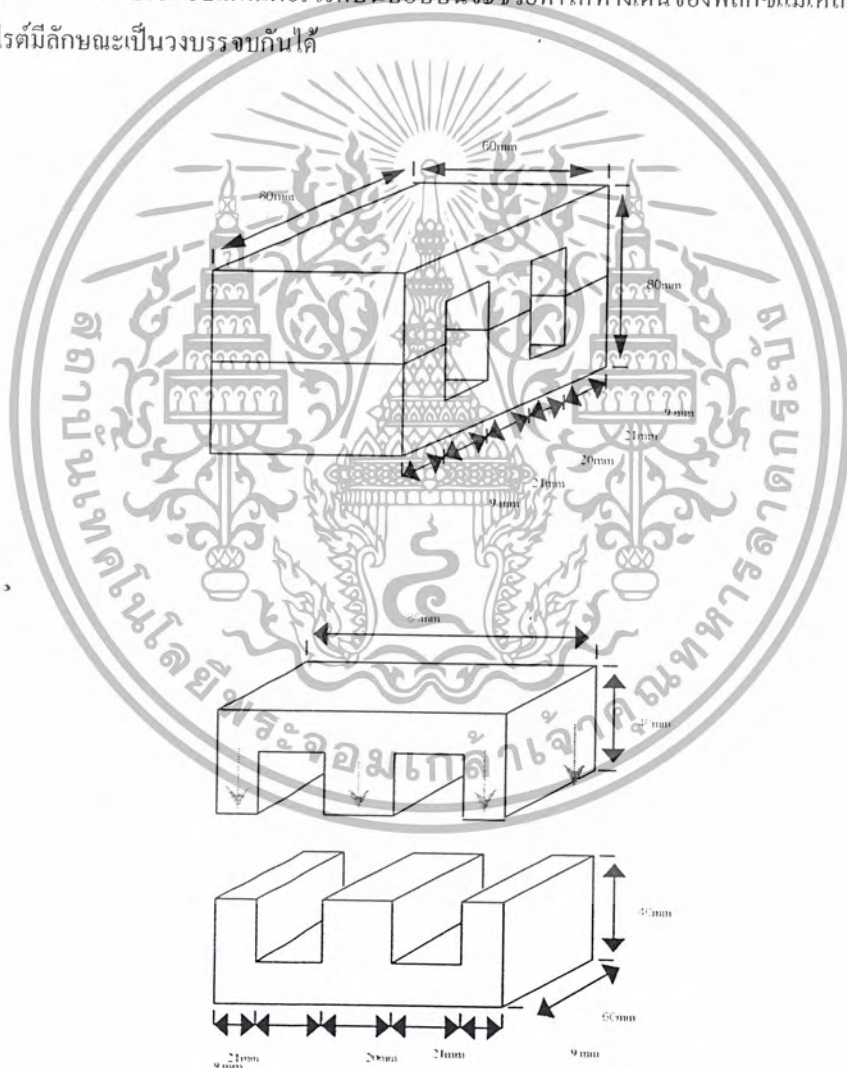
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 แกนแม่เหล็ก (Core)

แกนแม่เหล็กที่ใช้คือ เฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเห็นขั้วนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเห็นขั้วนำแม่เหล็กบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนหม้อแปลงสวิตซิ่งนั้นจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตซิ่งโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE หรือแกนแบบ Toroid เป็นต้น

ปกติแล้วผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับขอบขิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนขอบขิ้นจะช่วยทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบกันได้

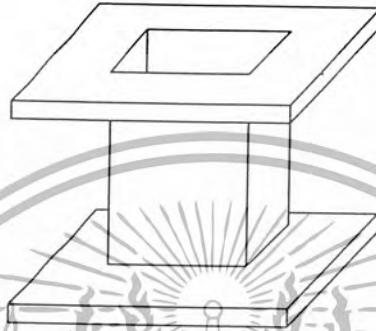


รูปที่ 3.8 ลักษณะและขนาดของแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 บอบบิ้น

บอบบิ้นหรือแบบรองพื้น ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูง และไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์นั้นสะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันและบัดกรีติดกับแผ่น PCB



รูปที่ 3.9 ลักษณะของบอบบิ้น

### 3.4.3 ลวดทองแดงอบน้ำยา

การพันขดลวด ทั้งขดลวดปฐมภูมิ และ ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตซิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติแล้วจะใช้ลวดทองแดง โดยลวดที่จะใช้พื้นนั้นจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ ในขณะที่หม้อแปลงทำงาน สำหรับหม้อแปลงสวิตซิ่งกระแสสลับที่ไหลผ่านขดลวดนั้นที่ความถี่สูงๆ ลวดทองแดงจะมีการนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีมากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวด ก็มีผลทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดเช่นกัน ค่าลิ่งที่สูญเสียเหล่านี้จะทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาด และวิธีการพันขดลวดจึงต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

### 3.4.4 เทปฉนวน

เทปฉนวนใช้พื้นสำหรับเป็นฉนวนระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตซิ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ โดยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 - 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับารออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตซิ่งเป็นหลัก

เทพฉนวน สามารถออกแบบได้เป็นกลุ่มตามวัสดุที่ใช้ อัตราทนอุณหภูมิขณะใช้งานของมัน การเลือกใช้เทพฉนวนไม่ว่าจะเป็นกลุ่มใดก็ตาม จะต้องเลือกให้มีอัตราทนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุด คือ กลุ่ม H นั้นมีอัตราทนอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งานเพียง 180 องศา อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดในหม้อแปลงจึงไม่ควรเกิน 180 องศา ในทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ควรกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของหม้อแปลงสวิตซ์ไว้ไม่เกิน 85 องศา ตามอัตราทนอุณหภูมิปกติ (Typical ambient temperature) ของเทพฉนวน

อย่างไรก็ตาม เพื่อความปลอดภัยในกรณีที่มีหม้อแปลง หรือวงจรทำงานผิดปกติ อาจทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวดเช่นกรณีการลัดวงจร ดังนั้นเทพฉนวนจะต้องทำจากวัสดุที่ไม่ติดไฟ (Flame retardant) เพื่อป้องกันการลุกลามไฟที่เทพฉนวน

### 3.5 สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

#### 3.5.1 การเลือกอุปกรณ์ ต้องพิจารณา ดังนี้

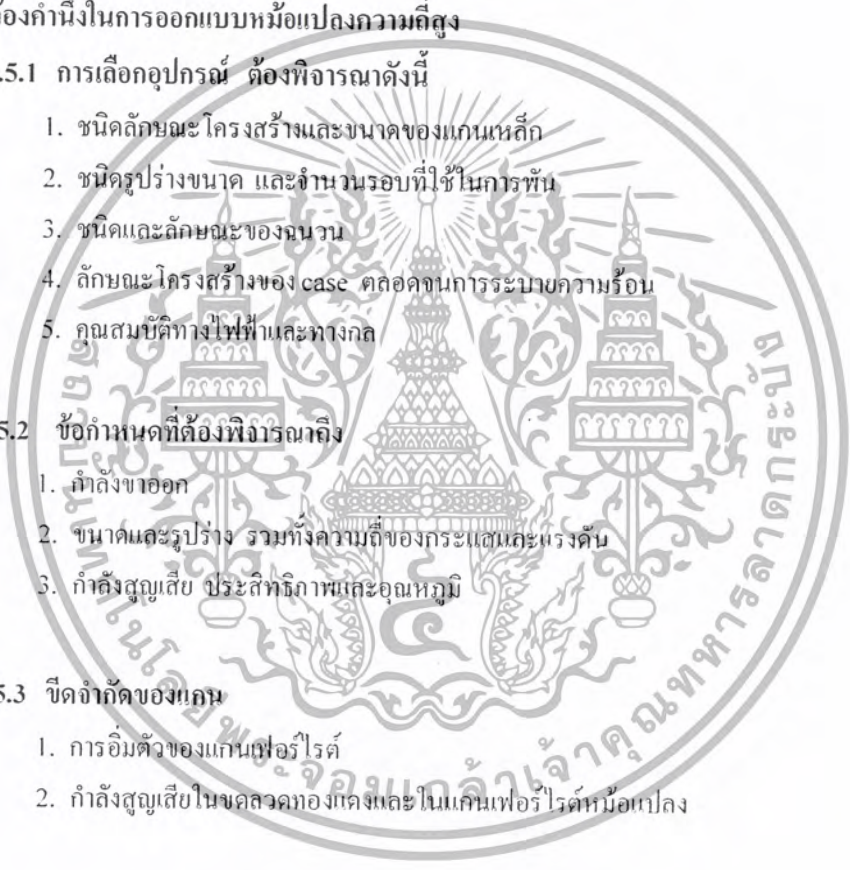
1. ชนิดลักษณะ โครงสร้างและขนาดของแกนเหล็ก
2. ชนิดรูปร่างขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพัน
3. ชนิดและลักษณะของฉนวน
4. ลักษณะ โครงสร้างของ case ตลอดจนการระบายความร้อน
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกล

#### 3.5.2 ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาถึง

1. กำลังขาออก
2. ขนาดและรูปร่าง รวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน
3. กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพและอุณหภูมิ

#### 3.5.3 ขีดจำกัดของแกน

1. การอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์
2. กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงและในแกนเฟอร์ไรต์หม้อแปลง



### 3.6 ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงวิธี Electrical Solution

จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง สมการ

$$e = N.Ae.\left(\frac{dB}{dt}\right) \times 10^{-8} \quad (3.6.1)$$

เราสามารถคำนวณความหนาแน่นฟลักซ์ (B) ที่แน่นอนได้ โดยการกำหนดการทำงานของหม้อแปลงให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสม

$$B_{max} = \frac{V_p \times 10^8}{K.f.N_p.Ae} \quad (3.6.2)$$

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด  $B_{max}$  ด้วยตนเอง ภายในบริเวณเชิงเส้นตรงอ้างอิงกราฟ B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ  $B_{max} = B_{sat} / 2$  จากสมการที่ 3 จะได้จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิจากสมการ

$$N_p = \frac{V_p \times 10^8}{4.f.B_{max}.Ae} \quad (3.6.3)$$

จาก

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (3.6.4)$$

ดังนั้น

$$N_s = \frac{N_p.V_s}{V_p} \quad (3.6.5)$$

ในการเลือกแกนยังมีตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวแปร ตัวแปรตัวแรกคือ พื้นที่ของช่องหน้าต่างของแกน (หรือขอบบ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอๆ กับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิดค่าความสูญเสียในขดลวดน้อยที่สุด และตัวแปรที่สองคือ ค่าความสามารถในการรองรับกำลังของแกนแม่เหล็ก สมการของตัวพารามิเตอร์มีดังสมการ

$$P_{out} = (1.16 B_{max}.f.d.Ae.Ac).10^{-6} \quad (3.6.7)$$

โดยปกติแล้วความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mills Per Ampere (cm/A) ใช้สัญลักษณ์เป็น J โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ d ได้ดังสมการ

$$d = \frac{1.27 \times 10^{-6}}{J} \quad (3.6.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสมการทั้งสองข้างต้นจะได้

$$P_{out} = \frac{(1.47 f \cdot B_{max} \cdot A_e \cdot A_c) 10^{-3}}{J} \quad (3.6.9)$$

ความหนาแน่นกระแส (J) จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวด ที่ความหนาแน่นกระแส 1000 cm/A ในทางปฏิบัติจะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำกว่า ค่าที่ใช้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย จากสมการที่ (3.6.9) จะได้ว่า

$$A_e \cdot A_c = \frac{(0.68 \times P_{out} \times J) \cdot 10^3}{f \cdot B_{max}} \quad (\text{mm}^4) \quad (3.6.10)$$

ทำการเลือกขนาดแกน โดยให้มีค่า  $A_e \cdot A_c$  มากกว่าที่คำนวณได้ 50 %

จาก  $I_{p_{max}} = \frac{1.5 \times P_{out}}{V_p} \quad (3.6.11)$

$$I_s = a \cdot I_{p_{max}} = \frac{N_p}{N_s} \cdot a \cdot I_{p_{max}} \quad (3.6.12)$$

หาขนาดขดลวดจาก  $A_{wp} = J \cdot I_p \quad (\text{mm}^2) \quad (3.6.13)$

$$A_{ws} = J \cdot I_s \quad (\text{mm}^2) \quad (3.6.14)$$

นำค่าที่  $A_{wp}$  และ  $A_{ws}$  ที่ได้มาเปิดตารางลวดมาตรฐาน SWG เลือกขนาดขดลวดที่มีพื้นที่หน้าตัด ( $\text{mm}^2$ ) มากกว่าที่คำนวณได้

โดยที่	$P_{out}$	หมายถึง	กำลังที่จ่ายให้ ( W )
	$d$	หมายถึง	ความหนาแน่นของกระแสในขดลวด ( A/m <sup>2</sup> )
	$J$	หมายถึง	ความหนาแน่นของกระแสในขดลวด ( c.m./A )
	$A_e$	หมายถึง	พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ( mm <sup>2</sup> )
	$A_c$	หมายถึง	พื้นที่ของช่องหน้าต่างของแกนเหล็ก ( mm <sup>2</sup> )
	$N_p$	หมายถึง	จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
	$N_s$	หมายถึง	จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ
	$V_p$	หมายถึง	แรงดันทางด้านปฐมภูมิ
	$V_s$	หมายถึง	แรงดันทางด้านทุติยภูมิ
	$B_{max}$	หมายถึง	ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด ( Gauss )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $f$  หมายถึง ความถี่ที่ใช้งาน ( Hz )  
 $K$  หมายถึง ค่าคงที่เท่ากับ 4.44 สำหรับแรงดัน sine wave และเท่ากับ 4.0 สำหรับแรงดัน square wave  
 $a$  หมายถึง Transformer ratio  $\left( \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = a \right)$

### 3.7 ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงวิธี Area Product Ap Approach

Ap Approach : เป็นการออกแบบโดยใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสลวดตัวนำ ในการกำหนดขนาดแกน

จาก 
$$\Delta \phi_m = \frac{\int V dt}{N} = \frac{V \cdot \frac{t}{2}}{N} = nB \max \cdot Ae$$

$$N_p = \frac{V_p}{2 \cdot n \cdot B \max \cdot Ae \cdot f} \quad (3.7.1)$$

$$N_s = \frac{V_s}{2 \cdot n \cdot B \max \cdot Ae \cdot f} \quad (3.7.2)$$

โดยที่สมการที่ 1 และ 2 ใช้สำหรับ Square Wave

$$N_p = \frac{V_{p_{rms}}}{4.44 \cdot n \cdot B \max \cdot Ae \cdot f} \quad (3.7.3)$$

$$N_s = \frac{V_{s_{rms}}}{4.44 \cdot n \cdot B \max \cdot Ae \cdot f} \quad (3.7.4)$$

โดยที่สมการที่ 3 และ 4 ใช้สำหรับ Sine wave

กำหนดให้  $n = 1$  เมื่อมี DC Magnetizing Current

$n = 2$  เมื่อไม่มี DC Magnetizing Current

จาก 
$$K \cdot Ae = N_p \cdot Aw_p + N_s \cdot Aw_s \quad (3.7.5)$$

และ 
$$J = \frac{I_{rms}}{Aw} \quad (3.7.6)$$

จะได้ 
$$K \cdot Ae = N_p \cdot \frac{I_{p_{rms}}}{J} + N_s \cdot \frac{I_{s_{rms}}}{J} \quad (3.7.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้  $K = 0.3 - 0.9$  ; ซิดจัมคักของพื้นที่หน้าต่าง  
เมื่อแทนค่า  $N_p$  และ  $N_s$  จะได้ว่า

$$K.Ac = \left( \frac{V_{p_{rms}}}{2.n.B \max .Ae.f} \cdot \frac{I_{p_{rms}}}{J} \right) + \left( \frac{V_{s_{rms}}}{2.n.B \max .Ae.f} \cdot \frac{I_{s_{rms}}}{J} \right)$$

$$K.Ac = \frac{V_p.I_{s_{rms}} + V_s.I_{p_{rms}}}{2.n.B \max .Ae.f.J} \quad (3.7.8)$$

โดยทั่วไป  $V_p.I_{p_{rms}} = V_s.I_{s_{rms}} = P_{out}$

$$K.Ac = \frac{2P_{out}}{2.n.B \max .Ae.f.J} \quad (3.7.9)$$

$$A_p = Ae.Ac = \frac{P_{out}}{n.B \max .Ae.f.J} \quad (3.7.10)$$

ทำการเลือกขนาดแกน โดยให้มีค่า  $A_p$  มากกว่าที่คำนวณได้  
หาขนาดขดลวด จากสมการที่ (3.7.5) โดยกำหนดให้

$$N_p.A_{wp} = N_s.A_{ws} = \frac{K.Ac}{2}$$

จะได้ว่า  $A_{wp} = \frac{K.Ac}{2.N_p}$  (3.7.11)

และ  $A_{ws} = \frac{K.Ac}{2.N_s}$  (3.7.12)

นำค่าที่  $A_{wp}$  และ  $A_{ws}$  ที่ได้มาเปิดตาราง AWG เพื่อเลือกขนาดขดลวดที่มีพื้นที่หน้าตัด  
(mm<sup>2</sup>) ให้มากกว่าที่คำนวณได้

โดยที่	$P_{out}$	หมายถึง กำลังที่จ่ายให้ ( W )
	$J$	หมายถึง ความหนาแน่นของกระแสในขดลวด ( A/cm. <sup>2</sup> )
	$A_e$	หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ( mm <sup>2</sup> )
	$A_c$	หมายถึง พื้นที่ของช่องหน้าต่างของแกนเหล็ก ( mm <sup>2</sup> )
	$N_p$	หมายถึง จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$N_s$	หมายถึง จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ
$I_p$	หมายถึง แรงแค้นทางด้านปฐมภูมิ
$I_s$	หมายถึง แรงแค้นทางด้านทุติยภูมิ
$B_{max}$	หมายถึง ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด (Tesla)
$f$	หมายถึง ความถี่ที่ใช้งาน ( Hz )
$a$	หมายถึง Transformer ratio $(\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = a)$

### 3.8 ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูงวิธี Area Product Design

ศึกษาการออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูง สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่ง ในที่นี้ใช้ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังความถี่สูง

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีผลคูณพื้นที่ มีสมการดังนี้

$$A_p (\text{area product}) = A_c (\text{core-cross section}) \times A_w (\text{window area}) \quad (3.8.1)$$

เมื่อ  $A_c$  = พื้นที่หน้าตัดของแกน core area

$A_w$  = พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน window area

จาก Faraday's Law สามารถหาการเหนี่ยวนำลัดดาไฟฟ้า (Induce Voltage) เมื่อจำนวนรอบที่พันอยู่  $N$  รอบ โดยกำหนดว่า ในวงจรแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่คดโค้งขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเหล็ก มีค่าเท่ากันทุกรอบ ถ้าปล่อยสัญญาณรูป sine เข้ามา

$$e(t) = \frac{Nd\phi(t)}{dt} \quad (3.8.2)$$

$$\phi(t) = \phi_{max} \sin(\omega t) \quad (3.8.3)$$

$$e(t) = \omega NB_{max} A_c \cos(\omega t) \quad (3.8.4)$$

$$e(t) = E_{max} \cos(\omega t) \quad (3.8.5)$$

ในทางปฏิบัตินิยมใช้ค่า rms เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} \quad (3.8.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{rms} = \frac{2\pi fNB_{max}A_c}{\sqrt{2}} \quad (3.8.7)$$

$$E_{rms} = 4.44fNB_{max}A_c \quad (3.8.8)$$

$$E_{rms} = 4k_f fNB_{max}A_c \quad (3.8.9)$$

โดยที่  $k_f$  มีค่า 1 สำหรับกรณีรูปคลื่นแรงดันสี่เหลี่ยม  
 $k_f$  มีค่า 1.11 สำหรับกรณีรูปคลื่นแรงดันไซน์  
 N หมายถึง จำนวนรอบขดลวด  
 $f$  หมายถึง ความถี่ ( $H_z$ )  
 $B_{max}$  หมายถึง ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Tesla)  
 $A_c$  หมายถึง พื้นที่หน้าตัดแกน ( $m^2$ )

ดังนั้น จะได้ จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ และจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ

$$N_1 = \frac{E_1}{4K_f A_c B_m f} \quad (3.8.10)$$

และ  $N_2 = \frac{E_2}{4K_f A_c B_m f} \quad (3.8.11)$

กระแสไฟมีค่าเท่ากับ  $I = J \times a_{wire} \quad (A) \quad (3.8.12)$

$J$  หมายถึง ความหนาแน่นของกระแส ( $A/m^2$ )

$a_{wire}$  หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของขดลวด เป็น  $m^2$

ถ้ากำหนดให้ จำนวนรอบขดลวดชั้นปฐมภูมิ มีพื้นที่หน้าตัด  $a_1$  และขดลวดชั้นทุติยภูมิ มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ  $a_2$

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดตัวนำทั้งหมด  $N_1 a_1 + N_2 a_2$  ควรเท่ากับ Window Area พอดี แต่ในทางปฏิบัติ ขดลวดประกอบด้วย ฉนวนของขดลวด และกระดาษระหว่างขดลวด และช่องว่างเป็นต้น จึงให้  $k_w$  เป็น Window Utilization Factor เป็นค่าชดเชย เขียนสมการได้ดังนี้

$$K_w A_w = N_1 a_1 + N_2 a_2 \quad (3.8.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $a_{wire} = \frac{I}{J}$  (ให้ J คงที่ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ)

จะได้  $K_w A_w J = N_1 I_1 + N_2 I_2$  (3.8.14)

โดยที่  $I_1$  หมายถึง ค่ารอกำลังสองเฉลี่ยของกระแสปฐมภูมิ (A)  
 $I_2$  หมายถึง ค่ารอกำลังสองเฉลี่ยของกระแสทุติยภูมิ (A)  
 $N_1$  หมายถึง จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ  
 $N_2$  หมายถึง จำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ

เอาค่า  $N_1$  และ  $N_2$  ในสมการ (3.2.14)

จะได้  $K_w A_w J = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{4JK_f B_m f}$  (3.8.15)

$$A_p = A_c A_w = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{4JK_w K_f B_m f} \quad (3.8.16)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ  $P_{o2}$  มีค่าเท่ากับ  $E_2 I$  โดยที่  $E_2$  หมายถึง ค่ารอกของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิ แล้วจะได้กำลังไฟฟ้าจริงด้านปฐมภูมิ

$$P_{o2} = P_{o1} \times \eta \quad (3.8.17)$$

$\eta$  หมายถึง ประสิทธิภาพ

$E_1$  หมายถึง ค่ารอกของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิ

จาก  $A_p = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{4JK_w K_f B_m f}$  (3.8.18)

$$A_p = \frac{P_{o1} + P_{o2}}{4JK_w K_f B_m f} \quad (3.8.19)$$

$$A_p = \frac{P_{o2} \left[1 + \frac{1}{\eta}\right]}{4JK_w K_f B_m f} \quad (3.8.20)$$

โดยที่  $P_{o2} =$  กำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ (W)  
 $P_{o1} =$  กำลังไฟฟ้าจริงด้านปฐมภูมิ (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการเลือกขนาดของขดลวด  
ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจะเท่ากับ

$$I_{secondary} = I_o \sqrt{D_{max}} \quad (3.8.21)$$

$$I_{primary} = n \times I_{secondary} \quad (3.8.22)$$

โดยที่  $D_{max}$  หมายถึง ค่า Duty Ratio สูงสุด  
 $n$  หมายถึง Turn Ratio  
 $I_o$  หมายถึง กระแสค่านอก ( $A$ )

ขนาดของขดลวดค่านำด้าน Primary

$$a_{primary} = \frac{I_{primary}}{J} \quad (3.8.23)$$

ขนาดของขดลวดค่านำด้าน Secondary

$$a_{secondary} = \frac{I_{secondary}}{J} \quad (3.8.24)$$

จากสมการที่ (3.8.20) จะเห็นว่า ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่สามารถรองรับได้ จะสัมพันธ์กับขนาดของหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ โดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะกำหนดให้  $k_p$  มีค่าประมาณ 0.3–0.4 และค่าความหนาแน่นกระแส  $J$  มีค่าประมาณเท่ากับ 2–5 A/mm<sup>2</sup>

การเลือกแกนเหล็ก ทำได้โดยคำนวณหา  $A_p$  ดังสมการ แล้วเปรียบเทียบกับ  $A_p$  ที่คำนวณได้ กับ  $A_p$  ของผู้ผลิต โดยถือค่า  $A_p$  ที่กำหนดโดยผู้ผลิต ให้มากกว่าที่ได้จากกรคำนวณ

## บทที่ 4

### ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

จากการศึกษาและเปรียบเทียบทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงทั้ง 3 แบบในบทที่ 3 นั้น ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเลือกวิธีการออกแบบที่ดีที่สุดเพื่อมาทำการออกแบบ โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ โดยสรุปคือ วิธีการออกแบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด และมีความเหมาะสมที่สุดในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง คือ วิธี Area Product Design

โดยสาเหตุที่ไม่นำวิธี Electrical Solution มาทำการออกแบบ เนื่องจาก เป็นการออกแบบขั้นพื้นฐานที่มีการพิจารณาถึงรายละเอียดของตัวแปรน้อยมาก เหมาะสำหรับการออกแบบเพื่อใช้งานอย่างคร่าวๆ อีกทั้งหน่วยที่ใช้นั้นไม่ใช่หน่วยที่เป็นมาตรฐาน ทำให้เป็นปัญหาในการวิเคราะห์การออกแบบ และอีกหนึ่งปัจจัยคือ เบอร์ขดลวดที่คำนวณได้ จากการออกแบบนั้น เปรียบเทียบจากตารางมาตรฐาน AWG ทำให้ยากต่อการซื้อขดลวด เนื่องจากขดลวดที่ขายตามท้องตลาดภายในประเทศนั้นเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐาน SWG ทั้งสิ้น

สาเหตุที่ไม่นำวิธี Area Product Ap Approach มาทำการออกแบบนั้น เนื่องจาก เบอร์ขดลวดที่คำนวณได้ จากการออกแบบนั้นเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐาน AWG เช่นเดียวกับวิธี Electrical Solution ทำให้ยากต่อการซื้อขดลวด

#### 4.1 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

โดยวิธี Area Product Design

ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง สำหรับวงจร Full Bridge Inverter

ขนาดกำลัง 300 W 50 kHz

1. เลือกแรงดันด้านออก ( $V_o$ ) 220V
2. เลือกแรงดันด้านเข้า ( $V_{in}$ ) 310V
3. ระบุความถี่ที่ใช้ (Hz) 30kHz
4. หาคะแสด้านออก ( $I_o$ )

จาก 
$$P_{o2} = (V_o + V_H) \times I_o$$

$V_H$  หมายถึง แรงดันตกคร่อมจากความต้านทานในขดลวด

เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมที่เกิดจากผลของความต้านทานในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นจะทำการเพื่อโดยให้  $V_H = 10\%$  ของ  $V_o$

โดยปกติเมื่อใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าไประยะเวลาหนึ่ง จะเกิดความร้อน ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า จึงเผื่อกำลังไฟฟ้าขึ้นไป 10%

$$330 = (220 + 22) \times I_o$$

$$I_o = 1.36 \text{ A}$$

### 5. เลือกขนาดแกน

จากวิธีผลคูณพื้นที่จะได้

$$A_p = \frac{P_{o2} \left[1 + \frac{1}{\eta}\right]}{4J K_w K_f B_m f}$$

$$A_p = \frac{330 \left(1 + \frac{1}{0.8}\right)}{4 \times 3 \times 0.5 \times 0.2 \times 30k}$$

$$A_p = 20.625 \text{ mm}^2$$

ใช้

$$J = 3 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

$$K_w = 0.5$$

$$B_{max} = 0.2 \text{ Tesla}$$

แกนแม่เหล็กที่ใช้โดยทั่วไปที่ความถี่สูง คือ แกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวประมาณ 0.3 เทสลา แต่ทางผู้ผลิตกำหนดให้ใช้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.2 เทสลา

ทำการเลือกแกนจากผู้ผลิตที่มีขายในท้องตลาดคือ แกนเบอร์ EE40/34B มีค่า

$$A_p = A_c A_w (137 \times 167) = 22.879 \text{ mm}^2$$

### 6. คำนวณจำนวนรอบ

จาก

$$N_1 = \frac{V_{primary} \max}{4 A_c B_{max} f}$$

$$N_1 = \frac{310 + 31}{4 \times 137 \times 10^{-6} \times 0.2 \times 30k}$$

$$N_1 = 104 \text{ รอบ}$$

ดังนั้น

$$N_2 = \frac{V_{secondary} \max}{4 A_c B_{max} f}$$

$$N_2 = \frac{220 + 22}{4 \times 137 \times 10^{-6} \times 0.2 \times 30k}$$

$$N_2 = 74 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. เลือกขนาดของขดลวด

ค่ารัอกของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจะเท่ากับ

$$I_{secondary} = I_o \sqrt{D_{max}}$$

$$I_{secondary} = 1.36 \times \sqrt{0.45}$$

$$I_{secondary} = 0.912 A$$

จาก  $I_{primary} = n \times I_{secondary}$

เมื่อ  $n$  หมายถึง Turn Ratio

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{74}{104} = 0.709$$

ดังนั้น  $I_{primary} = 0.709 \times 0.912$

$$I_{primary} = 0.646 A$$

## 7.1 ขนาดของขดลวดตัวนำด้าน Primary

$$a_{primary} = \frac{I_{primary}}{J}$$

$$a_{primary} = \frac{0.646}{3}$$

$$a_{primary} = 0.215 mm^2$$

เอาพื้นที่หน้าตัดไปเปิดตารางเบอร์ลวด ใช้ลวด เบอร์ 24

## 7.2 ขนาดของขดลวดตัวนำด้าน Secondary

$$a_{secondary} = \frac{I_{secondary}}{J}$$

$$a_{secondary} = \frac{0.912}{3}$$

$$a_{secondary} = 0.304 mm^2$$

เอาพื้นที่หน้าตัดไปเปิดตารางเบอร์ลวด ใช้ลวด เบอร์ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การตรวจสอบความถูกต้อง

$$A_u K_u \geq \sum_{i=1}^{\infty} a_i N_i$$

$$167 \times 0.5 \geq (0.245 \times 104) + (0.397 \times 74)$$

$$83.5 \geq 25.48 + 29.378$$

$$83.5 \geq 54.858$$

จะเห็นว่าเป็นไปตามเงื่อนไข แสดงว่า สามารถปรับขดลวดลงพื้นที่หน้าต่างของแกนแม่เหล็กได้พอดี

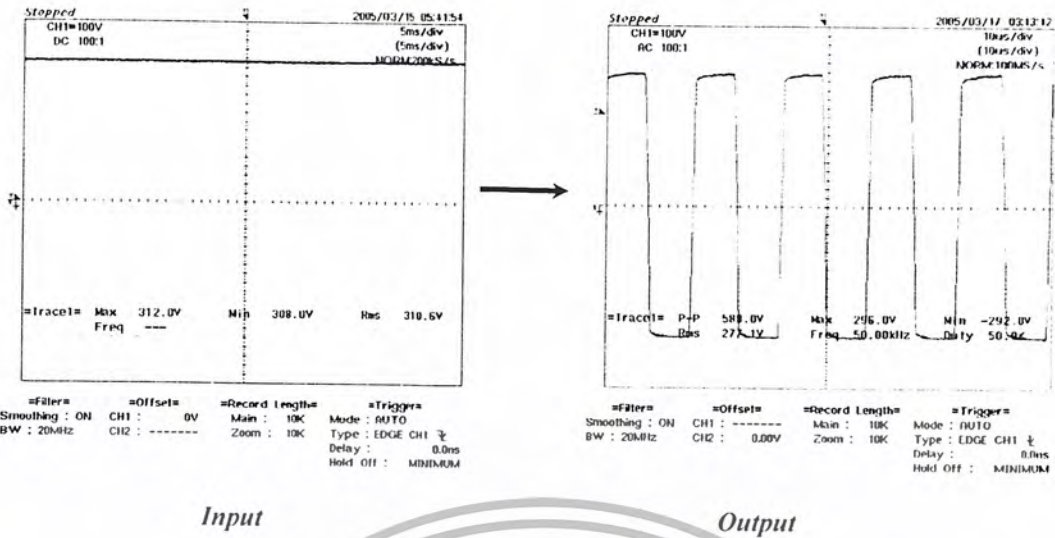
4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าเกิด Voltage Drop ที่วงจรรีเลย์มอเตอร์ด้านขาออก จากทฤษฎีที่ควรจะได้คือ 310V, 30kHz แต่ในความเป็นจริง ได้เพียง 277V, 30kHz



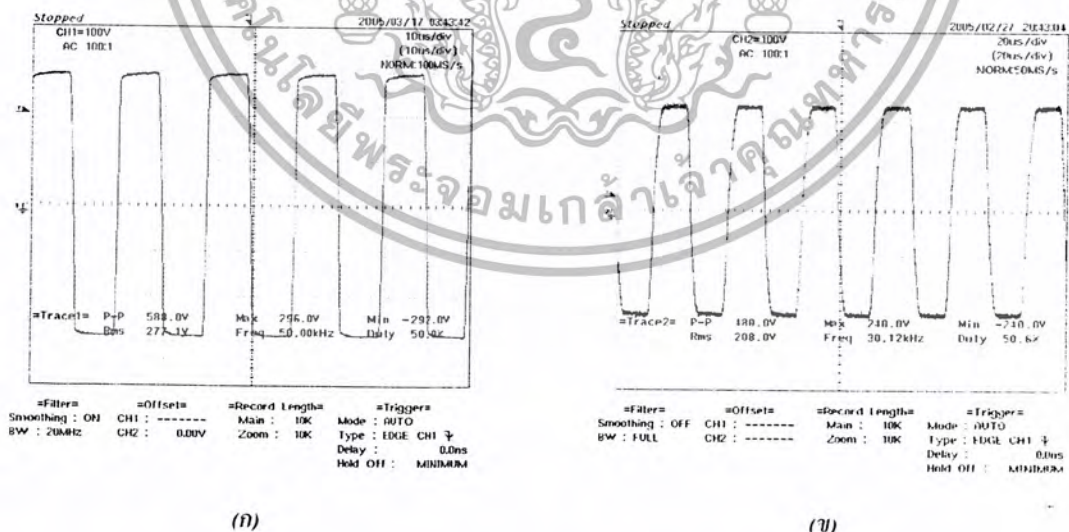
รูปที่ 4.1 รูปแสดงสัญญาณแรงดัน Input และ Output จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปแสดงสัญญาณแรงดัน Input และ Output จากวงจรหม้อแปลงกำลัง

จากนั้นทำการจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิมิ ค่า 277.1V และแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิมีค่า 208V หากค่า turn ratio ได้ค่า turn ratio คือ  $208/277 = 0.751$  แต่ตามทฤษฎี จะต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิเป็น 310V และแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิเป็น 220V จะทำให้ได้ค่า turn ratio ที่ต้องการคือ  $220/310 = 0.709$  ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองจริงนั้น ก็มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ออกแบบ

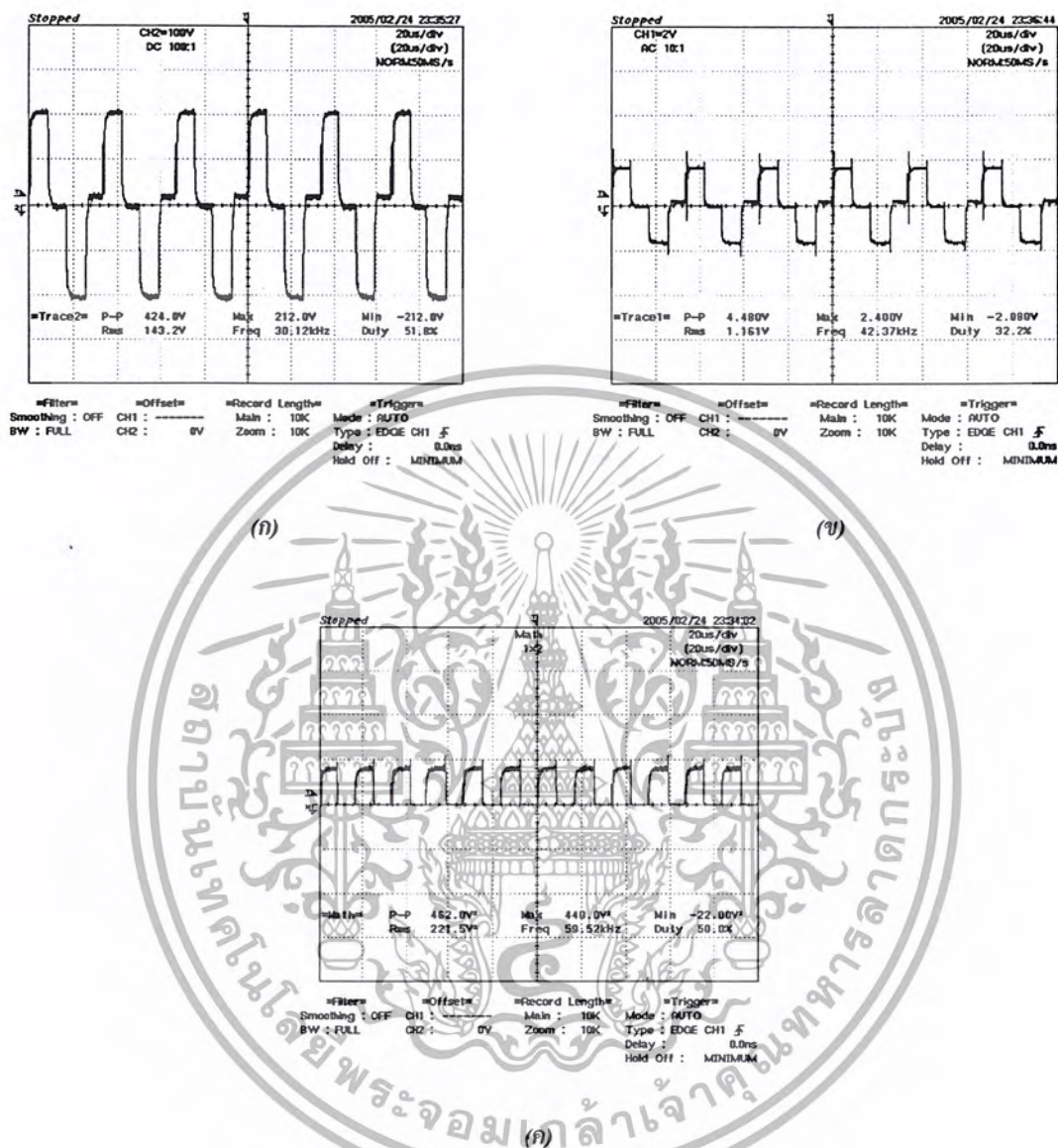


รูปที่ 4.3 (ก) รูปสัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

(ข) รูปสัญญาณแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 300 W ที่ความถี่ 30kHz



รูปที่ 4.4 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน

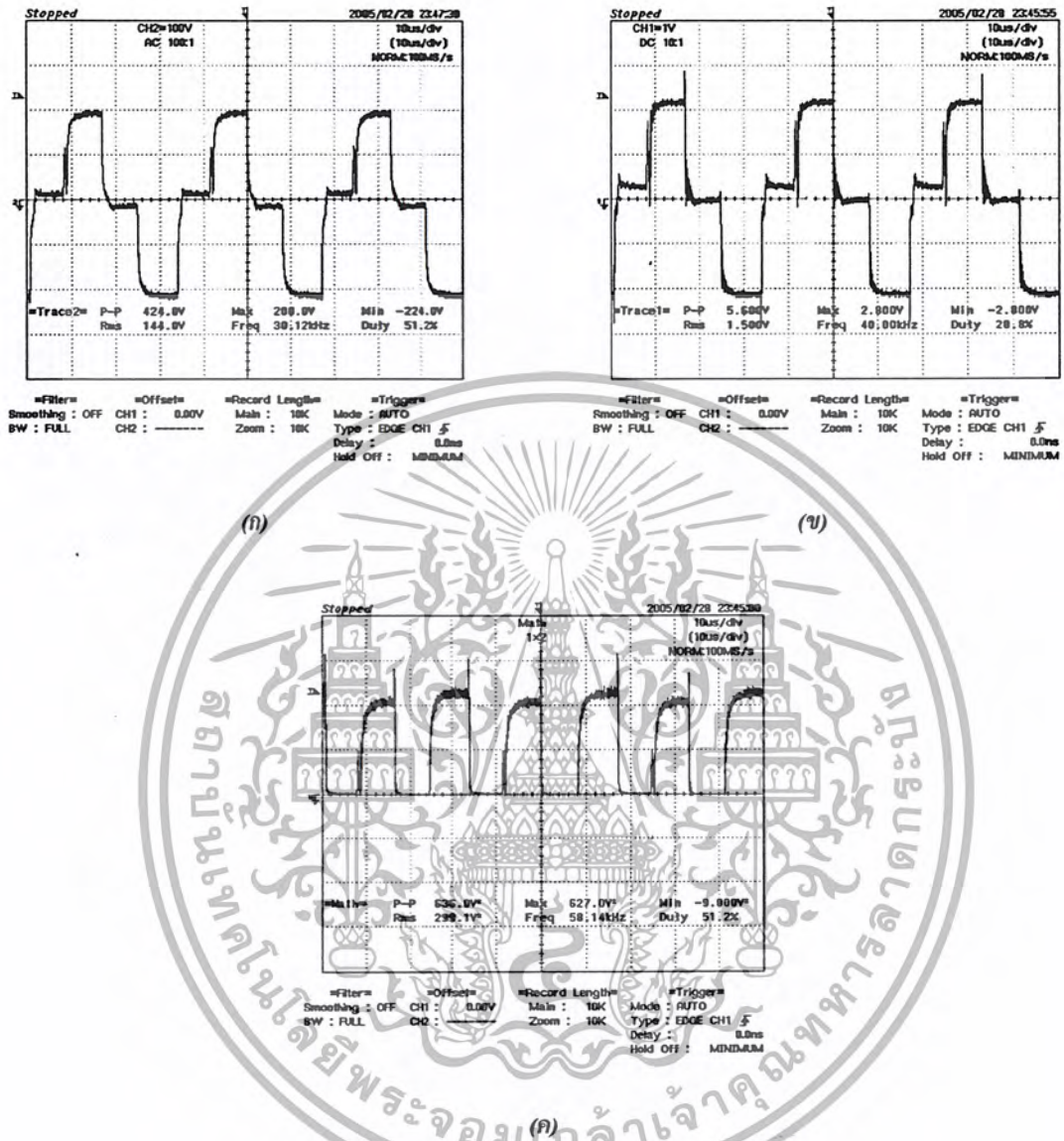
(ข) รูปสัญญาณกระแส

(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

จากการทดลอง พบว่า ได้กำลังไฟฟ้าออกมาเพียง 221.9 W ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิด Voltage-drop จากผลกระทบดังกล่าว ดังนั้น จึงทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า เพื่อให้มีกำลังไฟฟ้าที่ด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 30 W ที่ความถี่ 30kHz เมื่อมีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า

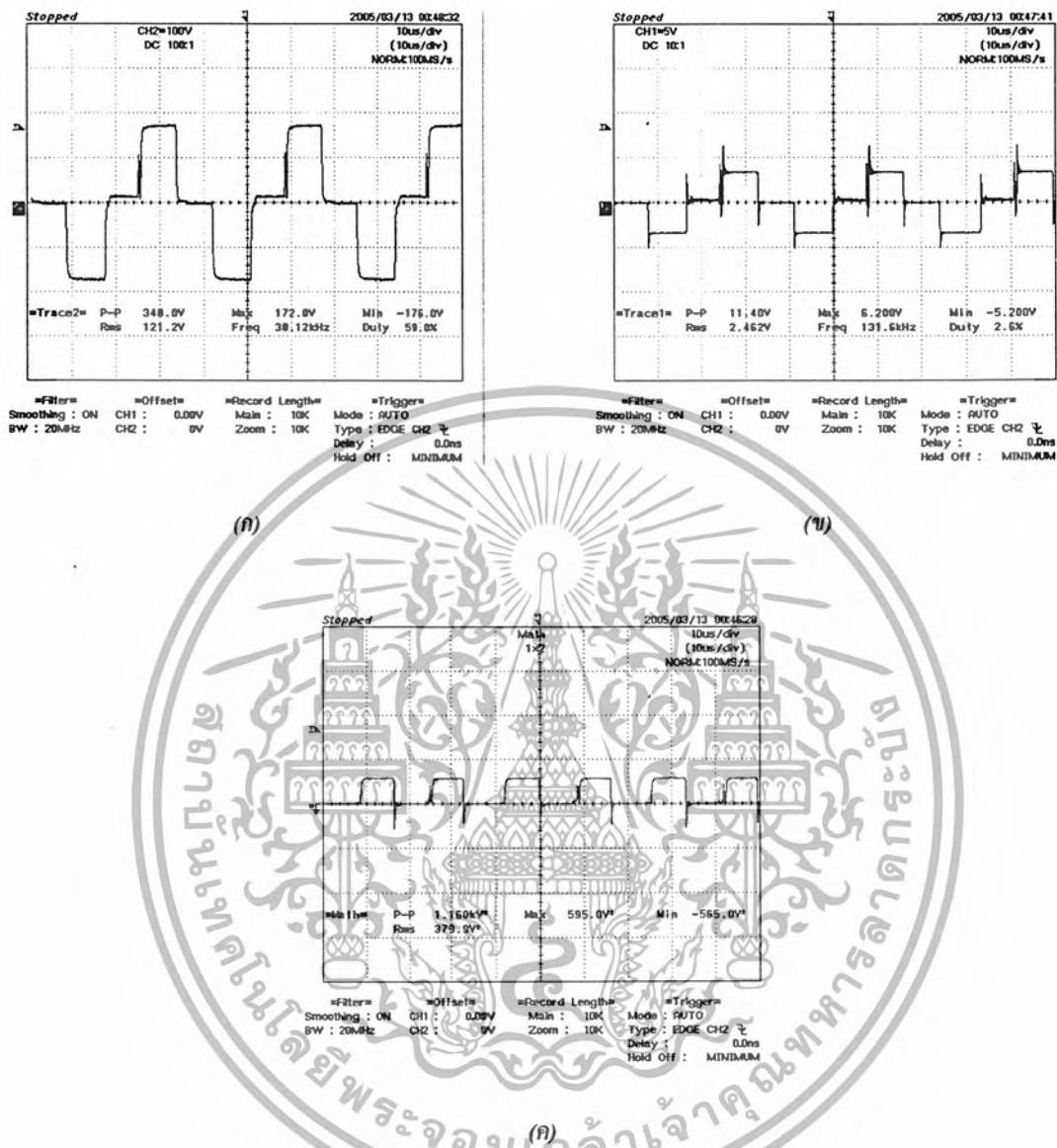


รูปที่ 4.5 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน  
 (ข) รูปสัญญาณกระแส  
 (ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

จากการทดลอง ได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่หม้อแปลงสามารถจ่ายได้หลังจากทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า เพื่อชดเชยแรงดันไฟฟ้าที่ตกลงไปจากวงจรอินเวอร์เตอร์ คือ 299.9 W ซึ่งใกล้เคียงกับที่ต้องการออกแบบ หลังจากนั้นได้ทำการทดลองพันหม้อแปลงสำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ซึ่งที่กำลังสูงขึ้น จากเดิมเป็น 500 W คังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 500 W ที่ความถี่ 30kHz



รูปที่ 4.6 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน

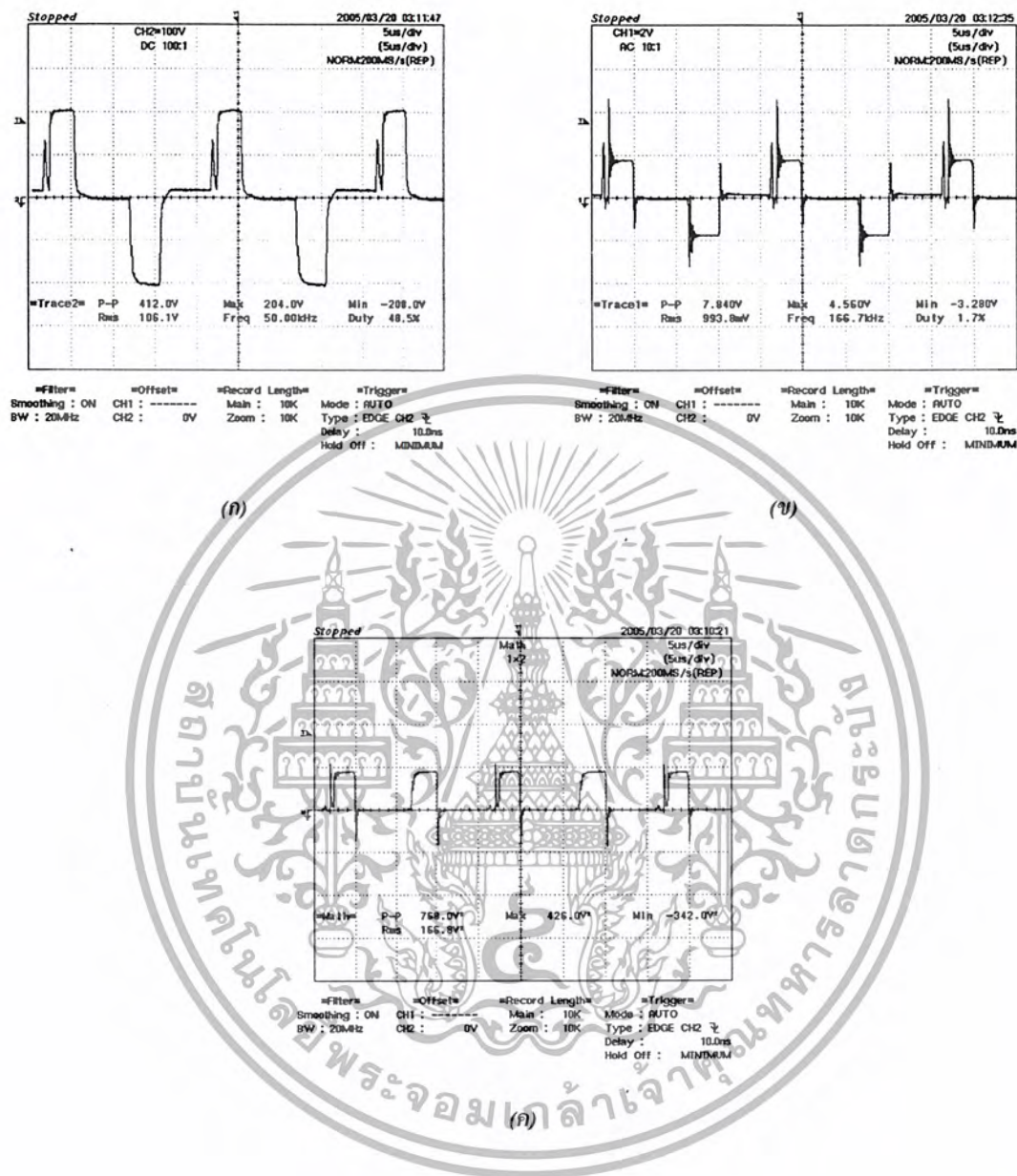
(ข) รูปสัญญาณกระแส

(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า รูปคลื่นมีความสวยงาม ใกล้เคียง Square Wave ที่จ่ายให้วงจรมอสเฟตกำลัง จากนั้น ทำการทดลองปรับความถี่ให้สูงขึ้นจาก 30kHz เป็น 50kHz ที่กำลังหม้อแปลงไฟฟ้า 300W ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 300 W ที่ความถี่ 50kHz

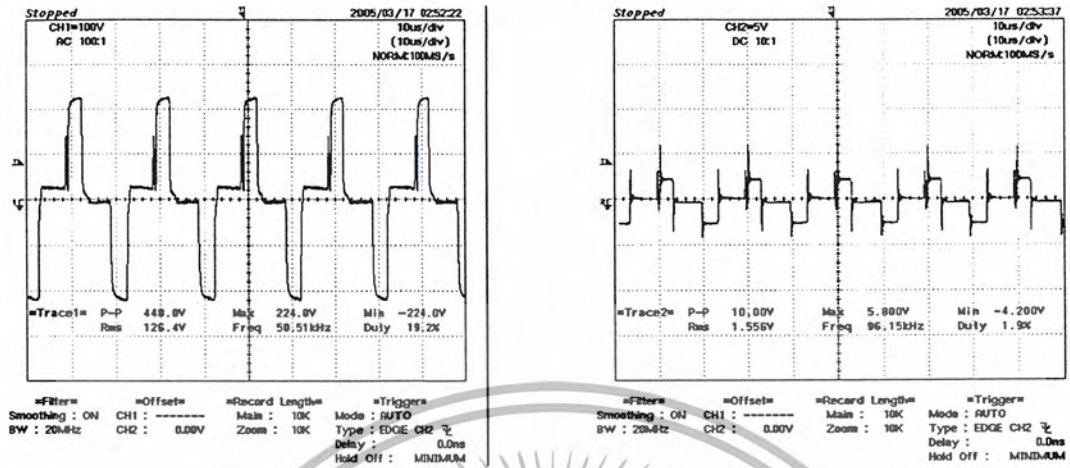


รูปที่ 4.7 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน  
 (ข) รูปสัญญาณกระแส  
 (ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

หลังจากนั้นได้ทำการทดลองพันหม้อแปลงสำหรับแหล่งไฟจ่ายสวิตซ์ซึ่งที่กัลังสูงขึ้น จากเดิมเป็น 400 W ดังรูปที่ 4.8

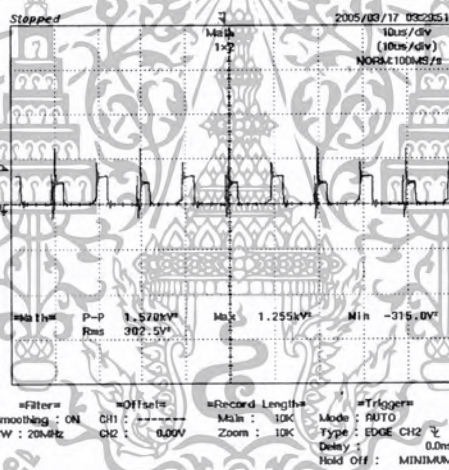
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 400 W ที่ความถี่ 50kHz



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.8 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน

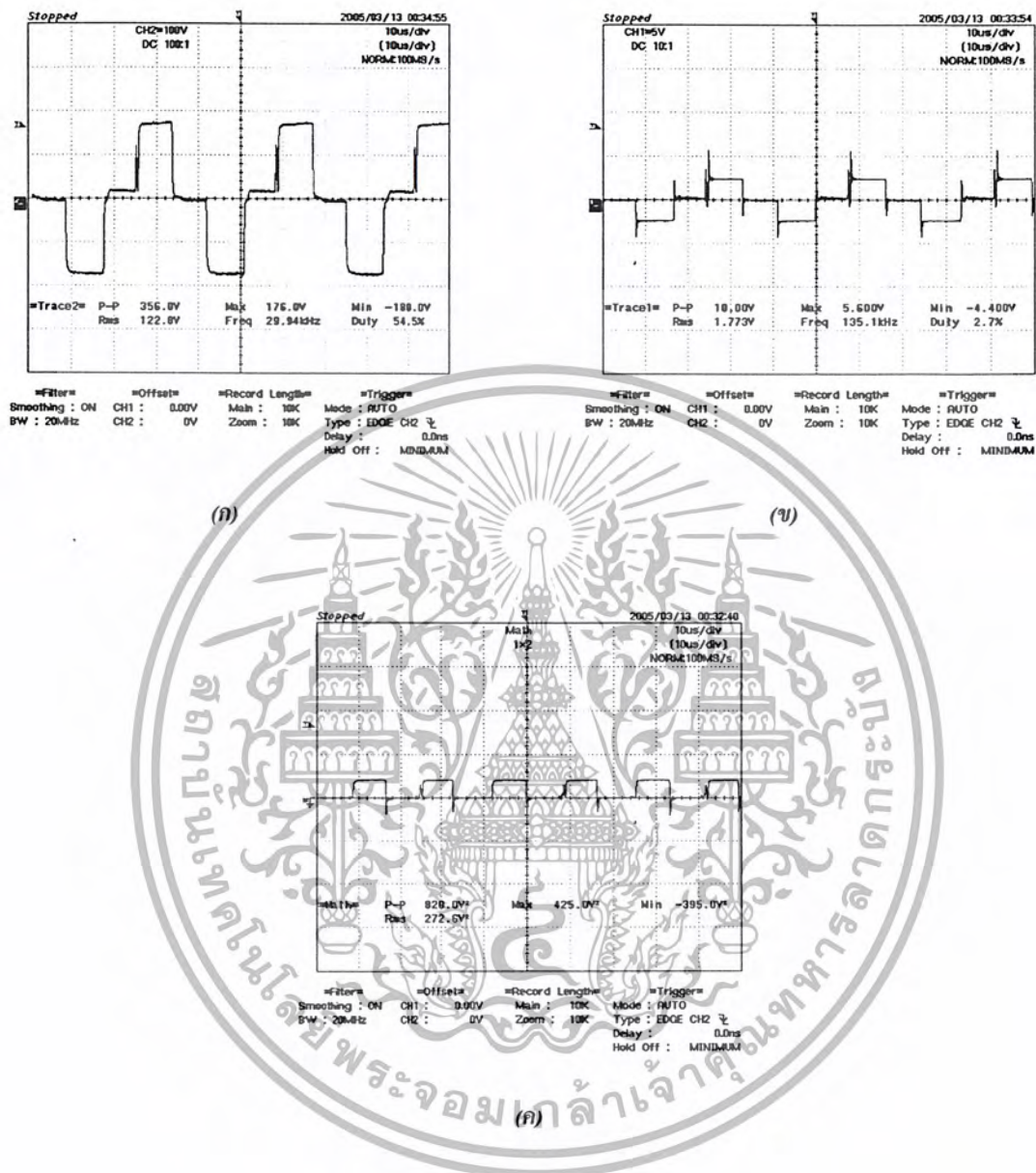
(ข) รูปสัญญาณกระแส

(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

หลังจากนั้นได้ทำการทดลองพันหม้อแปลงสำหรับแหล่งจ่ายไฟสวิชชิ่งที่กัลังสูงขึ้น จากเดิม เป็น 500 W ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า 500W ที่ความถี่ 50kHz



รูปที่ 4.9 (ก) รูปสัญญาณแรงดัน

(ข) รูปสัญญาณกระแส

(ค) รูปสัญญาณกำลังไฟฟ้า

พบว่าที่การใช้งานที่ความถี่สูงขึ้น จะมีเสียงดัง “ซิกแซ็ก” เกิดขึ้นที่ตัวหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า และเกิดความร้อนที่หม้อแปลงกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองที่ 1

ความถี่ (kHz)	พิกัดการออกแบบ (W)	Ap (mm <sup>4</sup> )	เบอร์แกน	Np	Ns	a <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	a <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
30	300	20625	EE40/34B	104	74	0.215 (#24)	0.304 (#22)
	500	34375	EE55/55A	41	29	0.360 (#22)	0.510 (#21)
50	300	12375	EE40/34B	62	44	0.215 (#24)	0.304 (#22)
	400	16313	EE40/34B	62	44	0.233 (#24)	0.328 (#22)
	500	20625	EE40/34B	62	44	0.360 (#24)	0.510 (#22)

จากการทดลอง สังเกตได้ว่า หม้อแปลงจะใช้พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเท่ากัน ที่กำลังเท่ากัน แม้ว่า จะใช้งานที่ความถี่ต่างกัน และในกรณีที่ใช้แกนเบอร์เดียวกันนั้น จำนวนรอบของขดลวดจะเท่ากันถ้าความถี่ เดียวกัน แม้กำลังจะต่างกันก็ตาม

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองที่ 2

ความถี่ (kHz)	พิกัดการออกแบบ (W)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (W) จากการทดลอง
30	300	162.5
	500	208.9
50	300	113.3
	400	175.8
	500	186.3

จากการทดลอง พบว่า ที่พิกัดกำลังเดียวกันเมื่อออกแบบให้ใช้งานที่ความถี่สูงขึ้น หม้อแปลงจะจ่าย กำลังได้น้อยลง และที่ความถี่เดียวกัน ขนาดแกนเหล็กเดียวกัน เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า แนวนวมของกำลังไฟฟ้า สูงสุดที่วัดได้นั้นจะเพิ่มขึ้นได้น้อยลง เนื่องจากแกนเหล็กขนาดเดิมแต่ต้องรองรับพิกัดไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้ แกนเหล็กเริ่มอิ่มตัว และมีการสูญเสียมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# โปรแกรมการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

### 5.1 วัตถุประสงค์และการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรม Design High Frequency Transformer for Inverter Circuit นี้ถูกสร้างขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ทำให้การออกแบบนั้นง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น และเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล คุณสมบัติและองค์ประกอบต่างๆ ให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบ โดยมีวิธีการออกแบบดังกล่าวให้เลือกใช้ 3 วิธีดังนี้ คือ

วิธีที่ 1. Area Product Ap Approach Method

วิธีที่ 2. Area Product Design Method

วิธีที่ 3. Electrical Solution Method

### 5.2 การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมการออกแบบดังกล่าวนี้ ถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งาน และเพื่อให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งครั้งต่างๆ นั้น จึงถูกออกแบบโดยเน้นความง่ายต่อการเข้าใจในการป้อนข้อมูลและประมวลผลของโปรแกรม จึงสามารถแก้ปัญหาสำหรับผู้เริ่มต้นใช้โปรแกรมใหม่ๆ ได้

โดยการทำงานของโปรแกรมของโปรแกรมนั้น สามารถสรุปเป็นกระบวนการ ดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรมการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์
2. ทำการเลือกวิธีที่ต้องการใช้สำหรับกรออกแบบ
3. ทำการป้อนค่า Input ที่ต้องการออกแบบลงในช่องว่างที่กำหนด
4. Click ปุ่ม Compile เพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผล โดยอัตโนมัติ
5. นำค่าที่ได้จากการประมวลผลไปเปรียบเทียบกับอ้างอิงกับ Data base เพื่อทำการออกแบบแกนหม้อแปลงจำนวนรอบในการพันขดลวด และเบอร์ของขดลวดที่ใช้ ตามลำดับ
6. ใ้ด้บทสรุปของการออกแบบตามที่ต้องการ เพื่อทำการลงมือออกแบบ และทดลองต่อไป
7. จบโปรแกรมการทำงาน



### 5.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

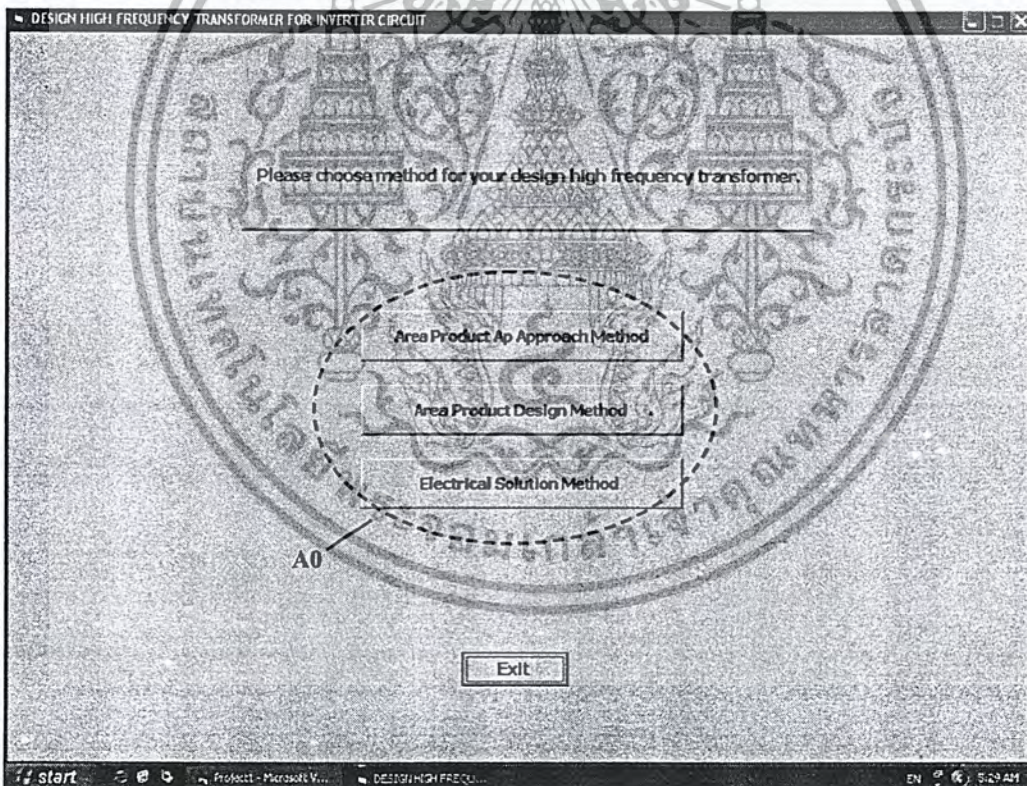
1. เปิดโปรเจกต์เพื่อเข้าสู่ Visual Basic โดยเลือกเมนู Start > Programs > Microsoft Visual Basic 6.0
2. เลือก Standard EXE แล้วคลิกปุ่ม Open เพื่อเข้าสู่ IDE ของ Visual Basic
3. เมื่อปรากฏฟอร์มเปล่า ซึ่งเป็นพื้นที่ว่างสำหรับวาง Object ต่างๆ เพื่อออกแบบหน้าจอของโปรแกรมโดยเลือก Object ต่างๆ จาก Toolbox แล้วนำมาวางจัดตำแหน่งตามที่ต้องการออกแบบ
4. ตั้งค่า Properties ของแต่ละ Object โดยเข้าไปตั้งค่าในวินโดว์ Properties
5. เขียนโค้ดโปรแกรมสำหรับเหตุการณ์ต่างๆ
6. ทดลอง Run โปรแกรมโดยการกดปุ่ม F5 และทดสอบโปรแกรมโดยการป้อนค่า Input ต่างๆ แล้วคลิกปุ่ม Compile เพื่อดูผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 1

เป็นหน้าจอหลักของโปรแกรม ไว้สำหรับเลือกวิธีในการออกแบบ

- มีข้อความที่ระบุไว้เพื่อให้เลือกวิธีในการออกแบบตามที่ต้องการ  
“Please choose method for your design high frequency transformer”
- มีฟังก์ชันเพื่อให้เลือกวิธีการออกแบบ (A0)  
โดยมีให้เลือก 3 ฟังก์ชัน ดังนี้
  - ฟังก์ชันที่ 1. Area Product Ap Approach Method
  - ฟังก์ชันที่ 2. Area Product Design Method
  - ฟังก์ชันที่ 3. Electrical Solution Method
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม



รูปที่ 5.2 หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 1 ของโปรแกรม

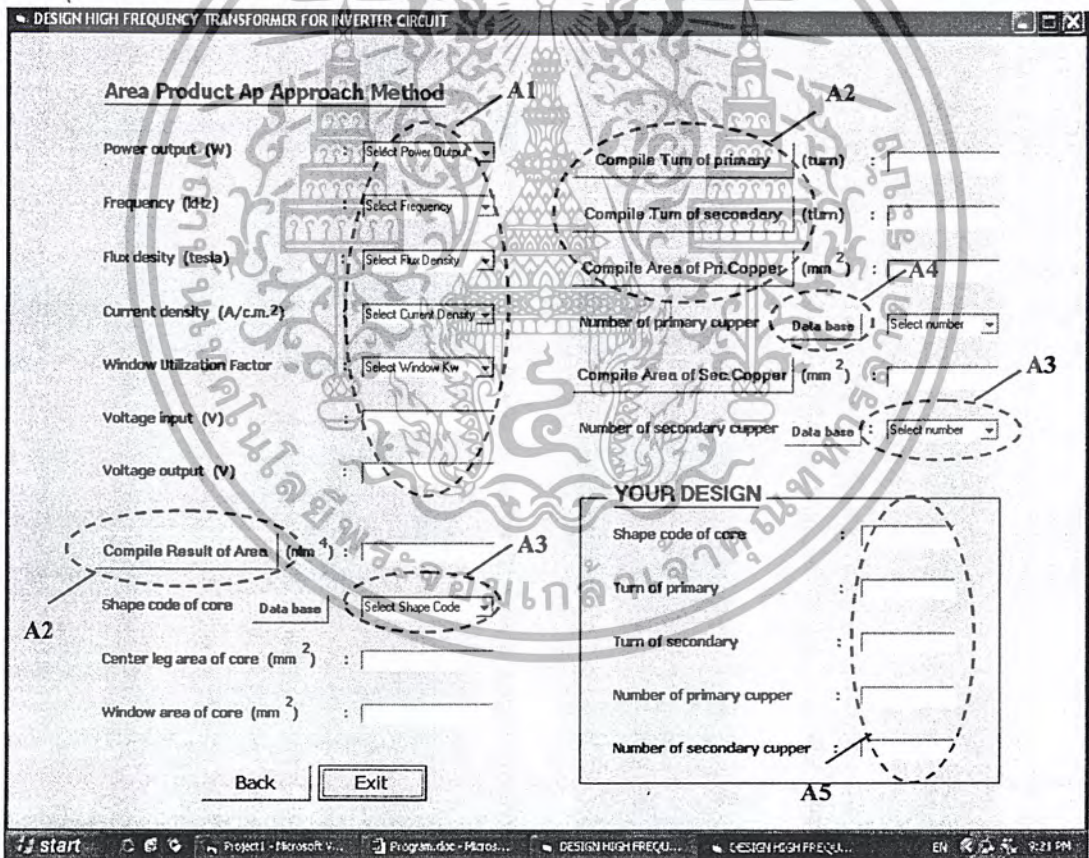
ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	lblPlease Please choose method for your design high frequency transformer	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblPlease แสดงตัวอักษร Please choose method for your design high frequency transformer. บนฟอร์ม
Option Button	Name Caption	Option1 Area Product Ap Approach Method	ตั้งชื่อ Option Button ให้ชื่อ Option1 แสดงตัวอักษร Area Product Ap Approach Method บน Option Button ให้ปรากฏบนฟอร์ม
Option Button	Name Caption	Option2 Area Product Design Method	ตั้งชื่อ Option Button ให้ชื่อ Option2 แสดงตัวอักษร Area Product Design Method บน Option Button ให้ปรากฏบนฟอร์ม
Option Button	Name Caption	Option3 Electrical Solution Method	ตั้งชื่อ Option Button ให้ชื่อ Option3 แสดงตัวอักษร Electrical Solution Method บน Option Button ให้ปรากฏบนฟอร์ม
Command Button	Name Caption	Exit Exit	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Exit เพื่อออกจากโปรแกรม ใส่คำว่า Exit ลงบนปุ่ม



## หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 2

เป็นหน้าจอที่ใช้สำหรับการออกแบบด้วยวิธี “Area Product Ap Approach Method”

- มีกล่องข้อความที่ใช้ป้อนค่า Input ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ (A1)
- มีปุ่ม Command button “Compile” เพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผลโดยอัตโนมัติ (A2)
- มีปุ่ม Command button “BACK” เพื่อให้กลับไปยังหน้าจอหลักของโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “Data base” เพื่อตรวจสอบค่าอ้างอิงต่างๆของขนาดแกนหม้อแปลง, จำนวนรอบในการพันขดลวด และเบอร์ของขดลวดที่ใช้ตามลำดับ (A4)
- มีฟังก์ชัน Combo box ไว้สำหรับเลือกข้อมูลที่เหมาะสมกับ Data base (A3)
- มีฟังก์ชันที่แสดงบทสรุปของการออกแบบ (A5)



รูปที่ 5.3 หน้าจอของโปรแกรม หน้าที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 2 ของโปรแกรม

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	IblArea1 Area Product Ap Approach Method	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblArea1 แสดงตัวอักษร Area Product Ap Approach Method บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblPout1 Power output (W)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPout1 แสดงตัวอักษร Power output (W) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblFreq1 Frequency (kHz)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFreq1 แสดงตัวอักษร Frequency (kHz) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblFlux1 Flux density (tesla)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFlux1 แสดงตัวอักษร Flux density (tesla) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCurr1 Current density (A/cm.2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCurr1 แสดงตัวอักษร Current density (A/c.m.2) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblWink1 Window Utilization Factor	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblWink1 แสดงตัวอักษร Window Utilization Factor บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblVin1 Voltage input (V)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVin1 แสดงตัวอักษร Voltage input (V) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblVout1 Voltage output (V)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVout1 แสดงตัวอักษร Voltage output (V) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCode1 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCode1 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblAc1 Center leg area of core (mm2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblAc1 แสดงตัวอักษร Center leg area of core (mm2) บนฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	lblAw1 Window area of core (mm2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblAw1 แสดงตัวอักษร Window area of core(mm2) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblPric1 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblPric1 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblSecc1 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblSecc1 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblYour1 YOUR DESIGN	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblYour1 แสดงตัวอักษร YOUR DESIGN บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblCode11 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblCode11 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblNp11 Turn of primary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblNp11 แสดงตัวอักษร Turn of primary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblNs11 Turn of secondary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblNs11 แสดงตัวอักษร Turn of secondary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblPric11 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblPric11 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	lblSecc11 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblSecc11 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม
Combo Box	Name Text	Pout Select power output	ตั้งชื่อ Combo Box ว่า Pout แสดงข้อความ Select power output ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Freq Select frequency	ตั้งชื่อ Combo Box ว่า Freq แสดงข้อความ Select frequency ก่อนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Combo Box	Name Text	Flux Select flux density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Flux แสดงข้อความ Select flux density ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Jcur Select current density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Jcur แสดงข้อความ Select current density ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Wink Select window Kw	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Wink แสดงข้อความ Select window Kw ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Code1 Select shape code	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Code1 แสดงข้อความ Select shape code ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Numpl Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Numpl แสดงข้อความ Select number ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Nums1 Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Nums1 แสดงข้อความ Select number ก่อนทำงาน
Text Box	Name Text	Vin ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vin เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Vout ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vout เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Result ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Result เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ac ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ac เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Aw ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Aw เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Npl ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Npl เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ns1 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ns1 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Property	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Command Button	Name	PPriC1	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PPriC1 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Primary
	Caption	Compile area of Pri.Copper	ใส่คำว่า Compile area of Pri.Copper ลงบนปุ่ม
Command Button	Name	PSecC1	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PSecC1 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Secondary
	Caption	Compile area of Sec.Copper	ใส่คำว่า Compile area of Sec.Copper ลงบนปุ่ม
Command Button	Name	Back1	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Back1 เพื่อกลับสู่หน้าจอหลัก
	Caption	Back	ใส่คำว่า Back ลงบนปุ่ม
Command Button	Name	Exit1	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Exit1 เพื่อออกจากโปรแกรม
	Caption	Exit	ใส่คำว่า Exit ลงบนปุ่ม

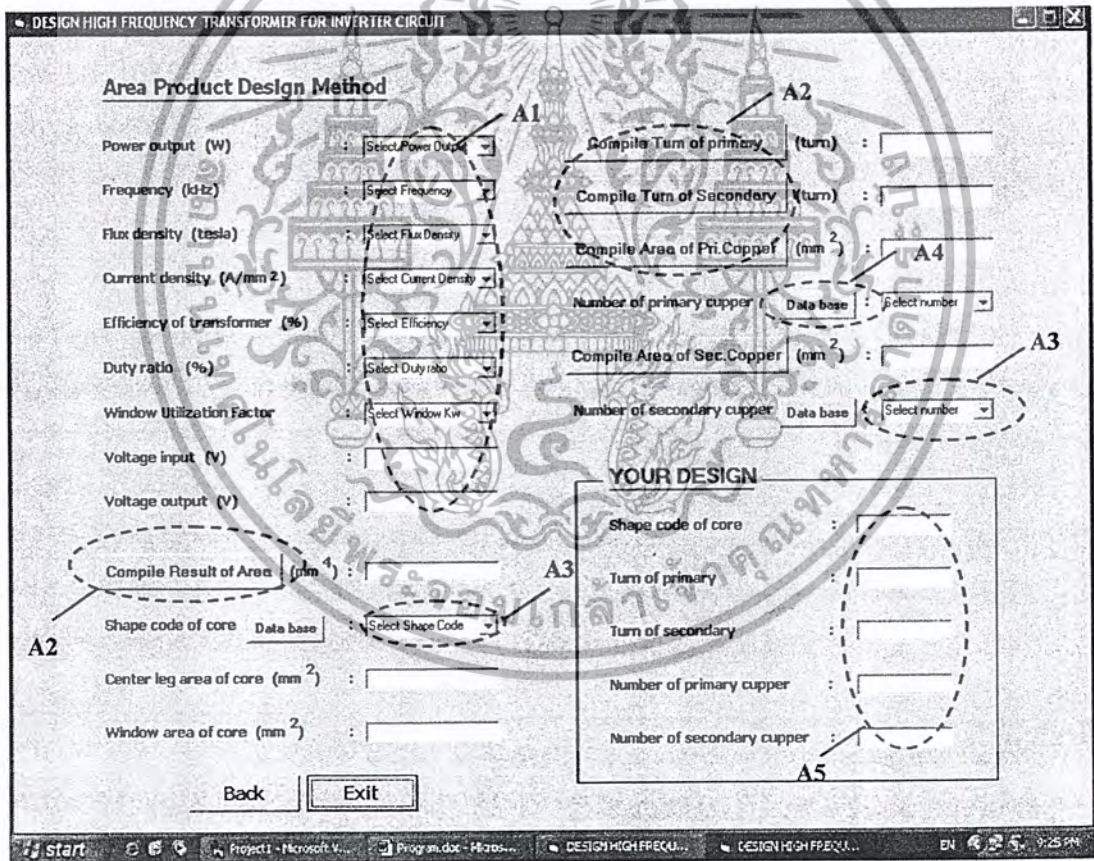


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หน้าจอของโปรแกรม หน้าที 3

เป็นหน้าจอที่ใช้สำหรับการออกแบบด้วยวิธี “Area Product Design Method”

- มีกล่องข้อความที่ใช้ป้อนค่า Input ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ (A1)
- มีปุ่ม Command button “Compile” เพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผลโดยอัตโนมัติ (A2)
- มีปุ่ม Command button “BACK” เพื่อให้กลับไปยังหน้าจอหลักของโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “Data base” เพื่อตรวจสอบค่าอ้างอิงต่างๆของขนาดแกนหม้อแปลง, จำนวนรอบในการพันขดลวด และเบอร์ของขดลวดที่ใช้ ตามลำดับ (A4)
- มีฟังก์ชัน Combo box ไว้สำหรับเลือกข้อมูลที่เหมาะสมกับ Data base (A3)
- มีฟังก์ชันที่แสดงบทสรุปของการออกแบบ (A5)



รูปที่ 5.4 หน้าจอของโปรแกรม หน้าที 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 3 ของโปรแกรม

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name	IblArea2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblArea2
	Caption	Area Product Design	แสดงตัวอักษร Area Product Design
	Method		Method บนฟอร์ม
Label	Name	IblPout2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPout2
	Caption	Power output (W)	แสดงตัวอักษร Power output (W) บนฟอร์ม
Label	Name	IblFreq2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFreq2
	Caption	Frequency (kHz)	แสดงตัวอักษร Frequency (kHz) บนฟอร์ม
Label	Name	IblFlux2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFlux2
	Caption	Flux density (tesla)	แสดงตัวอักษร Flux density (tesla) บนฟอร์ม
Label	Name	IblCurr2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCurr2
	Caption	Current density (A/c.m.2)	แสดงตัวอักษร Current density (A/c.m.2) บนฟอร์ม
Label	Name	IblEffi2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblEffi2
	Caption	Efficiency of transformer (%)	แสดงตัวอักษร Efficiency of transformer (%) บนฟอร์ม
Label	Name	IblDuty2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblDuty2
	Caption	Duty raito (%)	แสดงตัวอักษร Duty raito (%) บนฟอร์ม
Label	Name	IblWink2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblWink2
	Caption	Window Utilization Factor	แสดงตัวอักษร Window Utilization Factor บนฟอร์ม
Label	Name	IblVin2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVin2
	Caption	Voltage input (V)	แสดงตัวอักษร Voltage input (V) บนฟอร์ม
Label	Name	IblVout2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVout2
	Caption	Voltage output (V)	แสดงตัวอักษร Voltage output (V) บนฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	IblCode2 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCode2 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblAc2 Center leg area of core (mm2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblAc2 แสดงตัวอักษร Center leg area of core (mm2) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblAw2 Window area of core (mm2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblAw2 แสดงตัวอักษร Window area of core (mm2) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblPric2 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPric2 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblSecc2 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblSecc2 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblYour2 YOUR DESIGN	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblYour2 แสดงตัวอักษร YOUR DESIGN บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCode22 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCode22 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblNp22 Turn of primary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblNp22 แสดงตัวอักษร Turn of primary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblNs22 Turn of secondary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblNs22 แสดงตัวอักษร Turn of secondary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblPric22 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPric22 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblSecc22 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblSecc22 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Combo Box	Name Text	Pout Select power output	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Pout ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select power output ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Freq Select frequency	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Freq ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select frequency ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Flux Select flux density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Flux ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select flux density ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Jcur Select current density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Jcur ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select current density ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Effi Select efficiency	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Effi ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select efficiency ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Duty Select duty ratio	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Duty ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select duty ratio ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Wink Select window Kw	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Wink ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select window Kw ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Code2 Select shape code	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Code2 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select shape code ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Nump2 Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Nump2 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select number ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Combo Box	Name Text	Nums2 Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Nums2 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select number ก่อนการเริ่มต้นทำงาน
Text Box	Name Text	Vin ปลั๊กวาม	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vin เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Text Box	Name Text	Vout ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vout เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Result ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Result เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ac ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ac เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Aw ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Aw เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Np2 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Np2 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ns2 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ns2 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Pric2 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Pric2 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Secc2 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Secc2 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Code22 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Code22 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Np22 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Np22 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ns22 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ns22 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Pric22 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Pric22 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Secc22 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Secc22 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Command Button	Name Caption	PResult2 Compile result of area	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PResult2 เป็นปุ่มกดเพื่อประมวลผลขนาดของแกนหม้อแปลง ใส่คำว่า Compile result of area บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PData2 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData2 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดงตาราง data base ของขนาดแกนหม้อแปลง ใส่คำว่า Data base ลงบนปุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

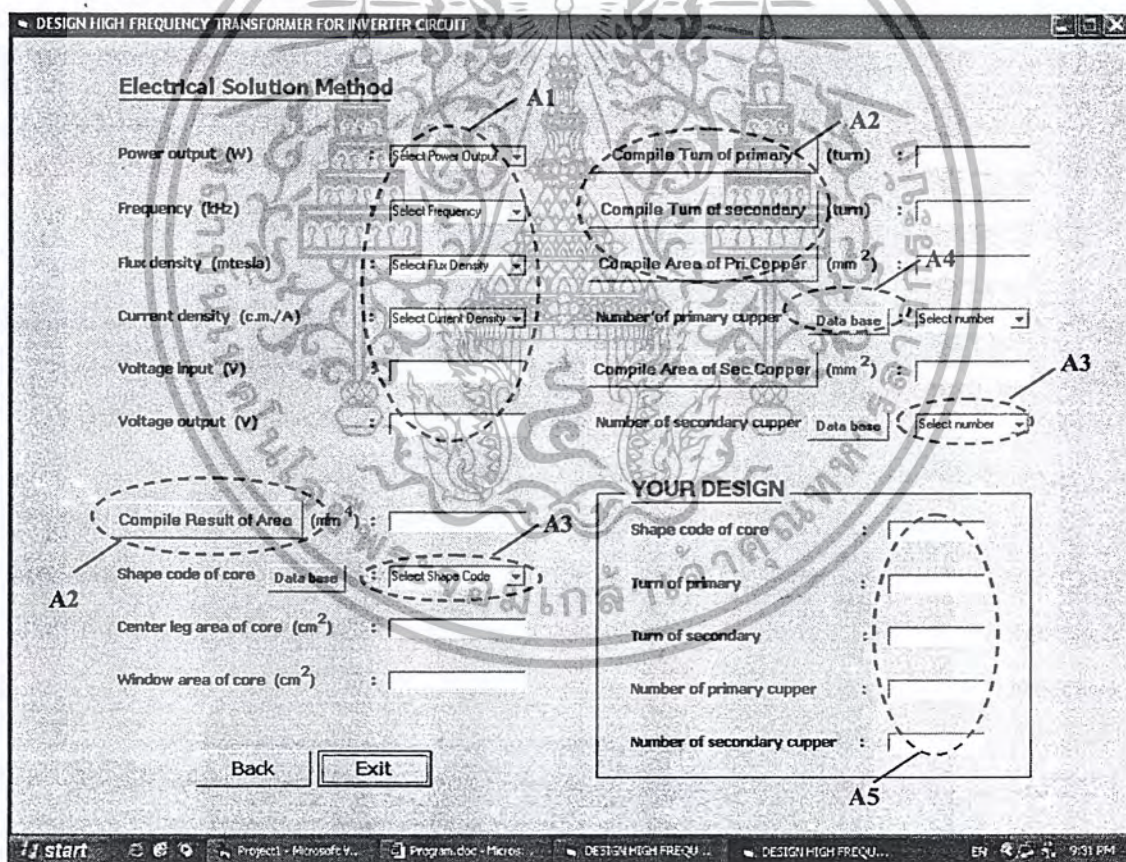
ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Command Button	Name Caption	PData2 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData2 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดงตาราง data base ของขนาดขดลวด ใส่คำว่า Data base ลงบนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PData2 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData2 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดงตาราง data base ของขนาดขดลวด ใส่คำว่า Data base ลงบนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PNp2 Compile turn of primary	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PNp2 เพื่อประมวลผลจำนวนรอบของขดลวดด้าน Primary ใส่คำว่า Compile turn of primary บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PNs2 Compile turn of secondary	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PNs2 เพื่อประมวลผลจำนวนรอบของขดลวดด้าน Secondary ใส่คำว่า Compile turn of secondary บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PPric2 Compile area of Pri.Copper	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PPric2 เพื่อประมวลผลขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Primary ใส่คำว่า Compile area of Pri.Copper บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PSecc2 Compile area of Sec.Copper	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PSecc2 เพื่อประมวลผลขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Secondary ใส่คำว่า Compile area of Sec.Copper บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	Back2 Back	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Back2 เพื่อกลับสู่หน้าจอหลัก ใส่คำว่า Back ลงบนปุ่ม
Command Button	Name Caption	Exit2 Exit	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Exit2 เพื่อออกจากโปรแกรม ใส่คำว่า Exit ลงบนปุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หน้าจอของโปรแกรม หน้าที 4

เป็นหน้าจอที่ใช้สำหรับการออกแบบด้วยวิธี “Electrical Solution Method”

- มีกล่องข้อความที่ใช้ป้อนค่า Input ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ (A1)
- มีปุ่ม Command button “Compile” เพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผลโดยอัตโนมัติ (A2)
- มีปุ่ม Command button “BACK” เพื่อให้กลับไปยังหน้าจอหลักของโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม
- มีปุ่ม Command button “Data base” เพื่อตรวจสอบค่าอ้างอิงต่างๆของขนาดแกนหม้อแปลง, จำนวนรอบในการพันขดลวด และเบอร์ของขดลวดที่ใช้ ตามลำดับ (A4)
- มีฟังก์ชัน Combo box ไว้สำหรับเลือกข้อมูลที่เหมาะสมกับ Data base (A3)
- มีฟังก์ชันที่แสดงบทสรุปของการออกแบบ (A5)



รูปที่ 5.5 หน้าจอของโปรแกรม หน้าที 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้าที่ 4 ของโปรแกรม

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	IblElec Electrical Solution Method	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblElec แสดงตัวอักษร Electrical Solution Method บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblPout3 Power output (W)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPout3 แสดงตัวอักษร Power output (W) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblFreq3 Frequency (kHz)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFreq3 แสดงตัวอักษร Frequency (kHz) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblFlux3 Flux density (tesla)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblFlux3 แสดงตัวอักษร Flux density (tesla) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCurr3 Current density (A/c.m.2)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCurr3 แสดงตัวอักษร Current density (A/c.m.2) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblVin3 Voltage input (V)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVin3 แสดงตัวอักษร Voltage input (V) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblVout3 Voltage output (V)	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblVout3 แสดงตัวอักษร Voltage output (V) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCode3 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCode3 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblAc3 Center leg area of core (mm <sup>2</sup> )	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblAc3 แสดงตัวอักษร Center leg area of core (mm <sup>2</sup> ) บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblAw3 Window area of core (mm <sup>2</sup> )	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblAw3 แสดงตัวอักษร Window area of core (mm <sup>2</sup> ) บนฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name Caption	IblPric3 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPric3 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblSecc3 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblSecc3 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblYour3 YOUR DESIGN	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblYour3 แสดงตัวอักษร YOUR DESIGN บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblCode33 Shape code of core	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblCode33 แสดงตัวอักษร Shape code of core บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblNp33 Turn of primary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblNp33 แสดงตัวอักษร Turn of primary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblNs33 Turn of secondary	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblNs33 แสดงตัวอักษร Turn of secondary บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblPric33 Number of primary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblPric33 แสดงตัวอักษร Number of primary copper บนฟอร์ม
Label	Name Caption	IblSecc33 Number of secondary copper	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ IblSecc33 แสดงตัวอักษร Number of secondary copper บนฟอร์ม
Combo Box	Name Text	Pout Select power output	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Pout ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select power output ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Freq Select frequency	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Freq ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select frequency ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Flux Select flux density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Flux ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select flux density ก่อนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Combo Box	Name Text	Jcur Select current density	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Jcur ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select current density ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Code3 Select shape code	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Code3 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select shape code ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Nump3 Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Nump3 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select number ก่อนทำงาน
Combo Box	Name Text	Nums3 Select number	ให้ชื่อ Combo Box ว่า Nums3 ให้ Combo Box แสดงข้อความ Select number ก่อนทำงาน
Text Box	Name Text	Vin ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vin เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Vout ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Vout เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Result ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Result เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ac ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ac เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Aw ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Aw เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Np3 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Np3 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ns3 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ns3 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Pric3 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Pric3 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Secc3 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Secc3 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Code33 ป้อนว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Code33 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Text Box	Name Text	Np33 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Np33 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Ns33 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Ns33 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Pric33 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Pric33 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Text Box	Name Text	Secc33 ปล่อยว่าง	ตั้งชื่อ Text Box ให้ชื่อ Secc33 เป็นช่องว่างๆ เพื่อรอรับค่า
Command Button	Name Caption	PResult3 Compile result of area	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PResult3 เพื่อประมวลผล ขนาดของแกนหม้อแปลง ใส่คำว่า Compile result of area บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PData3 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData3 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดง ตาราง data base ขนาดของแกนหม้อแปลง ใส่คำว่า Data base บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PData3 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData3 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดง ตาราง data base ของขนาดขดลวด ใส่คำว่า Data base บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PData3 Data base	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PData3 เป็นปุ่มกดเพื่อแสดง ตาราง data base ของขนาดขดลวด ใส่คำว่า Data base บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PNp3 Compile turn of primary	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PNp3 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Primary ใส่คำว่า Compile turn of primary บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PNs3 Compile turn of secondary	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PNs3 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Secondary ใส่คำว่า Compile turn of secondary บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PPric3 Compile area of Pri.Copper	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PPrice3 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Primary ใส่คำว่า Compile area of Pri.Copper บนปุ่ม
Command Button	Name Caption	PSecc3 Compile area of SecCopper	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า PSecc3 เพื่อประมวลผล ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้าน Secondary ใส่คำว่า Compile area of Sec.Copper บนปุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Command Button	Name	Back3	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Back3 เพื่อกลับสู่หน้าจอหลัก
Command Button	Caption	Back	ใส่คำว่า Back บนปุ่ม
Command Button	Name	Exit3	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Exit3 เพื่อออกจากโปรแกรม
Command Button	Caption	Exit	ใส่คำว่า Exit บนปุ่ม

### หน้าจอของโปรแกรม หน้า Data base ที่ 1

เป็นหน้าจอที่แสดงเกี่ยวกับตารางคุณสมบัติของแกนเฟอร์ไรต์ (Data shape code)

- มีข้อความที่ระบุไว้เพื่อให้เลือกวิธีในการออกแบบตามที่ต้องการ  
“Please select shape of core which result of area more value than compile”
- มีตารางแสดง Data shape code เพื่อให้อ้างอิงเกี่ยวกับคุณสมบัติของขนาดแกนเฟอร์ไรต์
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม

Shape code	Center leg area (mm2)	Window area (mm2)	Result of area (mm4)
EE12.6/13	12.6	26.3	331.4
EE13/13B	24.9	26.6	662.3
EE16/14K	18.2	42.6	775.3
EE19/16K	22.8	55.7	1270
EE22/20	24.4	102	2489
EE25/20	41.0	85.0	3485
EE30/30	47.6	134	6378
EE30/26K	114	75.8	8641
EE34/28A	85.9	164	14088
EE40/34K	114	178	20292
EE40/34B	137	167	22879
EE43/34	159	171	27189
EE40/44	137	248	33976
EE47/39A	243	206	50058
EE50/42K	213	261	55593
EE42/42-20W	235	276	64860
EE56/47A	352	292	102734
EE55/55A	352	400	140800
EE80/76	392	1480	580160

Close

รูปที่ 5.6 หน้าจอของโปรแกรม Data base ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

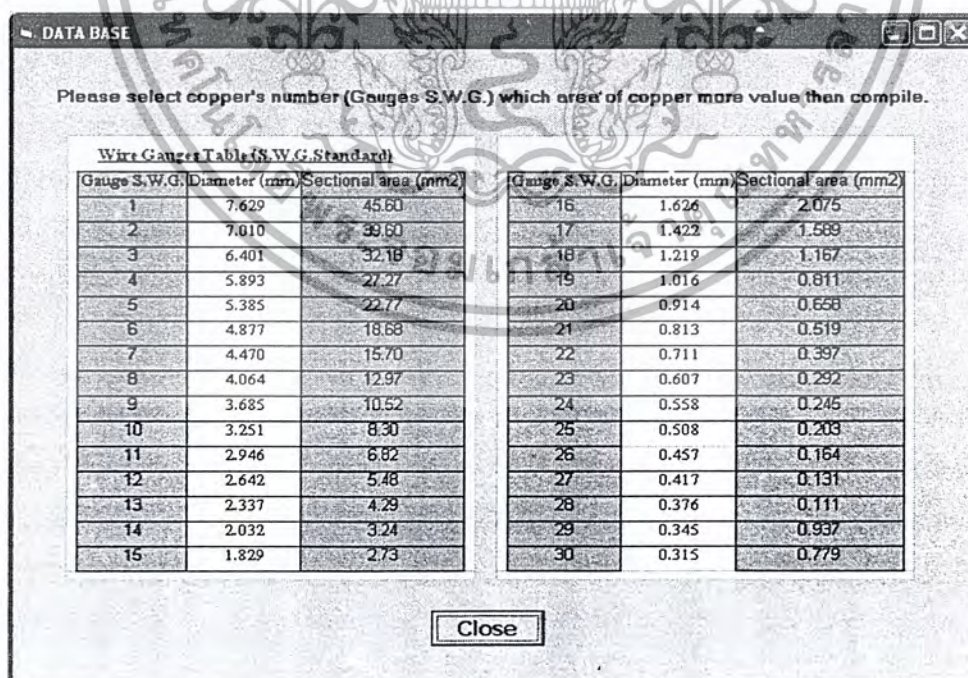
ตารางที่ 5.5 การตั้งค่าของ *Properties* ของ *Object* ต่างๆ ในหน้า *Data base* ที่ 1

ชนิดของ Object	Properties	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name	lblData1	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblData1
	Caption	Please select shape of core which result of area more value than compile.	แสดงตัวอักษร Please select shape of core which result of area more value than บนฟอร์ม
Command Button	Name	Close1	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Close1 เพื่อปิดหน้าต่าง Data1
	Caption	Close	ใส่คำว่า Close ลงบนปุ่ม
Image	Name	Image0	ตั้งชื่อ Image ให้ชื่อ Image0
	Picture	ตาราง Data of shape code	แสดงตาราง Data of shape code บนฟอร์ม

หน้าจอของโปรแกรม หน้า *Data base* ที่ 2

เป็นหน้าจอที่แสดงเกี่ยวกับตารางขนาดของขดลวด (Wire Guages Table)

- มีข้อความที่ระบุไว้เพื่อให้เลือกวิธีในการออกแบบตามที่ต้องการ  
“Please select copper's number (Guages S.W.G.) which area of copper more value than compile”
- มีตารางขนาดของขดลวด (Wire Guages Table) เพื่อไว้อ้างอิงเกี่ยวกับคุณสมบัติของขนาดขดลวด
- มีปุ่ม Command button “EXIT” เพื่อใช้สำหรับออกจากโปรแกรม



รูปที่ 5.7 หน้าจอของโปรแกรม *Data base* ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 การตั้งค่าของ Properties ของ Object ต่างๆ ในหน้า Data base ที่ 2

ชนิดของ Object	Property	ค่าที่ตั้ง	คำอธิบาย
Label	Name	lblData2	ตั้งชื่อ Label ให้ชื่อ lblData2
	Caption	Please select copper's number (Gaugas S.W.G.) which area of copper more value than compile.	แสดงตัวอักษร Please select copper's number (Gaugas S.W.G.) which area of copper more value than compile. บนฟอร์ม
Command Button	Name	Close2	ตั้งชื่อปุ่มกดว่า Close2 เป็นปุ่มกดเพื่อปิดหน้าต่างของ Data2
	Caption	Close	ใส่คำว่า Close ลงบนปุ่ม
Image	Name	Image1	ตั้งชื่อ Image ให้ชื่อ Image1
	Picture	ตาราง Wire Gauges(S.W.G.)	แสดงตาราง Wire Gauges (S.W.G.) บนฟอร์ม
Image	Name	Image2	ตั้งชื่อ Image ให้ชื่อ Image2
	Picture	ตาราง Wire Gauges(S.W.G.)	แสดงตาราง Wire Gauges (S.W.G.) บนฟอร์ม

สำหรับในส่วนของโปรแกรมการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น จัดเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบของโครงการ ที่จะมาช่วยให้การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนั้น มีความถูกต้องและสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยตัวโปรแกรมนั้น ได้การออกแบบโปรแกรมได้มุ่งเน้นให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ง่ายต่อความเข้าใจและการใช้งาน จึงเป็นการง่ายต่อผู้ที่เริ่มต้นใช้งาน และโปรแกรมห้ดังกล่าวนี้จะเป็พื้นฐานที่ดีในการออกแบบที่ประยุกต์มากขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษา ทดลอง ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ ตลอดระยะเวลา 2 ภาคเรียนนั้น ได้มีการลองดูทดลองผิดมาหลาย ครั้ง

1. การศึกษาวิธีการออกแบบต่าง ๆ นั้น มีข้อกำหนดเฉพาะของตัวแปรที่แตกต่างกัน อาทิเช่น หน่วยงาน ค่าคงที่เฉพาะต่างๆ เป็นต้น ทำให้เกิดความสับสนในการวิเคราะห์การออกแบบ ต้องระมัดระวังในการแทนค่า และการเปิดตารางอ้างอิงมากขึ้น

2. แกนหม้อแปลงที่คำนวณได้นั้น ไม่สามารถหาซื้อได้ เนื่องจากทางบริษัทไม่ได้ผลิตแล้ว ทำให้ต้องทำการออกแบบใหม่ ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการไม่ได้ตรวจสอบกับทางบริษัทก่อน

3. ตัววงจร Gate Driver นั้น ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาที่ตัวหม้อแปลงแยกกราวด์ โดยได้ทำงานแก้ไขโดยเปลี่ยนจากการใช้หม้อแปลงแยกกราวด์มาเป็นไอซีแยกกราวด์

4. วงจรอินเวอร์เตอร์ เกิด Voltage drop มาก แนวทางการแก้ไขโดยการเพิ่มกระแสทางไฟฟ้าเพื่อดึงกระแสให้มากขึ้น ทำให้ระดับกำลังไฟฟ้าที่ได้นั้นอยู่ในระดับที่ออกแบบไว้เพื่อวัดกำลังของหม้อแปลง

5. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำส่วนวงจรนั้นสูงมาก

#### 6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง หม้อแปลงกำลังความถี่สูงนั้น สามารถนำมาใช้งานได้จริง แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่บ้าง บางส่วนในด้านการออกแบบวงจรมอสเฟตกำลัง ที่ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่ง เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงจากที่ควรได้ ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงลดลงตามไปด้วย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษา และ พัฒนาออกแบบต่อไปในส่วนวงจรมอสเฟตกำลังเพื่อให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากการวัดสัญญาณที่ด้านปฐมภูมิ และ ด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าความถี่สูง ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า พบว่า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ มีค่า 277V และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ มีค่า 208V จะได้ค่า turn ratio คือ 0.751 แต่ตามทฤษฎีนั้น จะต้องได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิเท่ากับ 310V และ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิเท่ากับ 220V จะได้ค่า turn ratio ตามทฤษฎี คือ 0.709 ดังนั้น ควรปรับปรุงขั้นตอนการพันหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อให้ได้ค่า turn ratio ของหม้อแปลง มีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการใช้งานมากกว่านี้

ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากค่าความสูญเสียของ "ปรากฏการณ์ทางผิว" (skin effect) ที่มักเกิดขึ้นเมื่อใช้งานที่ความถี่สูง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเฉพาะที่ผิวของขดลวด จึงสูญเสียพื้นที่ผิวภายในที่ใช้งานการส่งผ่านกระแสไฟฟ้า หรือค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากช่องว่างในหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มีพลังงานบางส่วนสะสมอยู่ แนวทางในการลดค่าความสูญเสียของ "ปรากฏการณ์ทางผิว" (skin effect) จึงควรออกแบบให้ใช้ลวดตีเกลียวในการพันหม้อแปลงความถี่สูง และควรออกแบบให้จำนวนรอบของขดลวดเหมาะสมกับพื้นที่หน้าตัดของแปรง กำลังไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อลดการสะสมพลังงานในช่องว่างของหม้อแปลง

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

1. อุปกรณ์บางอย่างไม่สามารถหาซื้อได้ จึงต้องประยุกต์นำอุปกรณ์อื่นมาใช้แทน ทำให้เสียเวลาในการทดลอง
2. เนื่องจากโครงการนี้อาศัยการทำงานในช่วงความถี่สูง ทำให้การออกแบบอุปกรณ์ และการจัดหาอุปกรณ์มาใช้งานนั้นเป็นไปได้ยาก เช่น หม้อแปลง, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งาน รวมไปถึงเครื่องมือที่มีจำกัดด้วย
3. ทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มีเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ ไม่เพียงพอกับความต้องการของนักศึกษาที่ใช้ในการทำโครงการ
4. หน่วยงานและบุคคลที่มีความรู้ ความชำนาญ ที่สามารถให้คำปรึกษาและแนะนำมีน้อย, อยู่ห่างไกล และมีความยากลำบากในการเข้าพบ

## 6.3 แนวทางการดำเนินงานต่อไป

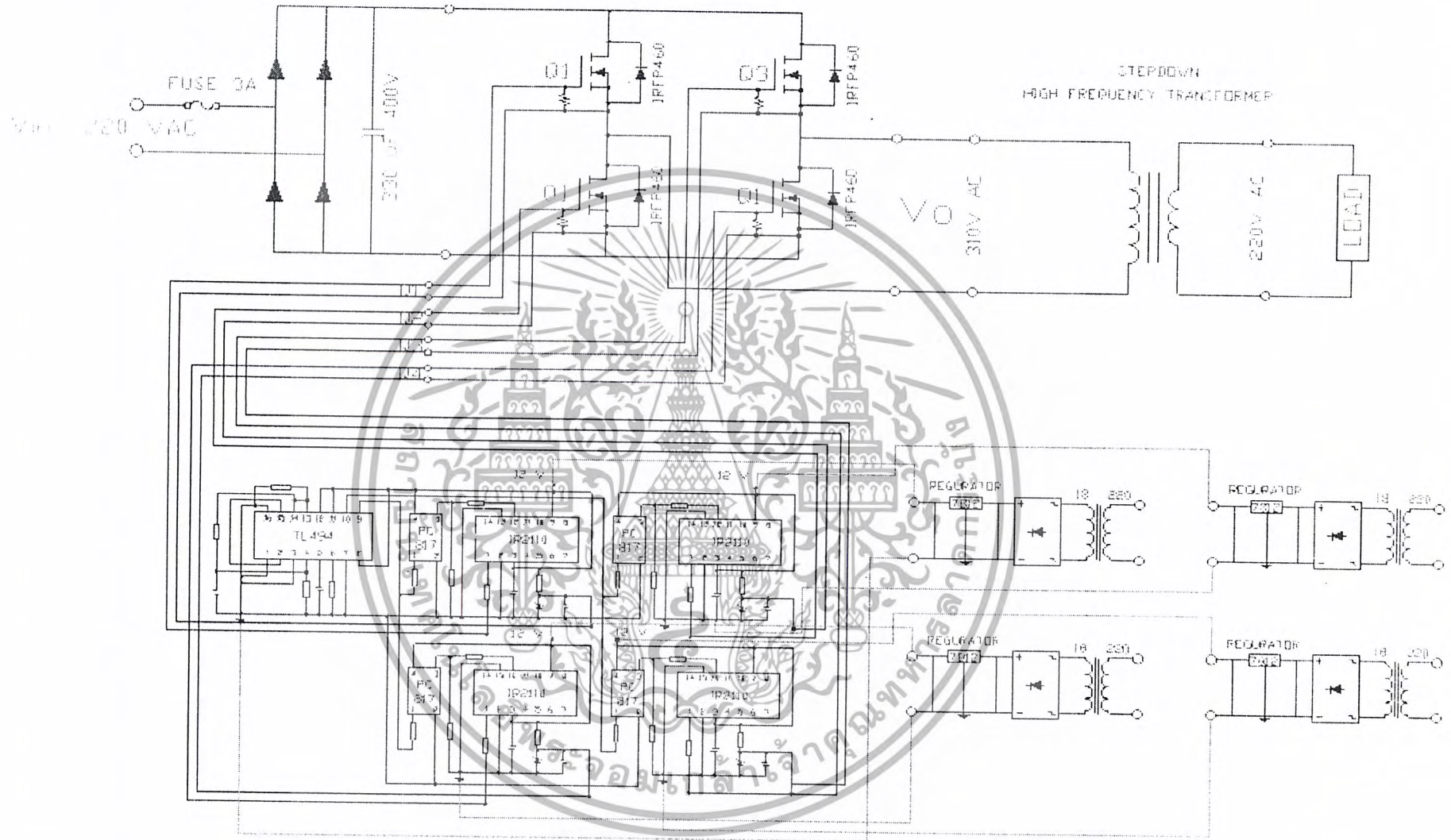
ในการดำเนินงานต่อไปจะเป็นการพัฒนา ปรับปรุงในส่วนต่างๆ ของวงจรให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นไปในทางที่ดีขึ้น เช่น ค่าแรงดัน, ค่ากระแส, ค่ากำลังรีเฟกซ์, รวมไปถึงคุณสมบัติของหม้อแปลง เพื่อให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้นไป อีกทั้งยังต้องพัฒนาตัวโปรแกรมการออกแบบนั้น ให้เป็นที่ยอมรับในนานาชาติประเทศทั่วโลก





ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปวงจรสมบูรณ์



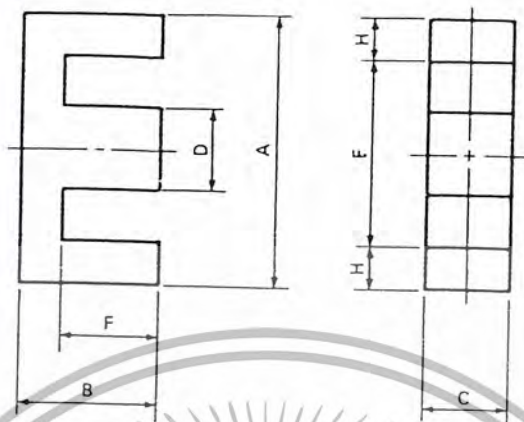
ภาคผนวก ข

สำนักงานเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Summary

## EE CORES



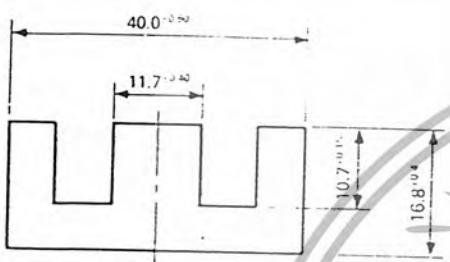
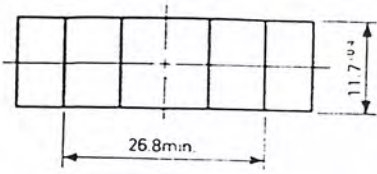
Shape code	Dimensions (mm)							General standard
	A	B	C	D	Emin.	F	H	
EE12.6/13	12.6±0.50	6.40±0.10	3.55±0.15	3.55±0.15	8.9	4.65±0.15	1.70	
EE13/13B	13.0±0.20	6.40±0.10	7.00±0.10	3.55±0.15	8.9	4.65±0.15	1.90	
EE16/14K	16.0±0.30	7.20±0.10	4.80±0.20	3.80±0.20	11.7	5.20±0.15	2.00	JIS
EE19/16K	19.1±0.30	7.95±0.15	5.00±0.20	4.55±0.15	14.2	5.60±0.10	2.30	JIS
EE19/16Z	19.3±0.32	8.10±0.18	4.76±0.13	4.76±0.08	14.1	5.72±0.13	2.38	
EE22/20	22.0±0.30	10.2±0.20	5.75±0.25	4.25±0.25	17.0	7.70±0.20	2.25	
EE25/19A	25.8±0.40	9.65±0.13	6.35±0.20	6.48±0.13	18.8	6.73±0.25	3.30	
EE25/19Z	25.4±0.38	9.53±0.25	6.35±0.25	6.35±0.13	18.7	6.38±0.17	3.18	JIS
EE25/20	25.0±0.30	10.2±0.20	6.40±0.30	6.40±0.30	18.2	6.65±0.15	3.25	
EE30/26K	30.0±0.50	13.2±0.20	10.7±0.30	10.7±0.30	19.5	8.15±0.15	5.00	JIS
EE30/30	30.0±0.50	14.9±0.25	6.90±0.30	6.90±0.20	19.5	10.2±0.25	5.00	
EE34/28A	34.6±0.45	14.2±0.20	9.27±0.25	9.27±0.25	25.4	9.90±0.25	4.38	
EE40/34B	40.0±0.60	16.8±0.40	11.7±0.40	11.7±0.40	26.8	10.7±0.15	6.35	
EE40/34K	40.0±0.50	17.0±0.30	10.7±0.30	10.7±0.30	27.4	10.3±0.30	6.00	JIS
EE40/35A	40.8±0.55	16.6±0.25	12.4±0.30	12.5±0.30	28.6	10.7±0.28	5.85	
EE40/44	40.1±0.60	22.3±0.30	11.7±0.40	11.7±0.40	27.3	15.2±0.20	6.05	
EE42/42-15W	42.2±0.90	21.0±0.20	15.0±0.30	12.0±0.30	29.5	15.2±0.40	6.03	JIS
EE42/42-20W	42.2±0.90	21.0±0.20	19.6±0.40	12.0±0.30	29.5	15.2±0.40	6.03	JIS
EE43/34	42.6±0.85	17.0±0.30	12.6±0.40	12.6±0.30	28.1	10.5±0.30	6.86	
EE47/39A	47.2±0.60	19.6±0.30	15.5±0.40	15.7±0.35	31.8	12.4±0.35	7.44	
EE50/42K	50.0±0.70	21.3±0.30	14.6±0.40	14.6±0.40	34.2	12.8±0.30	7.50	JIS
EE55/55A	55.2±1.10	27.5±0.30	20.7±0.30	17.0±0.30	37.5	18.9±0.40	8.52	JIS
EE56/47A	56.6±0.65	23.6±0.30	18.7±0.45	18.8±0.25	38.1	14.8±0.35	9.02	
EE80/76	80.0±1.00	38.1±0.40	19.8±0.40	19.8±0.40	61.2	28.2±0.30	8.90	

Shape code	Magnetic parameter				Center leg area $A_c$ (mm <sup>2</sup> )	Minimum cross sectional area $A_{min}$ (mm <sup>2</sup> )	Window area $A_w$ (mm <sup>2</sup> )	Approx. weight (g/pr.)	Test data (page)	
	$C_1$ (mm <sup>-1</sup> )	$A_e$ (mm <sup>2</sup> )	$l_e$ (mm)	$V_e$ (mm <sup>3</sup> )						
EE12.6/13	2.4057	12.4	29.7	367	12.6	12.1	L	26.3	1.90	—
EE13/13B	1.1934	25.1	30.0	752	24.9	23.8	B	26.6	3.70	37
EE16/14K	1.8662	18.9	35.2	663	18.2	18.2	C	42.6	3.20	38
EE19/16K	1.7168	23.1	39.6	915	22.8	22.8	C	55.7	4.58	39
EE19/16Z	1.7715	22.7	40.1	909	22.7	22.7	LBC	55.9	4.56	—
EE22/20	1.9594	26.1	51.2	1340	24.4	24.4	C	102	13.8	—
EE25/19A	1.2387	39.8	49.2	1960	41.1	37.1	B	85.6	9.96	—
EE25/19Z	1.1970	40.2	48.1	1940	40.3	40.0	B	81.0	10.3	40
EE25/20	1.1561	42.6	49.3	2100	41.0	41.0	C	80.5	10.3	—
EE30/26K	0.52756	110	57.9	6360	114	107	L	75.8	32.2	41
EE30/30	1.1538	57.3	66.1	3790	47.6	47.6	C	134	20.7	42
EE34/28A	0.85153	82.1	69.9	5750	85.9	79.7	B	164	29.5	—
EE40/34B	0.54389	142	77.5	11000	137	137	C	167	52.0	43
EE40/34K	0.60782	127	77.4	9860	114	114	C	178	52.0	44
EE40/35A	0.52569	149	78.1	11600	155	145	L	178	58.8	—
EE40/44	0.66917	145	97.2	14100	137	137	C	248	71.7	—
EE42/42-15W	0.54243	180	97.8	17600	180	180	BC	276	86.9	45
EE42/42-20W	0.41512	236	97.8	23000	235	235	BC	276	118	46
EE43/34	0.47780	165	78.7	13000	159	159	C	171	65.0	—
EE47/39A	0.38524	232	89.5	20800	243	223	B	206	106	—
EE50/42K	0.42677	226	96.3	21700	213	213	C	261	113	47
EE55/55A	0.34989	353	124	43700	352	352	C	400	218	48
EE56/47A	0.31597	339	107	36400	352	329	B	292	186	—
EE80/76	0.49137	377	185	69700	392	352	L	1480	354	—

Minimum cross sectional area B: Back area C: Center leg area L: Side leg area  
 最小磁路断面積 B: 背面 C: 中脚 L: 外脚  
 หมายเหตุ: ข้อมูลนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 หมายเหตุ: ข้อมูลนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 หมายเหตุ: ข้อมูลนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# E40/34B

## EE CORES



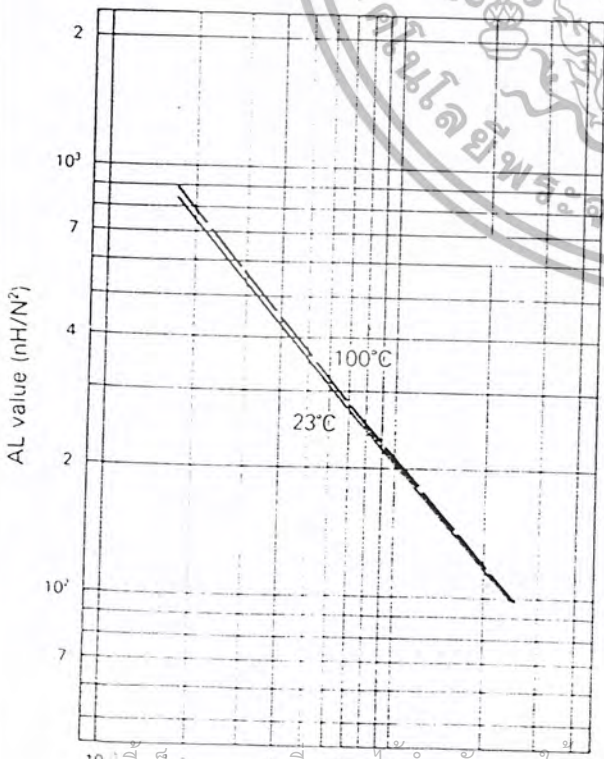
### Magnetic Parameter

Core constant	$C_1$	0.54389 mm <sup>-1</sup>
Effective magnetic pass length	$l_e$	77.5 mm
Effective cross sectional area	$A_e$	142 mm <sup>2</sup>
Effective core volume	$V_e$	11000 mm <sup>3</sup>
Center leg area	$A_c$	137 mm <sup>2</sup>
Minimum cross sectional area (Center leg)	$A_{min}$	137 mm <sup>2</sup>
Winding area of core	$A_w$	167 mm <sup>2</sup>
Approx. Weight		52.0 g/pair

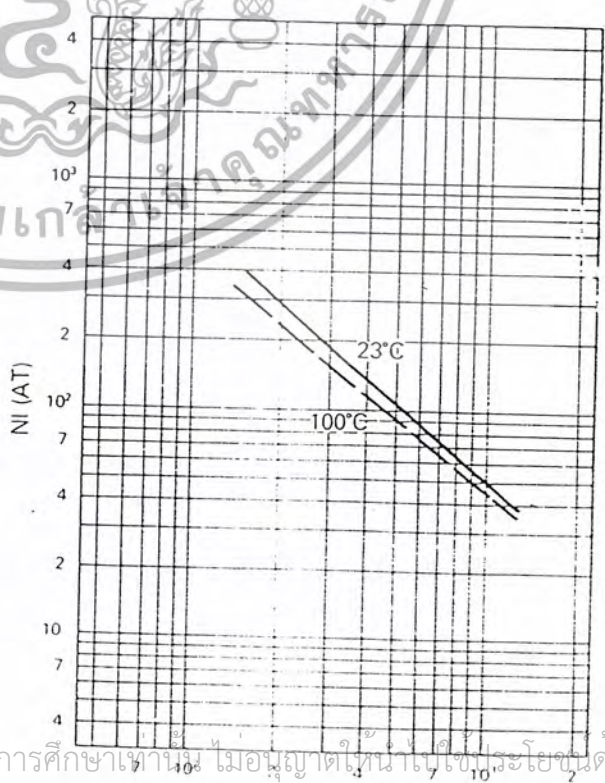
Unit: mm

Product code	AL Value (nH/N <sup>2</sup> )	Effective permeability $\mu_e$	Air gap approx.	Core loss (Max.) 100kHz, 200mT (Watt)
20 EE40/34B	4,200 ± 25% (3,150 - 5,250)	1,810	0	5.5

AL value vs. gap length



NI vs. AL value

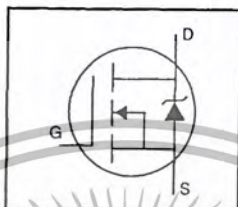


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอาจนำมาใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ 20 EE40/34B มีข้อผิดพลาดหรือการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 NI shows the point where the exciting current is 20% away from its extended linear part.  
 NI = 2000 AL / (2000 - AL) (nH/N<sup>2</sup>)

HEXFET® Power MOSFET

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

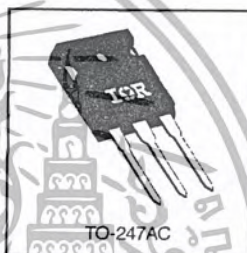


$V_{DS} = 500V$   
 $R_{DS(on)} = 0.27\Omega$   
 $I_D = 20A$

**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.



DATA SHEETS

**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
$I_{AR}$	20	A
$E_{AR}$	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
$T_J$	-55 to +150	°C
$T_{STG}$		°C
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf·in (1.1 N·m)	

**Thermal Resistance**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{JC}$	---	---	0.45	°C/W
$R_{JCS}$	---	0.24	---	°C/W
$R_{JA}$	---	---	40	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP460



## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>D</sub> =250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> =1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V <sub>GS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =12A ①
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> =V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> =250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	13	—	—	S	V <sub>DS</sub> =50V, I <sub>D</sub> =12A ②
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> =500V, V <sub>GS</sub> =0V
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>DS</sub> =400V, V <sub>GS</sub> =0V, T <sub>J</sub> =125°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V <sub>GS</sub> =-20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I <sub>D</sub> =20A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	V <sub>DS</sub> =400V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	V <sub>GS</sub> =10V See Fig. 6 and 13 ③
t <sub>(don)</sub>	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V <sub>DD</sub> =250V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	59	—	ns	I <sub>D</sub> =20A
t <sub>(doff)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	R <sub>G</sub> =4.3Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	58	—	ns	R <sub>D</sub> =13Ω See Figure 10 ④
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V <sub>GS</sub> =0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	870	—	pF	V <sub>DS</sub> =25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	f=1.0MHz See Figure 5

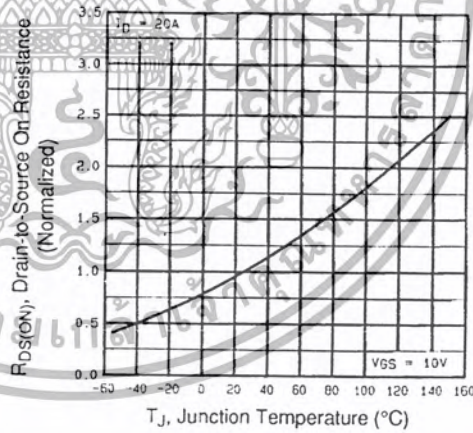
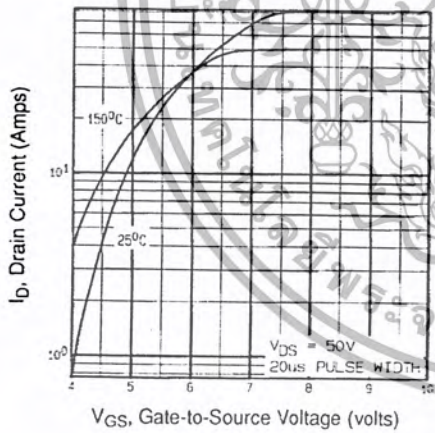
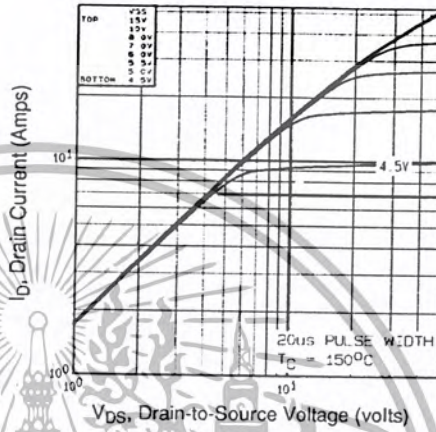
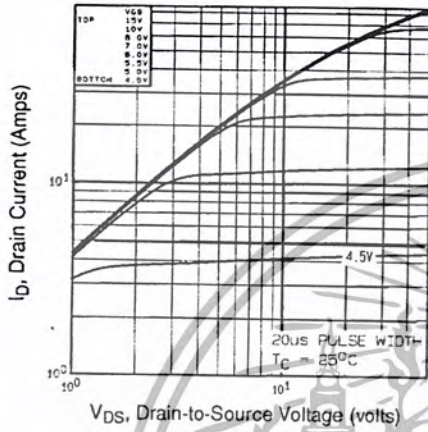
## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =20A, V <sub>GS</sub> =0V ②
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =20A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	dI/dt=100A/μs ③
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② V<sub>DD</sub>=50V, starting T<sub>J</sub>=25°C, L=4.3mH, R<sub>G</sub>=25Ω, I<sub>AS</sub>=20A (See Figure 12)
- ③ I<sub>SD</sub>≤20A, di/dt≤160A/μs, V<sub>DD</sub>≤V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>J</sub>≤150°C
- ④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤ 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

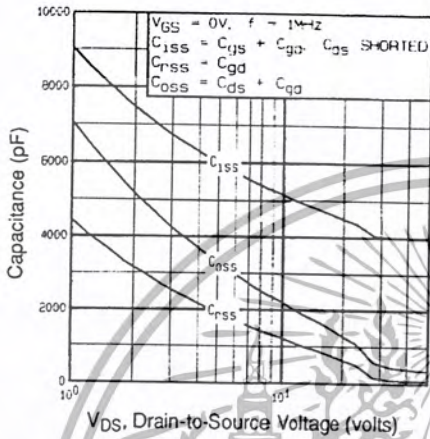


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

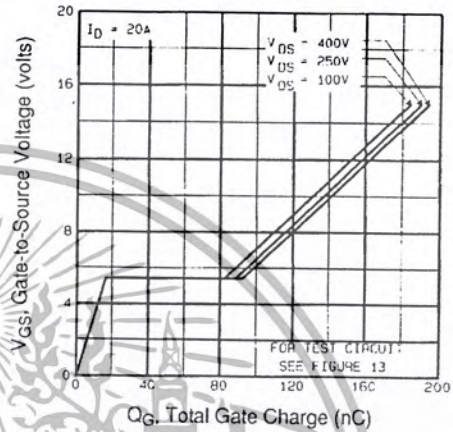


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

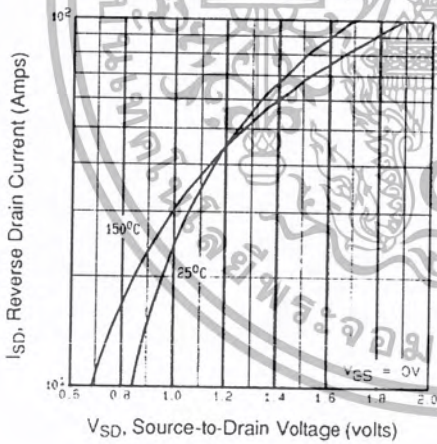


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

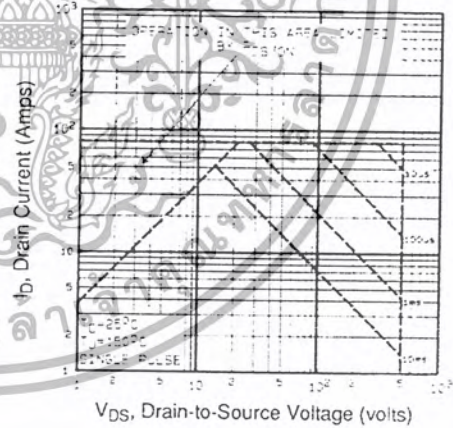


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

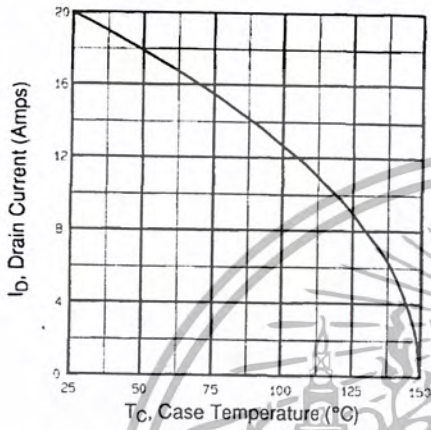


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

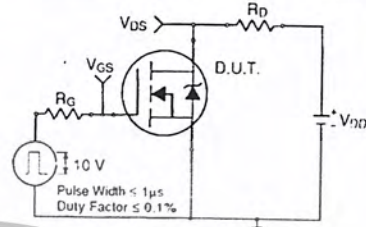


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

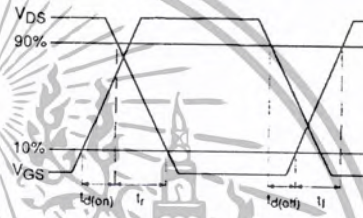


Fig 10b. Switching Time Waveforms

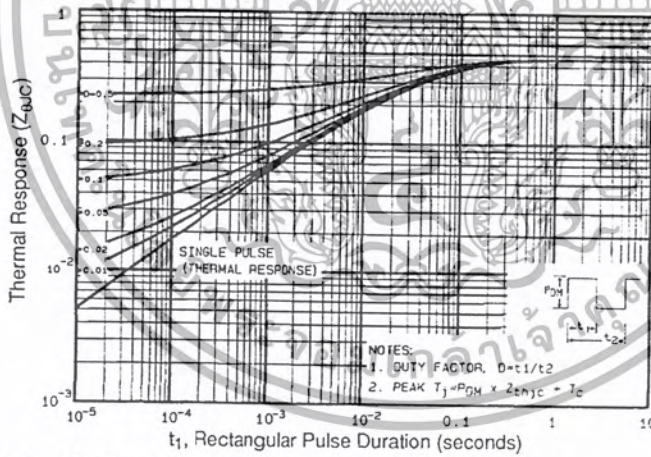


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

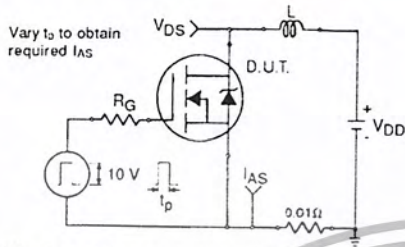


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

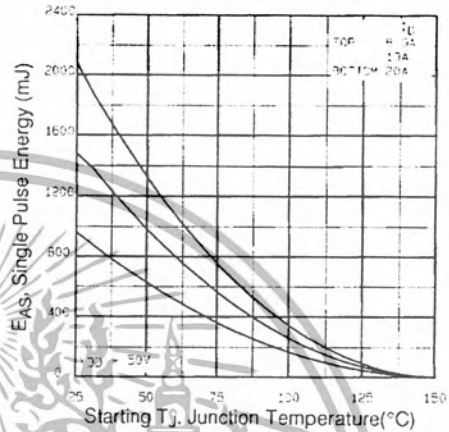


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

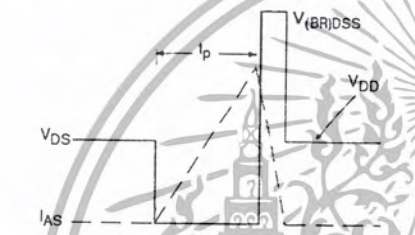


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

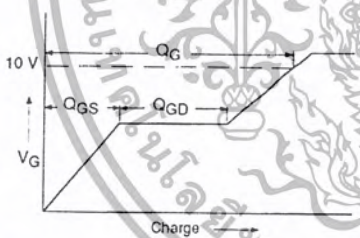


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

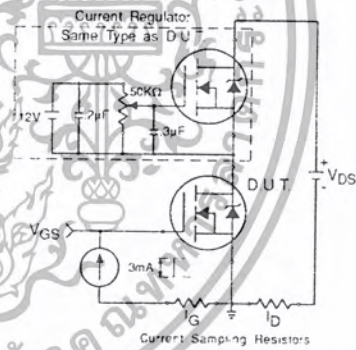


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

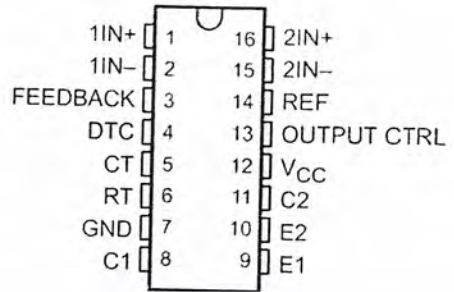
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B - JANUARY 1983 - REVISED JULY 1999

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

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



## description

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

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

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

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

The TL494C is characterized for operation from  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ . The TL494I is characterized for operation from  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ .

FUNCTION TABLE

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



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

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

TEXAS  
INSTRUMENTS

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับองค์กรใช้งานขององค์กรซึ่งท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

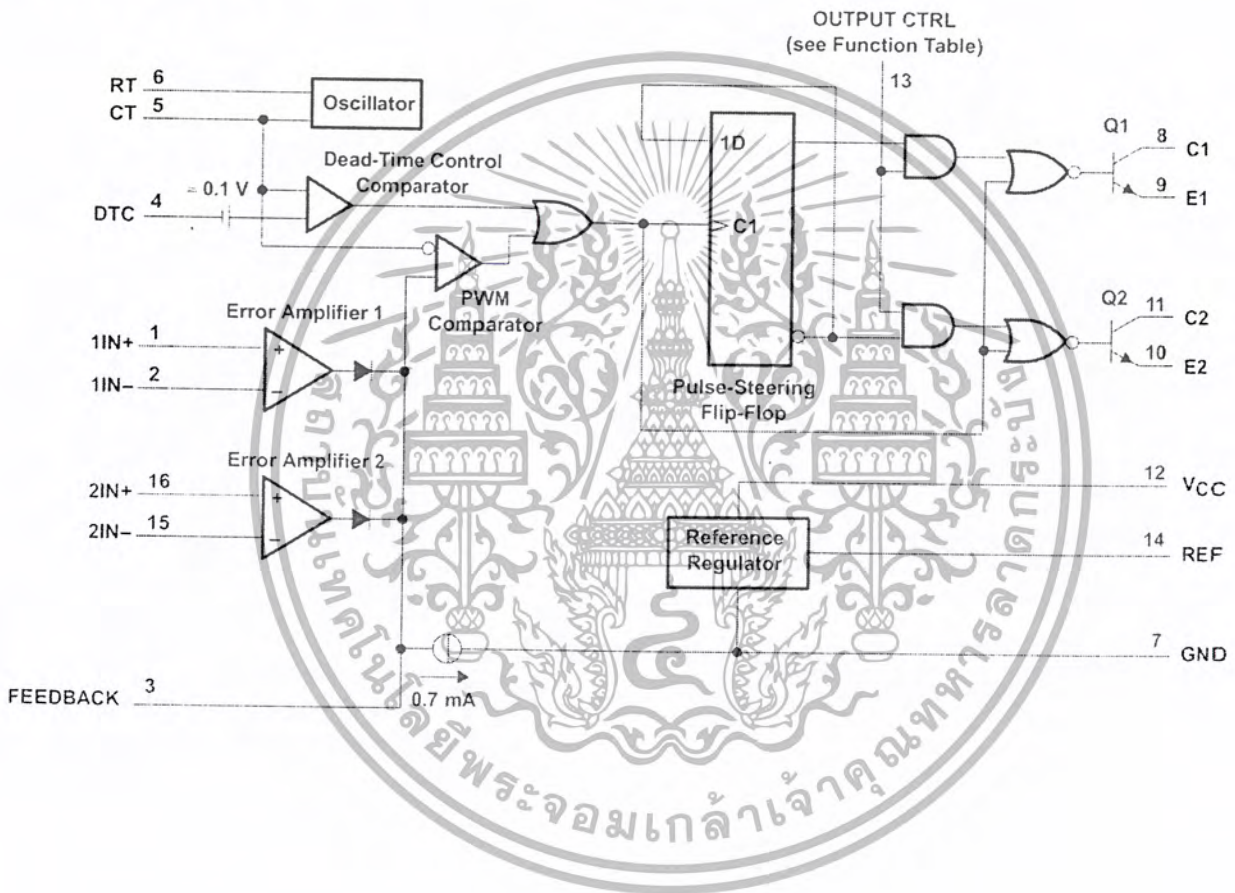
SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

### AVAILABLE OPTIONS

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

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

### functional block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเมื่อครั้งคุณเคยอ่าน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

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

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

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

## recommended operating conditions

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานในบริษัทเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B - JANUARY 1983 - REVISED JULY 1999

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

### reference section

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### error-amplifier section (see Figure 2)

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

## reference section

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

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

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

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

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

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

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

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

## error-amplifier section (see Figure 2)

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

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับองค์กรในวงแคบและอาจมีข้อผิดพลาดได้ กรุณาอย่าใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

## output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$ , $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	$\mu\text{A}$
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$ , $V_E = 0$			-100	$\mu\text{A}$
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter $V_E = 0$ , $I_C = 200\text{ mA}$		1.1	1.3	V
	Emitter follower $V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$ , $I_E = -200\text{ mA}$		1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

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

## dead-time control section (see Figure 1)

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

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

## PWM comparator section (see Figure 1)

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

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

## total device

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

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

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

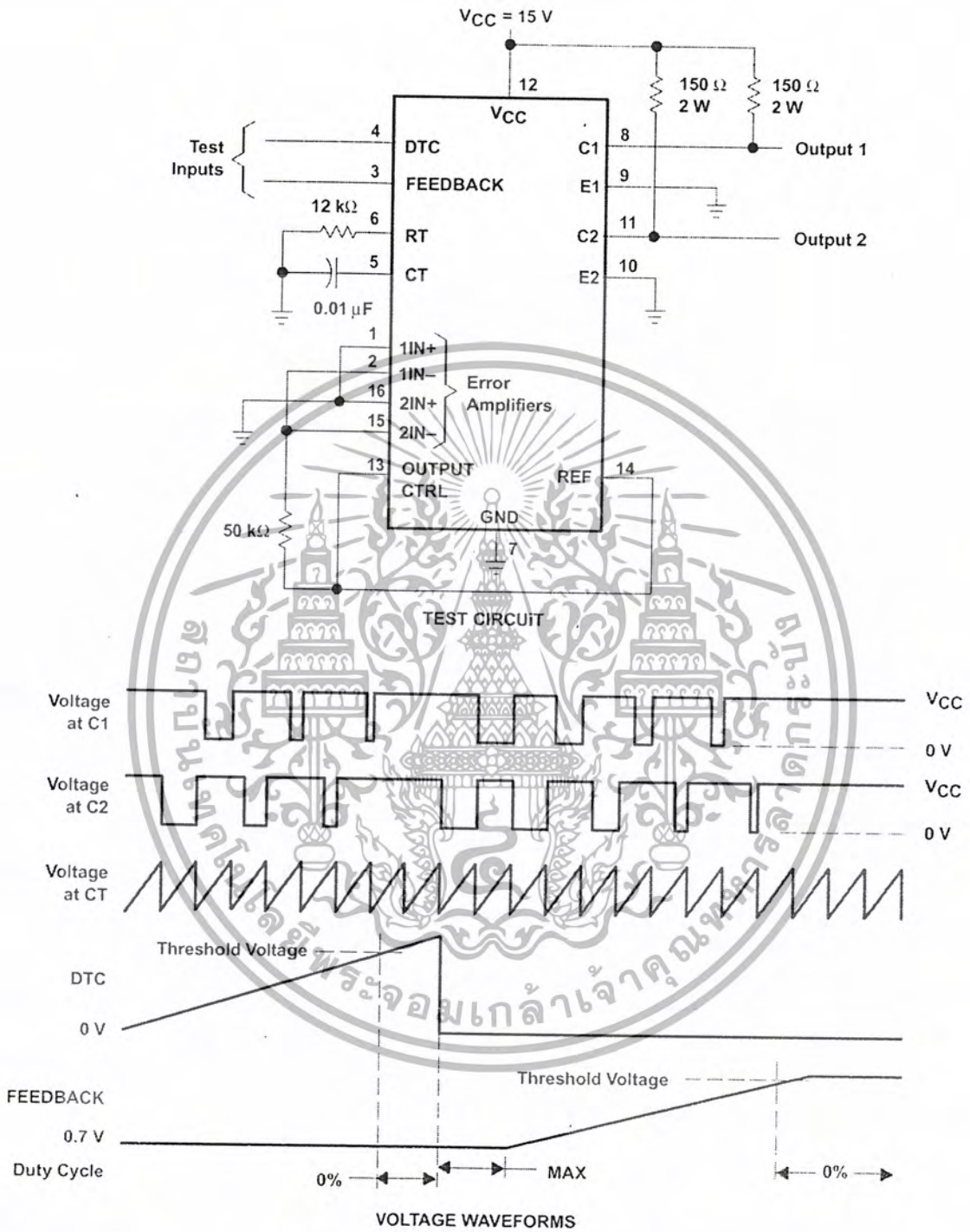


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL494**  
**PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS**

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**

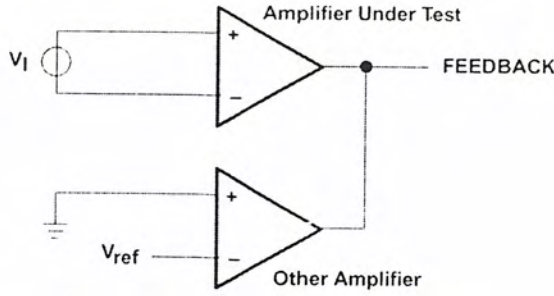
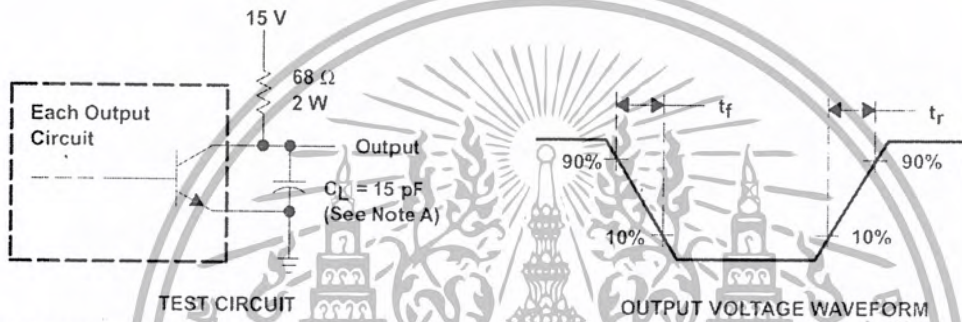
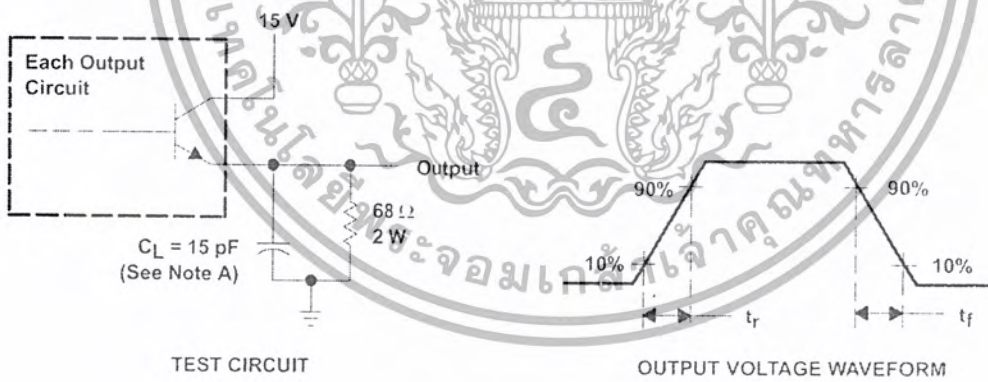


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



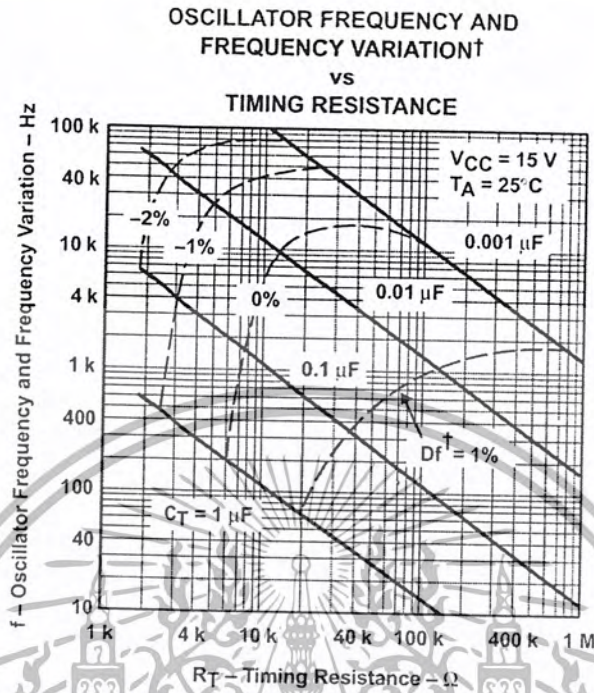
NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



† Frequency variation ( $\Delta f$ ) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5

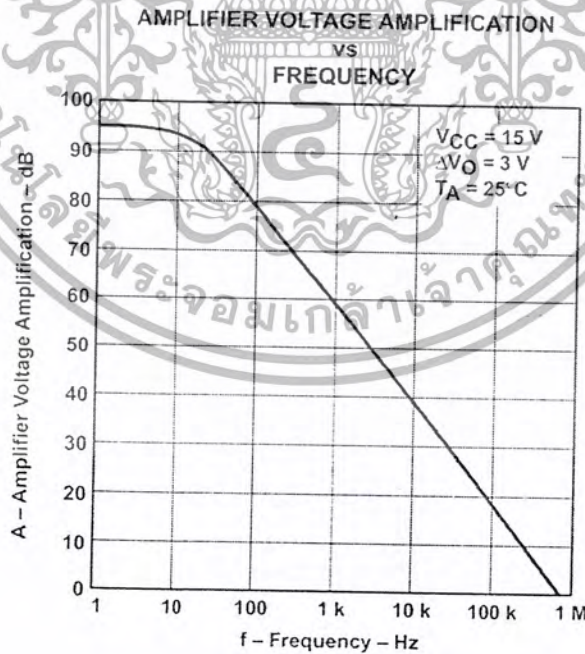


Figure 6



## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

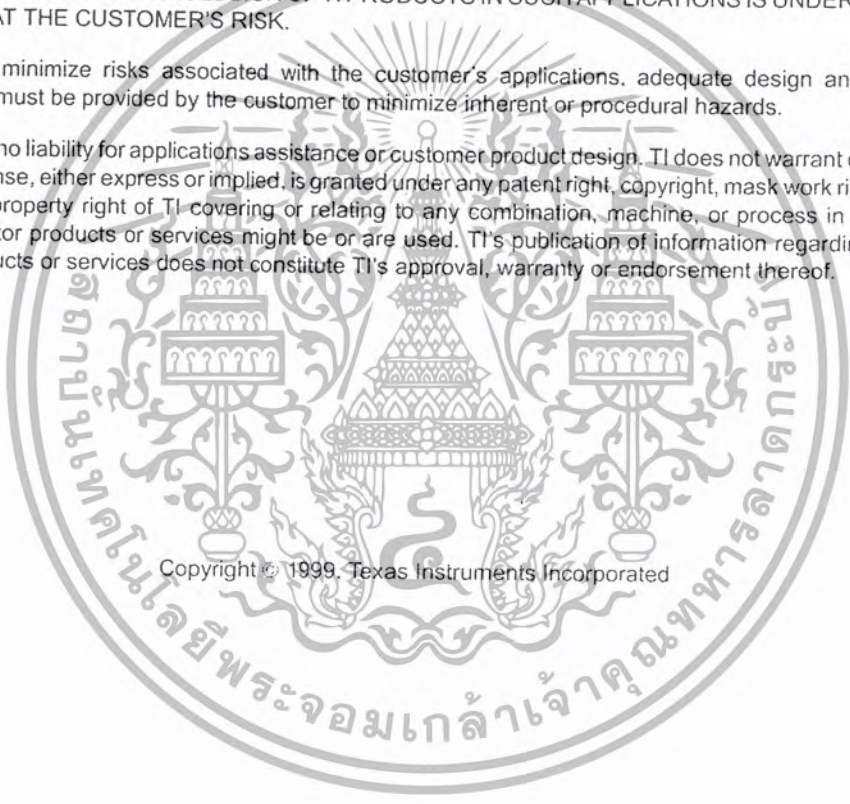
TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

## HIGH AND LOW SIDE DRIVER

### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

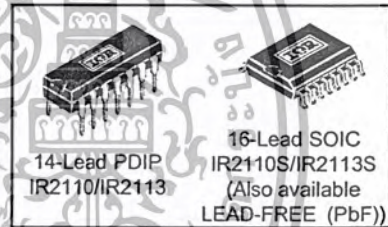
### Product Summary

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

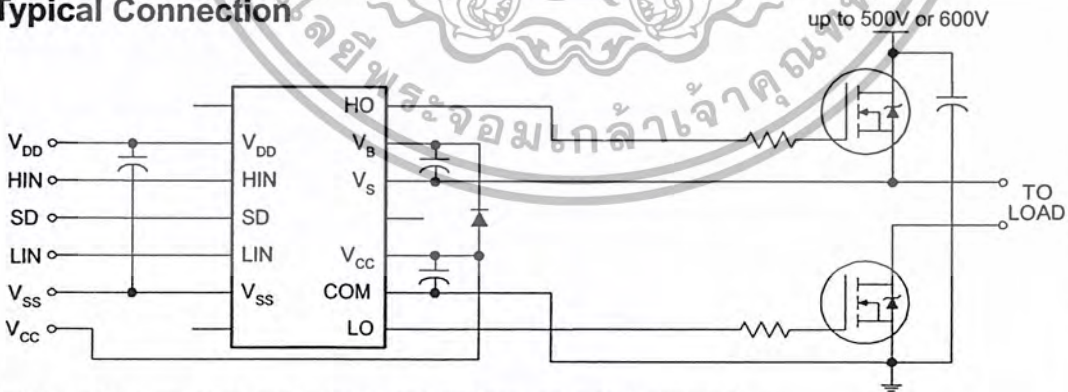
### Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

### Packages



### Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International  
IR Rectifier

## Absolute Maximum Ratings

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

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V
	(IR2113)	-0.3	625	
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3	
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 lead DIP)	1.6	W
		(16 lead SOIC)	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150	
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

## Recommended Operating Conditions

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

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4 to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>B</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

### Dynamic Electrical Characteristics

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

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	10 20		

### Static Electrical Characteristics

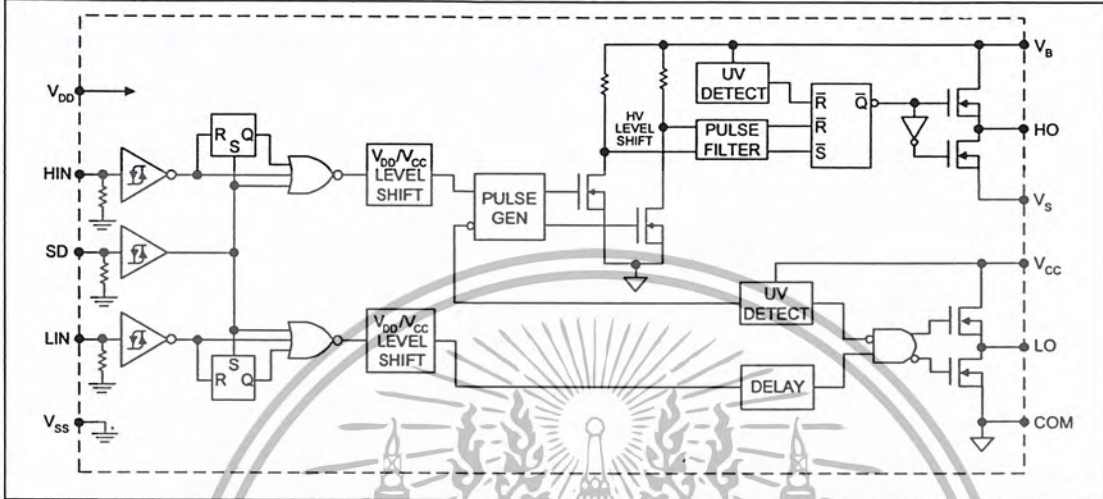
$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IN}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters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

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

# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International  
**IR** Rectifier

## Functional Block Diagram



## Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

## Lead Assignments

<p>14 Lead PDIP</p>	<p>16 Lead SOIC (Wide Body) (Also available LEAD-FREE (PbF))</p>
<b>IR2110/IR2113</b>	<b>IR2110S/IR2113S</b>
<b>Part Number</b>	

# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

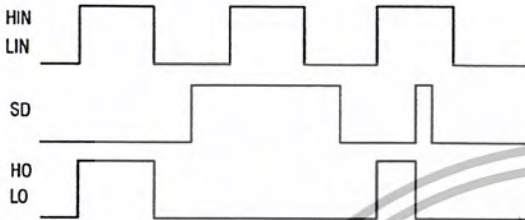


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

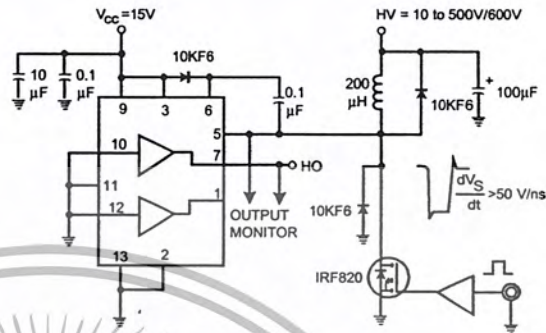


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

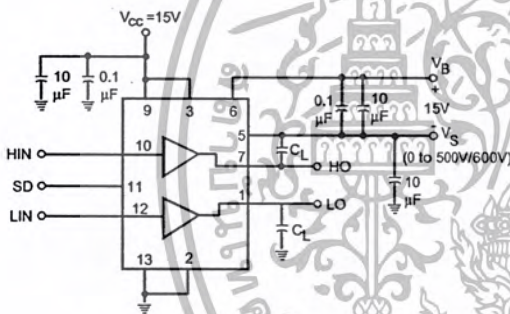


Figure 3. Switching Time Test Circuit

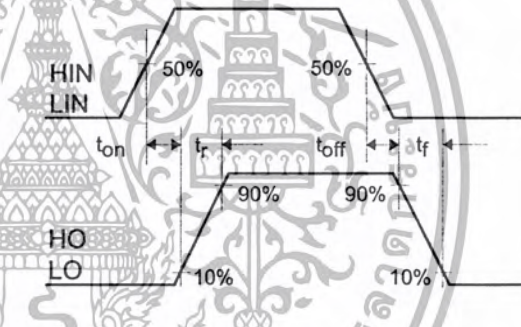


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

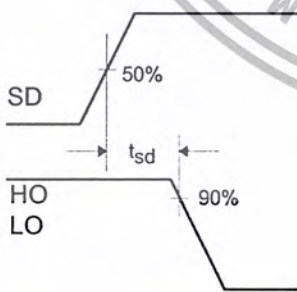


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

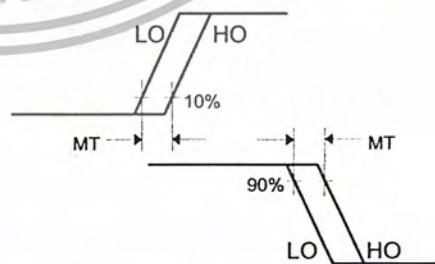


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง",  
ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง
- [2] George Chrysis , "High-Frequency Switching Power Supplies",  
McGraw – Hill Publishing Company
- [3] [www.ferroxcube.com](http://www.ferroxcube.com)
- [4] [www.mag-inc.com](http://www.mag-inc.com)
- [5] [www.FDK.com](http://www.FDK.com)



## คณะผู้จัดทำ

1. นาย บุญยวัฒน์ พุทธิเมธาทพงศ์

ที่อยู่ 44 ถนนเทศบาล 5 ตำบล สะเตง อำเภอเมือง จ.ยะลา 95000  
0-6389-3383

2. นาย วิโรจน์ แดงงาม

ที่อยู่ 83 หมู่ 7 ตำบล บางขันหมาก อำเภอเมือง จ.ลพบุรี 15000  
0-3127-5620

3. นาย เอกชัย ทรุทธิมาน

ที่อยู่ 78/184 หมู่ 2 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160  
0-1906-3492



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้