

ปีการศึกษา 2543

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่งแรงดันสูงความถี่สูง

HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY SWITCHING POWER SUPPLY



โดย
นายธีรวิทย์ สุ่มอิม
นายนพดล มิตรรัก
นายวรวรรณ ทับทิมแสง

ร.ศ.
56487
2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42599
วัน, เดือน, ปี - 4 ส.พ. 2545

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

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เปรื่องจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง

ผู้จัดทำ

1. นายธีรวิทย์


สุ่มอิม

2. นายนพดล

มิตรรัก

3. นายวรวรรณ

ทับทิมแสง

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง

นายธีรวิทย์ สุ่มอ้อม

นายนพดล มิตรรัก

นายวรวรธรณ์ ทับทิมแสง

รศ. ศิริวัฒน์ โทษิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำเพื่อใช้เป็นส่วนผลิตกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง เพื่อใช้แทนหม้อแปลงเตสลาเนื่องจากง่ายต่อการปรับความถี่และได้สัญญาณทดสอบที่ต่อเนื่อง โดยมีขอบเขตของวงจรคือสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายพิกัด 1.5 กิโลวัตต์ที่รับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต โดยผ่านสวิตชิงแบบฟูลบริดจ์ที่ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์นำกระแสและผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่ต้องการคือ 1.8 กิโลโวลต์ จุดประสงค์ที่ต้องการผลิตแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อใช้ในการทดสอบฉนวนแทนหม้อแปลงเตสลา

AC High Voltage High Frequency Power Supply

Mr. Teerawit Sumim

Mr. Noppadol mitruk

Mr. Warawat Thubthimsang

Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

2000

ABSTRACT

This project is to generate high frequency high voltage power supply to use instead of teals transformer because it's easy to vary frequency and obtain continue signal. Thescope limits on 1.5 kilowatts switching power supply . Therefore ,220Vac 1-Phase 50Hz is transformed to receive high frequency power supply approximately 100-200 kHz. Beside, to obtain high voltage of 1.8 kilovolts ,fullbridge switching is exploited in which MOSFET cats as a conductive device. At last, the output of this procedure is use in insulation test .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงและความรู้ทางด้านการทดสอบฉนวนจาก รศ.ศิริวัฒน์ โภชเวชกุลที่เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านละคราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

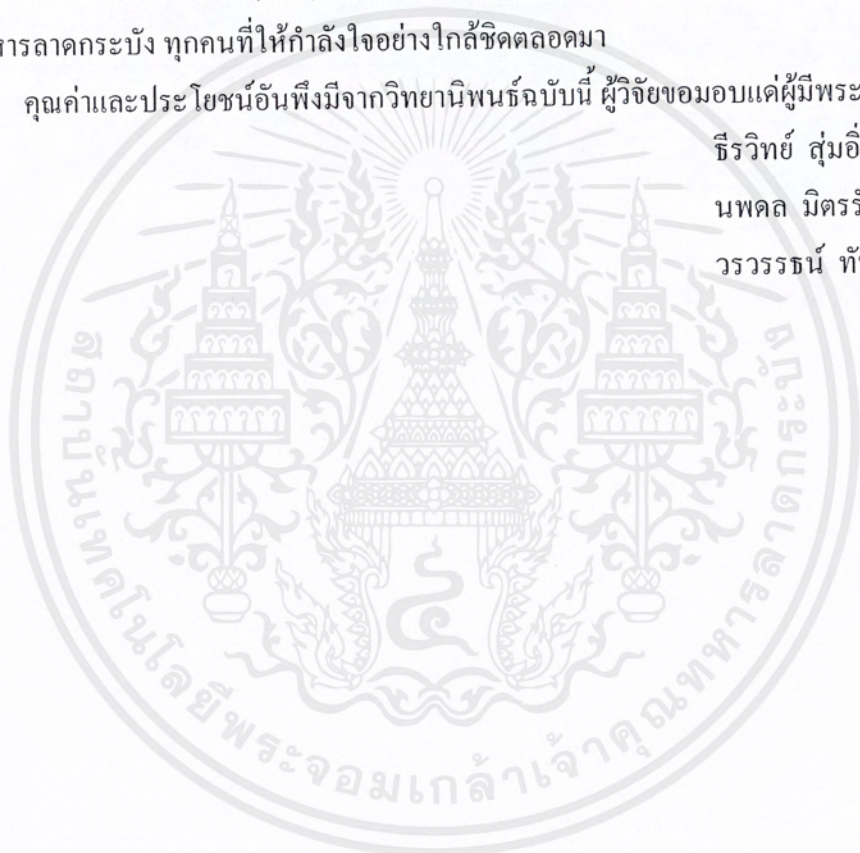
ขอขอบพระคุณ อ.ศักดิ์ชัย(ที่เบิร์ม) ที่คอยแนะนำแนวทางการแก้ปัญหาและให้อุปกรณ์ในการวิจัยโครงการ และเพื่อนๆ พี่ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ทำให้กำลังใจอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธีรวิทย์ สุ่มอิม

นพดล มิตรรัก

วรวรรณ ทับทิมแสง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	2
2.1 เรกติไฟเออร์.....	2
2.1.1 วงจรเรียงกระแส.....	2
2.1.2 RFI ฟิวเตอร์.....	4
2.1.3 ฟิวส์.....	4
2.2 อินเวอร์เตอร์.....	4
2.2.1 การเลือกชนิดคอนเวอร์เตอร์.....	4
2.2.2 Square wave อินเวอร์เตอร์.....	5
2.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง.....	7
2.4 วงจรขับ.....	11
2.5 ฟิวเตอร์.....	15
บทที่ 3 การออกแบบ.....	17
3.1 วงจรเรียงกระแส.....	17
3.2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์.....	18
3.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง.....	19
3.4 วงจรควบคุมใน โหมดควบคุมแรงดัน.....	20
3.5 การออกแบบวงจรรองความถี่.....	21
บทที่ 4 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งแรงดันสูงความถี่สูง.....	22
4.1 ผลการทดสอบรูปสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งแรงดันสูงความถี่สูง.....	22
4.2 ผลการทดสอบค่าแต่ละสภาวะของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งแรงดันสูงความถี่สูง.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราหน่อหภูมิ.....	11
4.1 ผลการทดสอบแต่ละสภาวะของแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 115 kHz.....	39
4.2 ผลการทดสอบแต่ละสภาวะของแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 150 kHz.....	40
4.3 ผลการทดสอบแต่ละสภาวะของแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 200 kHz.....	41
4.4 ผลการทดสอบโดยให้ภาระโหลดเข้าที่เอาต์พุทของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง.....	42



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปวงจรเรกติไฟเออร์.....	2
2.2 ฟูลล์บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์.....	5
2.3 ฟูลล์บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ที่มีการในโอดป้อนกลับ.....	5
2.4 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุต.....	6
2.5 รูปสัญญาณกระแส กรณีโหลดR-Lก่อนใส่ไดโอดป้อนกลับ.....	6
2.6 รูปสัญญาณกระแสกรณีโหลด R	6
2.7 รูปสัญญาณกระแส กรณีโหลดR-L หลังใส่ไดโอดป้อนกลับ	6
2.8 รูปตัวอย่างของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE,EI และ ETD.....	9
2.9 รูปวงจรขับพื้นฐาน.....	12
2.10 รูปสัญญาณการสวิตชิง.....	13
2.11 รูปวงจรขับแบบ Totem-pole และการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice	14
2.12 รูปวงจรมอเตอร์โซแนนซ์ อินเวอร์เตอร์.....	15
2.13 เฟสเซอร์ วงจรสมมูลย์ของวงจรมอเตอร์R-L-C	15
3.1 วงจรเรียงกระแสแบบฟูลล์บริดจ์.....	17
3.2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์.....	18
4.1 สัญญาณฟันปลาเปรียบเทียบกับสัญญาณPWM.....	23
4.2 รูปแสดงสัญญาณPWMที่ออกจากไอซี TL494.....	24
4.3 แสดงสัญญาณPWMหลังจากผ่านหม้อแปลงแยกกรานด์.....	25
4.4 รูปแสดงสัญญาณหลังจากผ่านฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	26
4.5 รูปแสดงสัญญาณที่ขดลวดปฐมภูมิหลังจากผ่านฟิลเตอร์.....	27
4.6 รูปแสดงสัญญาณที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง.....	28
4.7 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	29
4.8 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	30
4.9 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	31
4.10 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	32
4.11 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	33
4.12 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	34
4.13 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	36
4.15 รูปสัญญาณต่างๆเมื่อต่อภาระทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ความถี่ 115 kHz.....	37
4.16 รูปสัญญาณต่างๆเมื่อต่อภาระทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ความถี่ 150 kHz.....	38



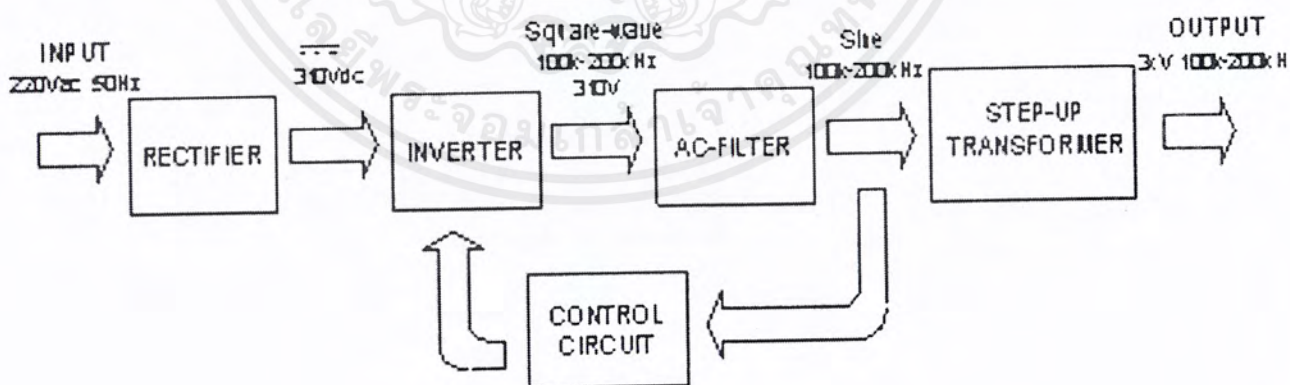
บทที่ 1

บทนำ

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถให้กำลังไฟฟ้าได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของตัวเอง ทำให้มีการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งอย่างต่อเนื่อง

เหตุที่ทำให้มีกำลังต่อหน่วยน้ำหนักสูงนั้น เนื่องจากใช้หม้อแปลงขนาดเล็กลง ซึ่งน้ำหนักของแหล่งจ่ายไฟส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของหม้อแปลง โดยหลักการแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งจะสร้างแรงดันความถี่สูงก่อนแล้วผ่านเข้าหม้อแปลง แปลงระดับแรงดันให้มีค่าอยู่ในระดับที่ต้องการ การที่การที่หม้อแปลงทำงานที่ความถี่สูงทำให้ความต้องการพื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลงค่าน้อยลงจึงทำให้หม้อแปลงมีขนาดเล็กลงและน้ำหนักน้อยลง นั้นหมายความว่ายิ่งความถี่สูงขึ้นขนาดและน้ำหนักของหม้อแปลงก็จะน้อยลงเรื่อยๆ

ขอบเขตของโครงการเริ่มจากการรับไฟป้อนเข้าจากแหล่งไฟตามบ้านปกติ 220 โวลต์ นำมาผ่านวงจรเรียงกระแสได้ไฟตรง 310 โวลต์ นำมาเป็นแหล่งจ่ายให้แก่วงจรควบคุม วงจรตีซิงกูอซี (DC to AC Converter) ซึ่งเป็นวงจรสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายแบบฟูลบริดจ์ เพื่อทำการตัดต่อไฟตรงให้เป็นช่วงๆด้วยความถี่สูงประมาณ 100-200 กิโลเฮิร์ต ต่อจากนั้นจึงผ่านเข้าหม้อแปลงกำลังความถี่สูง เพื่อยกระดับแรงดันให้สูงขึ้น ได้เป็นไฟกระแสสลับที่มีแรงดันสูงถึง 1.8 กิโลโวลต์ และมีความถี่สูงที่ 100-200 กิโลเฮิร์ต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งโดยทั่วไปนั้นมีส่วนประกอบหลักๆ ประกอบไปด้วย

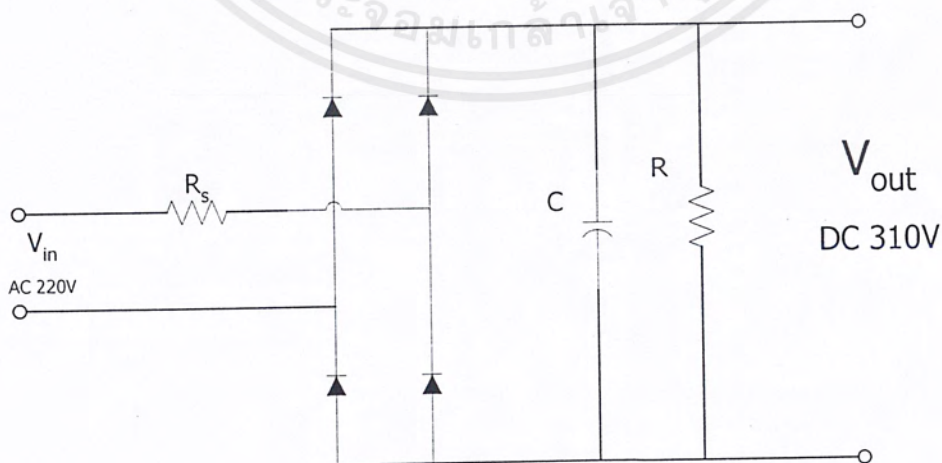
- เรกติไฟเออร์
- อินเวอร์เตอร์
- หม้อแปลงกำลังความถี่สูง
- วงจรขับ
- ฟิวเตอร์

2.1 เรกติไฟเออร์

เรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง เพื่อส่งให้ คอนเวอร์เตอร์ แบ่งเป็น 3 ส่วน

1. Rectifier
2. RFI input Filter
3. Fuse

2.1.1 Rectifier เป็นตัวกำหนดค่าอัตราทดกระแสของ RFI Input Filter และ Fuse ประกอบด้วย ตัวต้านทานจำกัดกระแสไดโอด ตัวเก็บประจุฟิวเตอร์



รูปที่ 2.1 รูปวงจรเรกติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวต้านทานจำกัดกระแส (R_s) ทำหน้าที่จำกัดกระแสกระชากที่เกิดขึ้นในตอนเปิดเครื่อง หรือตัวเก็บประจุชาร์จประจุ

การจำกัดกระแสกระชาก

1. แบบใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรม ใช้ในงานที่กำลังต่ำ
ข้อดี ลดความเค้นทางไฟฟ้าของไดโอด ตัวเก็บประจุ อุปกรณ์กรองสัญญาณรบกวน
ข้อเสีย ประสิทธิภาพของวงจรลดลง แรงดันเอาต์พุตลดลง
2. แบบใช้เทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC ใช้งานกำลังไม่สูงนัก ค่าความต้านทานของ NTC จะมีค่าสูงเมื่อเริ่มเปิดสวิทช์
ข้อเสีย ถ้า NTC ยังร้อนอยู่ เมื่อเปิดสวิทช์ก็ไม่สามารถจำกัดกระแสกระชากได้
3. แบบใช้วงจรจำกัดกระแส (ไดรแอก) ใช้งานกำลังสูง

- ไดโอดเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่เรียงกระแสให้เป็นกระแสตรง พิจารณาจาก

- กระแสสูงสุดที่ forward bias ซึ่งไดโอดจะต้องทนอย่างน้อย 2 เท่าของกระแส
- กระแสกระชากมีค่า 20-30 เท่าของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูก forward bias
- ความสามารถในการทนศักดาย้อนกลับ (PIV) ปกติจะใช้ PIV = 600 หรือมากกว่า

- ตัวเก็บประจุฟิวดเจอร์ ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้น และช่วยให้กระแสเพียงพอดตามคอนเวอร์เตอร์ต้องการ พิจารณาจาก

- อัตราทนกระแสระลอก
- แรงดันกระแสที่เอาต์พุต จะมีผลต่อคอนเวอร์เตอร์ในการออกแบบการกระเพื่อมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของเอาต์พุต ค่า C คำนวนจาก

$$I_c = \frac{P_{in}}{V_{in(rms)}} \tag{2.1}$$

$$C > \frac{(I_c \times t)}{V_{ripple}} \tag{2.2}$$

I_c = กระแสประสิทธิภาพ

t = เวลาที่ C คายประจุ

V_{ripple} = ค่ากระแสกระเพื่อม

P_{in} = กำลังที่จ่าย

V_{in(rms)} = แรงดัน rms ที่ input

- อัตราทนแรงดัน , ราคา ขนาด

2. RFI input Filter

การทำงานของสวิทซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีการทำงานเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างฉับพลันที่กระแสสูง ๆ เป็นเหตุทำให้เกิดสัญญาณรบกวน RFI จึงต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับยอมรับได้ โดยจะต่อ LC filter ที่ขั้วอินพุต กับระบบแรงดันไฟสลับ

3. Fuse

ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ เนื่องจากกระแสเกิน แยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเกิดการลัดวงจร พิจารณาจาก

- ค่าอัตราทนแรงดัน ต้องใช้ฟิวส์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดันของวงจรเพื่อลดการอาร์กที่ตัวฟิวส์
- ค่าอัตราทนกระแสควรเผื่อไว้ 50 เปอร์เซ็นต์

2.2 อินเวอร์เตอร์

ปัจจุบันสวิทซ์โหมดอินเวอร์เตอร์ ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในการขับเคลื่อนมอเตอร์เอซี , ระบบไฟลำโพง รวมถึงการนำแบตเตอรี่รถยนต์หรือโซล่าเซลล์มาสร้างไฟกระแสสลับ โดยที่เราสามารถควบคุมขนาด , ความถี่ของไฟกระแสสลับที่สร้างขึ้นได้ และการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากด้านกระแสตรงไปยังด้านกระแสสลับ อินเวอร์เตอร์มีการใช้งานในทั้งระบบเฟสและ3เฟส โดยแบ่งตามลักษณะการทำงานออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. PWM:(pulse-width-modulated) อินเวอร์เตอร์ : มีข้อดีที่สามารถควบคุมขนาดของแรงดันเอาต์พุตได้ และการลดความจำเป็นในการใช้วงจรกรองสัญญาณฮาร์มอนิกเนื่องจากฮาร์มอนิกจะเกิดที่ความถี่ซึ่งสูงกว่าแบบ Square-wave แต่มีข้อเสียที่วงจรควบคุมสวิทซ์มีความซับซ้อนมากกว่า และกำลังสูญเสียที่มากขึ้นจากการสวิต ซึ่งที่เพิ่มขึ้นหลายครั้งในหนึ่งคาบ

2. Square-wave อินเวอร์เตอร์ : มีข้อดีคือกำลังสูญเสียจากการสวิตซ์ต่ำ เนื่องจากการสวิตซ์เกิดขึ้นเพียงสองสถานะในหนึ่งคาบ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมขนาดแรงดันเอาต์พุตได้ ดังนั้นการปรับแรงดัน เอาต์พุตจึงต้องควบคุมที่ขนาดแรงดันกระแสตรงด้านอินพุต

เนื่องจากโครงงานนี้ทำงานที่ความถี่สูง(100kHz-200kHz)จึงเลือกใช้Square-wave อินเวอร์เตอร์ซึ่งมีข้อดีในการลดการสูญเสียจากการสวิตซ์

2.2.1 การเลือกชนิดคอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบวงจรขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการใช้อุปกรณ์และวงจรควบคุมมากน้อยเพียงไรที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือความเหมาะสมของวงจรกับการนำไปใช้งานเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์: เป็นชนิดที่ใช้อุปกรณ์น้อย , วงจรง่ายไม่ซับซ้อน เหมาะสมกับการใช้งานที่กำลังต่ำ(ไม่เกิน 150W) ข้อเสียของชนิดนี้คือแกนหม้อแปลงต้องมีขนาดใหญ่เมื่อต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และ แรงดันคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์มีค่าสูง (2Vdc)

ฟอ์เวอร์ค คอนเวอร์เตอร์: เป็นชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งานที่กำลังไฟปานกลาง(150-500W)และใช้อุปกรณ์สวิตซ์ 1ตัว เช่นเดียวกับแบบฟลายแบ็ค แต่ใช้ขนาดแกนหม้อแปลงที่เล็กกว่า

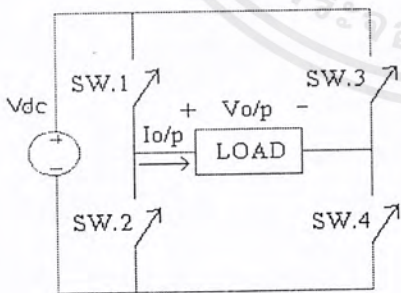
พูช-พูต คอนเวอร์เตอร์:เป็นอีกชนิดที่ใช้กับกำลังไฟระดับปานกลาง มีข้อดีที่วงจรจับอุปกรณ์สวิตซ์ทั้ง 2ตัวสามารถใช้กราวด์ร่วมกันได้ และแกนหม้อแปลงมีขนาดเล็กกว่า (เพราะว่าแกนหม้อแปลงถูกกระตุ้นทั้ง 2 ทิศทาง) ส่วนข้อเสียคือ มีแรงดันคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ที่สูง และ ปัญหาการอิมตัวของแกนเนื่องจากไฟกระแส- แสตรงที่ไม่สมดุล

ฮาล์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์: เป็นชนิดที่ใช้กับกำลังไฟระดับปานกลางเช่นกัน โดยมีข้อดีเหมือนกับแบบพูช-พูต แต่แรงดันคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ต่ำกว่า(เท่ากับ Vdc)

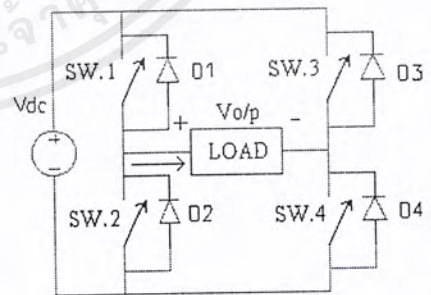
ฟูลล์บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์: เป็นชนิดที่เหมาะสมกับกำลังไฟระดับสูง(500-1500W) โดยให้กำลังไฟมากเป็น 2เท่าของแบบฮาล์ฟบริดจ์ที่พิกัดเดียวกัน ส่วนข้อเสียคือวงจรจับต้องมีการแยกกราวด์ และอุปกรณ์สวิตซ์ที่มากขึ้น โครงการนี้จึงเลือกใช้Square-wave อินเวอร์เตอร์ แบบฟูลล์บริดจ์ เนื่องจากมีพิกัดกำลังไฟ- ฟ้าเกินกว่า 1,000W

2.2.2 SQUARE-WAVE อินเวอร์เตอร์

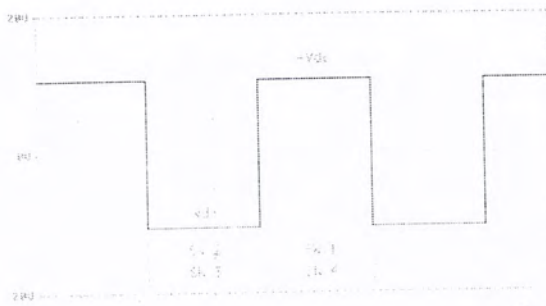
กระบวนการสวิตซ์ของฟูลล์บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมุมมน สวิตซ์จะต่อไปยังโหลดที่ +Vdc เมื่อสวิตซ์หนึ่งและสี่ทำงาน , -Vdc เมื่อสวิตซ์สองและสามทำงาน รูป(2.2) แสดงวงจรพื้นฐานฟูลล์บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการเปลี่ยนไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ



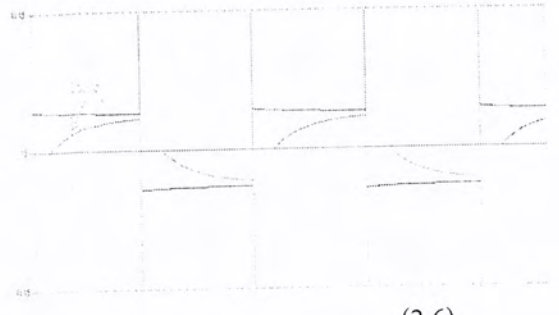
(2.2)



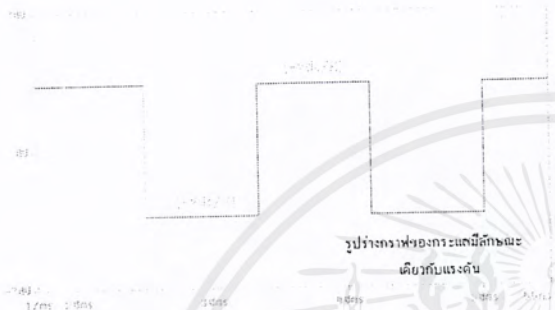
(2.5)



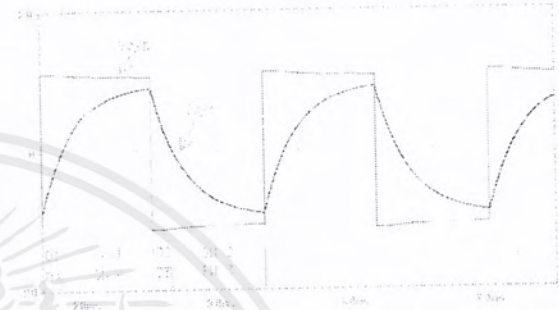
(2.3)



(2.6)



(2.4)



(2.7)

รูปที่ (2.2) พัลส์บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

(2.5) พัลส์บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ที่มี การในโอดป้อนกลับ

(2.3) รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุต

(2.6) รูปสัญญาณกระแส กรณี โหลด R-L ก่อนใส่ไดโอดป้อนกลับ

(2.4) รูปสัญญาณกระแสกรณี โหลด R

(2.7) รูปสัญญาณกระแส กรณี โหลด R-L หลังใส่ไดโอดป้อนกลับ

สังเกตได้ว่าสวิตช์หนึ่งและสี่จะไม่ทำงานพร้อมกันเช่นเดียวกับสวิตช์สองและสาม มิฉะนั้นจะเกิดการลัดวงจรที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งในการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์จะไม่สามารถทำการ เปิด/ ปิด ได้อย่าง ทันทีทันใดจึงต้องมีการเผื่อเวลาช่วงนี้ไว้ ในคาบการสวิตช์จึงมีแรงดันรูปสี่เหลี่ยมคอรอมโหลระหว่าง $+V_{dc}$ และ $-V_{dc}$ สลับกันไป ทำให้ยังไม่ได้สัญญาณรูปไซน์ที่สมบูรณ์ในการนำไปใช้งานจริงกับโหลด บางประเภทจึงต้องมีการกรองสัญญาณให้กลายเป็นรูปสัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ก่อน ส่วนรูปสัญญาณของกระแส โหลดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโหลด.

กรณี โหลดที่มีองค์ประกอบเฉพาะความต้านทาน รูปสัญญาณกระแสจะเหมือนกับรูปสัญญาณแรงดัน ดังในรูป(2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีโหลดที่มีองค์ประกอบของความเหนียวน่าจะมีความเป็นไชน์มากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นฟิลเตอร์ของความเหนียวน่า แต่สิ่งที่ต้องเพิ่มเข้าไปในวงจรคือไดโอดป้อนกลับโดยต่อขนานกับอุปกรณ์ สวิตซ์แต่ละตัว ซึ่งจะช่วยนำกระแสในช่วงที่กระแสไหลกลับทิศ ตรงข้ามกับอุปกรณ์สวิตซ์(นำกระแสแบบทิศทางเดียว)

หากไม่มีไดโอดป้อนกลับอุปกรณ์สวิตซ์จะเกิดการเสียหาย สังกัดได้จากกระแสที่สูงขึ้นอย่างมากจน เกินพิกัดกระแสของอุปกรณ์ ดังในรูปที่(2.6)

2.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะพบว่รอบๆแกนปิด จะเกิดการเหนียวนำฟลักซ์ขึ้นภายในแกน และถ้าเพิ่มจำนวนขดลวดอีกขดหนึ่ง ให้พันอยู่ในแกนเดียวกัน ฟลักซ์จะเหนียวนำทำให้เกิดแรงดันและกระแสไหลที่ขดลวดขดที่สอง เราเรียกขดลวดขดที่หนึ่งว่า “ขดลวดปฐมภูมิ” และขดลวดขดที่สองที่พันเพิ่มเข้าไปเรียกว่า “ขดลวดทุติยภูมิ”

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพันโดยกำหนดจากสมการ

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.3)$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step-up หรือ Step-down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมินั้นสูงกว่า หรือต่ำกว่าที่ขดลวดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดทุติยภูมิอีกหลายๆขด เราก็จะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง โดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง สมการ

$$e = NA_c \left(\frac{dB}{dT} \right) \times 10^{-8} \quad (2.4)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ (B) ที่แน่นอนได้ โดยการกำหนดการทำงานของหม้อแปลงให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการ

$$B_{\max} = \frac{V_p \times 10^8}{KfN_p A_c} \quad (2.5)$$

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด B_{\max} ด้วยตนเอง ภายในบริเวณเชิงเส้นตรงจึงกราฟ B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ $B_{\max} = B_{\text{sat}}/2$ จากสมการที่ 2.7 จะได้จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิจากสมการ

$$N_p = \frac{(V_p)10^8}{4fB_{\max} A_c} \quad (2.6)$$

ในการเลือกแกนนั้นก็มีตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ 2 ตัวแปร ตัวแปรแรกก็คือ พื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอๆกับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด winding loss น้อยที่สุด และตัวแปรที่สองคือ Core's Power Handling Capability

สมการของตัวพารามิเตอร์มีดังสมการ

$$P_{\text{out}} = (1.16B_{\max} f d A_c A_c) 10^{-9} \quad (2.7)$$

เมื่อ P_{out} คือ power handing of core, W

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์ W_a สำหรับพื้นที่หน้าตัดของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์ A_c โดยปกติแล้วความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mills Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ d ได้ดังสมการ

$$d = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (2.8)$$

แทนสมการทั้งสองข้างต้นจะได้สมการ

$$P_{\text{out}} = \frac{(1.47 f B_{\max} A_c A_c) 10^{-3}}{D} \quad (2.9)$$

ความหนาแน่นกระแส (D) จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวด ที่ความหนาแน่นกระแส 1000 circular mils per ampere (cm/A) ในทางปฏิบัติ จะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำกว่า ค่าที่ใช้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

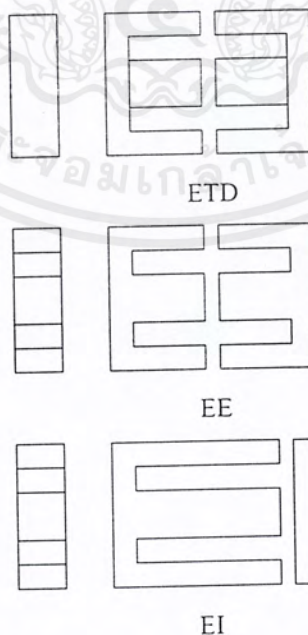
ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาท์พุท และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุท และแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่นแกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกอบเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ตัวอย่างของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆแสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE,EI และ ETD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนแบบ pot นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ไม่ต้องการกำลังสูงไม่เกิน 125 วัตต์ และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดลอดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันขดลวดทองแดงขนาดใหญ่ เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมใช้กันมากสำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ต้องการกำลังงานสูง จะเป็นแกนแบบ EI, EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแบบ POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆที่สามารถนำมาใช้งานได้ อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักจะไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยม

บอบบิ้น

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูง และไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพิทลวดทองแดงเพื่อความสะดวกในการพันและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ ในขณะที่หม้อแปลงทำงานสำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่งกระแสสลับที่ไหลผ่านขดลวดนั้นมีความถี่สูง ที่ความถี่สูงๆ ลวดทองแดงจะนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีมากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวดก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดได้เช่นกัน

กำลังงานที่สูญเสียเหล่านี้จะทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาดและวิธีการพันขดลวดจึงต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

เทปฉนวน

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ โดยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 – 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิ่งเป็น

หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทพฉนวนสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มตามวัสดุที่ใช้ อัตราทนอุณหภูมิขณะใช้งานของมัน ดังแสดงในตาราง 2.1 การเลือกใช้เทพฉนวนไม่ว่าจะเป็นกลุ่มใดจะต้องเลือกให้มีอัตราทน อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุดคือ กลุ่ม H นั้นมีอัตราทนอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งานเพียง 180 องศา อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดในหม้อแปลงจึงไม่ควรเกิน 180 องศา ในทางปฏิบัติเพื่อความ ปลอดภัยควรกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของหม้อแปลง สวิตช์ไว้ไม่เกิน 85 องศา ตามอัตราทนอุณหภูมิปกติ (Typical ambient temperature) ของเทพ ฉนวน

อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่หม้อแปลงหรือวงจรทำงานผิดปกติอาจทำให้เกิด ความร้อนสูงในขดลวดเช่นกรณีการลัดวงจร ดังนั้นเทพฉนวนจะต้องทำจากวัสดุในติดไฟ (Flame retardant) เพื่อป้องกันการลุกลามไฟที่เทพฉนวน ตัวอย่างรายละเอียดคุณสมบัติของเทพฉนวน แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดกลุ่มของเทพฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal Strength)

Class off insulation	Typical ambient Temperature in °C	Maximum operating Temperature in °C
O	40	90
A	40	105
B	75	30
F	75	155
H	85	180

2.4 วงจรขั้ว

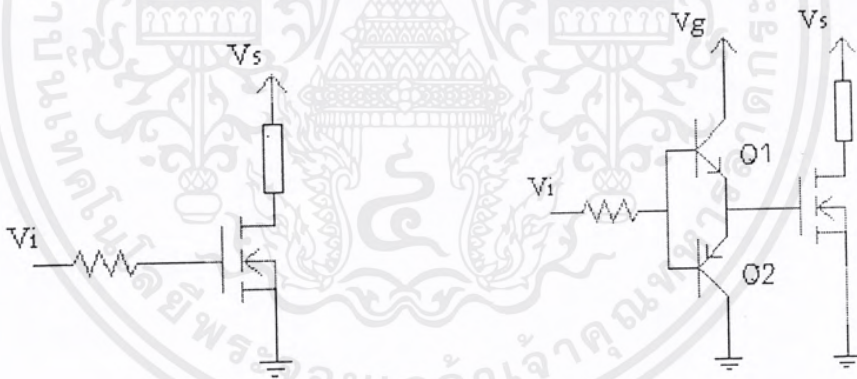
ในการออกแบบกำลังสูญเสียวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การทำให้กำลังสูญเสียในสวิตช์ มีค่าน้อยที่สุดถือเป็นสิ่งสำคัญ ในสภาวะเปิด,กำลังสูญเสียเกิดจากแรงดันคร่อมสวิตช์ขณะนำ กระแสไม่เป็นศูนย์ ส่วนกำลังสูญเสียจากการสวิตช์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะหนึ่งไปยังอีกสภาวะ

หนึ่งไม่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด บ่อยครั้งที่พบว่ากำลังสูญเสียจากการสวิตช์ซึ่งนั้นมากกว่ากำลังสูญเสียขณะสถานะเปิด

“โรโซแนนซ์ คอนเวอร์เตอร์” เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดกำลังสูญเสียจากการสวิตช์ได้ โดยอาศัยความถี่ธรรมชาติในการเปิด/ปิดสวิตช์ในวงจรเมื่อแรงดันและกระแสเป็นศูนย์ กำลังสูญเสียจากการสวิตช์ในคอนเวอร์เตอร์ที่กล่าวไปนั้นยังสามารถลดลงได้ ด้วยวงจรขับที่ออกแบบมาให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะทำได้เร็ว อีกทั้งวงจรสับเบอร์ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเปลี่ยนรูปกราฟการสวิตช์ (ช่วยการถ่วงเข้าของสัญญาณ) ซึ่งช่วยลดกำลังสูญเสียและป้องกันอุปกรณ์สวิตช์

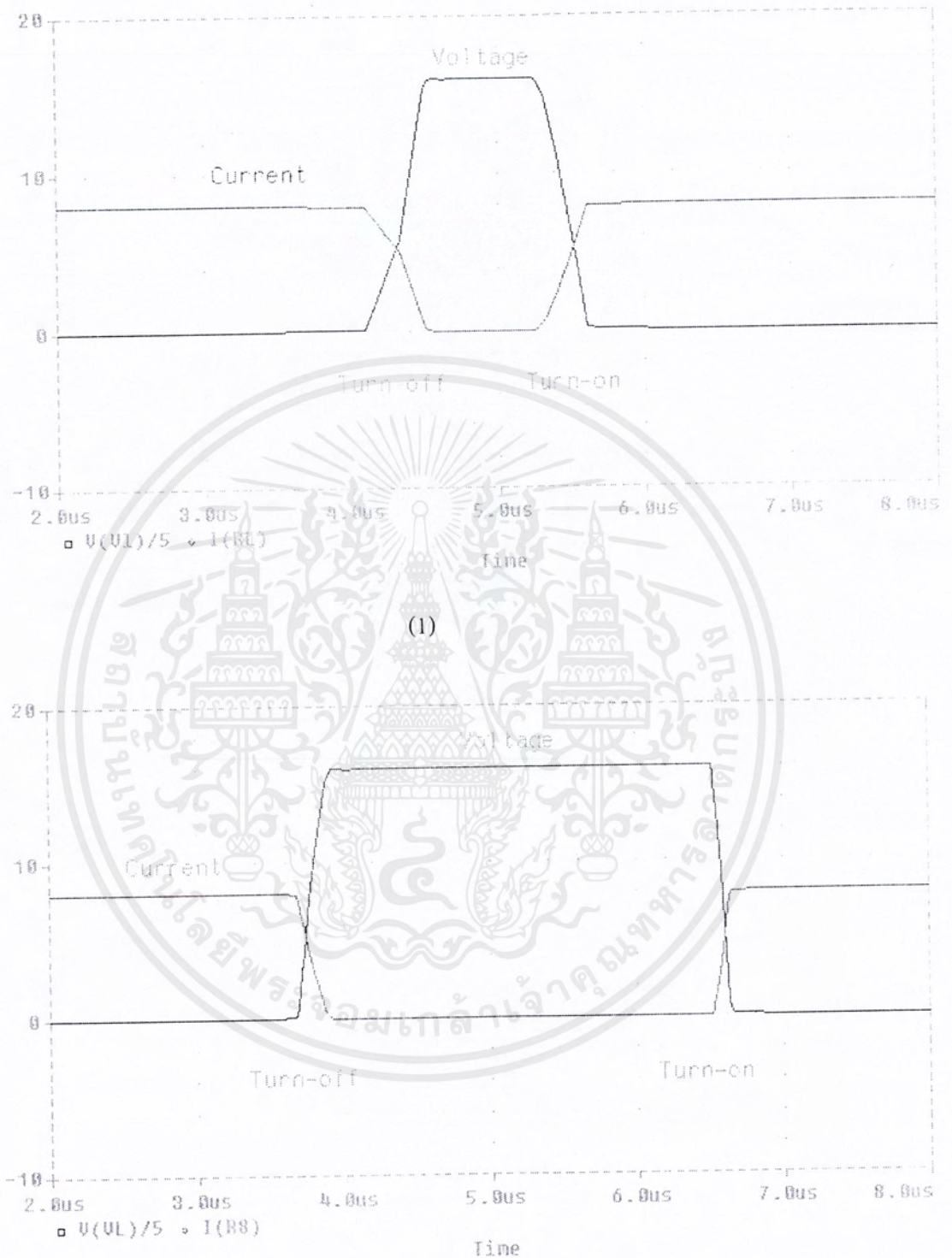
วงจรขับมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดันซึ่งง่ายต่อการควบคุมการเปิด/ปิด ถือเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์ สถานะเปิด, ทำได้โดยให้แรงดัน V_{GS} มีค่ามากพอที่ทำให้มอสเฟตทำงานในช่วงโอห์มโดยทั่วไปอยู่ที่ 10-20V สถานะปิด, ทำได้โดยให้แรงดัน V_{GS} ต่ำกว่าระดับแรงดันขีดเริ่ม ทั้งในสถานะเปิดและปิดกระแสจะเปลี่ยนเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นตัวเก็บประจุอินพุตที่เกิดขึ้นต้องถูกเก็บประจุเพื่อทำให้มอสเฟตเปิดและคายประจุเพื่อทำให้มอสเฟตปิด ดังนั้นความเร็วในการสวิตช์จึงถูกกำหนดโดยความไวในการเก็บประจุที่โอนย้ายไปยังจากเกต



รูปที่ 2.9

สำหรับการสวิตช์ซึ่งที่ความเร็วสูงนั้นวงจรขับต้องสามารถจ่ายและดึงกระแสได้อย่างไว ในการใช้งานบางประเภทเวลาในการสวิตช์ซึ่งที่มากเกินไปอาจเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้ อีกทั้งถ้าสัญญาณอินพุตจาก



(2.)

รูปที่ 2.10 สัญญาณการสวิตซิ่ง (1.) วงจรขับมอสเฟตแบบพื้นฐาน (2.) วงจรขับมอสเฟตแบบ

Totem-pole

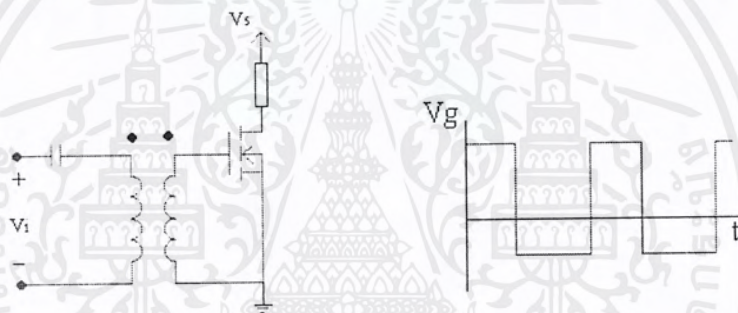
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ดิจิทัล ลอจิกที่มีแรงดันต่ำอาจทำให้ลอจิกเอาต์พุตไม่พอให้มอสเฟตเปิด ดังนั้นการขับมอสเฟตโดยตรงดังในรูป 1. จึงไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด จึงได้นำเสนอวงจรขับที่ดีกว่าแบบพื้นฐาน(แบบ 1.) นั่นคือ Double emitter-follower หรือ Totem-pole (แสดงไว้ในรูปที่ 2.9) ประกอบด้วยคู่ทรานซิสเตอร์แบบ NPN และ PNP ที่เหมาะสมกันเช่น คู่ 2N2222 กับ 2N2907, 2N3904 กับ 2N3906 ฯลฯ เมื่อแรงดันสัญญาณขับเป็นสถานะสูง Q_1 จะเปิดส่วน Q_2 จะปิดทำให้มอสเฟตเปิด

จากภาพที่ 1. แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะเป็นปิด และช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะเป็นเปิดคือ $1.7\mu s$ และ $0.6\mu s$ ตามลำดับ โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่มอสเฟตดูดซับไว้ประมาณ $38W$

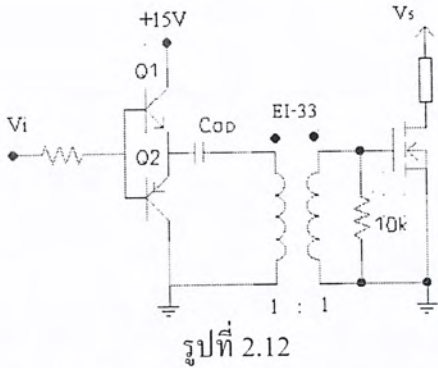
จากภาพที่ 2. แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะเป็นปิด และช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะเป็นเปิดคือ $0.3\mu s$ และ $0.2\mu s$ ตามลำดับ โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่มอสเฟตดูดซับไว้ประมาณ $7.7W$

จากการจำลองการทำงาน โดยโปรแกรม PSpice แสดงให้เห็นว่าวงจรขับแบบ Totem-pole นั้นมีความไวในการเก็บประจุที่โอนย้ายไปยังจากเกตได้ไวกว่าวงจรขับแบบพื้นฐาน



รูปที่ 2.11

เนื่องจากโครงงานนี้ใช้คอนเวอเตอร์ แบบฟูลสับริดจ์ ดังนั้นวงจรขับจึงต้องมีการแยกกราวนด์ โดยวิธีการแยกกราวนด์มีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่จะนำเสนอต่อไปนี้คือการแยกกันทางไฟฟ้า โดยใช้คุณสมบัติทางสนามแม่เหล็ก(ใช้หม้อแปลง)แสดงไว้ในรูปที่ 5. โดยตัวเก็บประจุทางด้านปฐมภูมิใช้ป้องกันองค์ประกอบไฟกระแสตรง(DC offset) เนื่องจากแรงดันทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเหมือนกันว-จร จึงทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนการทำงานประมาณ 50%



รูปที่ 2.12

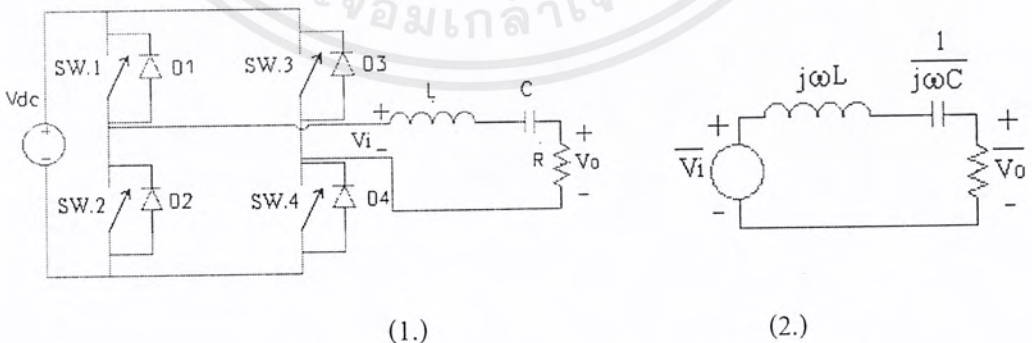
เมื่อรวมวงจรขับแบบTotem-poleและ
กรแยกกราวด์โดยหม้อแปลงเข้าด้วยกันจะได้วง
จรที่นำไปใช้งานจริงดังในรูป7.ตั้งเก็บประจุที่ใช้
เป็นชนิดไมล่าที่สา- มารถกรองสัญญาณความถี่สูง
ผ่าน (เปลี่ยนจากคลื่นสี่เหลี่ยมกระแสดตรง
สมมาตร[Rectified Symmetry Square wave] เป็น

คลื่นสี่เหลี่ยมกระแสดลับสมมาตร[Symmetry AC Square wave] ส่วนค่าความต้านทาน $10k\Omega$ ที่
เพิ่มเข้ามาโดยต่อระหว่างเกตกับกราวด์นั้น จะช่วยในกรณีที่มอสเฟตบางชนิดมีการเก็บประจุเกต
ค่าที่มากจนทำให้มอสเฟตยังเปิดอยู่ แม้สัญญาณเกตจะหายไปแล้ว อีกทั้งเป็นการลดช่วงเวลาใน
การเปลี่ยนสถานะเป็นเปิดของมอสเฟตด้วย และเป็นการป้องกันการลัดวงจรจากการเปิดพร้อมกัน
ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งค่าสูง

2.5 ฟิลเตอร์

ในการประยุกต์ใช้งานบางอย่างสัญญาณแรงดันไฟกระแสสลับแบบSquare-waveอาจยังไม่
สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง เนื่องจากยังมีองค์ประกอบของฮาร์มอนิกที่สามและอันดับที่สูงกว่า
รวมอยู่ดังนั้นก่อนใช้งานจริงจึงต้องมีการกรองสัญญาณให้มีความเป็นไซน์มากที่สุดเสียก่อน

อนุกรมเรโซแนนซ์ อินเวอร์เตอร์(Series Resonant Inverter) เป็นเรโซแนนซ์ คอนเวอร์
เตอร์ชนิดหนึ่ง โดยใช้หลักการการอนุกรมตัวเหนี่ยวนำ-ตัวเก็บประจุที่ถูกเลือกให้ความถี่เรโซ
แนนซ์เท่ากับความถี่สวิตซ์ซึ่ง



รูปที่ 2.13 (1.)วงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ อินเวอร์เตอร์
(2.)เฟสเซอร์ วงจรสมมูลของวงจรอนุกรมR-L-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เริ่มที่การตอบสนองความถี่ของR-L-Cในรูป2. ได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \quad (2.10)$$

เรโซแนนซ์ตรงกับที่ความถี่

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.11)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.12)$$

ที่เรโซแนนซ์ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน จึงเสมือนเหลือเพียงค่าความต้านทานโหลด ถ้าสัญญาณSquare-waveมีความถี่ที่ f_0 ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะเสมือนเป็นตัวกรองสัญญาณให้ความถี่มูลฐานผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ฮาร์มอนิกที่สามและอันดับที่สูงกว่าลง ทำให้แรงดันที่คร่อมความต้านทานโหลดมีความเป็นไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐานของสัญญาณSquare-wave ขนาดของความถี่มูลฐานของสัญญาณSquare-waveที่ $\pm V_{dc}$ จะเท่ากับ

$$V_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \quad (2.13)$$

การตอบสนองความถี่ของตัวกรองสัญญาณ สามารถแสดงในคุณลักษณะของค่าQ(Quality factor)

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \quad (2.14)$$

สมการแรกจึงสามารถแทนในเทอมของค่า ω_0 และQได้ดังนี้

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (2.15)$$

สังเกตได้ว่าTHDของแรงดันคร่อมความต้านทานโหลดจะลดลงได้ ด้วยการเพิ่มค่าQของตัวกรองสัญญาณ(การเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำและการลดค่าตัวเก็บประจุนั่นเอง)

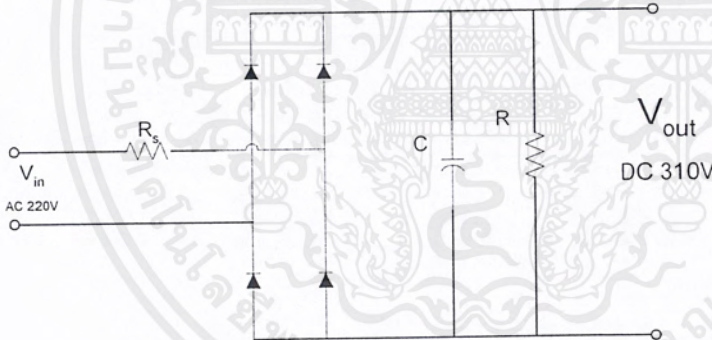
บทที่ 3

การออกแบบ

ลำดับขั้นของการออกแบบแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่ง มีลำดับการออกแบบดังต่อไปนี้

- วงจรเรียงกระแส
- วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์
- หม้อแปลงความถี่สูง
- การทำฟิลเตอร์
- วงจรควบคุมใน โหมดควบคุมแรงดัน
- วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

3.1 วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์

- ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s

$$\begin{aligned}
 R_s &= \frac{V_{DC}}{I} \\
 &= \frac{310}{10} \\
 &= 31 \text{ โอห์ม}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวเก็บประจุฟิเตอร์ C

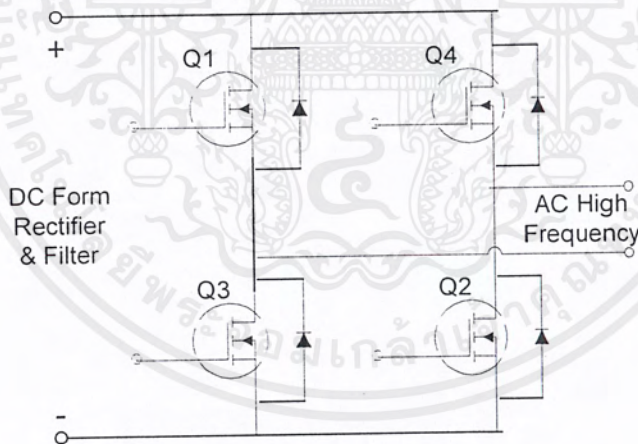
$$\begin{aligned}
 C &= \frac{I_c \Delta T}{\Delta V_{ripple}} & (3.2) \\
 &= \frac{10 \times 10 \times 10^{-3}}{0.1 \times 310} \\
 &= 3226 \mu F
 \end{aligned}$$

- ไดโอดเรียงกระแส

อัตราทนแรงดันควรเผื่อไว้ 50 % เท่ากับ $1.5V_{DC}$

สรุป ค่าความต้านทานจำกัดกระแสมีค่าเท่ากับ 31 โอห์ม ค่าความเก็บประจุที่เลือกใช้จะต้องมีค่ามากกว่า $3226 \mu F$ ที่แรงดันมากกว่า 450 V และไดโอดเรียงกระแสจะต้องมีค่ามากกว่า 10 A และทนแรงดันมากกว่า 450 V

3.2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

โครงสร้างของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 ทำงานเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 100-200 kHz โดยมีการส่งผ่านพลังงานอยู่ในช่วงประสิทธิภาพของควิซีไซเคิล ซึ่งจะมีช่วงประสิทธิภาพของควิซีไซเคิลมากที่สุด ในสถานะเต็มพิกัด ส่งผลให้อินเวอร์เตอร์นำกระแสสูงสุด ($I_{p(Max)}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_p = \frac{P_m}{D_{eff} V_m} \quad (3.3)$$

$$\text{ที่ } V_{in(max)} \quad I_p = \frac{3000}{0.8 \times 320} = 11.72 \text{ A}$$

สรุป อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะต้องทนกระแสขณะสวิตช์มากกว่า 12 A และสามารถรับแรงดันสูงกว่า V_{in} ในการออกแบบนี้ได้เลือกใช้ MOSFET กำลัง เบอร์ IRFP 460 ทนกระแส 20 A และทนแรงดันได้ 500 V โดยมีรายละเอียดที่ภาคผนวก

3.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง

มีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

1. เลือกค่า B_{max} จากกราฟ B-H Curve เนื้อสารเฟอร์ไรต์
เลือกค่า B_{max} ซึ่งอยู่กึ่งกลางของช่วงลิเนียร์มีค่าเท่ากับ 1500 เกาส์
2. หาค่า $I_{p(max)}$ จากสูตร

$$I_{p(max)} = \frac{3P_{out}}{V_{in}} \quad (3.4)$$

$$= \frac{3 \times 3000}{300}$$

$$= 30 \text{ A}$$

3. หาค่า $A_c A_c$ จากสูตร

$$A_c A_c = \frac{0.68 \times W \times \text{Current Density}}{f \times B_{max}} \quad (3.5)$$

$$= \frac{0.68 \times 3000 \times 400 \times 10^3}{100 \times 10^3 \times 1500}$$

$$= 5.44 \text{ cm}^4$$

นำค่าที่ได้ไปเลือกแกนได้แกนเบอร์ EE80

4. คำนวณรอบ N_p และ N_s

$$N_p = \frac{E}{4fBA_c} \quad (3.6)$$

$$= \frac{300 \times 1.4 \times 10^8}{4 \times 100 \times 10^3 \times 1500 \times 5.83}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 N_s &= 12 \text{ รอบ} \\
 &= \frac{V_s N_p}{V_p} \\
 &= \frac{12 \times 3000}{300} = 120 \text{ รอบ}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

5.เลือกเบอร์ลวดทองแดง

วิธีเลือกเบอร์ลวดทองแดงเลือกจากขนาดของกระแสที่ไหลผ่านขดลวด

ด้านปฐมภูมิมีกระแสไหลเท่ากับ 10A เปิดตารางลวดในภาคผนวกได้ลวดเบอร์ 23 จำนวน 6 เส้น ดีเกิลิว เพื่อการสูญเสียจากปรากฏการณ์ Skin effect

ด้านทุติยภูมิมีกระแสไหลเท่ากับ 1A เปิดตารางลวดในภาคผนวกได้ลวดเบอร์ 23

6.ตรวจสอบการพันว่าพันได้หรือไม่

ขนาดลวด AWG 23 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.0574 cm

ด้านปฐมภูมิ 1 ชั้นพันลวดได้เท่ากับ $\frac{5.64}{0.3444} = 16$ รอบ

เพราะฉะนั้นขดลวดปฐมภูมิพัน 1 ชั้น

ด้านทุติยภูมิ 1 ชั้นพันลวดได้เท่ากับ $\frac{5.64}{0.0574} = 98$ รอบ

เพราะฉะนั้นขดลวดทุติยภูมิพัน 2 ชั้น

ตรวจสอบว่าแกนใช้ได้ไหม

$$= (0.3444 \times 1) + (0.0574 \times 2) = 0.4588 \text{ cm}$$

ซึ่งน้อยกว่า 2.07 cm เพราะฉะนั้นจะเหลือที่ไว้พันจนวนเท่ากับ $2.07 - 0.4588 = 1.6112 \text{ cm}$

3.4 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

การควบคุมจะควบคุมในโหมดแรงดัน จะเลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 สามารถกำหนดคาบเวลาได้ที่ค่าของ R_t และ C_t ตามสมการ

$$T = \frac{R_t C_t}{1.1} \tag{3.8}$$

กำหนด $C_t = 1000 \text{ pF}$

$$R_t = \frac{1.1}{C_t f} \tag{3.9}$$

$$= 1.1 \times 10^4 \frac{\Omega}{1.1} = 11 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $\frac{1000 \times 10^{-12}}{100 \times 10^3}$ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจรกรองความถี่

ที่ความถี่ 100 kHz แรงดันคิซีอินพุทที่ $300V_{DC}$

ขนาดของแรงดันไซน์ที่ f_1 เท่ากับ

$$\frac{4 \times 300}{\pi} = 382.16V$$

ความถี่เรโซแนนต์ของฟิลเตอร์ต้องเท่ากับ 100 kHz เช่นกัน

$$[L = \frac{QR}{\omega_0}] \quad (3.10)$$

โดยเลือกค่า Q (Qualityfactor) ของ L-C ฟิลเตอร์ที่ 3.81 และ R=500 โอห์ม

$$L = \frac{3.8 \times 500}{2\pi \times 100k} = 2.91mH$$

$$[C = \frac{1}{Q\omega_0 R}] \quad (3.11)$$

$$C = \frac{1}{3.8 \times 2\pi \times 100k \times 500} = 0.83nF$$

ที่ความถี่ 150 kHz เลือกค่า Q เท่ากับ 3.8 และ R=721.37 โอห์ม

$$L = \frac{3.8 \times 721.37}{2\pi \times 150k} = 2.91mH$$

$$C = \frac{1}{3.8 \times 2\pi \times 150k \times 721.37} = 0.38nF$$

ที่ความถี่ 200 kHz เลือกค่า Q เท่ากับ 3.8 และ R=961.83 โอห์ม

$$L = \frac{3.8 \times 961.83}{2\pi \times 200k} = 2.91mH$$

$$C = \frac{1}{3.8 \times 2\pi \times 200k \times 961.83} = 0.21nF$$

บทที่ 4

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง

4.1 ผลการทดสอบรูปสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง

จากการทดสอบโดยรับภาระที่ค่าต่างๆ สามารถวัดรูปสัญญาณออกมาได้ในแต่ละพิกัด โดยจะวัดรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ เช่น รูปสัญญาณแรงดันด้านทุติยภูมิรูปแรงดันสัญญาณทางด้านปฐมภูมิรูปสัญญาณ PWM โดยอธิบายตามลำดับดังต่อไปนี้

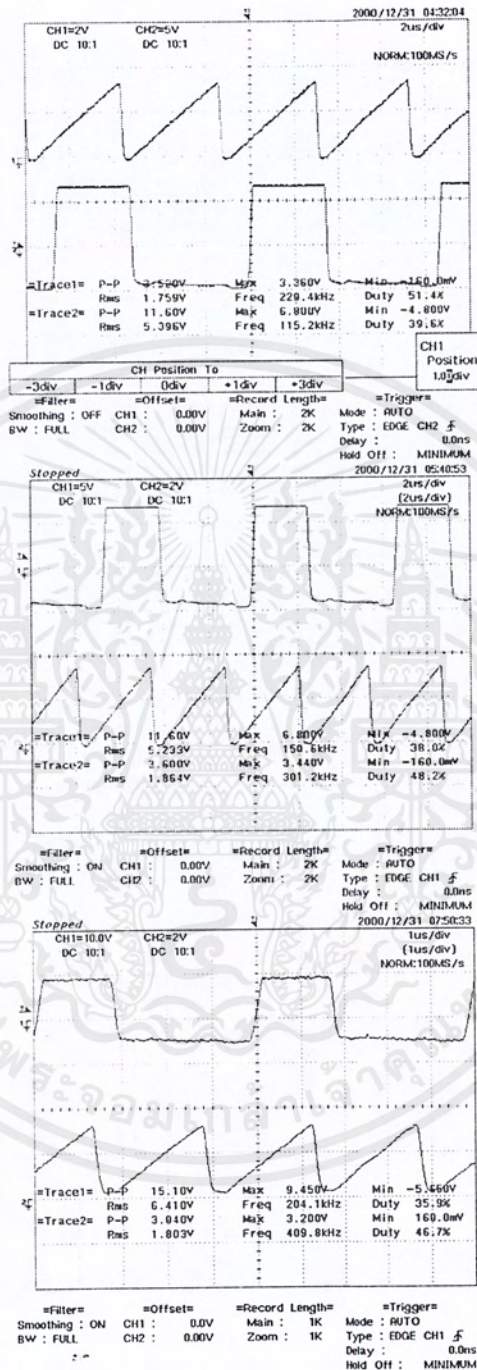
ในรูปที่ 4.1 ถึง 4.2 เป็นรูปสัญญาณในภาคควบคุมเริ่มจากสัญญาณ PWM ที่ได้จากช่องสัญญาณของไอซี TL494 โดยสามารถควบคุมความถี่ได้ด้วยการปรับค่า R ในวงจรควบคุม โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณฟันปลาจะมีค่าความถี่มากกว่าสัญญาณ PWM อยู่สองเท่าดังในรูปที่ 4.1

เมื่อสัญญาณ PWM ที่ออกจากช่องสัญญาณเข้าสู่หม้อแปลงแยกกราวด์ (Isolated Transformer) เพื่อทำการแยกกราวด์และนำสัญญาณที่แยกกราวด์แล้วไปใช้ในการขับมอสเฟตกำลังแต่ละตัว โดยความแตกต่างนั้นจะทำการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.3 จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณขับทั้งสองต่างไม่มีช่วงเวลาที่ทับกันเลย

ในรูปที่ 4.4 แสดงรูปของสัญญาณที่ออกมาหลังจากผ่านวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม และเมื่อผ่านวงจรฟิลเตอร์และยกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลงแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบค่าต่างๆแต่ละสภาวะของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง

ตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 แสดงผลการทดสอบของอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นที่ความถี่ 115,150,200 กิโลเฮิร์ต ประกอบด้วยค่าที่วัดจากอินพุทและเอาต์พุท มีค่าแรงดันไฟตรงที่อินพุท ค่ากระแสไฟตรงอินพุท ค่าแรงดันไฟเอาต์พุท ค่ากระแสไฟเอาต์พุท แล้วนำค่าทั้งสองมาหาค่าประสิทธิภาพ มีการทดสอบที่สภาวะต่างๆจำนวน 8 ลำดับและยังมีค่าของภาระคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพิกัดเพื่อง่ายต่อการสังเกตการเปลี่ยนแปลงและได้นำข้อมูลแต่ละชุดมาเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุทในรูปที่ 4.15 ถึง 4.26



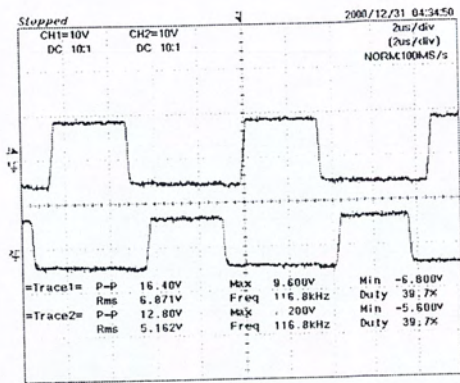
รูปที่ 4.1 สัญญาณฟันปลาเปรียบเทียบกับสัญญาณPWM

ก.สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz

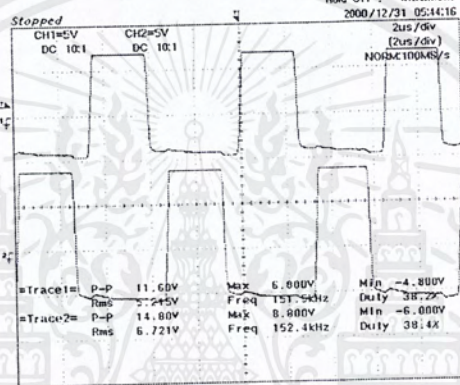
ข.สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz

ค.สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz

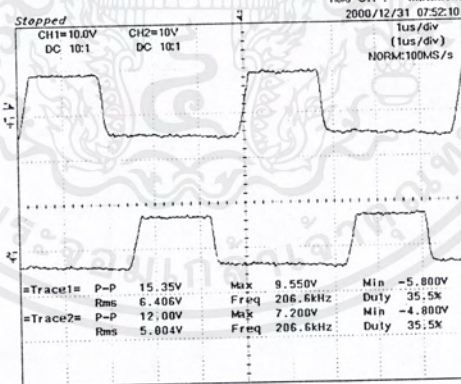
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.0V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 1K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 1K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

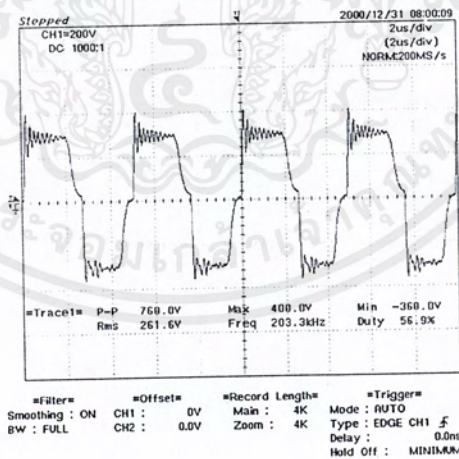
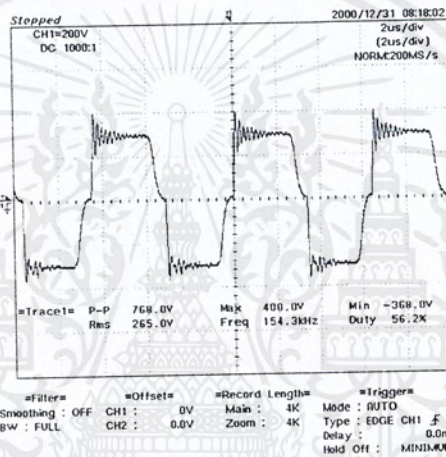
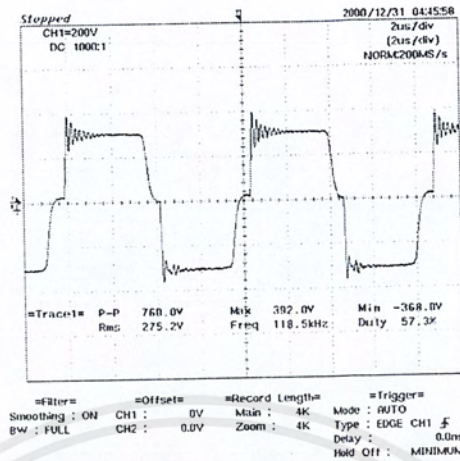
รูปที่ 4.2 รูปแสดงสัญญาณPWMที่ออกจากไอซี TL494

ก.สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz

ข.สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz

ค.สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



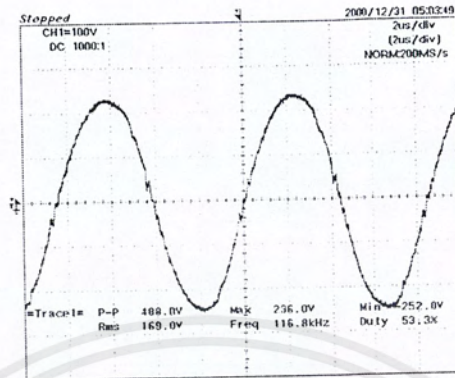
รูปที่ 4.4 รูปแสดงสัญญาณหลังจากผ่านฟูลบริจค์คอนเวอร์เตอร์

ก.สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz

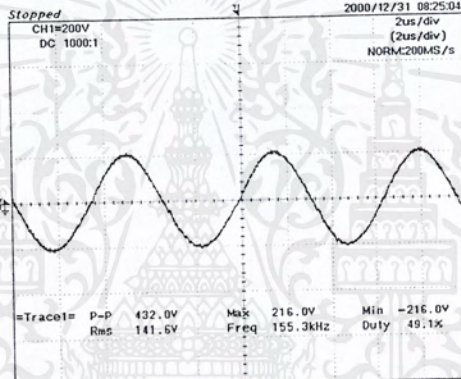
ข.สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz

ค.สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz

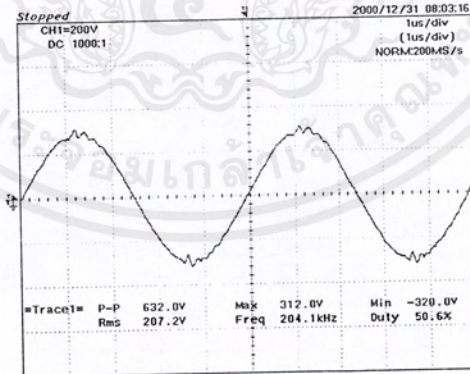
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM
2000/12/31 08:25:04



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM
2000/12/31 08:03:16



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

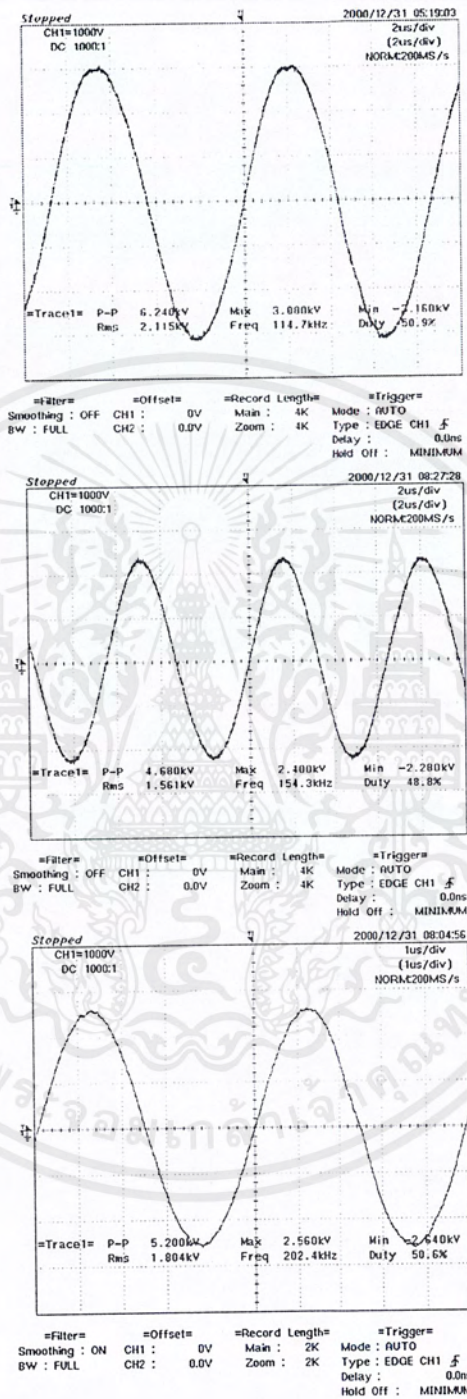
รูปที่ 4.5 รูปแสดงสัญญาณที่ขดลวดปฐมภูมิหลังจากผ่านฟิลเตอร์

ก.สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz

ข.สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz

ค.สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



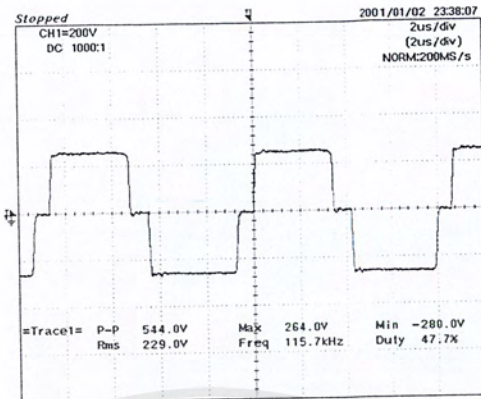
รูปที่ 4.6 รูปแสดงสัญญาณที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง

ก.สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz

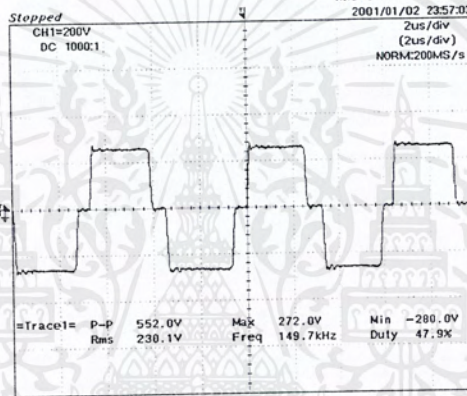
ข.สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz

ค.สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz

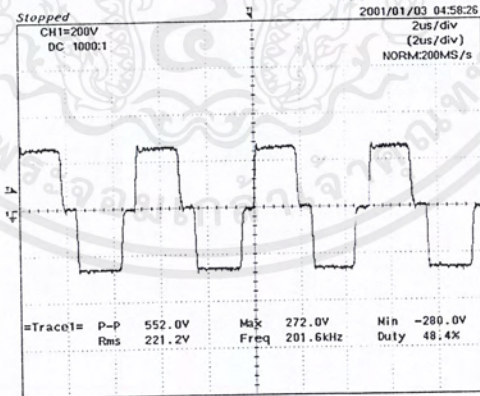
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

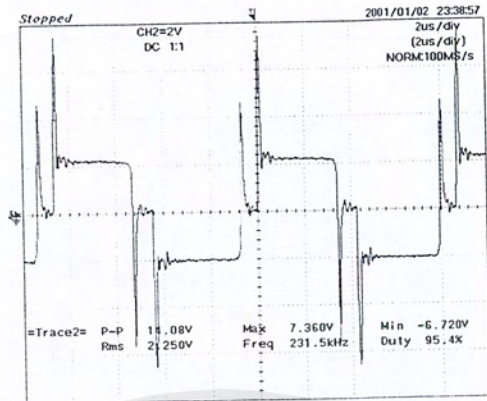
รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 15.49%

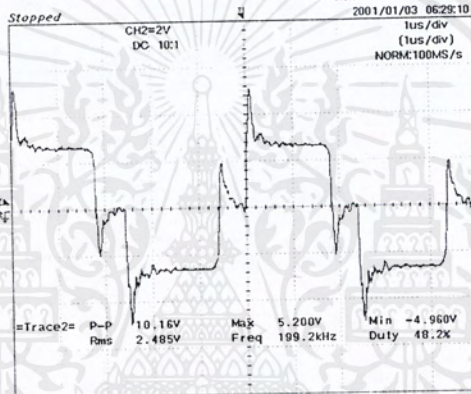
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 16.18%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 16.22%

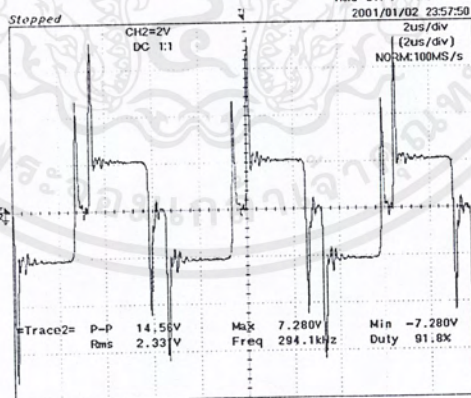
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 \uparrow
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.0V Main : 1K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 1K Type : EDGE CH1 \uparrow
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 \uparrow
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

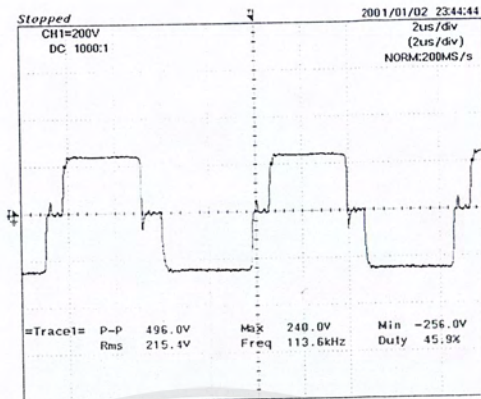
รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 15.49%

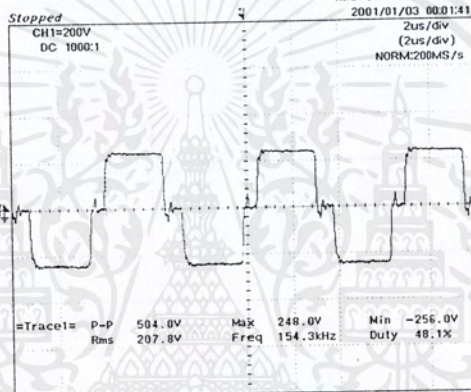
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 16.18%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 16.22%

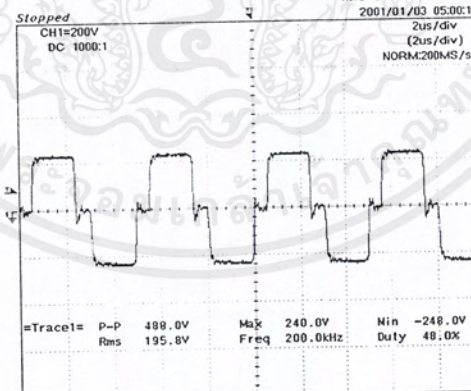
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

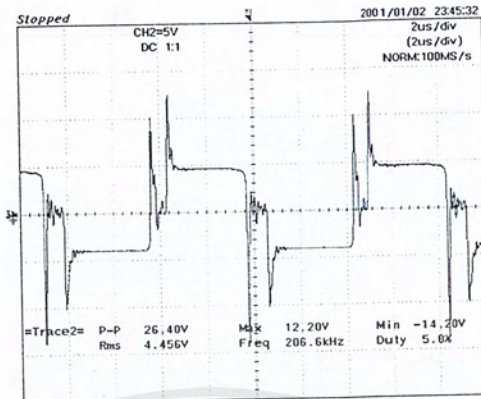
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 29.08%

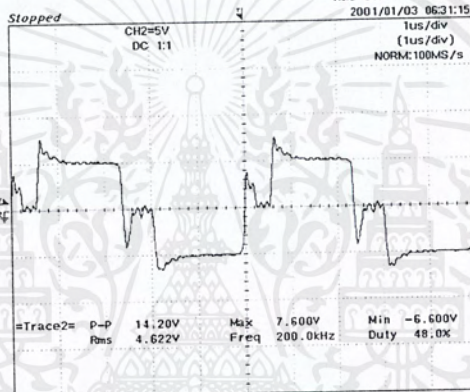
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 28.26%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 27.48%

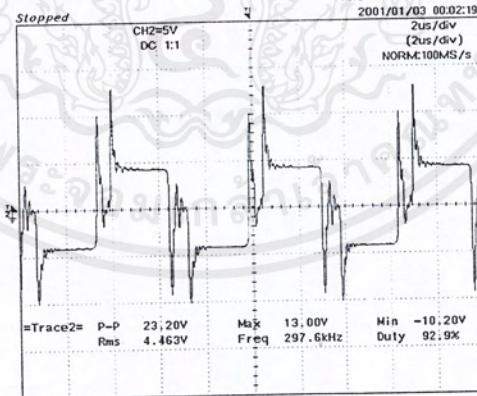
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.0V Main : 1K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 1K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

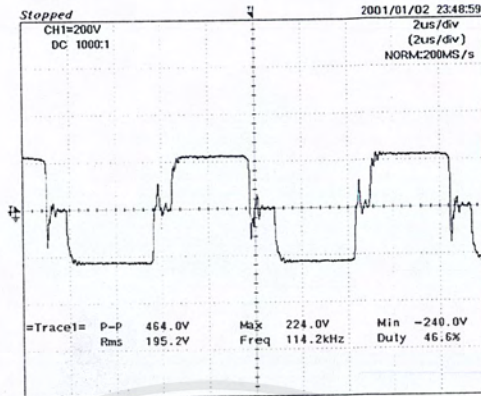
รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 29.08%

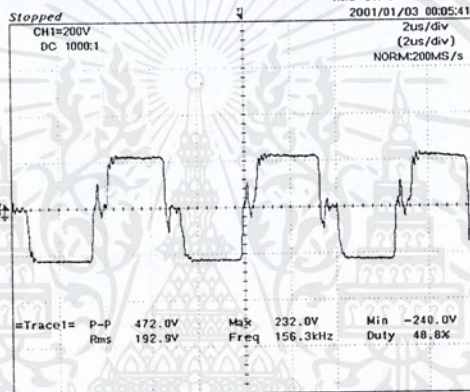
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 28.26%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 27.48%

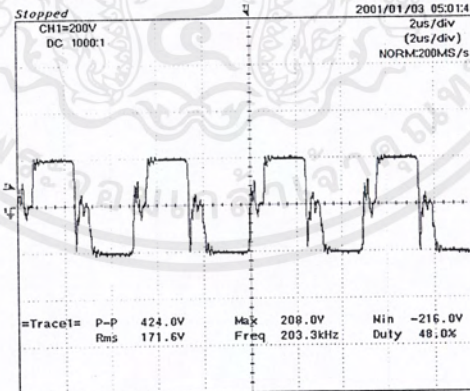
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

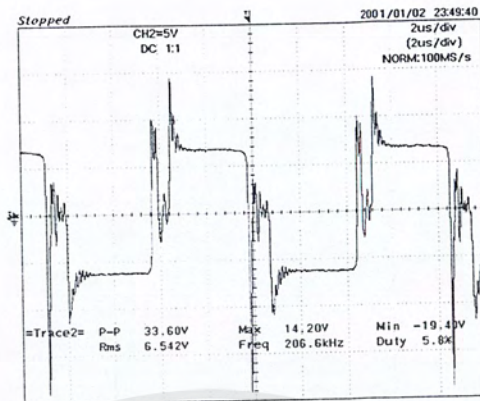
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 38.65%

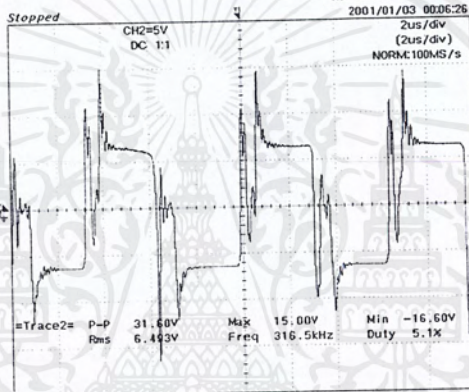
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 37.94%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 34.55%

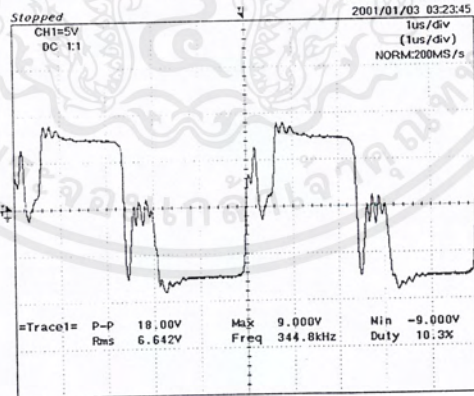
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 2K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.0000V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

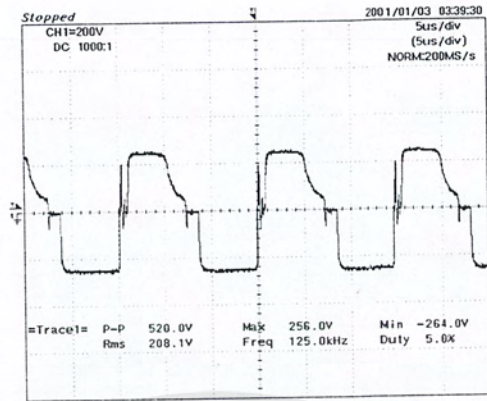
รูปที่ 4.12 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 38.65%

ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 37.94%

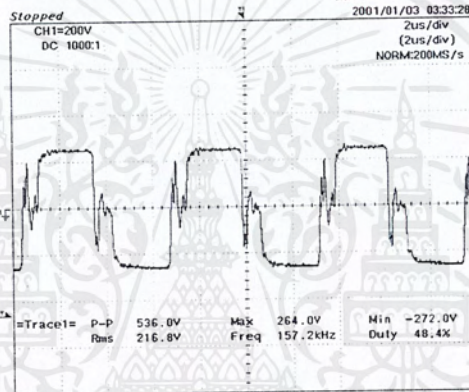
ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 34.55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



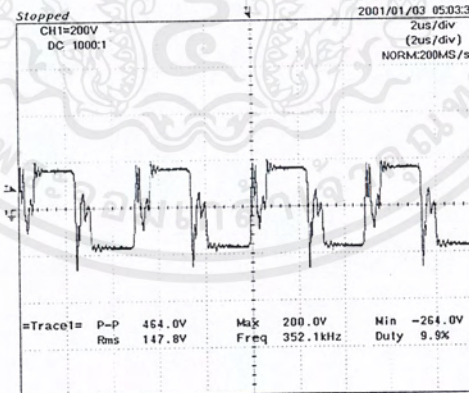
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.000V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 f

Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.000V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 f

Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 f

Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

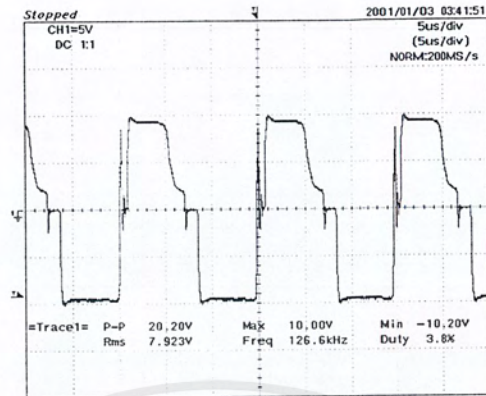
รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 44.95%

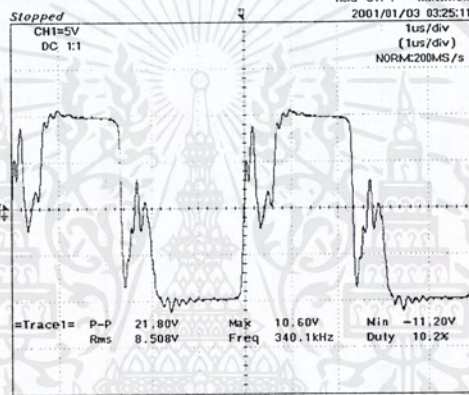
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 44.58%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 38.08%

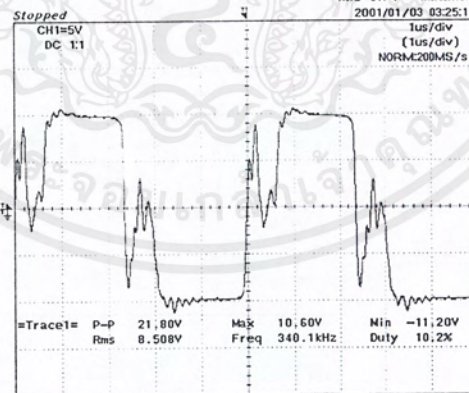
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 2K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0000V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 2K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0000V Zoom : 2K Type : EDGE CH1 f
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

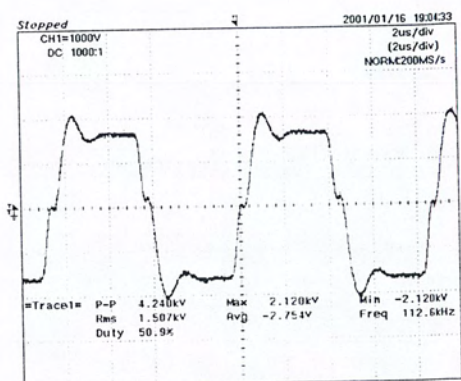
รูปที่ 4.14 รูปสัญญาณกระแสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

ก. สัญญาณที่ความถี่ 115 kHz ภาระโหลด 44.95%

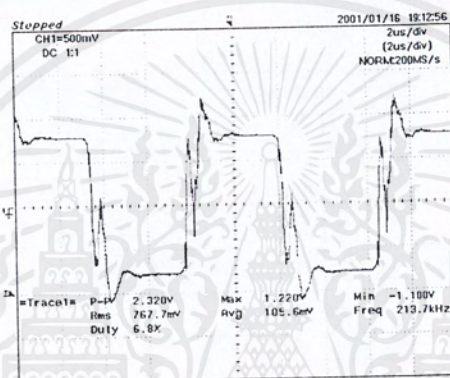
ข. สัญญาณที่ความถี่ 150 kHz ภาระโหลด 44.58%

ค. สัญญาณที่ความถี่ 200 kHz ภาระโหลด 38.08%

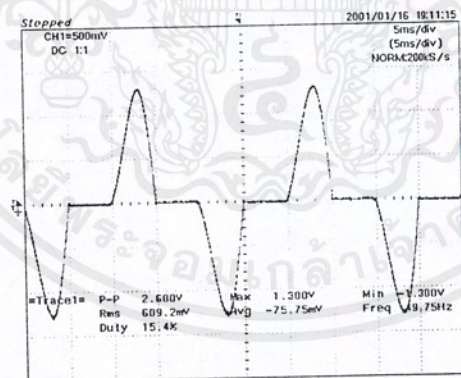
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 4K Type : EDGE CH1 $\frac{f}{f}$
Delay : 0.0ms
Hold Off : MINIMUM



#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.000V Main : 4K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.0000V Zoom : 4K Type : EDGE CH2 $\frac{f}{f}$
Delay : 0.0ms
Hold Off : MINIMUM

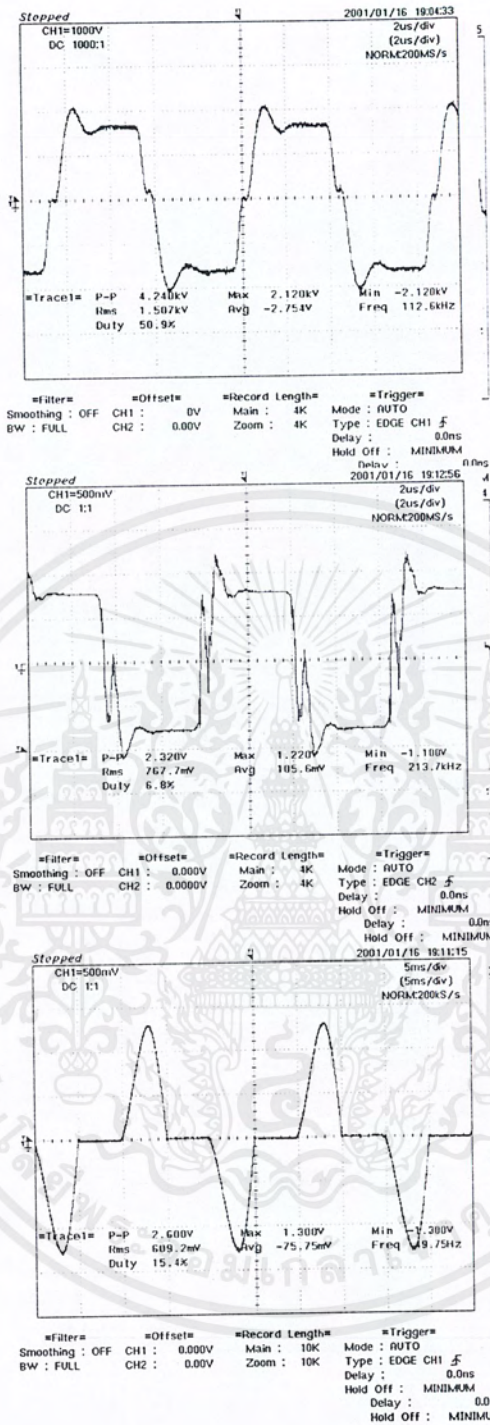


#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.000V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 $\frac{f}{f}$
Delay : 0.0ms
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.15 รูปสัญญาณต่างๆเมื่อต่อภาระทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ความถี่ 115 kHz

- ก. สัญญาณแรงดันคร่อมโหลดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง
- ข. สัญญาณกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง
- ค. สัญญาณแรงดัน AC ที่อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 รูปสัญญาณต่างๆเมื่อต่อภาระทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ความถี่ 150 kHz

- ก. สัญญาณแรงดันคร่อมโหลดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง
- ข. สัญญาณกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง
- ค. สัญญาณแรงดัน AC ที่อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ความถี่ 115 kHz

ลำดับที่	% ภาระโหลด	แรงดันเอาต์พุต	กระแสเอาต์พุต	กำลังเอาต์พุต	แรงดันอินพุต	กระแสอินพุต	กำลังอินพุต	ประสิทธิภาพ(%)
1	8.28	241.1	1.03	248.33	286.3	1.25	357.875	69.39
2	15.49	229	2.03	464.87	280.2	2.1	588.42	79
3	22.67	223	3.05	680.15	276.7	2.85	788.595	86.25
4	29.08	215.4	4.05	872.37	272.8	3.6	982.08	88.42
5	34.37	204.2	5.05	1031.21	269.2	4.4	1184.48	87.06
6	38.65	195.2	5.94	1159.488	267.2	5.1	1362.72	85.08
7	40.52	190.8	6.37	1215.4	265.8	5.55	1475.19	82.38
8	44.95	187.3	7.2	1348.56	260.5	6.3	1641.15	82.17

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 150 kHz

ลำดับที่	% ภาระโหลด	แรงดันเอาต์พุต	กระแสเอาต์พุต	กำลังเอาต์พุต	แรงดันอินพุต	กระแสอินพุต	กำลังอินพุต	ประสิทธิภาพ(%)
1	8.79	241.9	1.09	263.67	285.9	1.2	343.08	76.85
2	16.18	230.1	2.11	485.51	280.9	2	561.8	86.42
3	22.86	221.2	3.1	685.72	277.5	2.8	777	88.25
4	28.26	207.8	4.08	847.82	275.1	3.5	962.85	88.05
5	34.53	203.1	5.1	1035.81	272	4.25	1158.55	89.4
6	37.94	192.9	5.9	1138.11	268.6	4.95	1329.57	85.59
7	43.33	185.2	7.02	1300.1	267	5.7	1521.9	85.42
8	44358	167.6	7.98	1337.45	252.7	6.3	1592.01	84.01

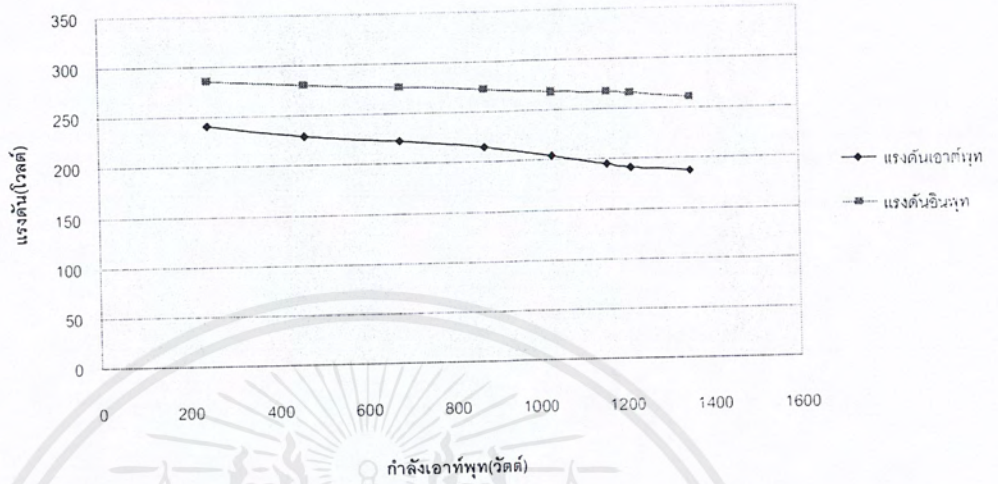
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 200 kHz

ลำดับที่	% ภาระโหลด	แรงดันเอาต์พุต	กระแสเอาต์พุต	กำลังเอาต์พุต	แรงดันอินพุต	กระแสอินพุต	กำลังอินพุต	ประสิทธิภาพ(%)
1	9.135	238.3	1.15	274.05	296.1	1.2	355.32	77.13
2	16.22	221.2	2.2	486.64	290	2	580	83.9
3	20.11	207.9	3.19	663.2	285.7	2.75	785.65	84.4
4	27.48	195.8	4.21	824.32	283.8	3.5	993.3	82.9
5	31.38	186	5.23	941.4	275	4.2	1155	81.5
6	34.55	171.6	6.04	1036.48	265.3	4.85	1286.7	80.5
7	37.08	158	7.04	1112.32	264.4	5.45	1440.98	77.19
8	38.08	147.8	7.73	1142.5	251.1	6.1	1531.71	74.59

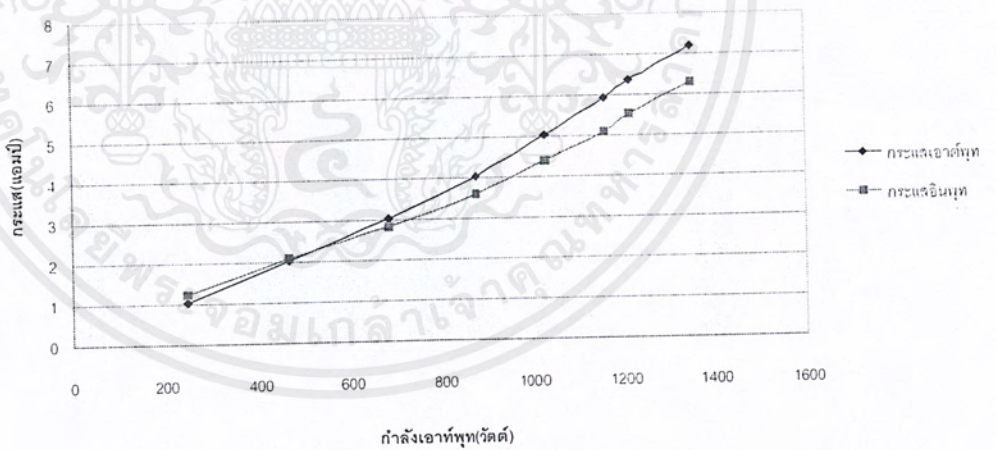
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ โดยให้ภาระ โหลดเข้าที่เอาต์พุตของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง

ความถี่	ขนาดโหลด	เอาต์พุต			อินพุต			ประสิทธิภาพ(%)
		แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง(W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง(W)	
115kHz	โหลดไฟ100W10หลอด	1482	0.3748	555.45	126.94	6.002	761.89	72.9
	โหลดไฟ100W20หลอด	1452	0.75	1089	127.42	11.66	1485.79	73.3
150kHz	โหลดไฟ100W10หลอด	1510	0.3788	571.92	126.59	6.012	761.05	75.15
	โหลดไฟ100W20หลอด	1453	0.7415	1077.4	129.26	11.64	1504.58	71.6
200kHz	โหลดไฟ100W10หลอด	1513	0.4014	607.24	126.39	6.133	775.15	78.34
	โหลดไฟ100W20หลอด	1485	0.756	1122.66	128.26	11.7	4500.64	74.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

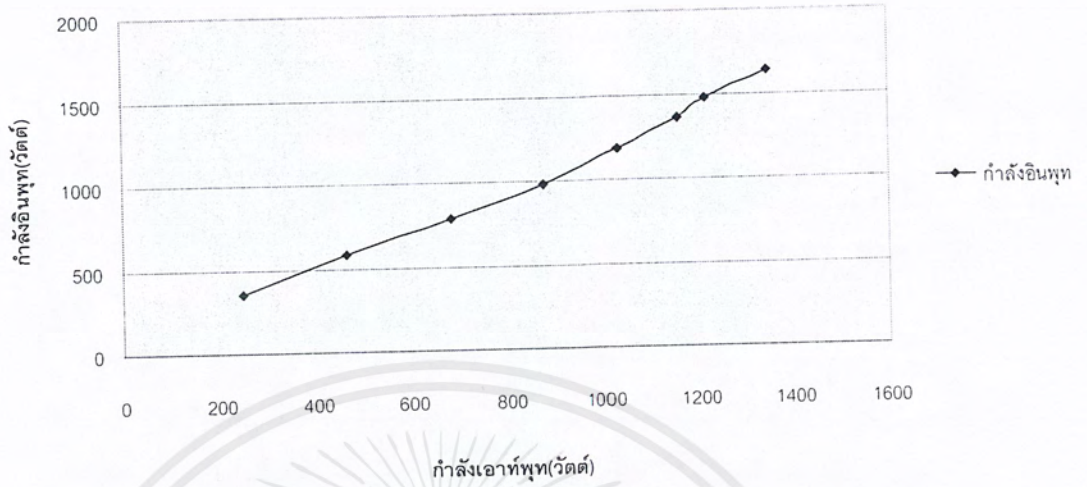


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่ 115 KHz

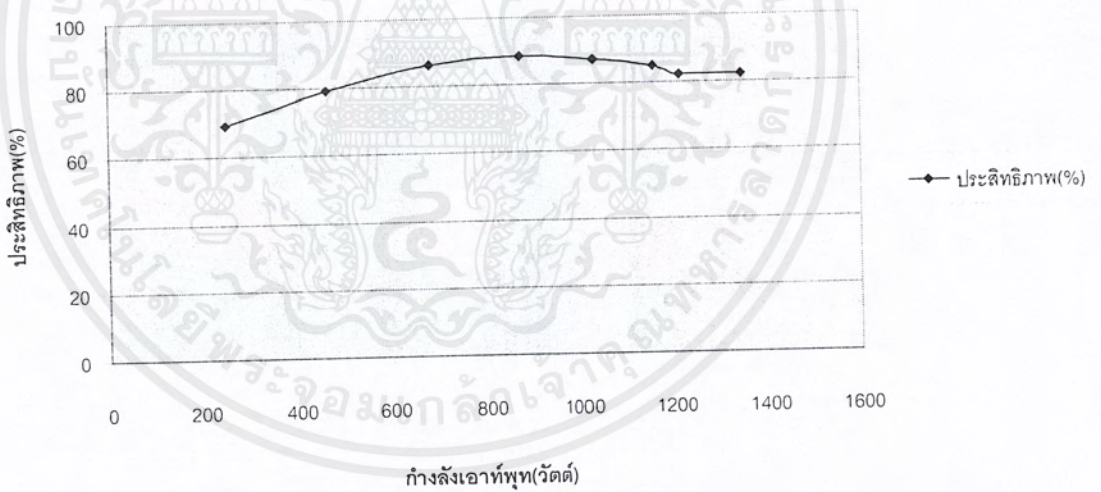


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตที่ความถี่ 115KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

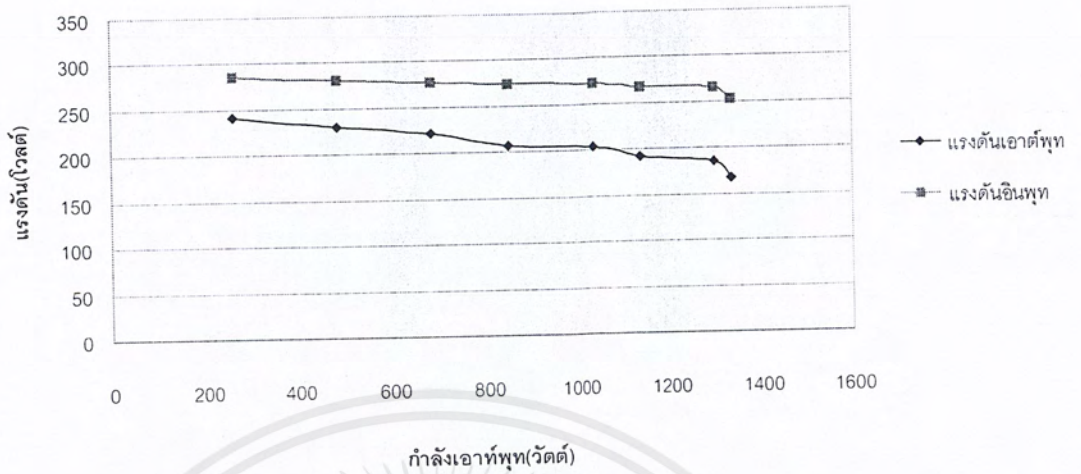


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกำลังอินพุตที่ความถี่ 115 KHz

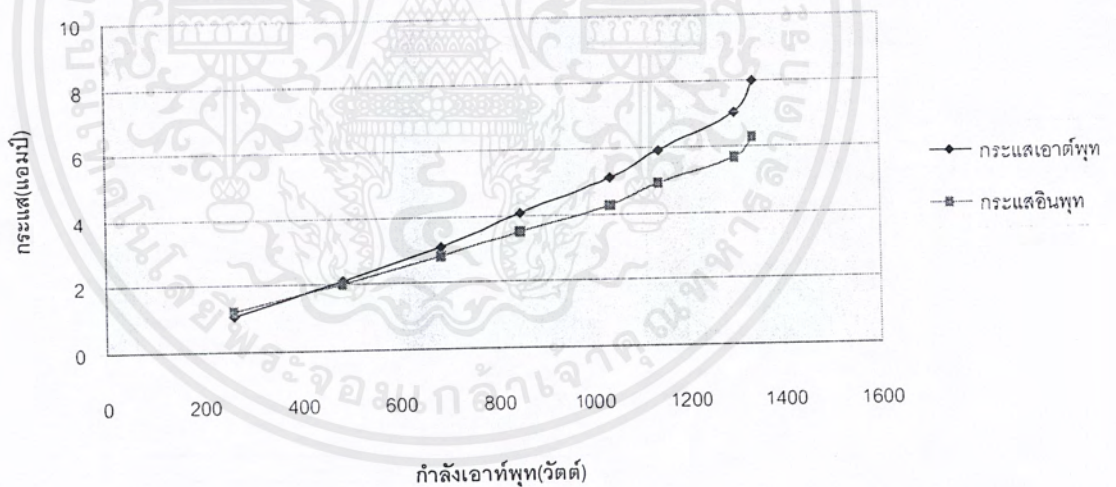


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับประสิทธิภาพที่ความถี่ 115 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

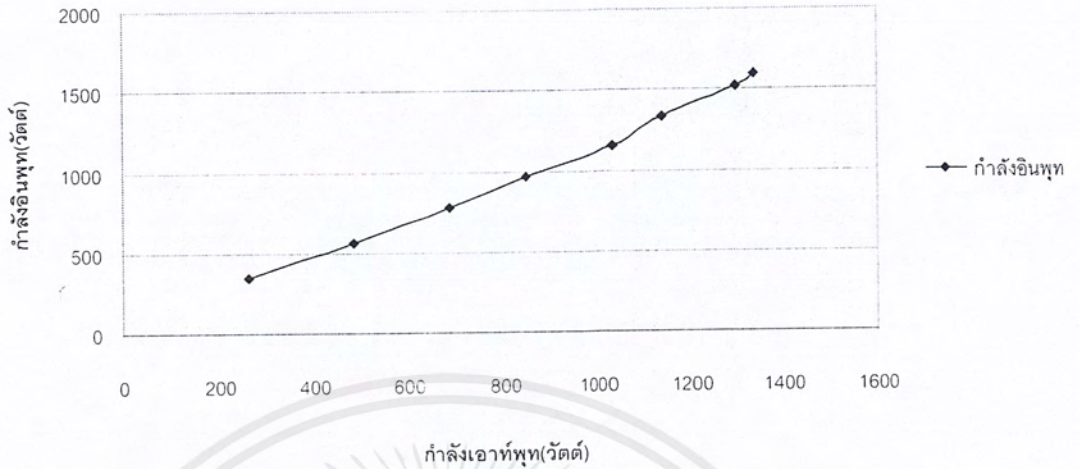


รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่ 150 KHz

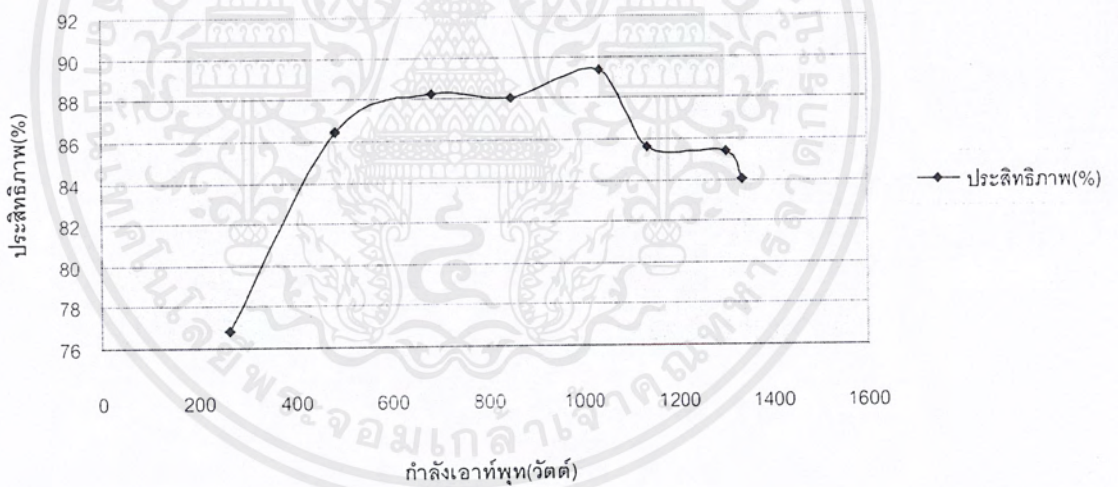


รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตที่ความถี่ 150 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

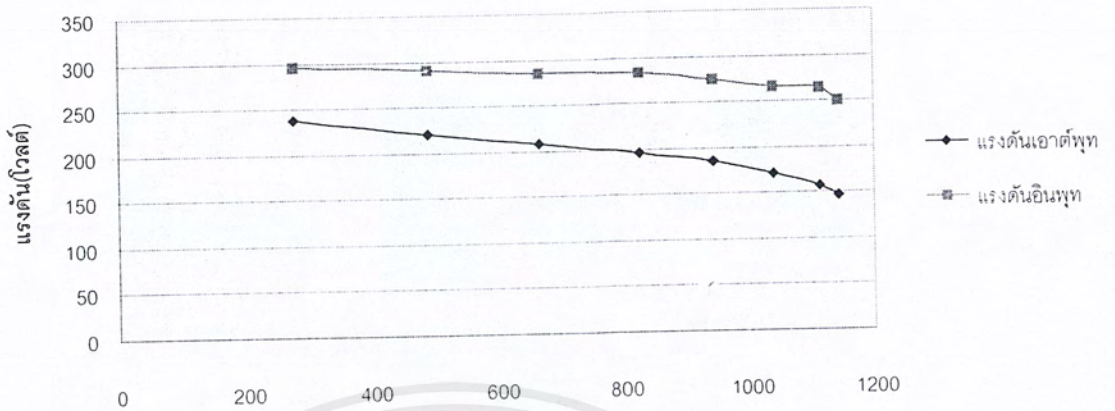


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกำลังอินพุตที่ความถี่ 150 KHz

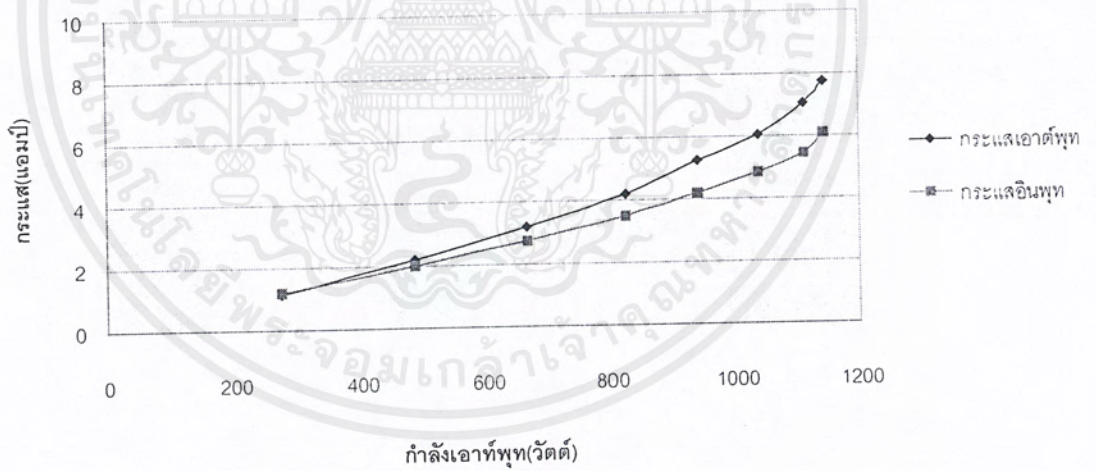


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับประสิทธิภาพที่ความถี่ 150 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

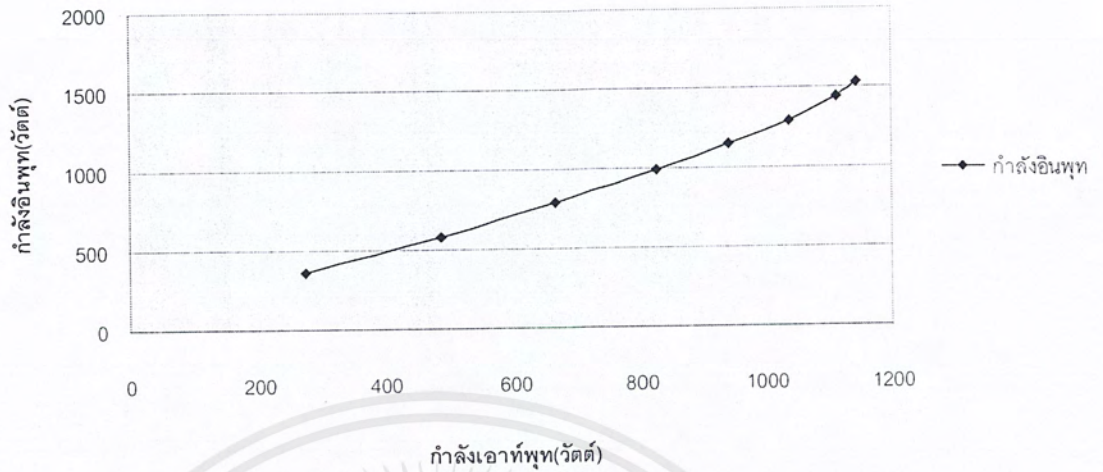


รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่ 200 KHz

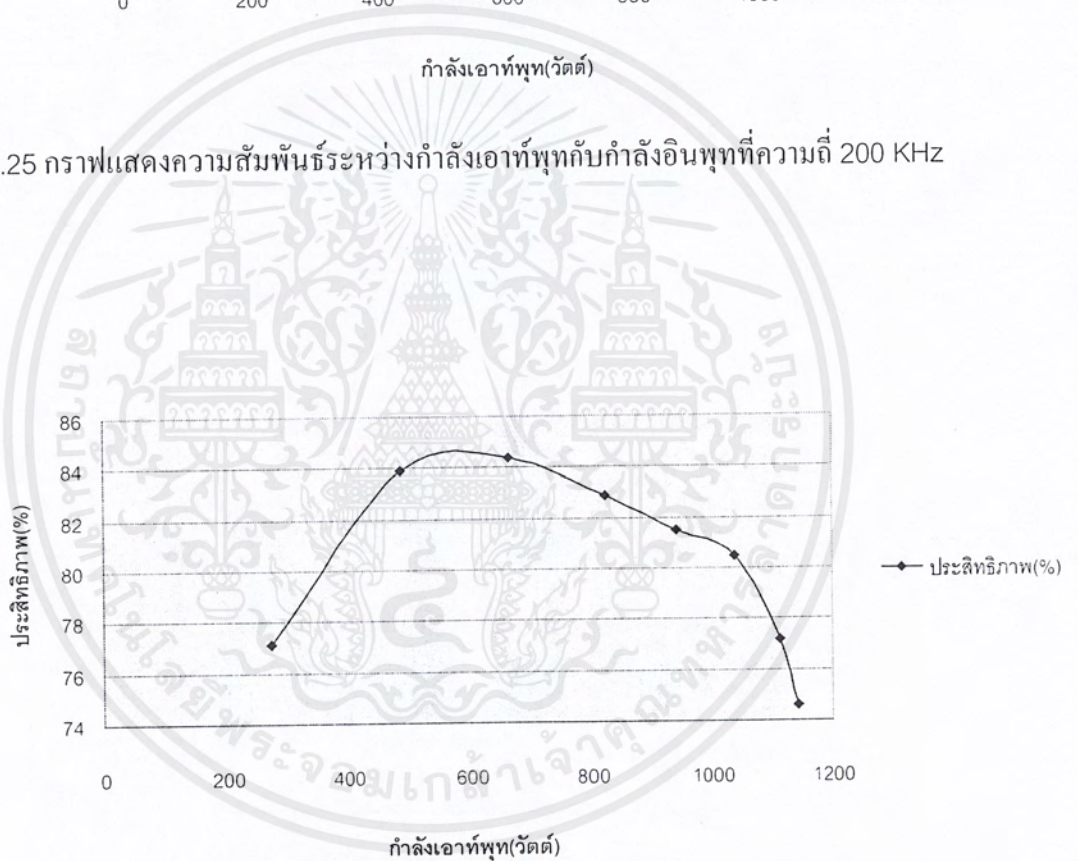


รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตที่ความถี่ 200 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับกำลังอินพุตที่ความถี่ 200 KHz



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับประสิทธิภาพที่ความถี่ 200 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

การสร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงความถี่สูง

การทดสอบฉนวนโดยวิธีทดสอบแบบใช้หม้อแปลงทดสอบที่จะสร้างแรงดันสูงความถี่สูงในการทดสอบฉนวน โดยวิธีนี้การทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการเก็บประจุเพราะฉะนั้นการสร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงความถี่สูงจึงเป็นแนวความคิดใหม่ของการทดสอบฉนวนที่ต่อเนื่องและปรับความถี่ได้ง่ายกว่า ซึ่งแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง สร้างโดยอาศัยหลักการของการสวิตชิงโดยอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไอซี TL494 ทำให้สามารถปรับความถี่ได้ง่าย อาศัยการปรับค่า R ที่สร้างความถี่ออสซิลเลท สัญญาณหลังจากผ่านชุดอินเวอร์เตอร์จะได้ออกมาเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูง และเมื่อผ่านหม้อแปลงกำลังสูงความถี่สูงทำให้ได้สัญญาณความถี่สูงที่มีแรงดันสูง

จากผลการทดลองแหล่งจ่ายไฟที่สร้างสามารถจ่ายเอาต์พุตที่ 1,800 V 1,500 W ซึ่งไม่เกินไปตามขนาดพิกัดของโครงการ เป็นผลสืบเนื่องจากการสูญเสียในส่วนต่างๆ

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. เนื่องจากโครงการนี้ทำการสร้างความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งอาศัยการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งมีความเปราะบาง อีกทั้งมีข้อจำกัดทางด้านพิกัดของตัวอุปกรณ์
2. แม้ว่าการทำงานที่ความถี่สูงจะมีข้อดีในการลดขนาดของอุปกรณ์ให้ลดลงและมีน้ำหนักเบา แต่จะมีข้อเสียของกำลังสูญเสียจากการสวิตชิง
3. โครงการนี้ทำการทดลองที่แรงดันสูง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโครงการจึงเป็นอุปกรณ์แรงดันสูงเช่นกัน ซึ่งมีราคาแพงและมีไม่เพียงพอแก่นักศึกษา
4. หม้อแปลงที่ใช้ในการยกระดับแรงดันเกิดการช้อระหว่างรอบ เนื่องจากการใช้ฉนวนที่ไม่เหมาะสมกับระดับแรงดัน จึงควรมีการออกแบบชนิดฉนวนขนาดความหนาของฉนวนให้เหมาะสมกับระดับแรงดัน

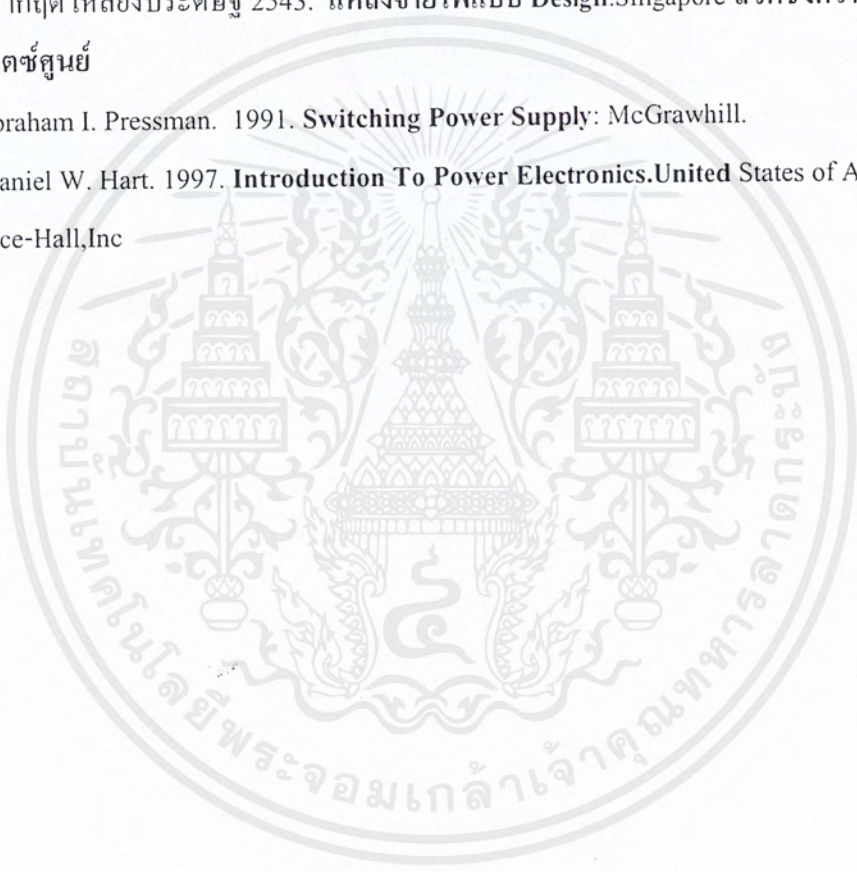
แนวทางในการดำเนินงานต่อไป

ควรมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของแต่ละส่วนให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพรวมของโครงการที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งในส่วนการกรองสัญญาณเป็นสัญญาณไซน์ควรมีการออกแบบให้ครอบคลุมในช่วงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัฒน์ ดัน.2537 เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: เอนเทลไทย
- [2] สมบูรณ์ มаланนท์ และสมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย. แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์
- [3] ปราบกฤต เหลียงประดิษฐ์ 2543. แหล่งจ่ายไฟแบบ Design.Singapore สวิตชิงความถี่สูงที่แรงดันสวิตซ์ศูนย์
- [4] Abraham I. Pressman. 1991. **Switching Power Supply**: McGrawhill.
- [5.] Daniel W. Hart. 1997. **Introduction To Power Electronics**.United States of America : Prentice-Hall,Inc





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิงแรงดันสูง ความถี่สูง

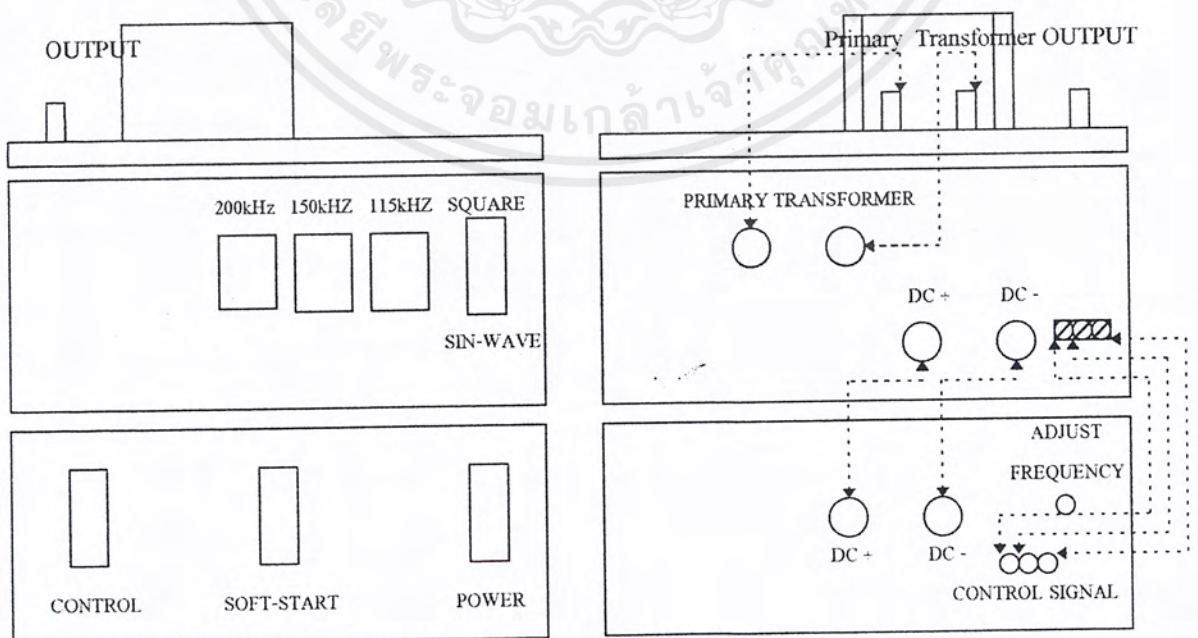
High Voltage High Frequency Switching Power Supply

คุณสมบัติของเครื่อง.

1. อินพุต 220Vac 50Hz
2. เอาต์พุต สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม(Square Wave) ที่ความถี่ปรับค่าได้ระหว่าง100kHz-200kHz
สัญญาณรูปไซน์(Sine Wave) ที่ความถี่115kHz 150kHz 200kHz
ที่พิกัด 1,800V 1,500W

วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ CONTROL
2. เปิดสวิตช์ POWER และสวิตช์ SOFT-STARTตามลำดับ
3. ทำการเลือกสัญญาณเอาต์พุต
 - 3.1 เมื่อต้องการสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม เลือกสวิตช์ SQUARE-WAVE
ปรับปุ่มADJUST-FREQUENCY เพื่อปรับความถี่เอาต์พุตที่ต้องการ
 - 3.2 เมื่อต้องการสัญญาณรูปไซน์ เลือกสวิตช์ SIN-WAVE
เลือกสวิตช์ความถี่เอาต์พุต 115kHz ,150kHz ,200kHz



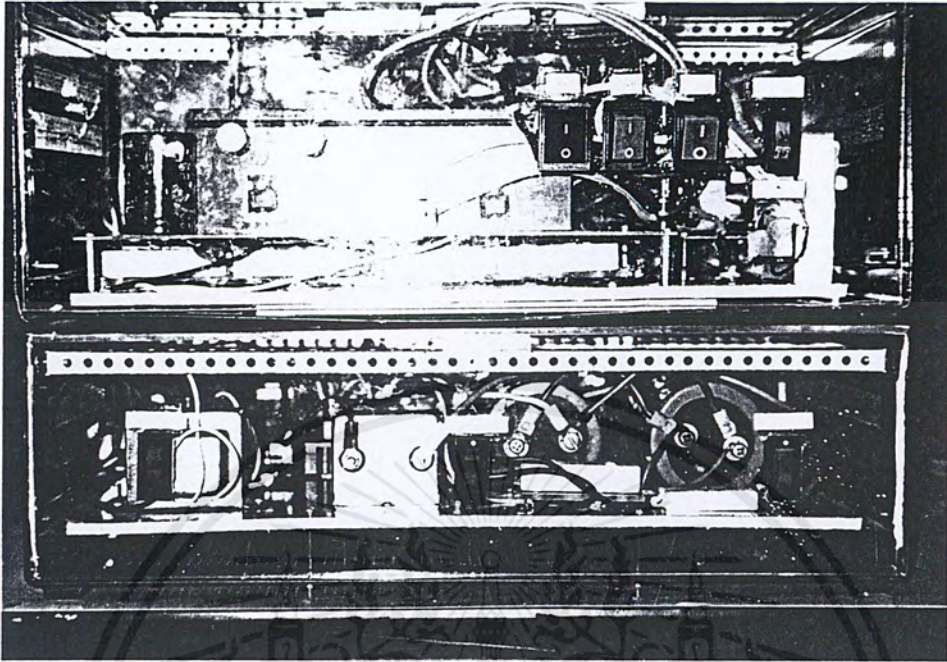
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **ด้านหน้า** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ **ด้านหลัง**

3.3 เมื่อต้องการเปลี่ยนสัญญาณเอาต์พุตจากสัญญาณไซน์เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม หรือจาก
สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณไซน์ ต้องปิดสวิทช์สัญญาณเดิมก่อน

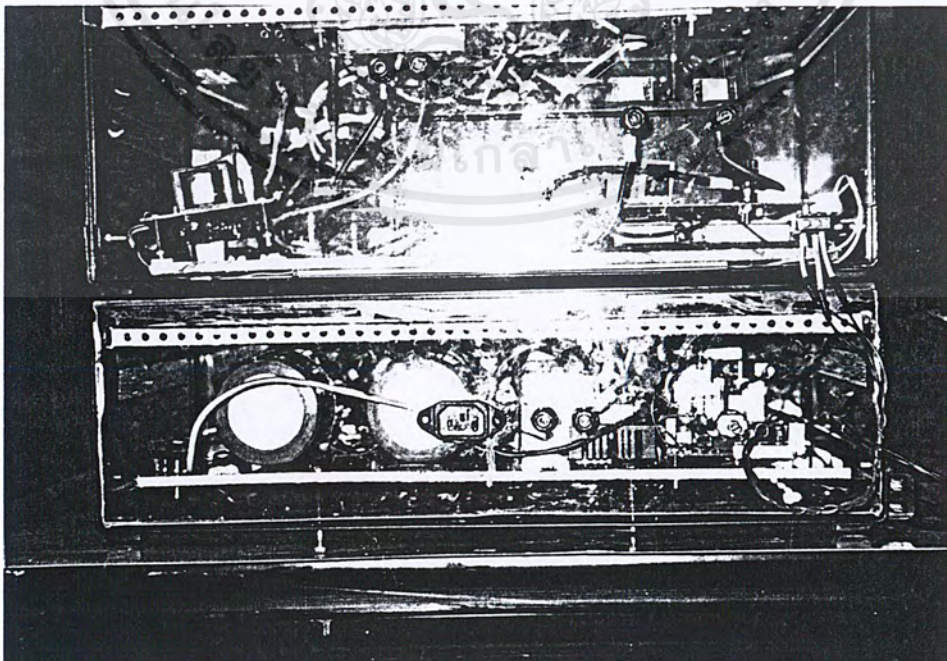
4. ปิดสวิทช์ เมื่อเลิกใช้งาน.



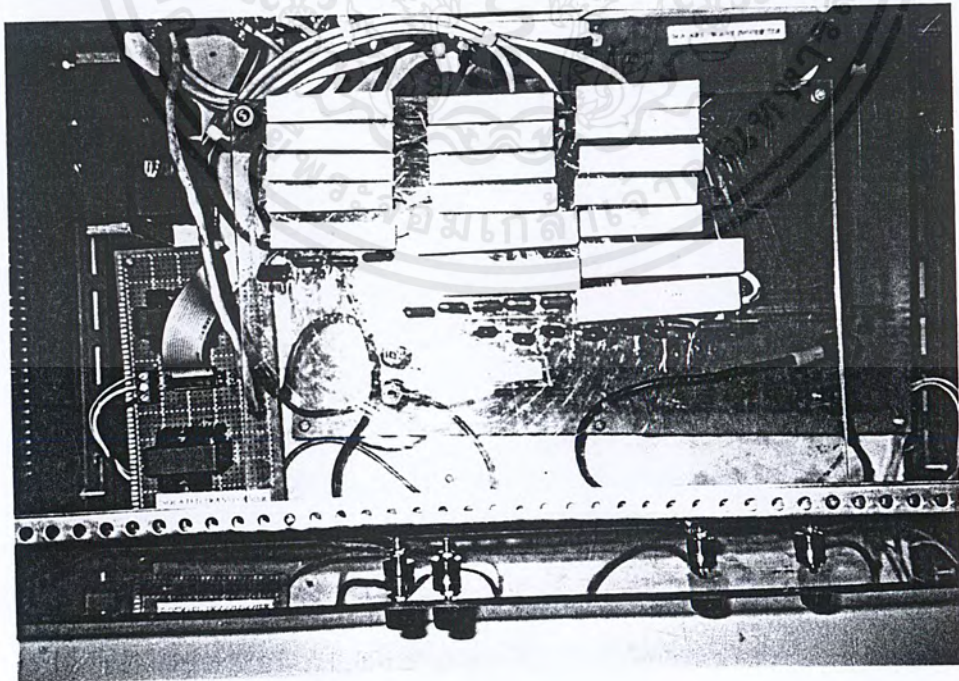
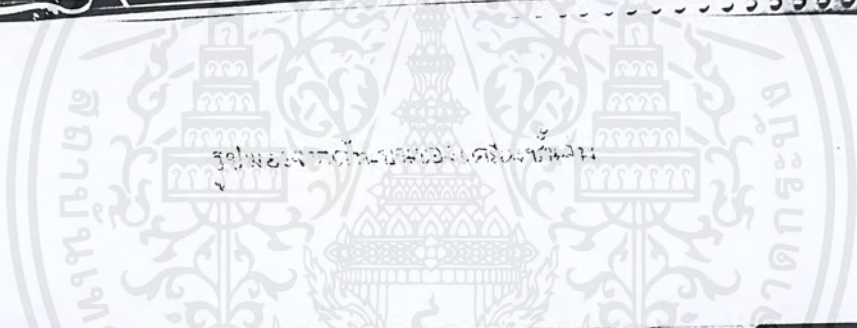
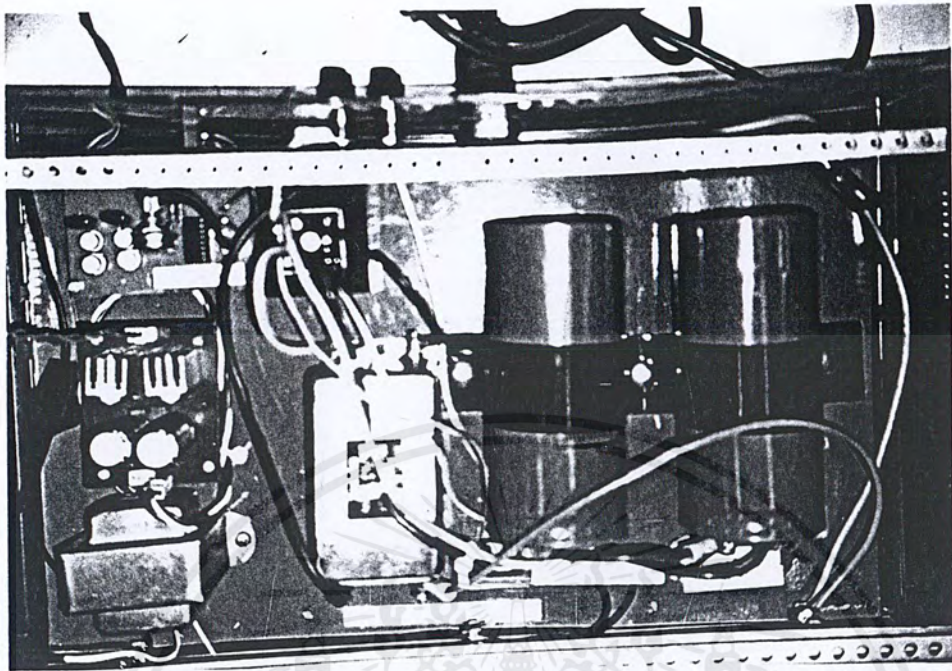
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



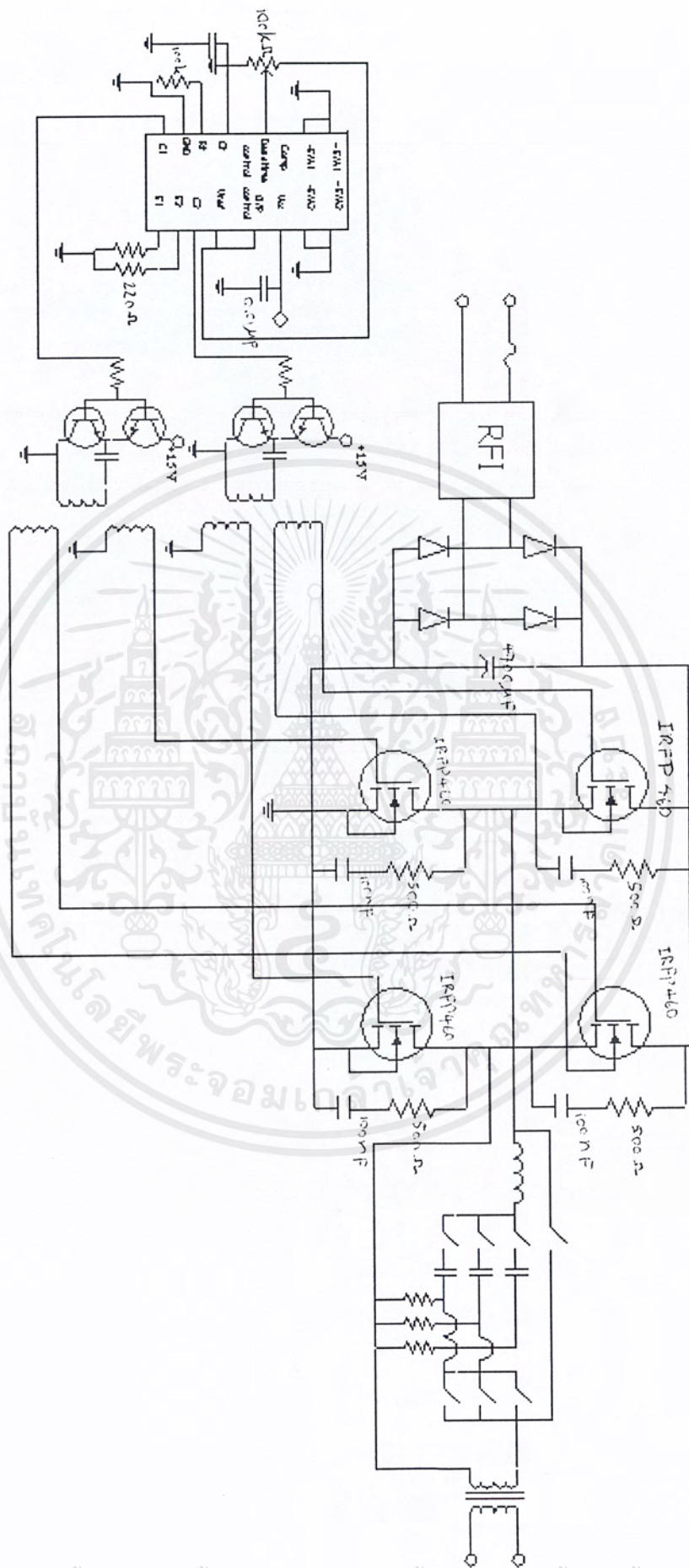
รูปด้านหน้าของเครื่องรับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49
98

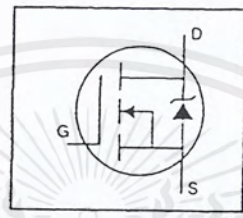
International Rectifier

PD-9.512B

IRFP460

HEXFET[®] Power MOSFET

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

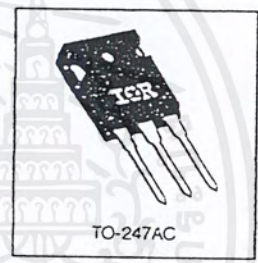


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
$I_D = 20A$

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	
I_{DM}	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	280	W
Linear Derating Factor	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 T_{STG}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	—	—	40	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	$V/^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=12A$ ②
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250	μA	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
Q_{GS}	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	$V_{DS}=400V$
Q_{GD}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ③
$t_{(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	59	—	ns	$I_D=20A$
$t_{(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	$R_G=4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	58	—	ns	$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—	pF	$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

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

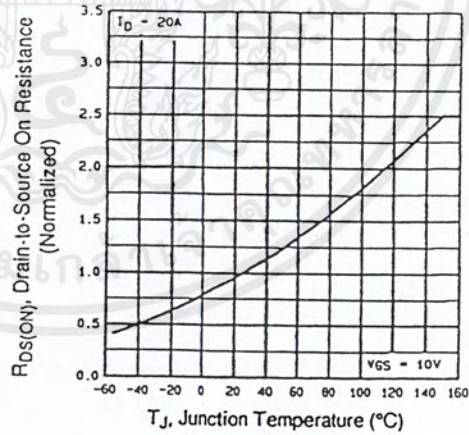
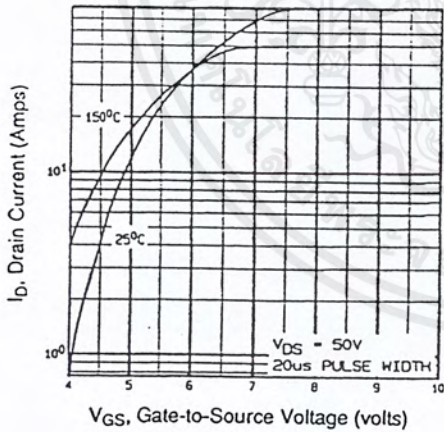
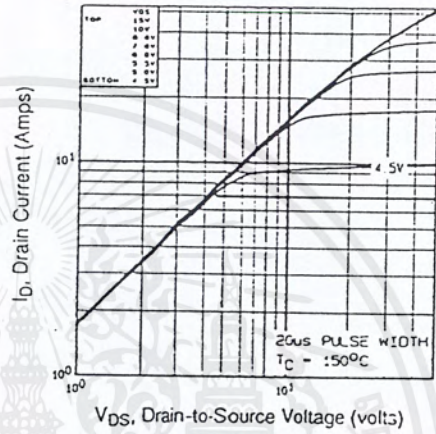
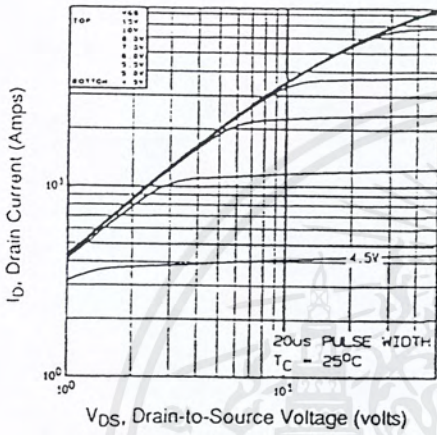
Notes:

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP460



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

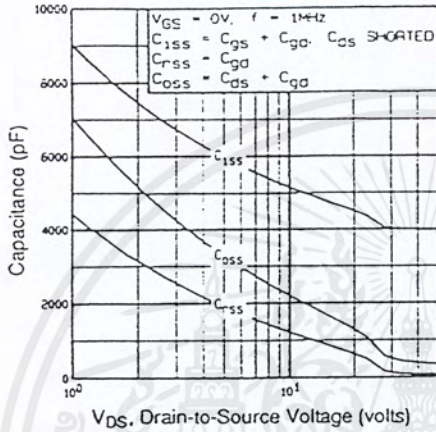


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

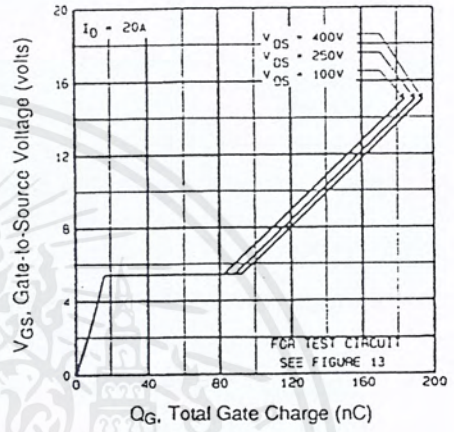


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

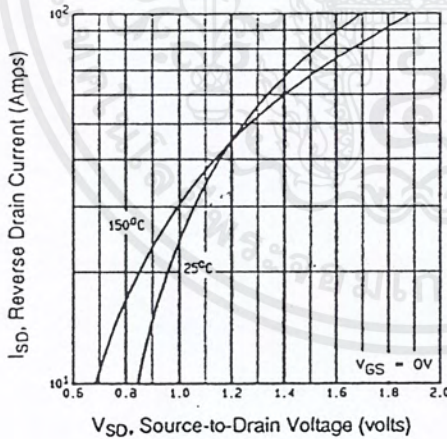


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

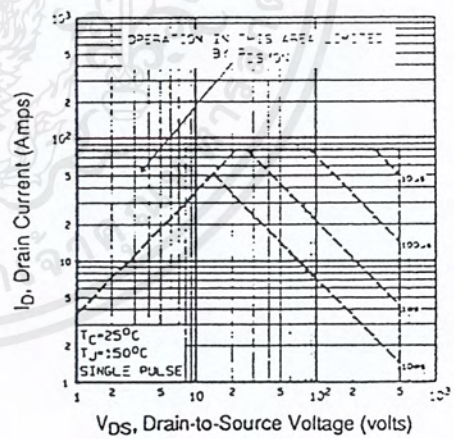


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP460

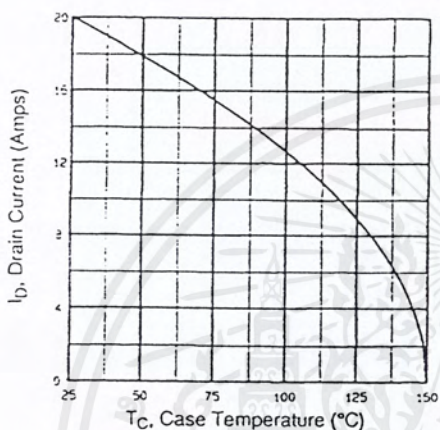


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

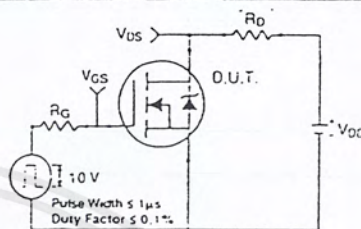


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

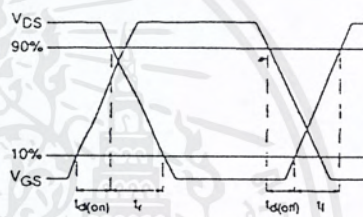


Fig 10b. Switching Time Waveforms

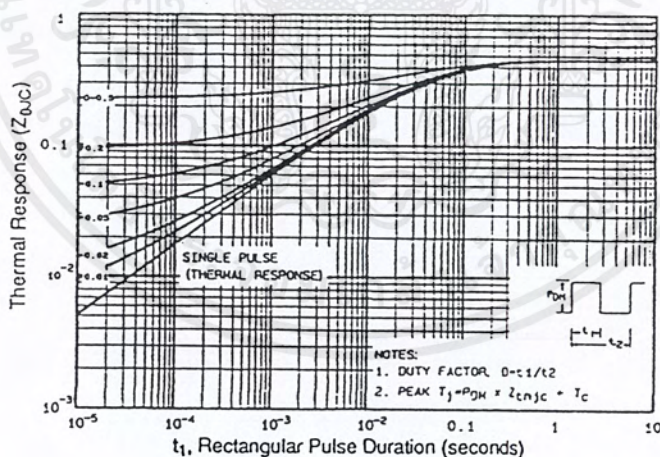


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

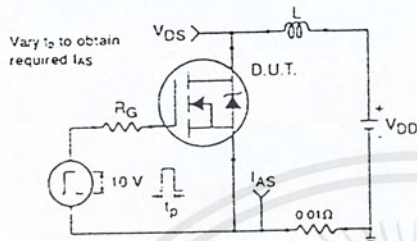


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

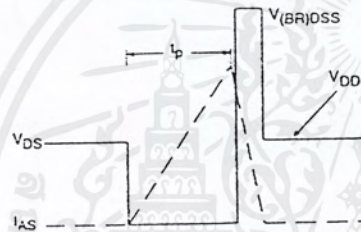


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

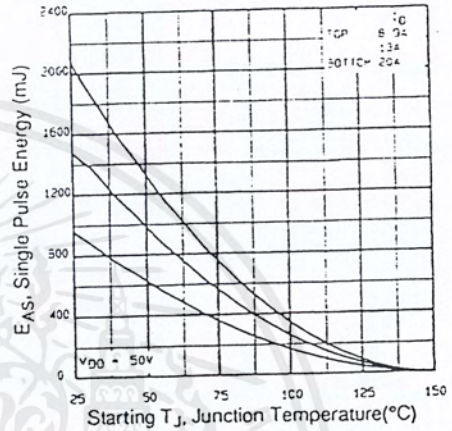


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

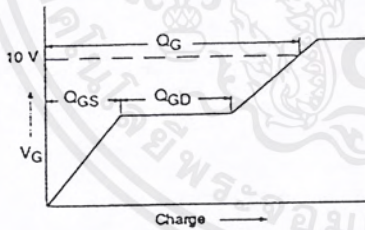


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

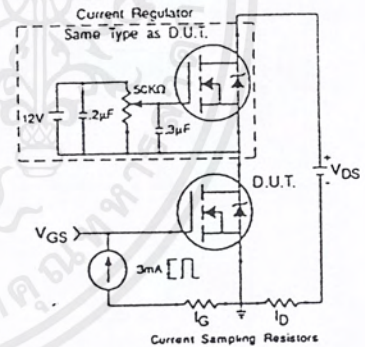


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IR Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by TL494/D

SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

TL494

SWITCHMODE
PULSE WIDTH MODULATION
CONTROL CIRCUIT
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751B
(SO-16)



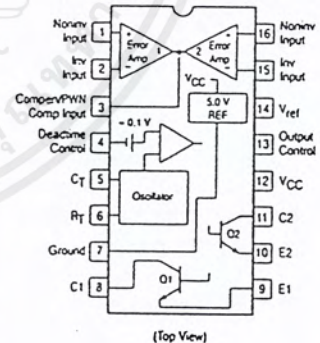
N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42		V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I _{C1} , I _{C2}	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	125		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T _A	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T _A	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T _A = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T _A = -25° to +85°C	Plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	-	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	-	-	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	-0.3	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	-	-	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	-	-	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	$k\Omega$
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μF , $R_T = 12$ $k\Omega$, unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ C$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Voltage ($I_O = 1.0$ mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	Reg_{line}	-	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Reg_{load}	-	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION					
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	-	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	-	-	-100	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	-	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	-	10 0.2	- 3.5	μA mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	-	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	-	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, unless otherwise noted.)
 For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	-	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	-	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	-	-0.1	-1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	-0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	-	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_{C-}	-	250	-	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	-	65	-	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	-	100	-	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	-	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	-4.0	-	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	-	2.5	4.5	V
Input Sink Current (V (Pin 3) = 0.7 V)	I_{I-}	0.3	0.7	-	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ to 5.25 V)	I_{IB} (DT)	-	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{Pin 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45 -	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	- 0	2.8 -	3.3 -	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	-	40	-	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	σ_{osc}	-	3.0	-	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to 40 V , $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc} (\Delta V)$	-	0.1	-	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	$\Delta f_{osc} (\Delta T)$	-	-	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	I_{CC}	- -	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{(Pin 4)} = 2.0\text{ V}$) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) (See Figure 12)		-	7.0	-	mA

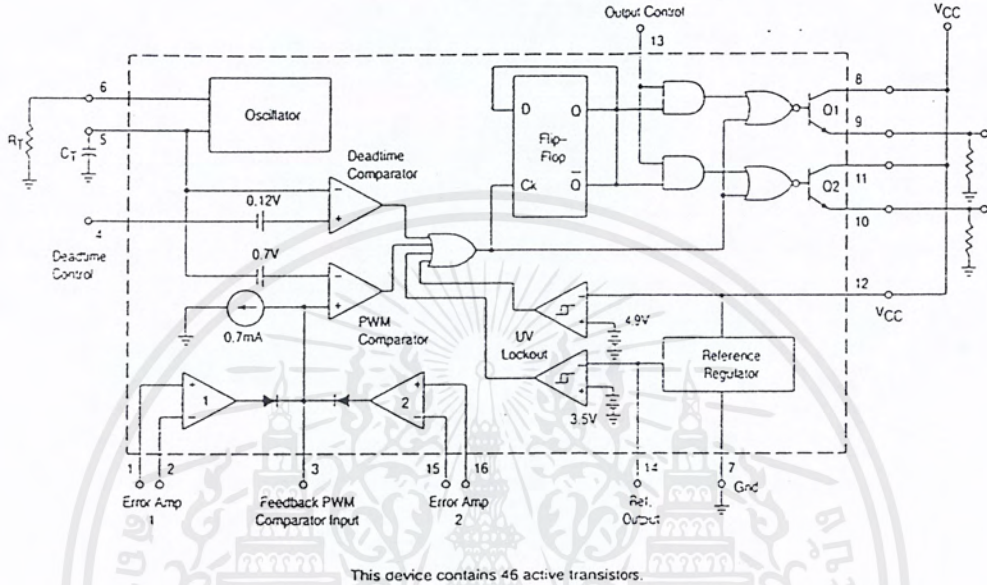
* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N-1}}$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

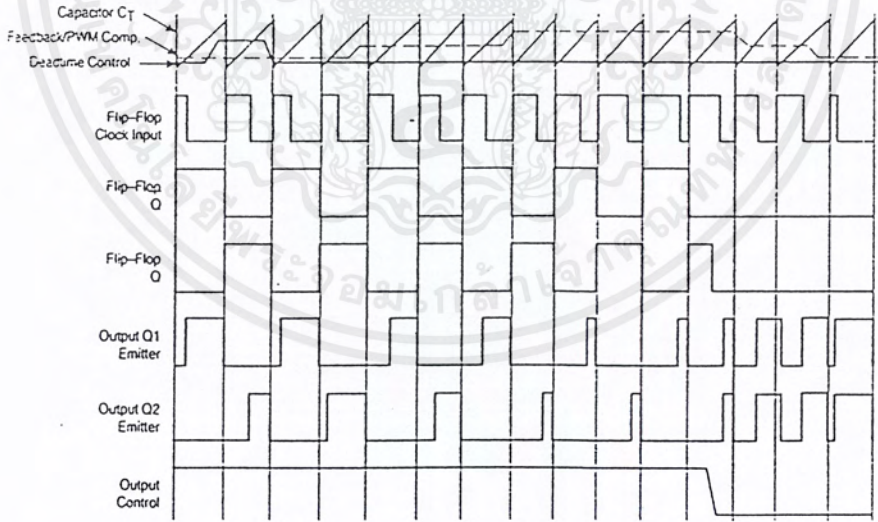
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
$\ominus V_{ref}$	Push-pull Operation	0.5

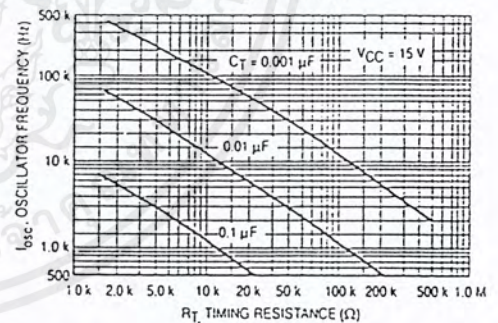
The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to ($V_{CC} - 2V$), and

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 0.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



TL494

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

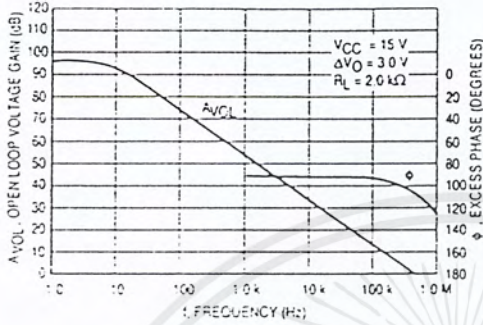


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

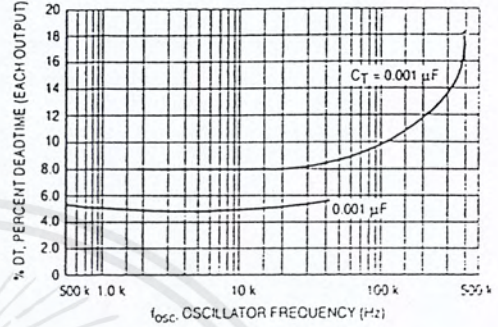


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

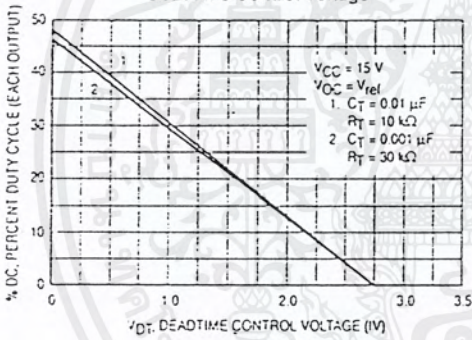


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

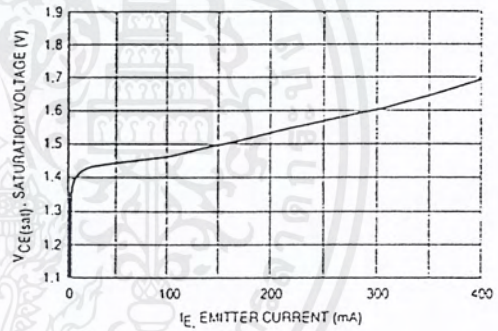


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

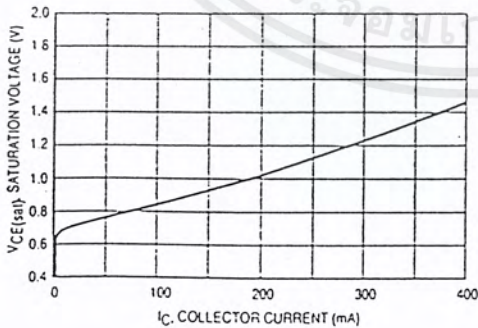
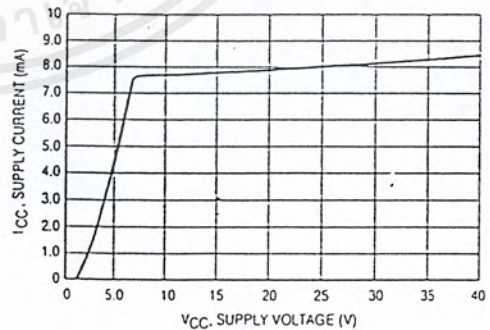


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

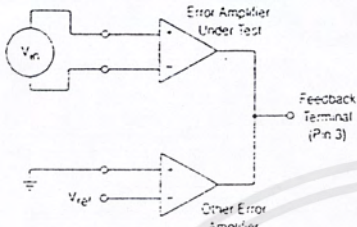


Figure 11. Deadline and Feedback Control Circuit

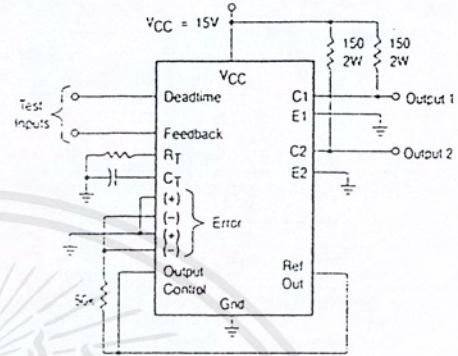


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

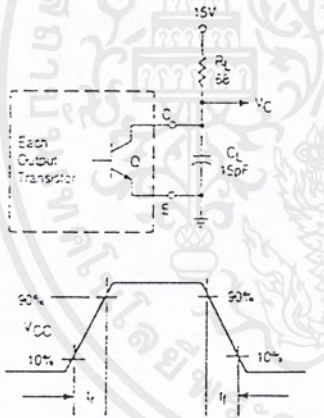
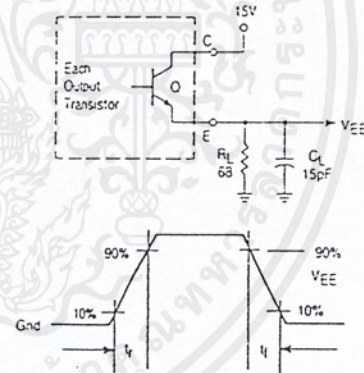


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

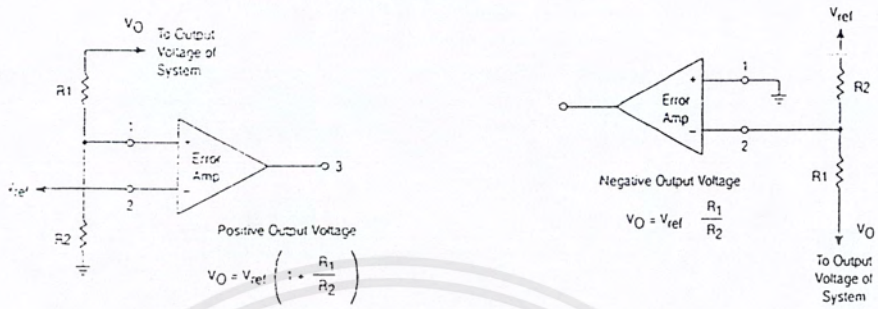


Figure 15. Deadtime Control Circuit

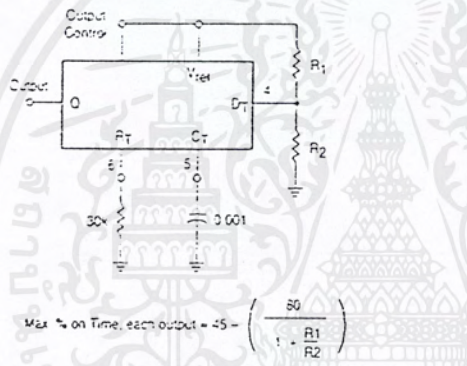


Figure 16. Soft-Start Circuit

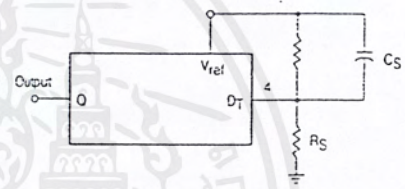
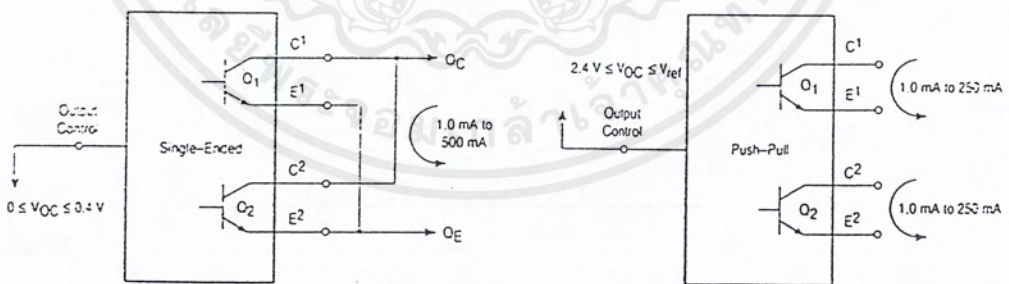


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

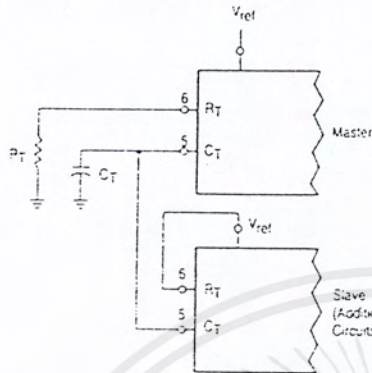


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

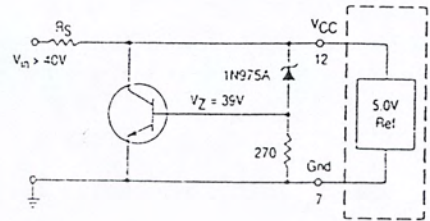
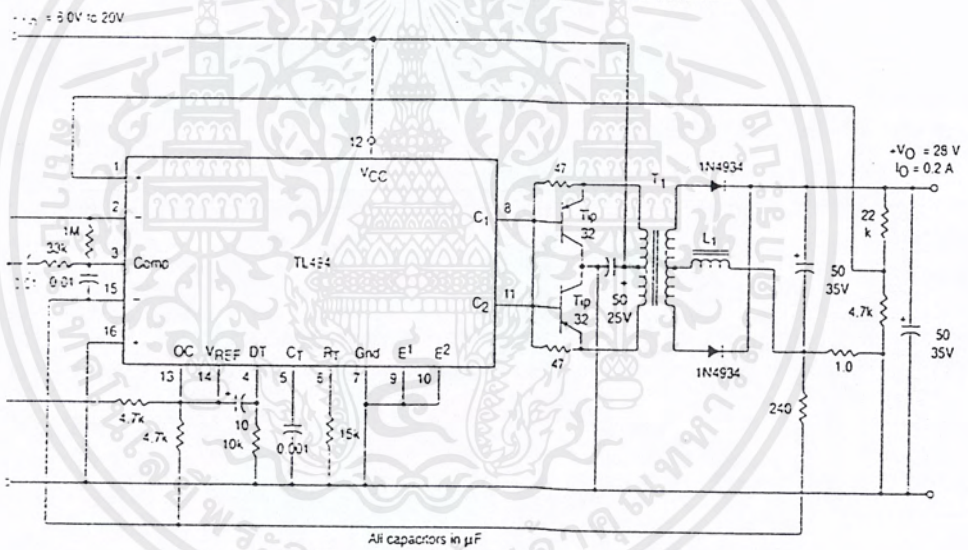


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter



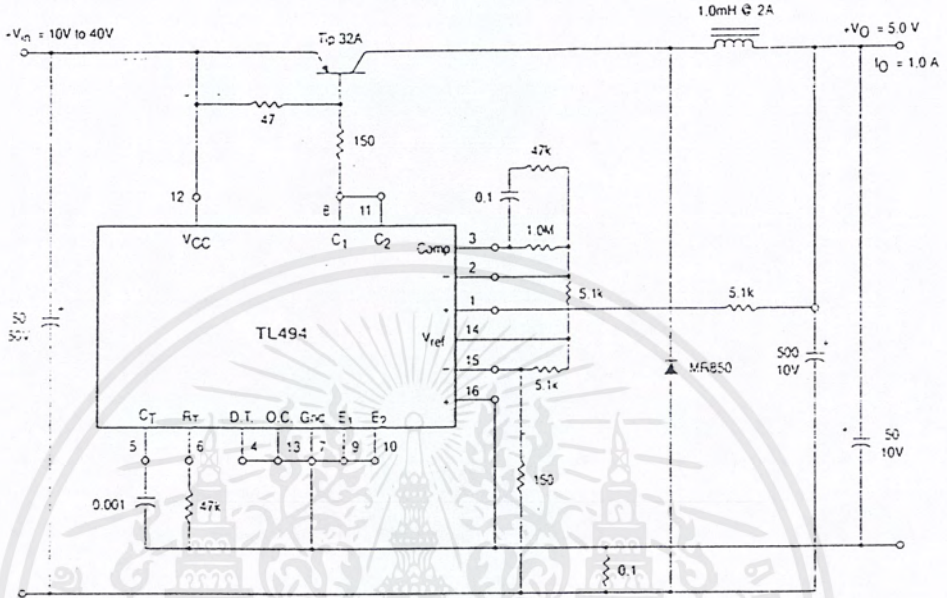
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to } 40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ mA to } 1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V, } R_L = 0.1\ \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ A}$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 120T C.T. #35 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

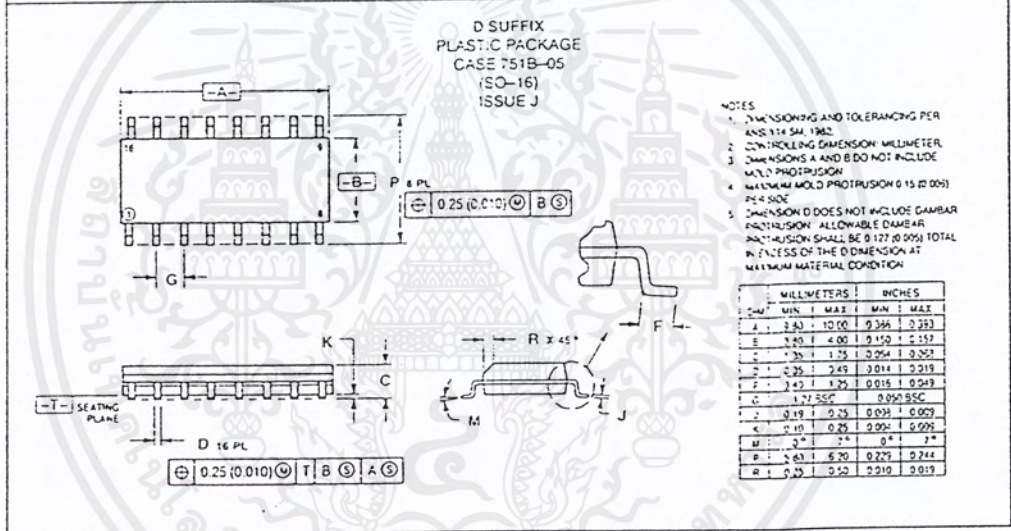
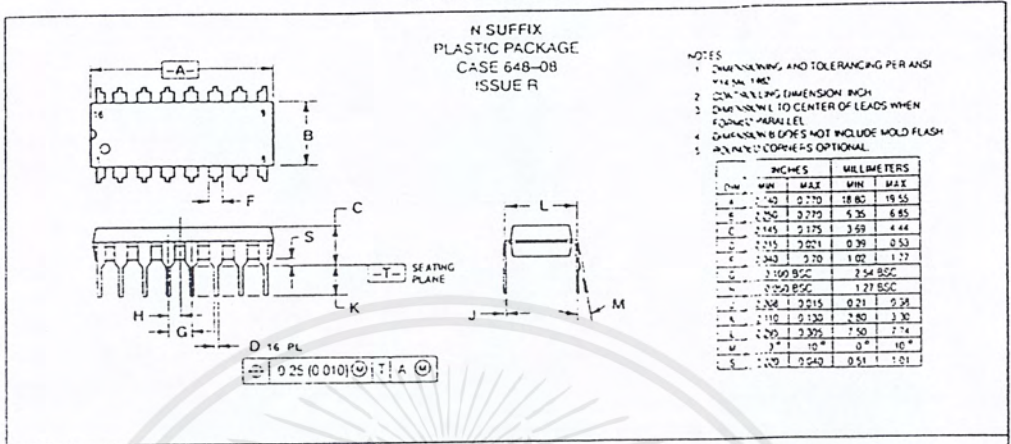
Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 250 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


TL494
OUTLINE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
 SA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

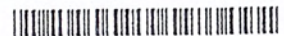
ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 88 Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



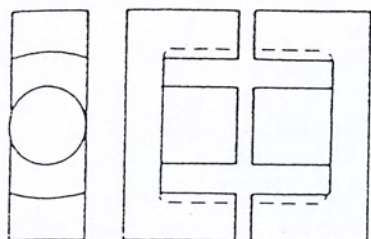
MOTOROLA

0

TL494/D

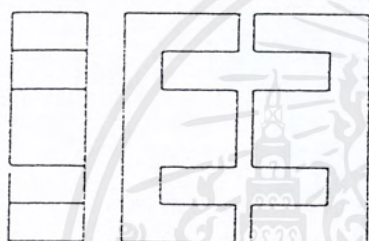


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



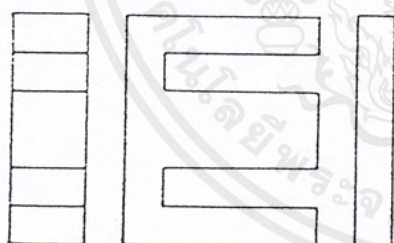
ETD

CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
ETD 34	0.971	1.220	7.64	78.6
ETD 39	1.250	1.740	11.50	92.2
ETD 44	1.740	2.130	18.00	103.0
ETD 49	2.110	2.710	24.20	114.0



EE

CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
EE 20/20/5	0.31	0.35	1.34	43.0
EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
EE 42/42/15	1.82	1.78	17.6	97.0
EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
EE 42/66/20	2.36	3.40	34.5	143.0
EE 55/55/21	3.53	2.50	43.7	123.0
EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0



EI

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

- A_c = ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์
 A_w = ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดของบอบบิน
 V_c = ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์
 l_c = ระยะทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์

ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI และ ETD

แสดงขนาดมาตรฐาน AWG และข้อมูลอื่นๆ ของลวดทองแดงอ่อนน้ำยา

เบอร์ AWG (B. & S.)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (d)		ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเมื่อ รวมฉนวน (d _n)	พื้นที่หน้าตัด ปกติ	ค่าความต้าน ทานที่ 100°C	ระยะเย็บ ขีดค่าสุด
	inch	mm	mm	mm ²	(R ₂₀) Ω/m	(mm) mm
44	0.00198	0.0503	0.06604	0.00199	11,180	0.071
43	0.00222	0.0564	0.07366	0.00250	8,399	0.079
42	0.00249	0.0633	0.08128	0.00314	7,073	0.087
41	0.00280	0.0711	0.09144	0.00397	5,594	0.098
40	0.00314	0.0798	0.1041	0.00500	4,448	0.111
39	0.00353	0.0897	0.1143	0.00631	3,519	0.122
38	0.00397	0.1008	0.1295	0.00799	2,783	0.138
37	0.00445	0.1130	0.1448	0.01003	2,215	0.154
36	0.00500	0.1270	0.1626	0.0127	1,754	0.172
35	0.0056	0.1422	0.1778	0.0159	1,398	0.188
34	0.0063	0.1600	0.1981	0.0201	1,105	0.209
33	0.0071	0.1803	0.2235	0.0255	0,8700	0.236
32	0.0080	0.2032	0.2489	0.0324	0,6853	0.261
31	0.0089	0.2261	0.2743	0.0401	0,5537	0.287
30	0.0100	0.2540	0.3048	0.0507	0,4386	0.319
29	0.0113	0.2870	0.3404	0.0647	0,3435	0.356
28	0.0126	0.3200	0.3759	0.0804	0,2762	0.393
27	0.0142	0.3607	0.4191	0.1022	0,2175	0.438
26	0.0159	0.4039	0.4699	0.128	0,1735	0.491
25	0.0179	0.4547	0.5232	0.162	0,1369	0.547
24	0.0201	0.5105	0.5817	0.205	0,10860	0.608
23	0.0226	0.5740	0.6502	0.259	0,08586	0.679
22	0.0253	0.6426	0.7214	0.324	0,06852	0.754
21	0.0285	0.7239	0.8052	0.412	0,05399	0.841
20	0.0320	0.8128	0.8966	0.519	0,04283	0.937
19	0.0359	0.9119	1.003	0.653	0,03403	1.048
18	0.0403	1.024	1.118	0.823	0,02700	1.168
17	0.0453	1.151	1.247	1.040	0,02137	1.303
16	0.0508	1.290	1.389	1.308	0,01699	1.452
15	0.0571	1.450	1.557	1.652	0,01345	1.627
14	0.0641	1.628	1.737	2.082	0,010670	1.815
13	0.0720	1.829	1.943	2.627	0,008460	2.030
12	0.0808	2.052	2.172	3.308	0,006717	2.270
11	0.0907	2.304	2.431	4.168	0,005331	2.540
10	0.1019	2.588	2.720	5.261	0,004224	2.842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้