

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ แรงดันสูง ความถี่สูง  
High-Frequency High-Voltage Ozone Generator

โดย

นาย กฤษพล สรวัยสุวรรณ  
นาย จริวงศ์ คำฟู  
นาย ไตรชนะ อาสาศิวรส  
นาย ชีวยุทธ น้อยสมวงษ์

เลขานุ.....  
เลขทะเบียน..... 72990  
วัน,เดือน,ปี..... 27 ส.ย. 2550

b. 11426080  
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ แรงดันสูง ความถี่สูง**  
**High-Frequency High-Voltage Ozone Generator**



อาจารย์ ที่ปรึกษา  
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ  
อ.ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้แรงดันสูง ความถี่สูง  
High-Frequency High-Voltage Ozone Generator

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย กฤษพล สรวัยสุวรรณ
  2. นาย จริวงศ์ คำชู
  3. นาย ไตรชนะ อาสาตรีส
  4. นาย ชัยยุทธ น้อยสมวงศ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร กิณเรศ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ แรงดันสูง ความถี่สูง

นาย กฤษพล สรวยสุวรรณ

นาย จริวงศ์ คำชู

นาย ไตรชนะ อาสาวดิรส

นาย วีรยุทธ น้อยสมวงษ์

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้เสนอ เครื่องกำเนิดโอโซน โดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง ซึ่ง ก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ จะเกิดจากการโคโรนาดีสชาร์จ โดยการสร้างเครื่องกำเนิดโอโซน โดยใช้ แรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ชุดอินเวอร์เตอร์ ชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่ สูง และชุดอิเล็กโตรด มีหลักการทำงานโดยใช้พัลส์เตนซิตีโมดูลชัน เพื่อปรับเปลี่ยนพลังงานในแต่ละ รูปคลื่นแรงดัน และจะส่งผ่านไปยังหม้อแปลงแรงดันสูงเพื่อเข้าสู่ชุดอิเล็กโตรด ซึ่งออกแบบเป็น ลักษณะแกนซ้อนร่วม โดยแรงดันเอาต์พุตจากหม้อแปลงที่ทำให้เกิดโอโซนอยู่ระหว่าง 4 กิโลโวลต์ ถึง 6 กิโลโวลต์ ความถี่ 50 กิโลเฮิรท์ ซึ่งสามารถสร้างปริมาณโอโซนสูงสุดได้ถึง 360 มิลลิกรัม/ชั่วโมง โดยปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามการปรับจำนวนพัลส์ต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High-Voltage High-Frequency for Ozone Generator

Krissapol Sarouysuwan

Jariwong Kamchoo

Trichana Asavadeeros

Theerayut Noisomwong

Asst. Prof. Dr. Vijit Kinnaret Advisor

Chaitat Maneeinnn Advisor

2006

### ABSTRACT

This thesis proposes high-voltage high-frequency for ozone generator. Which causes corona discharge. This generator includes the three sets namely, the inverter set, the high-voltage transformer set and the electrode set. This technique is based on pulse density modulation (PDM) for changing the energy in waveform and pass to the high-voltage transformer feeding high-voltage to the electrode, which is common axis cylinder. It is designed to operate at 4 kV to 6 kV and 50 kHz switching frequency. The ozone generator is capable of generating maximum ozone generating of 360 mg/hr. Generated Ozone level is either increased or decreased with number of pulses in each period.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ แรงดันสูง ความถี่สูง สำเร็จได้ดีต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและขอขอบคุณ อาจารย์รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการในการดำเนินโครงการ รวมทั้ง คณะอาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกๆท่าน และ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท พี่น่าน พี่แจ๊ค ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำและช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณชมรมพัฒนาจริยธรรมและคุณธรรมที่ให้เรา มีสติ อยู่ตลอดเวลา ที่ลืมไม่ได้คือ ยศ กุ๊ก เบลล์ ที่ช่วยแนะนำข้อมูลต่างๆและพี่ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ และ ฝนกับหน่าที่เป็นกำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และต้องขอกราบขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูและให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และถ้าโครงการนี้เป็นประโยชน์แก่ผู้อ่าน ขอให้ประโยชน์และความดี จงส่งผลให้แต่พ่อแม่ ครอบครัวและผู้มีพระคุณ จงมีแต่ความสุขความเจริญยิ่งๆขึ้นไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ.....  | I    |
| ABSTRACT.....  | II   |
| สารบัญรูป.....   | V    |
| สารบัญตาราง.....   | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ.....  | 1    |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหา.....                                   | 2    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                             | 2    |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....                         | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....                        | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                              | 3    |
| 2.1 การกำเนิดไอโซน.....                                      | 3    |
| 2.1.1 การกำเนิดไอโซนตามธรรมชาติ.....                         | 3    |
| 2.1.2 การกำเนิดไอโซนจากการกระทำของมนุษย์.....                | 5    |
| 2.1.3 คุณสมบัติของไอโซน.....                                 | 6    |
| 2.1.4 การประยุกต์ใช้ไอโซน.....                               | 8    |
| 2.1.5 ผลเสียของไอโซน.....                                    | 9    |
| 2.2 อินเวอร์เตอร์.....                                       | 9    |
| 2.2.1 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส.....                               | 9    |
| 2.2.2 การปรับจำนวนพัลส์แบบ ( PDM ).....                      | 11   |
| 2.3 หม้อแปลงสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....                      | 12   |
| 2.3.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core).....                       | 12   |
| 2.3.2 บอบบิ้น (Bobbin).....                                  | 12   |
| 2.3.3 ลวดทองแดงฉนวนน้ำยา ( Enamelled Copper Wire).....       | 13   |
| 2.3.4 เทปฉนวน (Insulation Tape).....                         | 13   |
| 2.3.5 การเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์.....                           | 13   |
| บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ.....                            | 16   |
| 3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน..... | 16   |
| 3.2 คำนวณแรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดไอโซน.....                 | 18   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 3.3 การออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์.....                        | 19   |
| 3.4 การคำนวณหม้อแปลงและการออกแบบ.....                      | 21   |
| 3.5 การสร้างสัญญาณ PDM จาก TL494.....                      | 22   |
| 3.6 การทำงานโดยรวมของวงจร.....                             | 28   |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง.....                                    | 30   |
| 4.1 การวัดทางทางไฟฟ้า.....                                 | 30   |
| 4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....                         | 30   |
| 4.1.2 การทดลองชุดสัญญาณขับ TL494.....                      | 30   |
| 4.1.3 การทดลองชุดขับเกทของ MOSFET ในวงจรอินเวอร์เตอร์..... | 33   |
| 4.1.4 การทดลอง INVERTER.....                               | 38   |
| 4.2 ทำการวัดปริมาณโอโซน.....                               | 53   |
| 4.2.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซน.....                     | 56   |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....                             | 58   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง.....                                    | 58   |
| 5.2 ปัญหาที่พบ.....  | 58   |
| 5.3 แนวทางในการพัฒนา.....                                  | 59   |

ภาคผนวก  
เอกสารอ้างอิง  
กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

| รูป  | หน้า  |
|------|---|
| 1-1  | แสดง block การทำงานเครื่องผลิตOZONE.....1                                 |
| 2-1  | อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส.....10  |
| 2-2  | PDM แบบกลุ่ม.....12   |
| 3-1  | block การทำงานของเครื่องผลิตโอโซน.....16                                  |
| 3-2  | ขนาดอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบ.....20  |
| 3-3  | วงจรภายใน TL494.....23  |
| 3-4  | Timing diagram.....23   |
| 3-5  | วงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์.....24  |
| 3-6  | วงจรสร้างสัญญาณ PDM.....24  |
| 3-7  | ชุดหลอดอิเล็กทรอนิกส์.....25  |
| 3-8  | ชุดวงจรแยกกราวด์.....25   |
| 3-9  | หม้อแปลงความถี่สูง.....26   |
| 3-10 | วงจร Inverter ที่ใช้ในการ Simulation.....26                               |
| 3-11 | ผลการ Sim สัญญาณขาออกของ Inverter ที่ความถี่ IC 555 เท่ากับ 10 kHz.....27 |
| 3-12 | วงจรการทำงานของเครื่องผลิตโอโซน.....28                                    |
| 3-13 | วงจรโดยรวมของโครงการ.....29   |
| 4-1  | วงจร Simulation ของ pulse density modulation.....30                       |
| 4-2  | สัญญาณขาเข้า 5kHz และ 50kHz.....31  |
| 4-3  | การ Simulation pulse density.....31                                       |
| 4-4  | สัญญาณPulse Density Modulation จากการทดลอง.....32                         |
| 4-5  | สัญญาณPDM แบบ Bipolar จากการทดลอง.....32                                  |
| 4-6  | แสดงวงจรขับเกทของ Mosfet ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ในโครงการนี้.....33    |
| 4-7  | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto ไม่มีฟิลส์.....33                               |
| 4-8  | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 1 ลูกคลื่น.....34                         |
| 4-9  | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 2 ลูกคลื่น.....34                         |
| 4-10 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 3 ลูกคลื่น.....35                         |
| 4-11 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 4 ลูกคลื่น.....35                         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูป  | หน้า  |
|------|---|
| 4-12 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 5 ลูกคลื่น.....36                         |
| 4-13 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 6 ลูกคลื่น.....36                         |
| 4-14 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 7 ลูกคลื่น.....37                         |
| 4-15 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 8 ลูกคลื่น.....37                         |
| 4-16 | สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 9 ลูกคลื่น.....38                         |
| 4-17 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (1 ลูกคลื่น).....38               |
| 4-18 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (1 ลูกคลื่น).....39                |
| 4-19 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (1 ลูกคลื่น).....39 |
| 4-20 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (2 ลูกคลื่น).....40               |
| 4-21 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (2 ลูกคลื่น).....40                |
| 4-22 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (2 ลูกคลื่น).....41 |
| 4-23 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (3 ลูกคลื่น).....41               |
| 4-24 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (3 ลูกคลื่น).....42                |
| 4-25 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (3 ลูกคลื่น).....42 |
| 4-26 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (4 ลูกคลื่น).....43               |
| 4-27 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (4 ลูกคลื่น).....43                |
| 4-28 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (4 ลูกคลื่น).....44 |
| 4-29 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (5 ลูกคลื่น).....44               |
| 4-30 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (5 ลูกคลื่น).....45                |
| 4-31 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (5 ลูกคลื่น).....45 |
| 4-32 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (6 ลูกคลื่น).....46               |
| 4-33 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (6 ลูกคลื่น).....46                |
| 4-34 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (6 ลูกคลื่น).....47 |
| 4-35 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (7 ลูกคลื่น).....47               |
| 4-36 | รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (7 ลูกคลื่น).....48                |
| 4-37 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (7 ลูกคลื่น).....48 |
| 4-38 | รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (8 ลูกคลื่น).....49               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูป   | หน้า |
|---|------|
| 4-39 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (8 ลูกคลื่น).....                 | 49   |
| 4-40 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (8 ลูกคลื่น).....  | 50   |
| 4-41 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (9 ลูกคลื่น).....                | 50   |
| 4-42 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (9 ลูกคลื่น).....                 | 51   |
| 4-43 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (9 ลูกคลื่น).....  | 51   |
| 4-44 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (10 ลูกคลื่น).....               | 52   |
| 4-45 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (10 ลูกคลื่น).....                | 52   |
| 4-46 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (10 ลูกคลื่น)..... | 53   |
| 4-47 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับตรวจวัดปริมาณไอโซนด้วยวิธีไอโอโดเมตริก.....       | 55   |
| 4-48 สีของสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับไอโซน.....      | 56   |
| 4-49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตและปริมาณไอโซน.....                 | 57   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.1 แสดงปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุทต่างๆ..... | 56   |



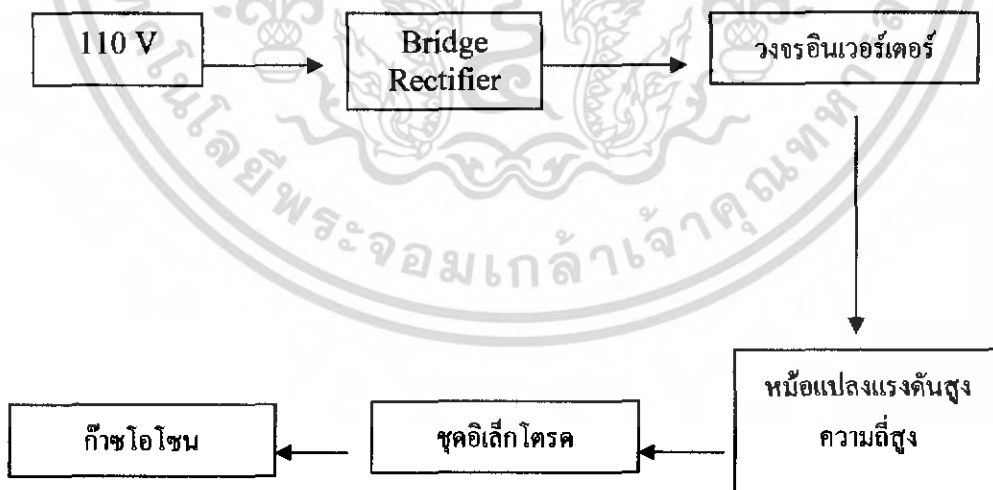
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ก๊าซโอโซนมีอยู่ในธรรมชาติที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์ โดยการแยกสลายก๊าซออกซิเจน โดยที่ก๊าซโอโซนจะให้พลังงานที่สูงกว่า มีความไวในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษเหมือนสารเคมีอย่างอื่น เมื่อสลายตัวก็จะให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งยังคงเป็นประโยชน์ต่อการหายใจ จึงมีการผลิตเครื่องให้กำเนิดโอโซนเพื่อประยุกต์ใช้กับวงการต่างๆทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ ธุรกิจอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การแพทย์ และอื่นๆ ทั้งนี้เพราะก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติที่เด่นชัดในการฆ่าเชื้อโรค กำจัดสารพิษ ดับกลิ่น ฟอกสีและการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ

ในโครงการนี้จะใช้แรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง เพื่อใช้ในการผลิตโอโซน ซึ่งในโครงการนี้จะใช้แรงดันไฟฟ้า 110V 50Hz ซึ่งจะใช้ได้กับไฟตามบ้านเรือนทั่วไป โดยเครื่องจะต้องแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 110V 50Hz เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 155V ด้วยวงจรเรกติไฟร์ (Rectifier) แล้วจึงเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งจะแปลงแรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะทำการสวิตช์เพื่อเพิ่มความถี่โดยใช้มอสเฟตกำลัง จากนั้นจะผ่านหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูง เพื่อทำการจ่ายให้กับชุดอิเล็กโตรด และทำให้เกิดการเร่งประจุไฟฟ้าที่เรียกว่าโคโรนา ดิสชาร์จ (Corona Discharge) ขึ้นภายในอิเล็กโตรด ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกตัวของออกซิเจน จาก  $O_2$  กลายเป็น  $O$  จากนั้นจะทำการผ่านออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปซึ่งก็คือ ( $O_2$ ) รวมกับ  $O$  ในอิเล็กโตรด จะทำให้เกิดก๊าซโอโซน ( $Ozone, O_3$ ) ออกมา



รูปที่ 1-1 block การทำงานเครื่องผลิต OZONE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ก๊าซโอโซนที่เกิดจากทำธรรมชาติ มีปริมาณน้อยเกินไปที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน เราจึงต้องทำเครื่องผลิตโอโซนขึ้นมาเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ในการนำไปใช้งาน และยังถ้าเราผลิตก๊าซโอโซนได้ในปริมาณมากก็เป็นผลดีต่อโลกของเรา และถ้านำไปเป็นธุรกิจในงานอุตสาหกรรม ก็ยังมีราคาแพง ฉะนั้นการผลิตก๊าซโอโซนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในทุกวันนี้ เพื่อสุขภาพของมนุษย์เอง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง
2. เพื่อศึกษาและเรียนรู้ หลักการทำงานส่วนประกอบของวงจรต่างๆภายใน  
โครงงาน
3. เพื่อให้นักศึกษานำวิชาการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้งาน
4. เพื่อนำหลักการของโครงงานไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดอากาศและน้ำเสีย
5. เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในครัวเรือนได้เพราะใช้แรงดันไฟฟ้า 110V 50Hz

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ขอบเขต : ใช้แรงดันไฟฟ้า 110V 50Hz แปลงเป็นแรงดันสูง ความถี่สูงเพื่อ  
ผลิตก๊าซโอโซน
2. ข้อกำหนด : ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน ใช้เวลา 1 ปี

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. นักศึกษาได้รับความรู้และทักษะในการทำงาน
2. นักศึกษาได้นำความรู้ทางทฤษฎีและความสามารถทางการปฏิบัติมารวมกัน  
เพื่อทำงาน และวิเคราะห์แก้ปัญหาในการปฏิบัติงาน
3. นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงลักษณะการทำงานของโครงงาน และวางแผน  
ปฏิบัติงาน งบประมาณ และการทำงานเป็นหมู่คณะ
4. นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงการติดต่อประสานงานหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ที่  
เกี่ยวข้องขณะทำโครงงานนี้
5. นำผลงานที่ทำการวิจัยมาใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

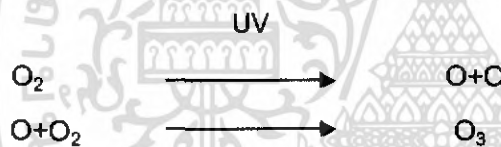
### 2.1 การกำเนิดโอโซน

การกำเนิดโอโซนจากการศึกษาพบว่า การกำเนิดโอโซนสามารถเกิดได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ

1. การกำเนิดโอโซนตามธรรมชาติ
2. การกำเนิดโอโซนจากการกระทำของมนุษย์

#### 2.1.1 การกำเนิดโอโซนตามธรรมชาติ

เกิดตามธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และเมื่ออะตอมของออกซิเจน 1 อะตอมพบกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวตั้งสมการ



โอโซนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจนและรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจน กลายเป็นโอโซนได้อีก โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดเช่นนี้ไปได้เรื่อยๆ โดยไม่มีที่สิ้นสุดแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ โอโซนยังสามารถเกิดได้เองในอากาศจากพายุฝนฟ้าคะนองหรือจากฟ้าแลบได้อีกด้วย กระบวนการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เรียกว่ากระบวนการโฟโตเคมีคอล(Photochemical process) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนและสลายตัวพร้อมกัน และในที่สุดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนก็จะอยู่ในภาวะสมดุลโดยที่อัตราการเกิดและสลายตัวเท่ากัน

โอโซนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศส่วนหนึ่งที่ปกคลุมผิวโลก ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ บริเวณที่อยู่แปรผันอยู่ระหว่างระดับน้ำทะเลขึ้นไปถึงระยะ 60 กิโลเมตร โอโซนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ซึ่งพบประมาณร้อยละ 89 - 90 ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ชั้นโทรโพสเฟียร์และเมโซสเฟียร์ ชั้นโอโซนจะทำหน้าที่กรองแสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์โดยสามารถดูดแสง UV-B ความยาวคลื่นระหว่าง 280 - 320 นาโนเมตร ไว้ได้ประมาณ ร้อยละ 70 - 90 รังสี UV-B นี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โอโซนยังมีบทบาทสำคัญในการกำหนดหรือควบคุมอุณหภูมิของโลกและบรรยากาศ โดยสามารถดูดรังสีอินฟราเรดซึ่งสะท้อนจากผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากชั้นสตราโตสเฟียร์ได้ ทำให้อุณหภูมิบรรยากาศโลกชั้นนี้สูงขึ้น มีผลต่อสภาพภูมิอากาศของโลก

โอโซนส่วนใหญ่อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยมีความเข้มข้นประมาณ 10 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นปริมาณน้อยมากแต่ก็มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ปัจจุบันพบว่ามีการปล่อยสารเคมีต่างๆขึ้นสู่บรรยากาศมากขึ้น ทำให้ก๊าซโอโซนน้อยลงจากการใช้เครื่องมือต่างๆวัดพบว่าโอโซนลดลงร้อยละ 2-3 ที่ระดับความสูง 30-40 กิโลเมตรและจากการใช้เครื่อง สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ตรวจวัดปริมาณโอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้ของเดือนตุลาคมในทุกปี ซึ่งเริ่มตั้งแต่ปี 1957 เป็นต้นไปก็ได้พบว่าปริมาณของโอโซนที่อยู่เหนือบริเวณขั้วโลกใต้ลดลงเกือบ 40 เปอร์เซ็นต์ และลดลงมากที่สุดในปี 1970 ผลการตรวจวัดระดับโอโซนในบรรยากาศได้รับการยืนยันในปี 1975 จากการใช้ดาวเทียมสำรวจ ได้แสดงให้เห็นว่าเกิดความเสียหายขึ้นต่อชั้นโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ และได้พบความเสียหายได้ขยายตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตรประมาณ 45 องศาได้ ซึ่งองค์การนาซ่าของสหรัฐอเมริกาได้ทำการตรวจสอบสภาพบรรยากาศของโลกได้รายงานว่า เกิดมีลักษณะความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศไม่สม่ำเสมอจึงได้หาสาเหตุและพบว่าโอโซนที่อยู่รอบโลกในชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะบริเวณขั้วโลกใต้ และขั้วโลกเหนือได้ลดลงเป็นหย่อม ๆ และเกิดมากขึ้นเป็นลำดับบางหย่อมคิดเป็นพื้นที่ได้ประมาณ 9 ล้านตารางกิโลเมตร ( เกษม, 2533 ) การที่โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ถูกทำลายไปเนื่องจากสารเคมีที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศและสารที่สำคัญคือ CFCs ซึ่งจะมีผลทำให้ UV ส่องมาถึงโลกมากขึ้นมีผลเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

สารเคมี 2 ชนิดที่อยู่ในรูปของก๊าซ ในชั้นบรรยากาศที่ทำลายโอโซนได้คือ คลอรีนออกไซด์ (Chlorine Oxides; ClOx) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides ; NO<sub>2</sub>) (ดูเรื่องสาร CFC ประกอบ)

ไนโตรเจนออกไซด์มาจากไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxides ; N<sub>2</sub>O) ซึ่งมีจุดกำเนิดตามธรรมชาติที่ผิวโลก เช่น กระบวนการ denitrification ของจุลินทรีย์และในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ เกิดจากฟ้าแลบฟ้าร้อง พวกเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียง (SST) ที่ปล่อยไนตริกออกไซด์จากไอเสียและยังมีสารพวกฮาโลเจน (Halogen) โดยเฉพาะพวกก๊าซโบรมีน (Br) ที่สามารถทำลายโอโซนได้ในทางทฤษฎี

ขบวนการสำคัญที่สุดที่ทำลายโอโซนคือขบวนการที่มีอะตอมของคลอรีน ไนตริกออกไซด์ ไฮโดรเจนออกไซด์ โบรมีน และ ไฮโดรเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ผลของปฏิกิริยาที่ทำกับโอโซนหรือออกซิเจนนั้น จะทำให้อะตอมของสารพวกนั้นออกมาและเริ่มต้นใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 การกำเนิดโอโซนจากการกระทำของมนุษย์

เกิดจากการกระทำของมนุษย์ โอโซนถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การกำจัดน้ำเสียและใช้ฆ่าเชื้อโรค การเตรียมก๊าซโอโซนที่สะดวกที่สุดคือการใช้ไฟฟ้า (silent electrical discharge) กระทำกับอากาศหรือกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งก๊าซออกซิเจนบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นโอโซน ถ้าใช้อากาศ เรียกก๊าซผสมนี้ว่า โอโซนแอร์ (ozonised air) ถ้าใช้ก๊าซออกซิเจน ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะปนอยู่กับก๊าซออกซิเจนที่เหลือ เรียกว่า ozonised oxygen เครื่องมือที่ใช้เตรียมก๊าซโอโซนด้วยวิธีนี้เรียกว่า โอโซนไนเซอร์ (ozonizer)

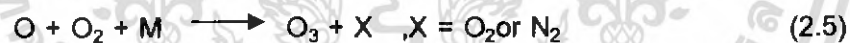
### การกำเนิดโอโซนจากความเครียดสนามไฟฟ้า

โอโซน ( $O_3$ ) เกิดขึ้นได้จากการแตกตัวของออกซิเจน ( $O_2$ ) และรวมตัวกันเป็นโอโซนดังสมการ

1. Oxygen-free radicals are generate by ionic process:



2 . Ozone is generated by free radical reactive:



การทำให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวได้มีผลมาจากความเครียดสนามไฟฟ้า สูงจนอิเล็กโตรดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ดังนั้น แรงดันไฟฟ้ามีความสำคัญในการกำเนิดโอโซน ที่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโตรด และความดัน

$$V = K_1 pg$$

เมื่อ  $V$  : แรงดันที่จำเป็น

$P$  : ความดันที่ช่องว่างอากาศ

$g$  : ระยะแกป

ในทำนองเดียวกัน ความสามารถในการกำเนิดโอโซนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ค่าคงที่ และแรงดันกำลังสอง และผลกกับกับความหนาของไดอิเล็กตริก

$$Yield = \frac{k_2 (feV)^2}{d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $f$ : ความถี่  
 $V$ : แรงดัน  
 $e$ : ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก  
 $d$ : ความหนาของไดอิเล็กตริก

จากสมการนี้เราพบว่า จะมีปัญหาในการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน คือเราต้องพยายามทำให้ไดอิเล็กตริกบางที่สุดเท่าที่จะบางได้และต้องทนแรงดันได้สูงด้วย ขณะเดียวกัน เพื่อให้ได้โอโซนมาก ๆ เราก็ต้องเพิ่มแรงดันให้สูง ๆ ด้วย ในอีกทางหนึ่งขณะที่แรงดันสูง ๆ ถูกนำมาใช้ สารไดอิเล็กตริกก็จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมในการเพิ่มปริมาณโอโซนที่ต้องการโดยการเพิ่มความถี่ของกระแสที่ใช้ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มคุณภาพของไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น และการระบายความร้อนออกจากเซลล์ที่กำเนิดโอโซนก็สามารถทำได้ดีขึ้นด้วย มีผลทำให้อัตราการผลิตโอโซนมีค่ามากขึ้น

ข้อควรระวังในการผลิต

วัสดุที่ใช้ในระบบการสร้างโอโซนนั้นจะต้องระมัดระวังอย่างมาก เนื่องจากโอโซนมีความสามารถในการปฏิกิริยา (Oxidation) วัสดุจำพวกยางหรือพลาสติกบางชนิด นีโอพรีน EPDM และอลูมิเนียม ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ สิ่งที่เหมาะสมนำมาใช้คือ สแตนเลส แก้ว ไฮพาลอน เทปลอน และคอนกรีต

### 2.1.3 คุณสมบัติของโอโซน

อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิที่ป้อนเข้าเซลล์สร้างโอโซน จะทำให้อัตราการเกิดโอโซนลดลง ขณะที่การสลายตัวของโอโซนเพิ่มขึ้น นั่นคือว่าการระบายความร้อนให้เซลล์โอโซนเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดโอโซน

คุณสมบัติของโอโซน

- เป็นก๊าซที่เกิดจากออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) หรือรังสีอุตราไวโอเลต
- เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุน
- พบได้ทั้งชั้นบรรยากาศตราโตสเฟียร์
- มีค่าศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation Potential) สูงถึง 2.07 โวลต์ แต่คลอรีนมีค่าศักย์ออกซิเดชันเพียง 1.36 โวลต์
- การละลายน้ำของโอโซนเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- สามารถคงตัวได้นานที่ค่า pH ต่ำ
- สามารถฆ่าไวรัส แบคทีเรียได้
- สามารถออกซิไดซ์กับสารอื่นได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีน้ำหนักโมเลกุล 48.00
  - ความสามารถในการละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ 25 องศาเซลเซียส คือ 6 มิลลิกรัม/ลิตร
  - จุดเดือด 122 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 192 องศาเซลเซียส
- สารทำลายโอโซน

สารทำลายโอโซน หรือ โอโซนดีฟลิตติ้งซัพสแตนซ์ (Ozone Depleting Substance, ODS)

เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม กว่า 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าเป็นต้นเหตุของการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศทำให้ชั้นโอโซนบางลง การบางลงทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายส่องถึงโลกมากขึ้นและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อเนื้อ ต้อลม พิษแคะแกระน วัสดุต่างๆ เปราะและหักพังเร็วขึ้น

สารทำลายโอโซน ได้แก่สารพวก ฮาโลคาร์บอน (Halocarbon) คือสารที่มีส่วนประกอบของธาตุ คลอรีน (Cl) ฟลูออรีน (F) โบรมีน (Br) คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ซึ่งเป็นคำรวมที่เรียกละลายโอโซนส่วนมาก เช่น

คลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือซีเอฟซี (Chlorofluorocarbon, CFCs) คือ สารที่มีส่วนประกอบของธาตุ คลอรีน ฟลูออรีนและคาร์บอน ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องทำความเย็นในตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ โฟม กระจกอสเปรย์ สารดับเพลิง สารชะล้าง

ฮาลอน (Halon) ประกอบด้วย คาร์บอน,โบรมีน, ฟลูออรีน และ คลอรีน มักใช้เป็นสารดับเพลิง

คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) ประกอบด้วย คาร์บอน และคลอรีน มักใช้เป็นตัวทำละลายในห้องปฏิบัติการ การผลิตยาเม็ด และใช้ทดสอบการดูดซึมของถ่านกัมมันตรังสี

เมทิลคลอโรฟอร์ม (Methyl Chloroform or 1,1,1-Trichloroethane) ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และ คลอรีน มักใช้ใน อุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า ผ้าเย็บ และใช้ทำความสะอาดมอเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

ปัจจุบันประเทศต่างๆได้ตัดสินใจหยุดผลิตและบริโภค ยกเว้นเพื่อการใช้กรณีจำเป็น และในอุตสาหกรรมได้พยายามพัฒนาสารทดแทนที่เป็นมิตรกับโอโซน (Ozone-Friendly) ตามพิธีสารมอนทรีออลซึ่งเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศ ว่าด้วยการลดและเลิกใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน

#### 2.1.4 การประยุกต์ใช้โอโซน

การใช้โอโซนฆ่าเชื้อโรค เป็นเป้าหมายหลักในการประยุกต์ใช้โอโซนที่เป็นที่ยอมรับและได้รับความนิยมมากขึ้นทุกที เพราะก๊าซโอโซนไม่เลือกฆ่าเชื้อโรคประเภทใด ไม่มีปัญหาการดื้อยา และยังสามารถสลายสารพิษ(Toxins) ที่สร้างจากตัวเชื้อโรคได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการนำก๊าซโอโซนไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆอีก ได้แก่ – การบำบัดอากาศ

- การดับกลิ่น
- การเกษตรกรรม
- กระบวนการผลิตและถนอมอาหาร
- การผลิตน้ำบริสุทธิ์
- บำบัดสระว่ายน้ำและบ่อน้ำแร่
- การเลี้ยงสัตว์น้ำและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- ปศุสัตว์และสวนสัตว์
- การฟอกสีกระดาษ
- การฟอกย้อมสิ่งทอ
- ระบบน้ำหล่อเย็น
- การผลิตทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ

#### ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับโอโซน

หลายคนเข้าใจว่าโอโซนเป็นอากาศที่บริสุทธิ์จึงนำมาประยุกต์ใช้ทำเครื่องผลิตโอโซนในสำนักงานแต่หารู้ไม่ว่าจะก่อให้เกิดผลเสียเนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยาต่อไป เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวสำหรับปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น photochemical smog การเกิดฝนกรดและยังทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย

ความเข้าใจที่ผิดที่ว่าโอโซนเป็นก๊าซที่ดีหายใจเข้าไปมากๆแล้วจะรู้สึกสดชื่นจึงนำมาทำเป็น เครื่องผลิตโอโซนเพื่อเป็นเครื่องฟอกอากาศ แต่โดยทั่วไปในการใช้งาน มักจะไม่ใส่อากาศภายในห้องให้หมดก่อน หรือไม่กี่เครื่องทำงานในขณะที่มีคนอยู่ในห้องซึ่งในทางที่ถูกต้องคนไม่ควรอยู่ในห้องขณะที่เครื่องกำลังทำงานอยู่ โอโซนที่ผลิตขึ้นจึงทำปฏิกิริยากับก๊าซในอากาศเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เป็นพิษมากกว่า เช่น photochemical smog เกิดก๊าซพิษ เช่นฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งจะกัดกร่อนและระคายเคืองต่อระบบหายใจ เนื่องจากโอโซนมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากและมีความสามารถทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ได้ดีกว่าคลอรีนหลายเท่าจึงนำมาใช้ทำฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่มและอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ

แต่โดยทั่วไปเครื่องผลิตโอโซนในสำนักงาน มักจะผลิตโอโซนได้ในความเข้มข้นที่ไม่สูงมากพอที่จะฆ่าเชื้อโรคได้ เพียงแต่กำจัดกลิ่นและควันมากกว่า แต่ถ้าความเข้มข้นที่สูงมากพอก็จะสามารถฆ่าเชื้อโรคเชื้อราตายได้ แต่นั่นก็หมายถึง มันก็สามารถทำอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตได้เช่น อาจเสียชีวิตได้ถ้ามีการสูดดมเข้าไปในปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 ผลเสียของโอโซน

โอโซนในระดับความเข้มข้น 0.25 ppm ขึ้นไปก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อ ตา จมูก และจะทำลายเนื้อเยื่อปอด เกิดความระคายเคืองเมื่อหายใจเข้าไป ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้ตายได้ ดังนั้นการนำมาใช้ควรระมัดระวัง เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

### 2.2 อินเวอร์เตอร์

โอโซนในระดับความเข้มข้น 0.25 ppm ขึ้นไปก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อ ตา จมูก และจะทำลายเนื้อเยื่อปอด เกิดความระคายเคืองเมื่อหายใจเข้าไป ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้ตายได้ ดังนั้นการนำมาใช้ควรระมัดระวัง เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

อินเวอร์เตอร์จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน(Voltage Source Inverter) กับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส(Current Source Inverter) โดยอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน มักจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าที่ไม่สูงมากนัก อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันอาจจะแบ่งเป็นสามประเภท ที่นิยมนำไปใช้งานคือ อินเวอร์เตอร์แบบพีดีเอ็ม( Pulse width-Modulation inverter : PWM inverter) ส่วนอีกประเภทที่นิยมคืออินเวอร์เตอร์แบบลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ ขนาดของฮาร์มอนิกอันดับต่ำๆจะมีค่าสูง และอีกประเภทที่นิยมคืออินเวอร์เตอร์แบบพีดีเอ็ม(Pulse Density-Modulation inverter : PDM inverter) โดยในโครงการนี้จะเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์แบบPDM

#### 2.2.1 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สามารถแบ่งออกได้หลายแบบ เช่น แบบฮาล์ฟบริดจ์ ( half-bridge ) แบบฟูลบริดจ์ ( full-bridge ) ในแบบฮาล์ฟบริดจ์จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากันคือ  $V_d / 2$  จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัลลบ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ 1เฟสจะประกอบไปด้วยสองกึ่ง คือ กึ่ง A และกึ่ง B โดยแต่ละกึ่งจะประกอบด้วยสวิตช์ 2 ตัว โดยจะสลับกันทำงานเป็นคู่ ๆ โดยสวิตช์ตัวที่ 1 ของกึ่ง A จะทำงานพร้อมกับสวิตช์ตัวที่ 2 ของกึ่ง B และสวิตช์ตัวที่ 2 ของกึ่ง A จะทำงานพร้อมกับสวิตช์ตัวแรกของกึ่ง B โดยสวิตช์ทั้ง 2 ตัวในกึ่งเดียวกันนั้นจะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน

ข้อดีของวงจรฟูลบริดจ์ คือ แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมสวิตช์สูงสุดจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของวงจรพุช-พูลหรือวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันตกคร่อมสวิตช์สูงสุดเป็นสองเท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และด้วยข้อดีดังกล่าวทำให้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถใช้งานได้กับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงๆได้ และสำหรับแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะสังเกตว่าวงจรต้องมีตัวเก็บประจุที่มีความจุสูงๆและมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเท่ากันสองตัวต่ออยู่ด้านหน้าสวิตช์จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาเป็นครึ่งหนึ่งของแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยจะทำให้แบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์สองเท่าจึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้น วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะนิยมใช้กับงานที่มีความต้องการพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆ ตั้งแต่ 500 – 1500 W

เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ คือการทำงานของสวิตช์ในกึ่งเดียวกันจะต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกและบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของสวิตช์ในกึ่งเดียวกันจะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่าค่าเดดไทม์ ( deadtime ) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์ จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส

การทำงานพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์จะแบ่งออกเป็น 4 โหมดคือ

โหมดที่ 1 โหมดอินเวอร์เตอร์

$V_o$  เป็นบวก  $I_o$  เป็นบวก  $P_o$  เป็นบวก คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสตรงไปด้านไฟฟ้ากระแสสลับโหมดที่ 2 โหมดเรียงกระแสโหมดที่ 2 โหมดเรียงกระแส

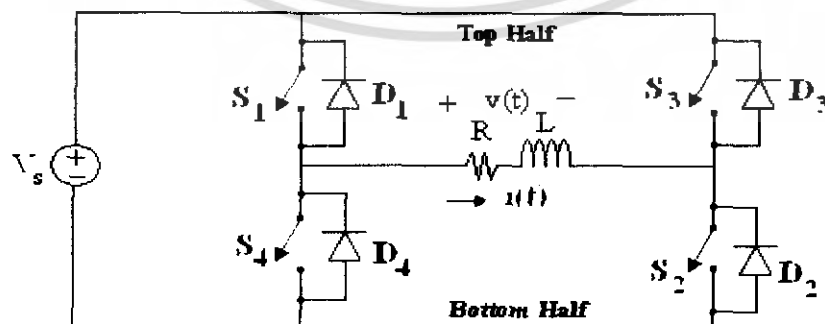
$V_o$  เป็นลบ  $I_o$  เป็นบวก  $P_o$  เป็นลบ คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับไปด้านไฟฟ้ากระแสตรง

โหมดที่ 3 โหมดอินเวอร์เตอร์

$V_o$  เป็นลบ  $I_o$  เป็นลบ  $P_o$  เป็นบวก คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสตรงไปด้านไฟฟ้ากระแสสลับ

โหมดที่ 4 โหมดเรียงกระแส

$V_o$  เป็นบวก  $I_o$  เป็นลบ  $P_o$  เป็นลบ คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับไปด้านไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2-1 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูโษงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 การปรับจำนวนพัลส์ PDM

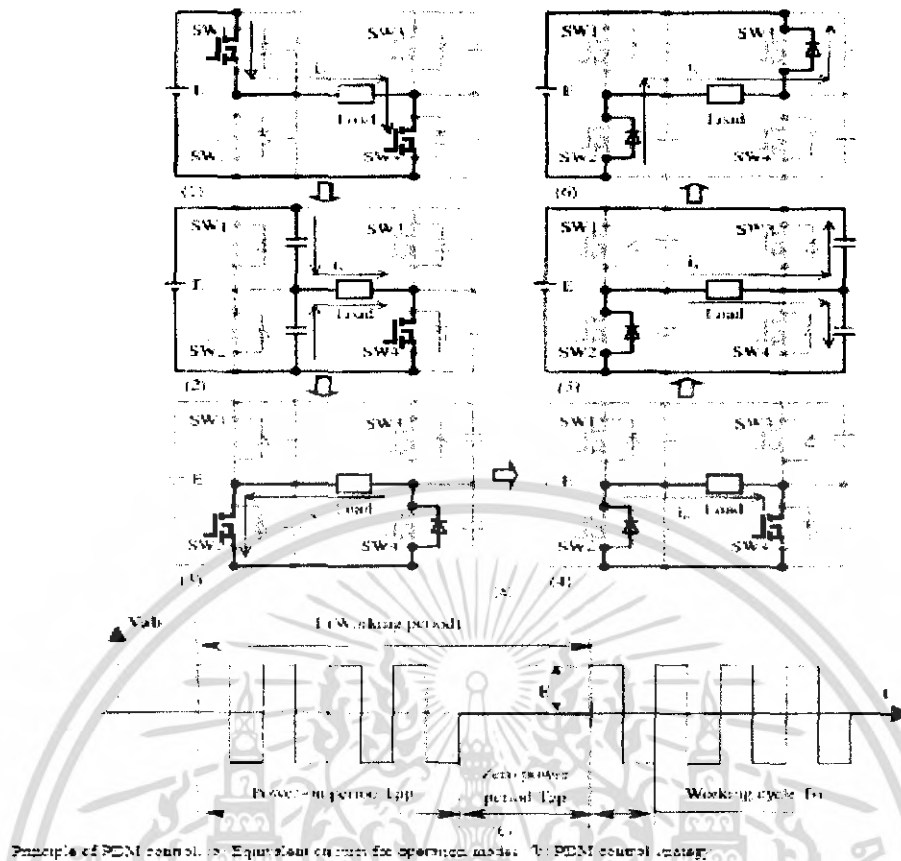
ในการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้าในวงจรเรโซแนนซ์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการปรับความถี่ (Frequency Control) และการควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM (Pulse Density Modulation) ซึ่งยังสามารถแบ่งแยกออกได้อีกเป็น 2 หลักการ กล่าวคือ หลักการควบคุมโดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการกระจาย และหลักการควบคุมโดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมตัวเป็นกลุ่มการควบคุมกำลังไฟฟ้าทั้งแบบการปรับจำนวนพัลส์ PDM และแบบการปรับความถี่ (Frequency Control) นี้จะมีวิธีการควบคุมที่แตกต่างกัน โดยสิ้นเชิงรวมทั้งมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะได้กล่าวถึงหลักการควบคุมโดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมตัวเป็นซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะได้อธิบายในอันดับต่อไป ดังนี้

หลักการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่ม

จากหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ความถี่สูง สำหรับกรณีการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการปรับลดจำนวนพัลส์ PDM (Pulse Density Modulation) ในรูปแบบการกระจาย นั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการปรับลดจำนวนพัลส์ PDM ในอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งในรูปแบบที่คลื่นพัลส์มีลักษณะการรวมตัวกันเป็นกลุ่มทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของทั้ง 2 กรณีนี้ เช่น ลักษณะคลื่นและค่าของแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในวงจร ลักษณะโหมดการทำงานของวงจรในช่วง 1 คาบเวลา และลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตตลอดจนการหาสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ PDM พัลส์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้จากการซิมูเลชันเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของวงจรเรโซแนนซ์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่ม

หลักการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการปรับจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่ม

ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าในวงจรพัลส์ PDM แบบการรวมตัวเป็นกลุ่มนี้ วิธีการปรับลดจำนวนพัลส์ PDM แบบการกระจายโดยแต่ละรูปแบบจะประกอบด้วยรูปคลื่นพัลส์ 10 ไซเคิลต่อคาบเวลาที่มีช่วงการ ON-Off พัลส์ในจำนวนที่ต่างกัน สำหรับในกรณีรูปแบบ PDM แบบรวมตัวเป็นกลุ่มนี้จะเป็นการจัดรูปคลื่นพัลส์ให้มีการรวมตัวเป็นกลุ่มอยู่ในแถบบริเวณเดียวกันโดยไม่ให้มีการกระจายออกภายนอกในช่วงบริเวณ 1 คาบเวลา ที่ใช้ในการพิจารณา ดังนั้นในอันดับถัดจากนี้ไปจะได้นำเสนอข้อมูลต่าง ๆ สำหรับกรณีการปรับพัลส์ PDM ในรูปแบบที่มีการรวมตัวเป็นกลุ่ม ในลักษณะทำนองเดียวกับกรณีวิธีการปรับพัลส์ PDM แบบกระจายออก



รูปที่ 2-2 PDM แบบกลุ่ม

### 2.3 หม้อแปลงความถี่สูง

#### ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่อินพุตคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 V ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.3.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะส่งผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3000 ถึง 4000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจึงนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด

### 2.3.2 บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟบอบบี้ จะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และปกป้องปัญหาการลัดวงจรระหว่าง ขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบี้จะมีขนาดตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบี้ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับ แผ่นPCB

### 2.3.3 ลวดทองแดงอาบน้ำยา ( Enameled Copper Wire)

การพันขดลวดทั้งไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตชิงที่กำลังไม่สูงนัก ปกติจะใช้ ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบี้เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ซึ่งขนาดของขด ลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่น

### 2.3.4 เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิงและมีหน้าที่สำคัญ ในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจ เป็นพวกลายไมลาร์(Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จุดขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลง สวิตชิงเป็นหลัก

### 2.3.5 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

#### 1. ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น EI,EE,ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจัดทำแกน เฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบี้ การ ประกบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบี้จะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิงที่ไม่ต้องการกำลังสูง(ไม่เกิน 125 วัตต์) และใน งานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำเนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการ แพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดออกมาภายนอก ได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูง จะเป็นแกนแบบ EI,EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบอบบี้ได้สะดวกแกน ในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่า แกนแบบ POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก เช่น แกนแบบ RM,PQ และ LP แต่ มักไม่ค่อยพบเห็นในท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยมจึงไม่ขอกล่าวถึง

#### 2. ลักษณะสมบัติของสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการก็ตาม ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์ จะต้องมียาวละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลสำคัญที่ควรจะทำควมใจและศึกษาไว้ก็คือเส้นโค้งฮีสเตอร์ซิส(Hysterisis curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

$A_e$  = ขนาดของพื้นที่ตัดแกนเฟอร์ไรต์

$A_w$  = ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดของบอบบิ้น

$V_e$  = ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์

$A_g$  = ระยะทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์

### 3. เส้นโค้งฮีสเตอร์ซิส(Hysterisis Curve)

เส้นโค้งฮีสเตอร์ซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกน ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตามจากจุดดังกล่าว เราจะเรียกว่า แกนเริ่มมีการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก(Saturation)

โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟเส้นโค้งฮีสเตอร์ซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นโค้งฮีสเตอร์ซิสจะมีลักษณะกลับทิศกันเท่านั้น

การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตชิงจะต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นโดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงสวิตชิง จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อความปลอดภัย

### 4. การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารี จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\text{สูตร } \Delta B = \frac{V \cdot 10^8}{N_p A_c}$$

เมื่อ  $\Delta B$  คือค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเป็นเกาส์

$V$  คือค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี

$N_p$  คือค่าจำนวนรอบของขดไพรมารี

$A_c$  คือขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเป็นตารางเซนติเมตร

$t$  คือช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นเป็นวินาที

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีมีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดไพรมารีลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นได้และสามารถทนกระแสได้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม หากความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวจะทำให้แรงดันตกคร่อมขดไฟรมารี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่กำลังนำกระแสสูงๆแทนทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วยดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง2ประการคือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดอิ่มตัวขณะทำงาน

2. มีค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

หมายเหตุการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ให้กำหนดเป็น2เท่าของค่าที่อ่านได้จากกราฟ และค่า ไม่ควรกำหนดเกินเส้นประในกราฟซึ่งแสดงขีดจำกัดของสำหรับคอนเวอร์เตอร์

การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงสวิสซิ่ง จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆพิจารณาจากขนาดหน้าตัดของแกนและขนาดช่องสำหรับพันขดของบอบมัน

ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์(Air Gap)

การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก (Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้ป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลงสวิสซิ่งมีค่ามากขึ้นได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวน EMI ออกมา และรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

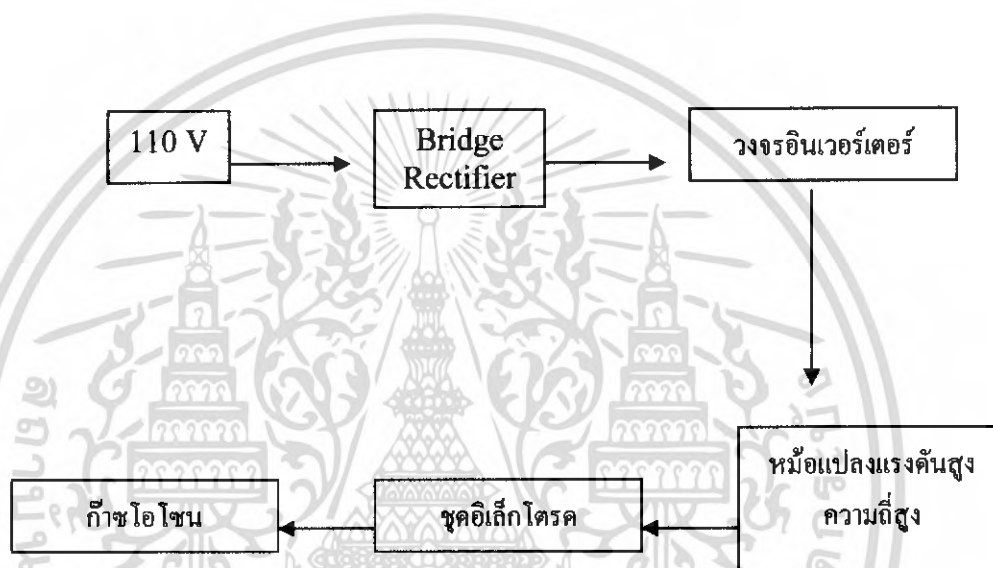
สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE,EI ,ETD หรือ แบบ POT สามารถกำหนดลักษณะของช่องอากาศคั่นในแกนได้ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 3.6(ก) และ(ข) คือ การกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียวและการคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ

การคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบสามารถทำได้ง่ายกว่าการคั่นช่องอากาศที่แกนกลาง ซึ่งทำได้โดยการใช้แผ่นฉนวนที่มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการนำมาคั่นระหว่างแกนนอนของคู่ประกบ ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์หรือขั้วแกนกลางออกเองเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการมีข้อสังเกตคือ การคั่นช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ ความหนาของแผ่นฉนวนคั่นที่ใช้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการเท่านั้น เนื่องจากช่องอากาศคั่นที่ได้จึงเป็นผลรวมของระยะช่อง

### บทที่ 3

#### การเลือกและการออกแบบ

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูงนั้น ได้แยกส่วนของการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดก๊าซไอโซนกับส่วนของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนซึ่งในส่วนของตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้ คือ ส่วนของแหล่งจ่ายกระแสสลับ 110 V วงจรอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงและส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3



รูปที่ 3-1 block การทำงานของเครื่องผลิตไอโซน

#### 3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน

จากรูปข้างต้น แสดงเส้นโค้งระดับพลังงานของออกซิเจนแสดงให้เห็นว่าในการผลิตไอโซนจำเป็นต้องใช้พลังงาน 493.2 kJ/mol 682.8 kJ/mol ขึ้นไปจึงจะทำให้เริ่มเกิดก๊าซไอโซน เพื่อที่จะแปลงหน่วยโมลเป็นปริมาตรต้องอ้างอิงถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมี โดยจะเขียนความสัมพันธ์ของก๊าซในอุดมคติ (Ideal Gas) ได้เป็น

กฎของก๊าซ (Gas Law)

$$PV = nRT \quad (3.1)$$

และก๊าซจริง (Real Gas) พบว่าโมเลกุลของก๊าซมีขนาดและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเป็นแรง Vander Walls ซึ่งขนาดโมเลกุลและแรงกระทำนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของก๊าซแต่ละชนิดและสามารถเขียนสมการโดยประมาณของก๊าซจริง คือ สมการแวนเดอร์วาลส์ (Vander Walls)

$$(P + a)(V - b) = RT \quad (3.2)$$

$\bar{V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.1 และ 3.2

V คือ ปริมาณก๊าซ  $m^3$

P คือ ความดันบรรยากาศ  $P = 101.5 \times 10^3$  pascal (mm.Hg)

R คือ เลขอาโวกาโดร์ =  $8,314.3 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3 /(\text{kmol}\cdot\text{K})$

T คือ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{K}$ )

N คือ จำนวนโมล

ส่วนค่า a และ b ในสมการที่ 3.2 คือค่าคงที่ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.1 ที่สภาวะวิกฤติเมื่อค่าอุณหภูมิวิกฤติ ( $T_c$ ) =  $154.6^{\circ}\text{K}$  และค่าความดันวิกฤติ ( $P_c$ ) =  $5,043 \text{ kPa}$

$$\text{จะได้ } a = \frac{27 \cdot R^2 \cdot T_c}{64 P_c} = \frac{27((8314.3)^2 (154.6)^2)}{64 \times 5.043 \times 10^6} = 138,218$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} = \frac{(8314.3)(154.6)}{8 \times 5.043 \times 10^6} = 0.0318$$

แทนค่า a และ b ลงในสมการ 3.2

$$\frac{(101.5 \times 10^3 + 138218)(V - 0.0318)}{V^2} = 2,494,290 \quad (3.3)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับสมการที่ 3.1 โดยที่  $n = 1 \text{ V} = \frac{8,314.3 \times 300}{101.5 \times 10^3} = 24.57 \text{ m}^3/\text{kmol}$

ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) เพิ่มแปลงหน่วย mol เป็นปริมาตร

ทดลองแทนค่า  $V = 24.57$  ใน (2.6) ;

$$2,494,290 < (101,728.96)(24.5382) = 2,496,246$$

ทดลองแทนค่า  $V = 24.50$  ใน (2.6) ;

$$2,494,290 > (101,730)(24.4682) = 2,489,149$$

ทดลองแทนค่า  $V = 24.60$  ใน (2.6) ;

$$2,494,290 < (101,728)(24.5682) = 2,499,273$$

ทดลองแทนค่า  $V = 24.55$  ใน (2.6) ;

$$2,494,290 \cong (101,729)(24.5182) = 2,494,212$$

ที่  $P = 101.5 \text{ kPa}$  ,  $T = 300^{\circ}\text{K}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|         |                             |   |                                  |
|---------|-----------------------------|---|----------------------------------|
| จะได้   | $V$                         | = | $24.55 \text{ m}^3/\text{kmol}$  |
| นั่นคือ | $1 \text{ mol}$             | = | $0.02455 \text{ m}^3$ โดยประมาณ  |
| ดังนั้น | $493.2 \text{ kJ/mol}$      | = | $20089.61 \text{ kJ/ m}^3$       |
| และ     | $682.8 \text{ kJ/mol}$      | = | $27812.63 \text{ kJ/ m}^3$       |
| จาก     | $3.6 \times 10^6 \text{ J}$ | = | $1 \text{ Wh}$                   |
|         | $1 \text{ J}$               | = | $2.78 \times 10^{-4} \text{ Wh}$ |

ดังนั้นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้คือ  $5.58 \text{ kWh/ m}^3$  ถึง  $7.73 \text{ kWh/ m}^3$  ขึ้นไปแต่ในอากาศนั้นมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยประมาณ ดังนั้นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการสลายพันธะออกซิเจนคือ  $1.172 \text{ kWh/ m}^3$  ถึง  $1.62 \text{ kWh/ m}^3$  ขึ้นไปจึงเพียงพอต่อการเกิดโอโซนในแก๊ป

ในการออกแบบส่วนสร้างก๊าซโอโซนจะใช้หลักการของสนามไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการสร้างหัวอิเล็กโตรดโดยจะออกแบบให้หัวอิเล็กโตรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันรวมมีจำนวน 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงภายในช่องอากาศโดยฉนวนบางที่ด้านจะต้องมีค่าคงทนสนามไฟฟ้าสูงมากกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าตกคร่อมอากาศมากขึ้นและผลของแผ่นฉนวนบางกันในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอทำให้อากาศทนแรงดันเบกดาวโนสูงขึ้นโดยฉนวนบางที่ใช้เป็นแก้วซึ่งแก้วเป็นสารอนินทรีย์เทอร์โมพลาสติกที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำทนความร้อนได้สูงประกอบออกไซด์  $\text{SiO}_2$  ที่ซับซ้อนค่าคงที่ฉนวนสัมพันธ์ อยู่ในช่วง 3.5-9 มีค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.005-0.01 จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ

ดังนั้นส่วนผลิตก๊าซโอโซนจึงจะออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกันรวมแบบฉนวน 2 ชั้น ซึ่งลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตโอโซนแสดง จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนอากาศ

ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแก้ว ( $\epsilon_r = 8$ )

$$r_1 = 1.90 \text{ cm} \quad r_2 = 2.10 \text{ cm} \quad r_3 = 2.40 \text{ cm}$$

ยาว 22 cm

$$\text{ปริมาตรอากาศภายในแก๊ปคือ } \pi (r_2^2 - r_1^2) \times L = \pi (0.021^2 - 0.019^2) \times 0.22$$

$$= 5.5292 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

### 3.2 คำนวณแรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดโอโซน

$$\text{ที่พลังงาน } 1.172 \times 10^3 \times 5.5292 \times 10^{-5} = 0.0648 \text{ wh}$$

$$\text{และ } 1.620 \times 10^3 \times 5.5292 \times 10^{-5} = 0.08957 \text{ wh โดยประมาณ}$$

$$\text{จาก } E = \sqrt{\frac{2W}{\epsilon V}} ; \quad \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{\min} = \sqrt{\frac{2 \times 0.0648}{8.854 \times 10^{-12} \times 52.8}} = 16.65 \text{ kV/cm}$$

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{2 \times 0.08957}{8.854 \times 10^{-12} \times 52.8}} = 19.60 \text{ kV/cm}$$

จากสมการ 3.4 จะได้แรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดโอโซน

$$V = \frac{E \times r_2 (\epsilon_1 \ln(r_3/r_2) + \epsilon_2 \ln(r_2/r_1))}{\epsilon_1}$$

ถ้า  $E_{\min} = 16.65 \text{ kV/cm}$

$$V = \frac{(16.65 \times 10^3) (2.1) (8 \ln \frac{2.40}{2.10} + \ln \frac{2.10}{1.90})}{8}$$

$$= 5.11 \text{ kV}$$

ถ้า  $E_{\max} = 19.60 \text{ kV/cm}$

$$V = \frac{(19.60 \times 10^3) (2.1) (8 \ln \frac{2.40}{2.10} + \ln \frac{2.10}{1.90})}{8}$$

$$= 5.87 \text{ kV}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดโอโซนจากหัวอิเล็กโตรดนี้เท่ากับ 5.69 - 6.70 kV ขึ้นไป ในการออกแบบวงจรที่ใช้สร้างแรงดันเพื่อผลิตโอโซนจึงออกแบบให้วงจรสามารถสร้างแรงดันได้ตั้งแต่ 0-6.00 kV<sub>p</sub> โดยประมาณและสามารถปรับความถี่ของแรงดันไฟสลับตั้งแต่ 20-100 kHz เพื่อศึกษาปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น

### 3.3 การออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์

ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น มีหลักการในการออกแบบคือ ปริมาณโอโซนจะเกิดได้ดีในความเครียดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมาก ดังนั้น การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์จึงเลือกใช้แบบฉนวน 2 ชั้น เพราะว่าการใช้ฉนวนที่มีค่า  $\epsilon$  ต่างกัน เหมาะที่จะใช้กับงานที่สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในแต่ละชั้นที่มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

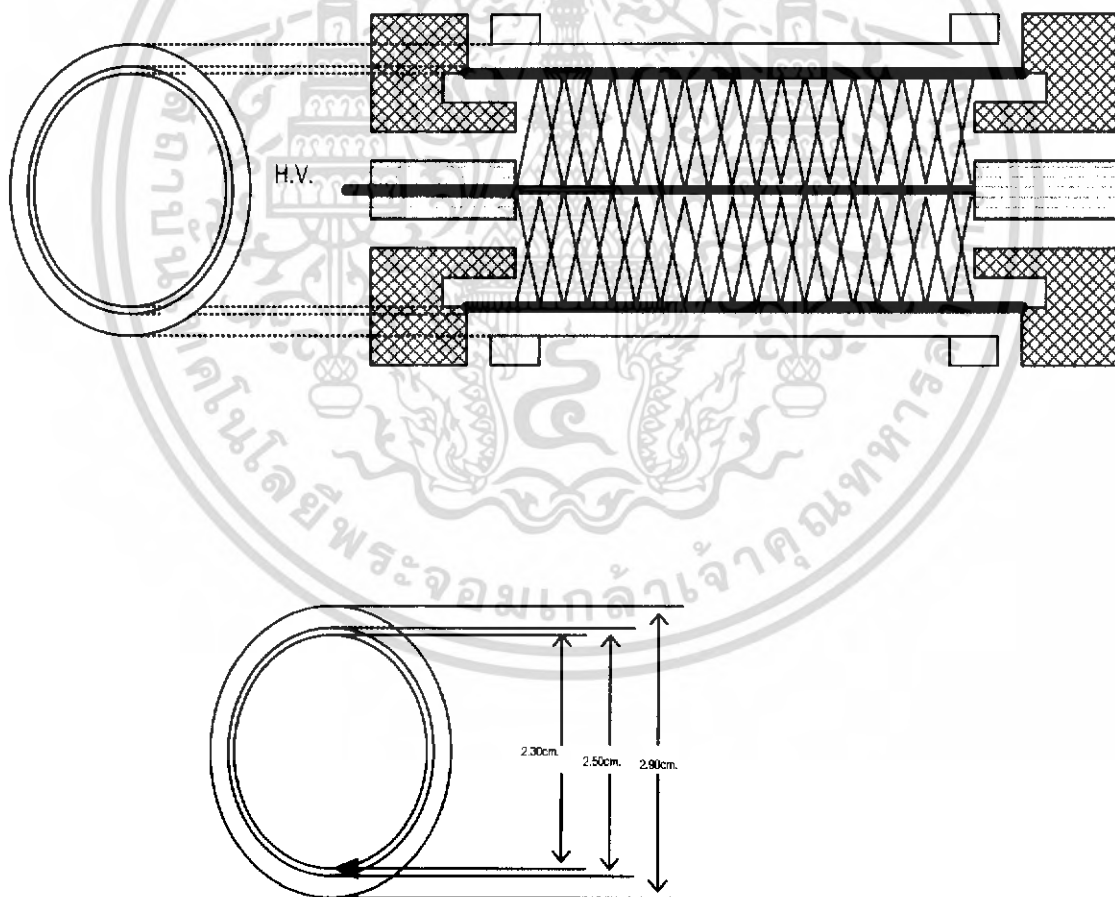
ต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกออกแบบชุดอิเล็กโตรดเป็นแบบ ทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น โดย

ฉนวนชั้นที่ 1 เลือกใช้แก้วมาเป็นฉนวนเนื่องจากว่าแก้วมีผลกระทบต่ออาการเกิดโอโซน โดยมีค่า $\epsilon_1 = 8$  โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง = 3.8 เซนติเมตร หนา 0.2เซนติเมตร ความยาว = 22เซนติเมตร

ฉนวนชั้นที่ 2 เลือกใช้อากาศมาเป็นฉนวนโดยมีค่าสัมประสิทธิ์( $\epsilon_1$ ) = 1

ขั้วคาโทด จะใช้เป็นสแตนเลสแบบฝอยเส้น แบบขดรวมกันอยู่ภายในฉนวนแก้ว โดยเหตุที่เลือกใช้สแตนเลส เพราะสแตนเลสจะไม่เกิดสนิมได้ง่าย และนำไฟฟ้าได้ดี

ขั้วแอโนดจะใช้เป็นสแตนเลสแบบทรงกระบอกโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง=4.8 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร ความยาว = 22 เซนติเมตร



รูปที่3-2 ขนาดอิเล็กโตรดที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การคำนวณหม้อแปลง

หาค่า C ของอิเล็กทรอนิกส์  $C_1, C_2$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{2\pi \times 8 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 22 \times 10^{-2}}{\ln(2.10/1.90)}$$

$$= 9.3383 \times 10^{-10} \text{ F}$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(r_3/r_2)} = \frac{2\pi \times 1 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 21 \times 10^{-2}}{\ln(2.4/2.1)}$$

$$= 7.5787 \times 10^{-11} \text{ F}$$

$$\text{ได้ค่า C รวม} = 7.0098 \times 10^{-11} \text{ F}$$

หาจำนวนรอบจากสูตร

$$V = 4fANBm \quad ; \quad N_1 = \frac{V}{4fABm}$$

$$= \frac{155}{(4 \times 50 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-4} \times 0.3)}$$

$$= 6.458 \text{ รอบ}$$

เลือกใช้  
จาก

$$N_1 = 7 \text{ รอบ}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{V_1}$$

$$N_2 = \frac{V_2 \times N_1}{V_1}$$

$$= \frac{5870 \times 7}{155}$$

$$= 265.1 \text{ รอบ}$$

เลือกใช้

$$N_2 = 265 \text{ รอบ}$$

Ratio (a)

$$= 265/7$$

$$= 37.85$$

หา

$I(\text{secondary})$

$$= \frac{V(\text{sec})}{X_c}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{5870}{(1/(2\pi fC))}$$

$$= \frac{5870}{(1/(2\pi \times 50 \times 10^3 \times 7.0098 \times 10^{-11}))}$$

$$= 0.1292 \text{ A}$$

หา  $a * I(\text{primary}) = aI(\text{sec})$

$$= 37.85 \times 0.1292$$

$$= 4.89 \text{ A}$$

เราจึงสามารถคำนวณหาขนาด(เบอร์)และจำนวนของขดลวดทั้งทางด้าน Primary และ Secondary ได้ โดยเลือกขนาด 450 circulamil / 1 A จะได้

ทาง primary จะได้  $450 \times 4.89 = 2200.5 \text{ circulamil}$

ทำเป็นมิลลิเมตร จะได้  $2200.5 \times 5.068 \times 10^{-4} = 1.1152 \text{ mm}^2$

-เลือกใช้ลวดทองแดงทีเกลียว 4 เส้น จะได้ (ลวดทองแดงเบอร์ 24 x 4 เส้น )

ทาง secondary จะได้  $450 \times 0.1292 = 58.14 \text{ circulamil}$

ทำเป็นมิลลิเมตร จะได้  $58.14 \times 5.068 \times 10^{-4} = 0.0295 \text{ mm}^2$

-เลือกใช้ลวดทองแดงทีเกลียว 2 เส้น จะได้ (ลวดทองแดงเบอร์ 34 x 2 เส้น )

-เลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ EE80 / 80

### 3.5 การสร้างสัญญาณ PDM จาก TL494

จะใช้ TL 494 ตัวที่หนึ่งสร้างพัลส์ความถี่ 5 kHz ป้อนเข้าที่ขา feedback PWM comparator input ของ TL 494 ตัวที่หนึ่ง เพื่อนำไปตัดกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมภายในตัว TL 494 ตัวที่สอง โดยจะใช้ TL 494 ตัวที่สองสร้างพัลส์ความถี่สูง 50 kHz ออกมาสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่มีการขาดหายเป็นช่วงๆ ตามค่า duty ratio ของสัญญาณของ TL 494 ตัวที่หนึ่งสัญญาณที่ออกมาจะอยู่ในรูปแบบ Pulse Density Modulation โดยจำนวนของพัลส์ในหนึ่งช่วงเวลาสามารถควบคุมได้โดยการปรับค่า duty ratio ของ TL 494 ตัวที่หนึ่ง

โดยในการทำโปรเจกต์ครั้งนี้จะควบคุมการทำงานในหนึ่งช่วงเวลาให้มีจำนวนรูปคลื่นเท่ากับ 10 ลูกคลื่น

TL494, NC V494

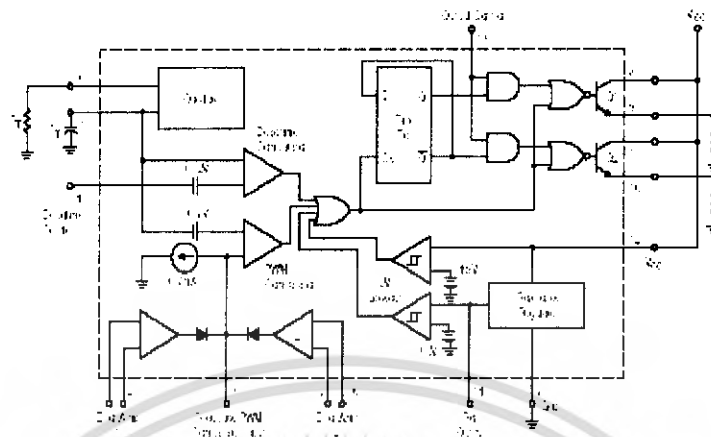


Figure 1. Representative Block Diagram

**รูปที่ 3-3** วงจรภายใน TL494

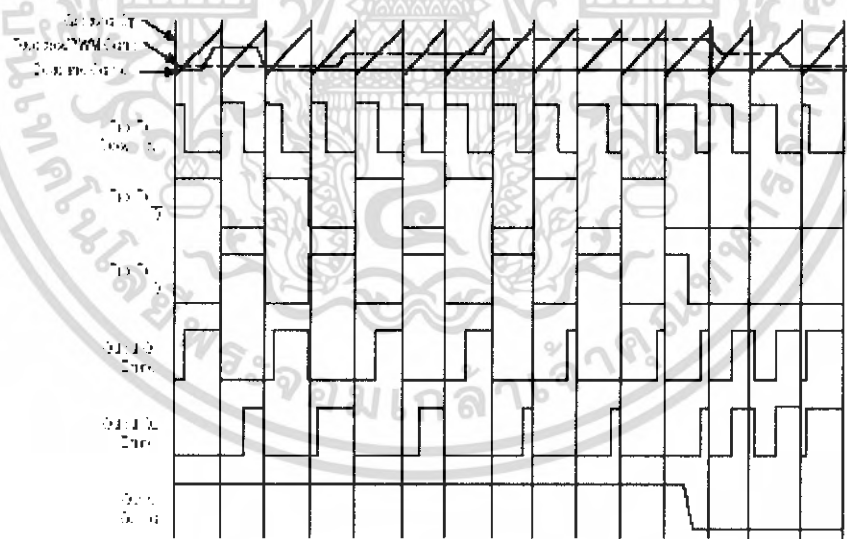
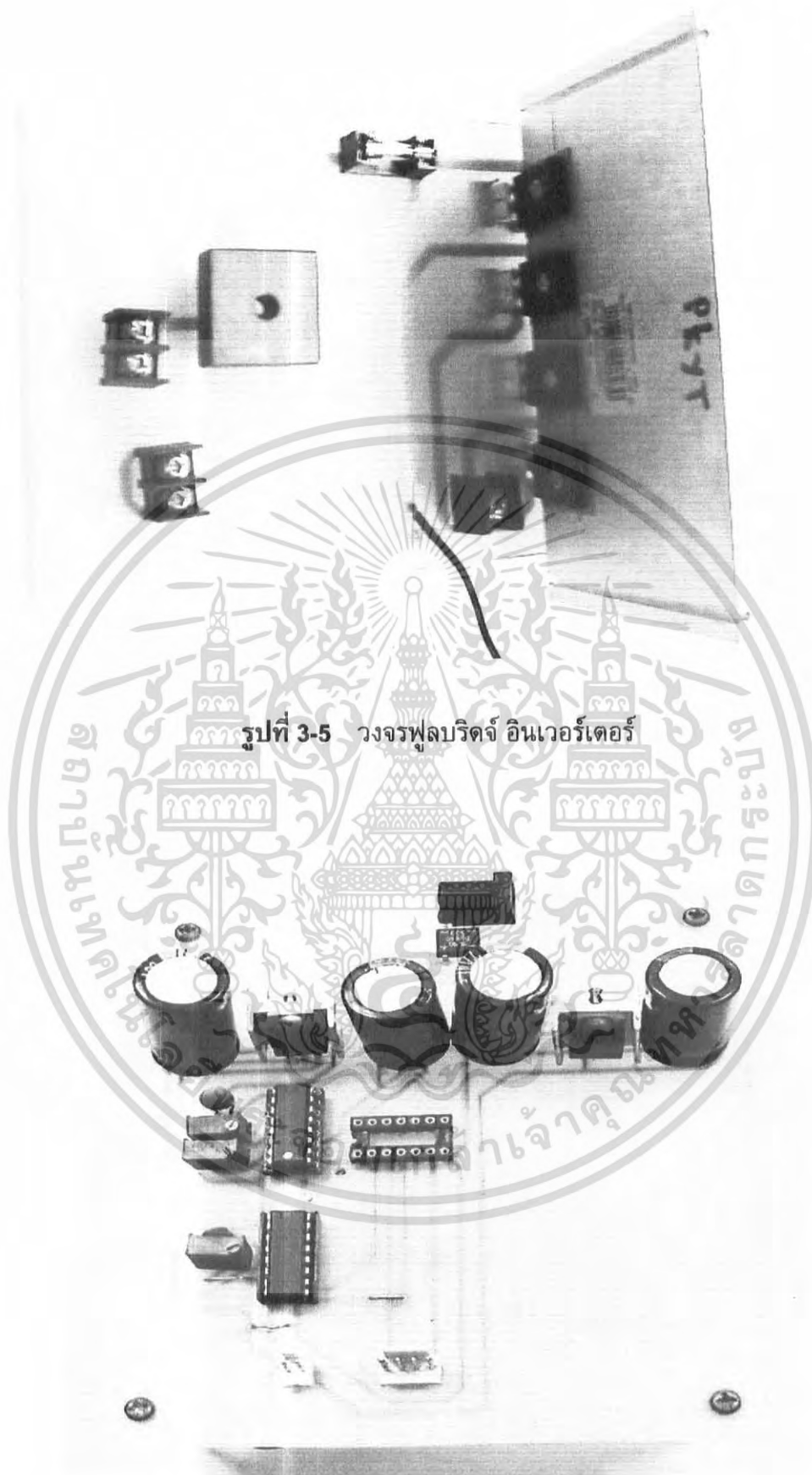


Figure 2. Timing Diagram

**รูปที่ 3-4** Timing diagram

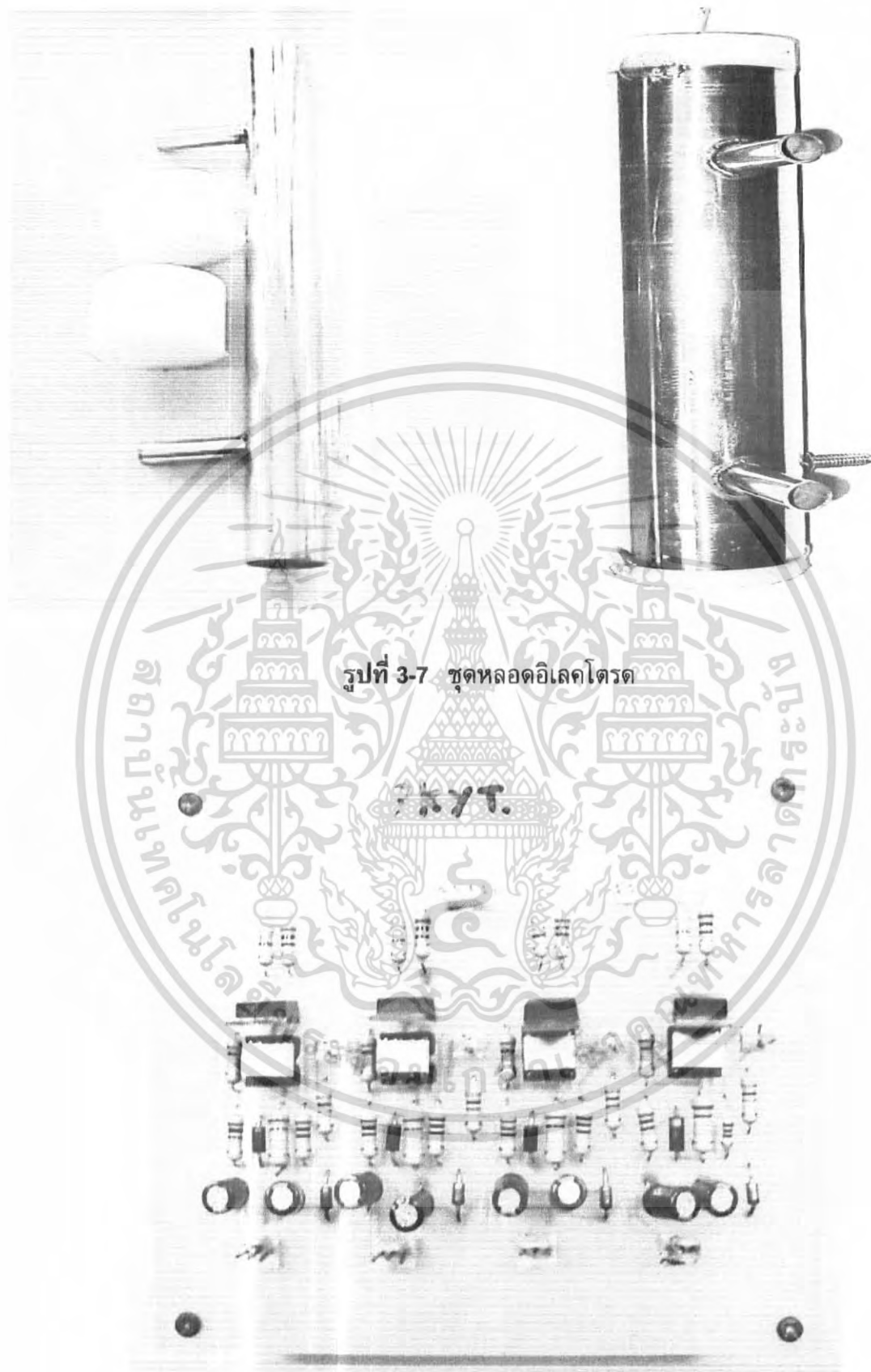
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 วงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์

รูปที่ 3-6 วงจรสร้างสัญญาณ PDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

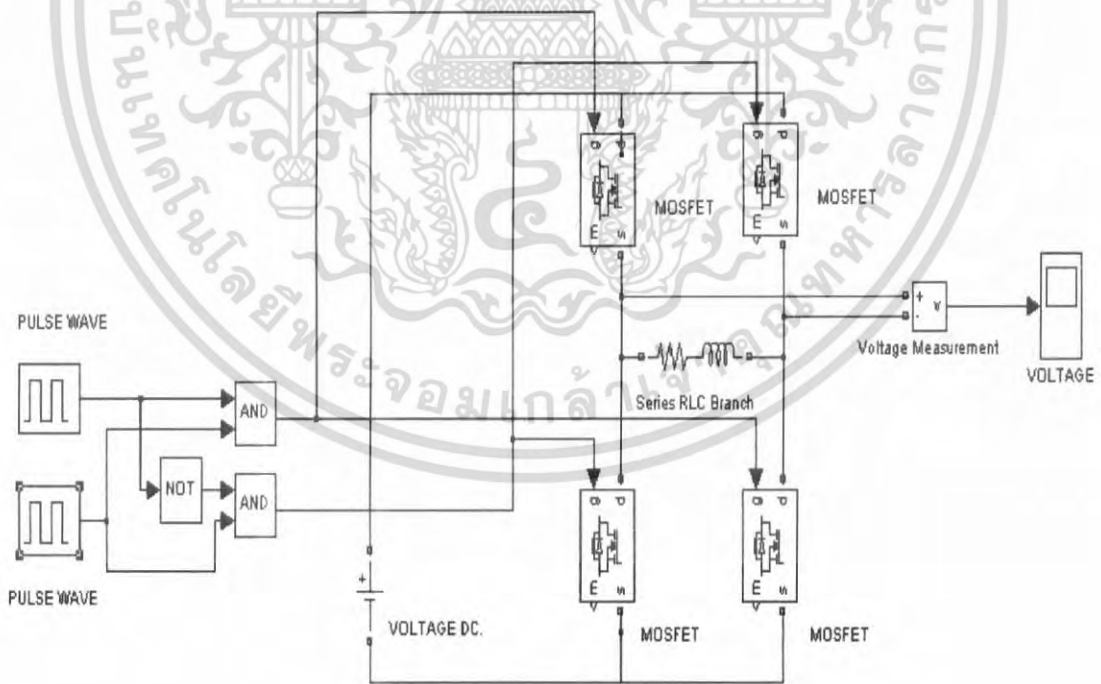


**รูปที่ 3-8 ชุดวงจรแยกกราวด์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

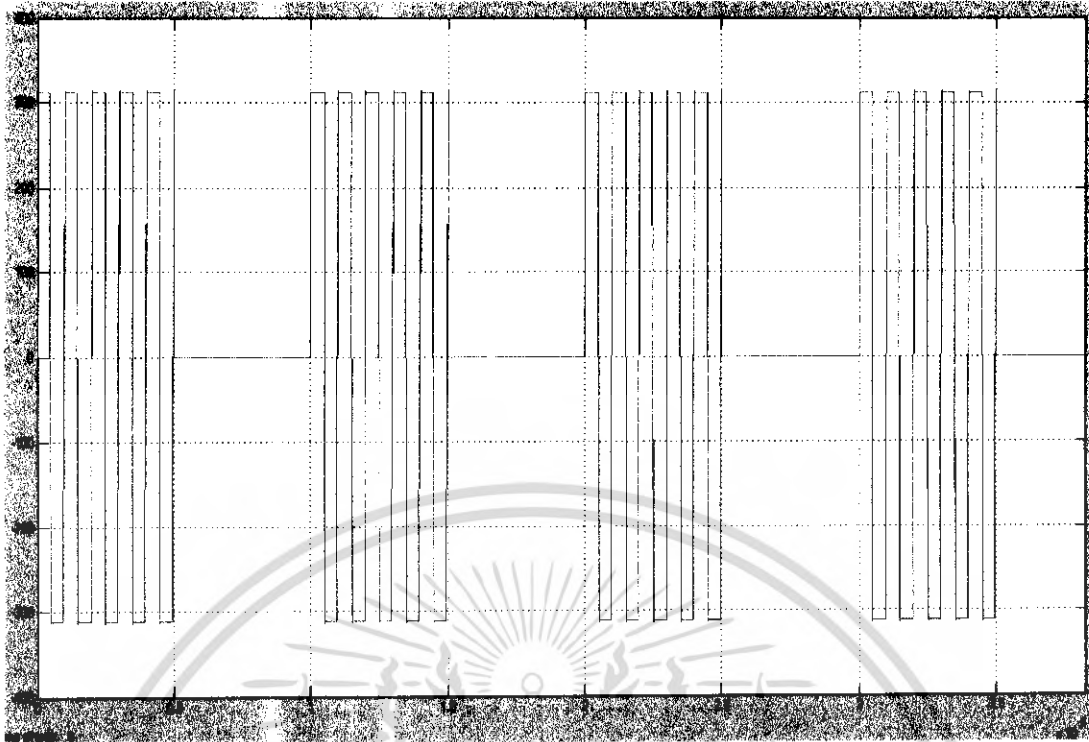


รูปที่ 3-9 หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 3-10 วงจร Inverter ที่ใช้ในการ Simulation

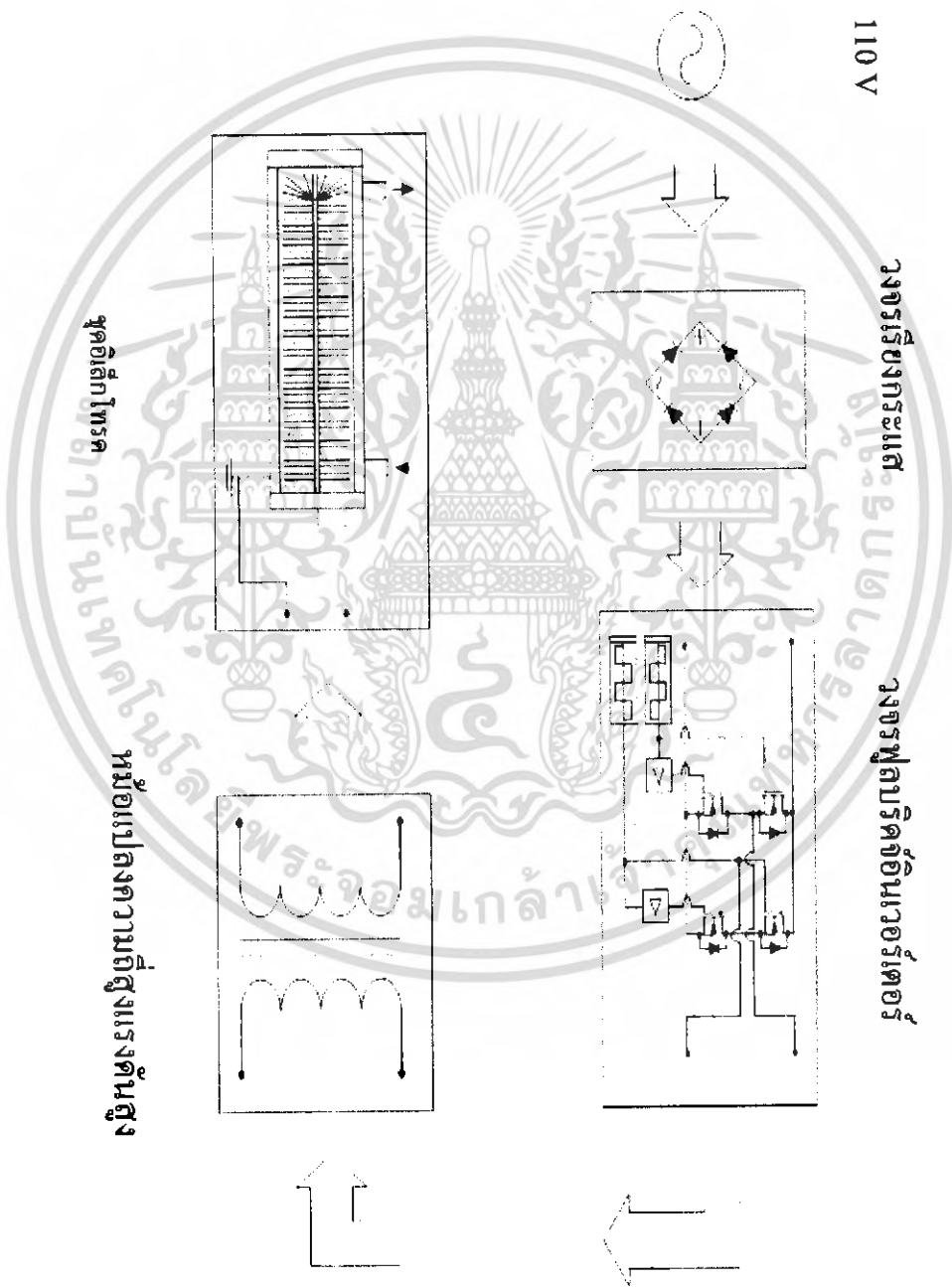
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-11 ผลการ Simulation สัญญาณขาออกของ Inverter ที่ความถี่ 50 kHz

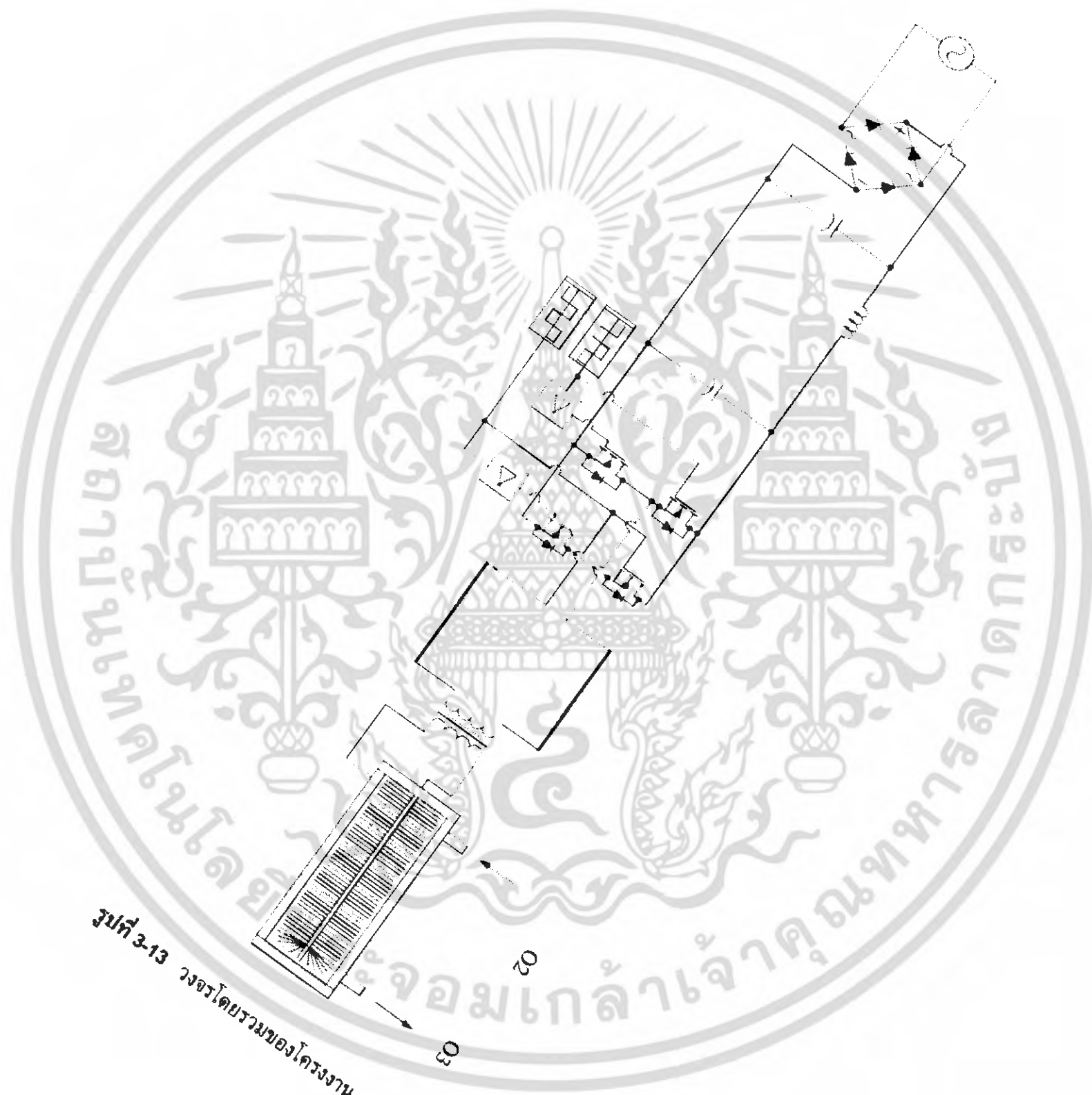
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทำงานโดยรวมของวงจร



รูปที่ 3-12 วงจรการทำงานของเครื่องผลิตโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 วงจรโดยรวมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

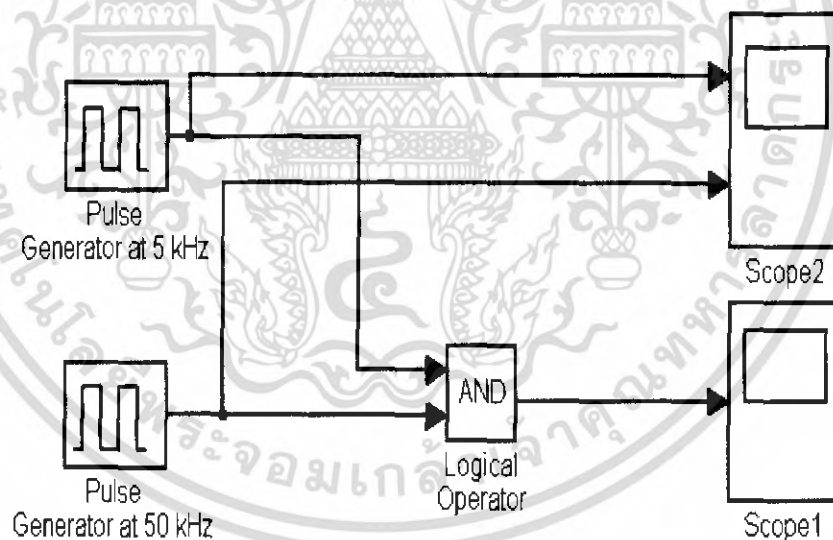
#### 4.1 การวัดทางไฟฟ้า

##### 4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1 . ออสซิลโลสโคป แบบดิจิตอล 1 ตัว
- 2 . โพรบ \*10 และ\*100 อย่างละ 1 ตัว
- 3 . ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 1 ตัว
- 4 . แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 1 ตัว

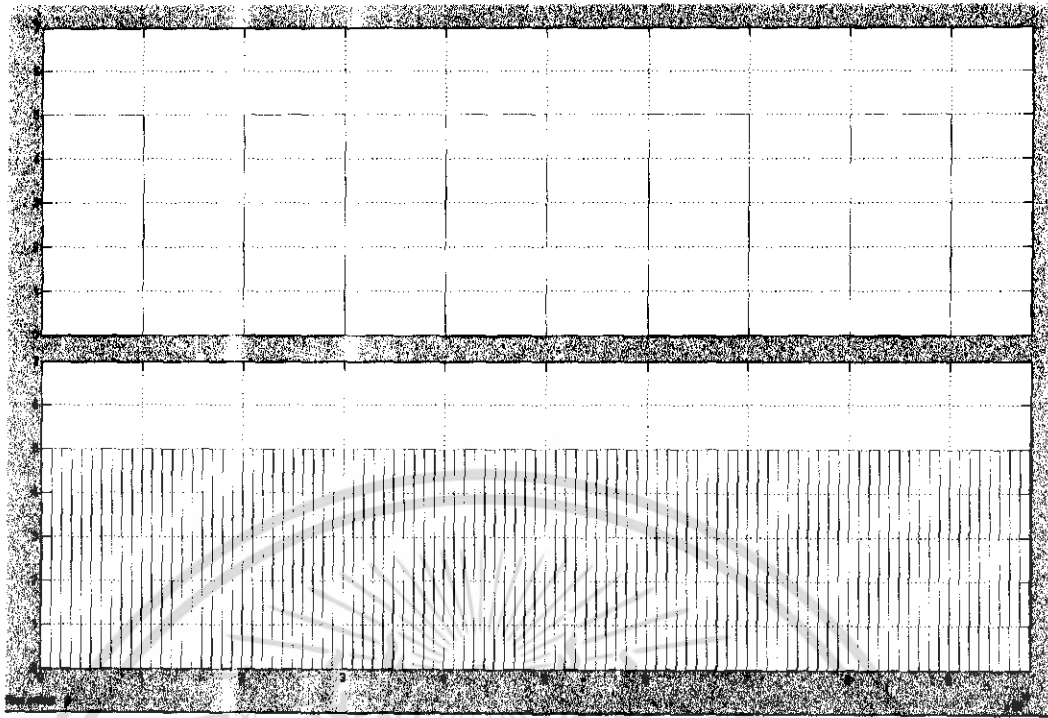
##### 4.1.2 การทดลองชุดสัญญาณขับ TL494

เป็นการสร้างสัญญาณ Pulse Density Modulation จากวงจร TL494 จำนวน 2 ตัว โดยตัวที่ 1 สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ที่ 5 kHz ไปตัดกับสัญญาณสามเหลี่ยมของ TL494 ตัวที่สองที่ความถี่ 50 kHz

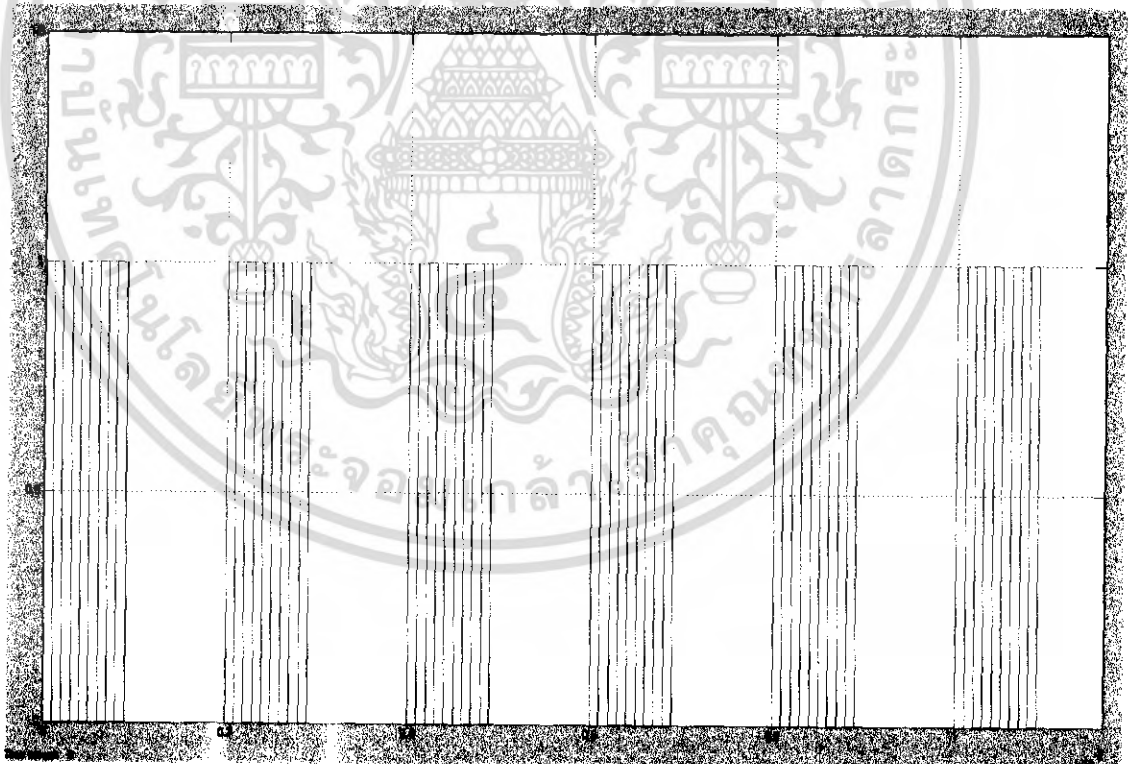


รูปที่ 4-1 วงจร Simulation ของ pulse density modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

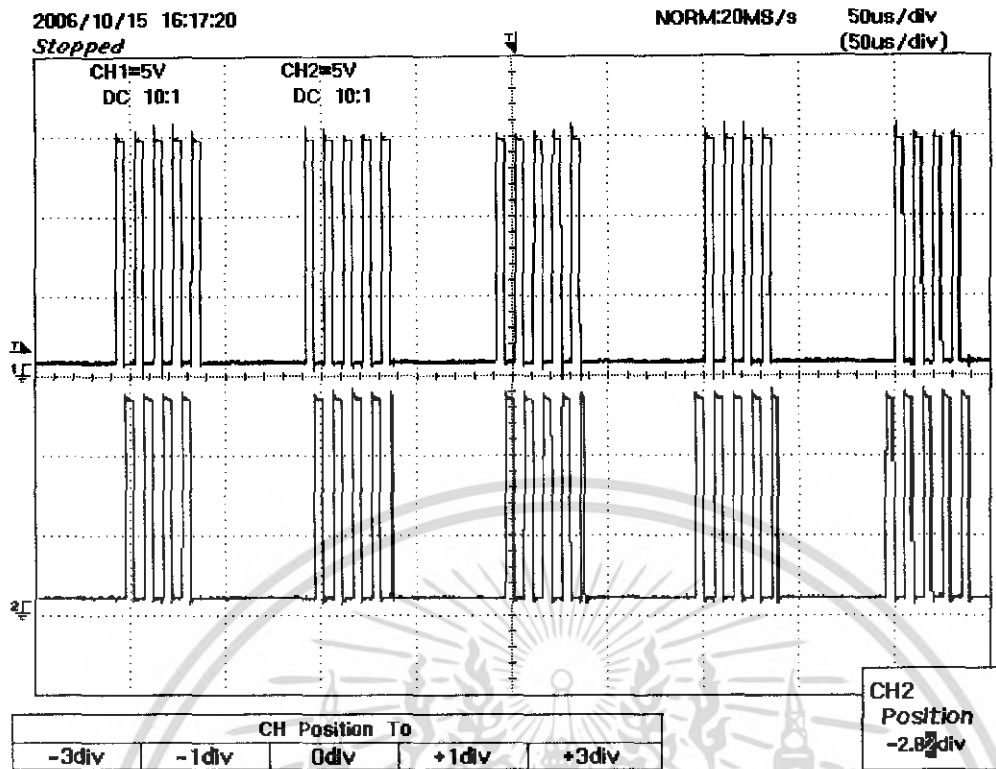


รูปที่ 4-2 ผลSimulation สัญญาณขาเข้า 5kHz และ 50kHz

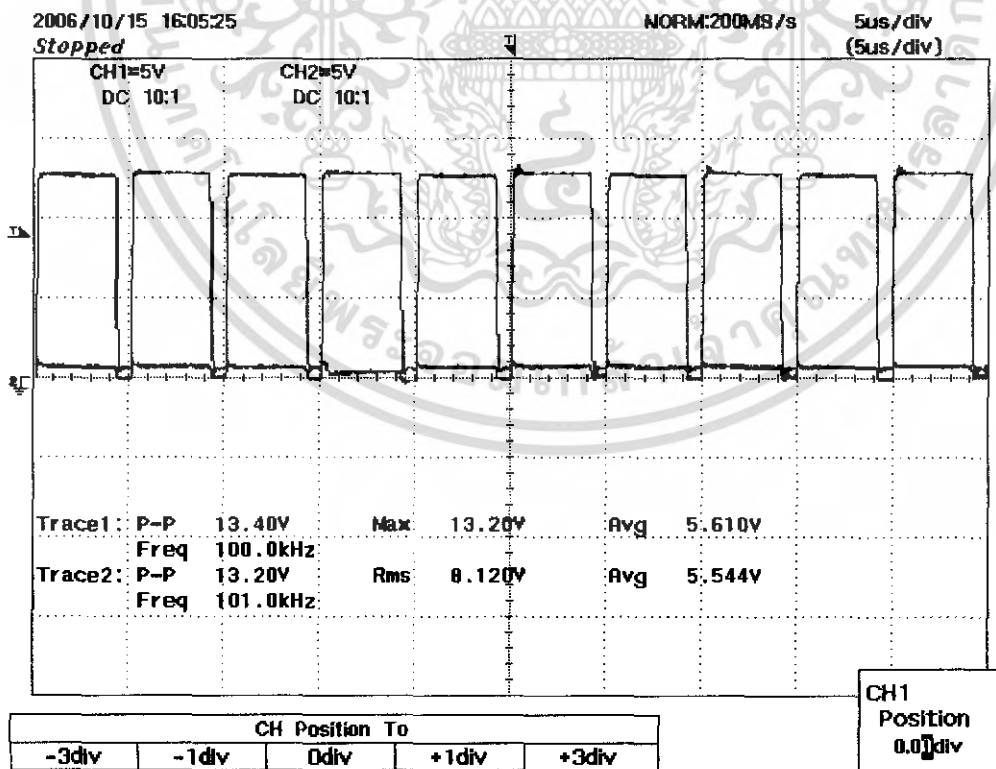


รูปที่ 4-3 ผลSimulation pulse density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 สัญญาณ Pulse Density Modulation จากการทดลอง



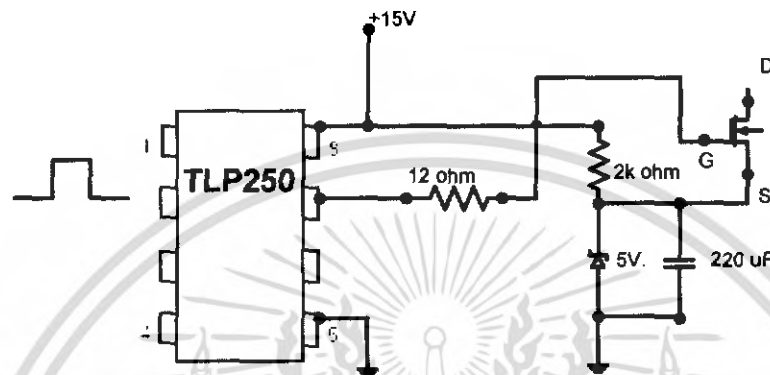
รูปที่ 4-5 สัญญาณ PDM แบบ Bipolar จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 การทดลองชุดขับเกทของ MOSFET ในวงจรอินเวอร์เตอร์

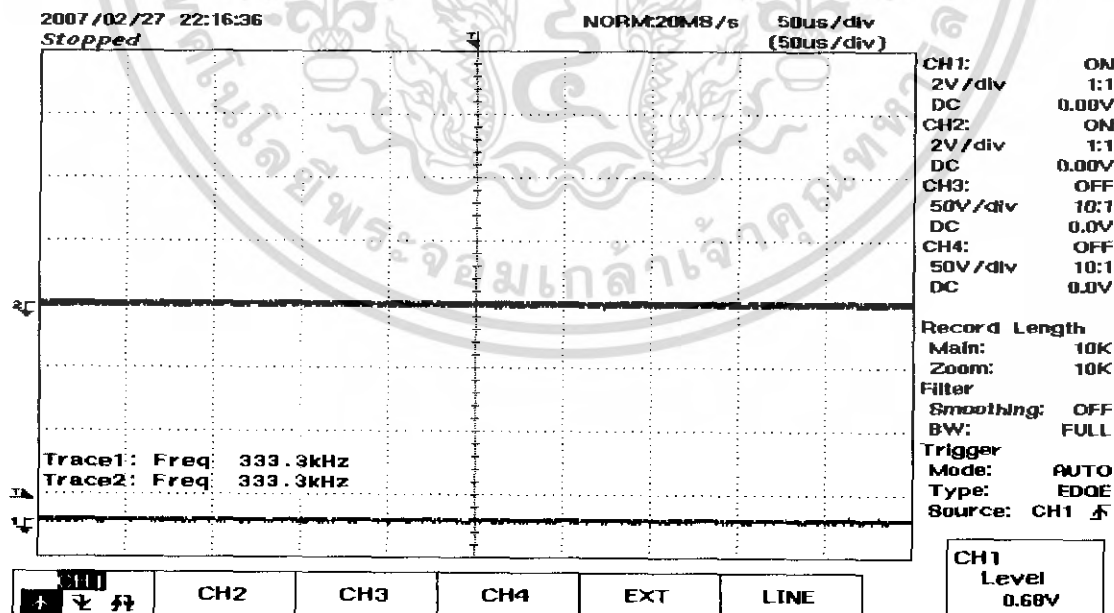
เนื่องจาก Mosfet ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องการแรงดันระหว่างขาเกทกับซอส ( $V_{GS}$ ) ที่ +15 V จึงจะสามารถนำกระแสได้และเนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากชุดควบคุมมีแรงดัน +5 V. ไม่สามารถจะทำให้ Mosfet On ได้

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรขับเกท Mosfet ในวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะใช้ IC opto#TLP250 เป็นอุปกรณ์ Isolate ซึ่งแสดงวงจรดังนี้



รูปที่ 4-6 แสดงวงจรขับเกทของ Mosfet ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ในโครงการนี้

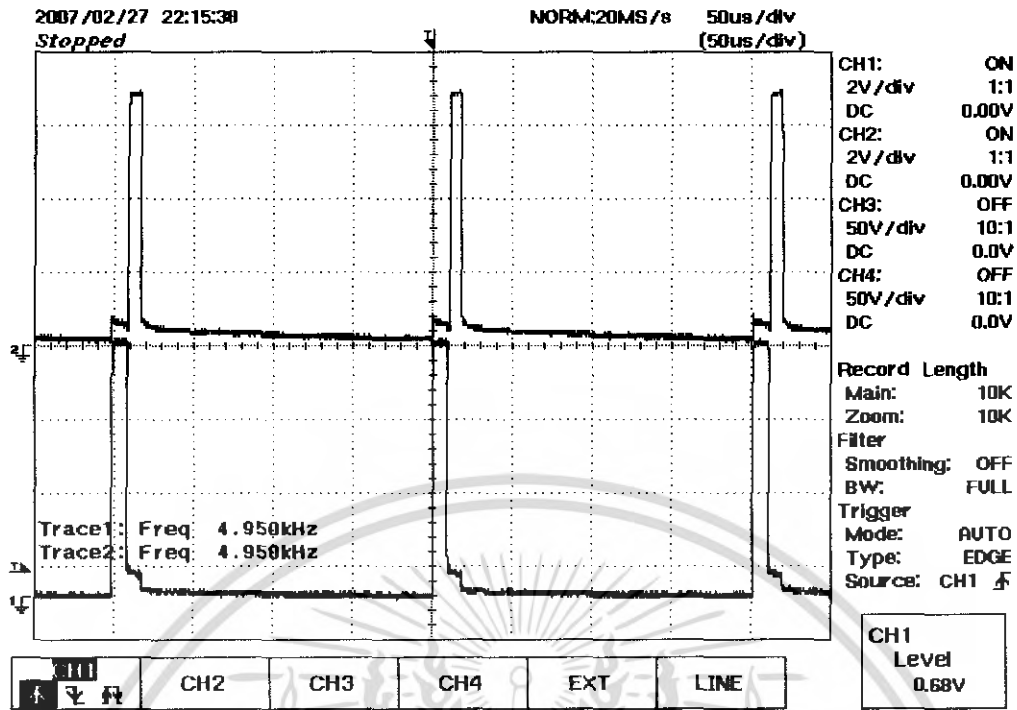
จากรูปที่ 4-6 สัญญาณ Input จะเป็นสัญญาณที่รับมาจากชุดควบคุม ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ชุด Opto 1 ชุดต่อหนึ่งวงจรขับเกท โดยจะใช้ Opto ทั้งหมด 4 ตัว แล้วก็วัดผลได้ดังนี้



รูปที่ 4-7 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto ไม่มีพัลส์

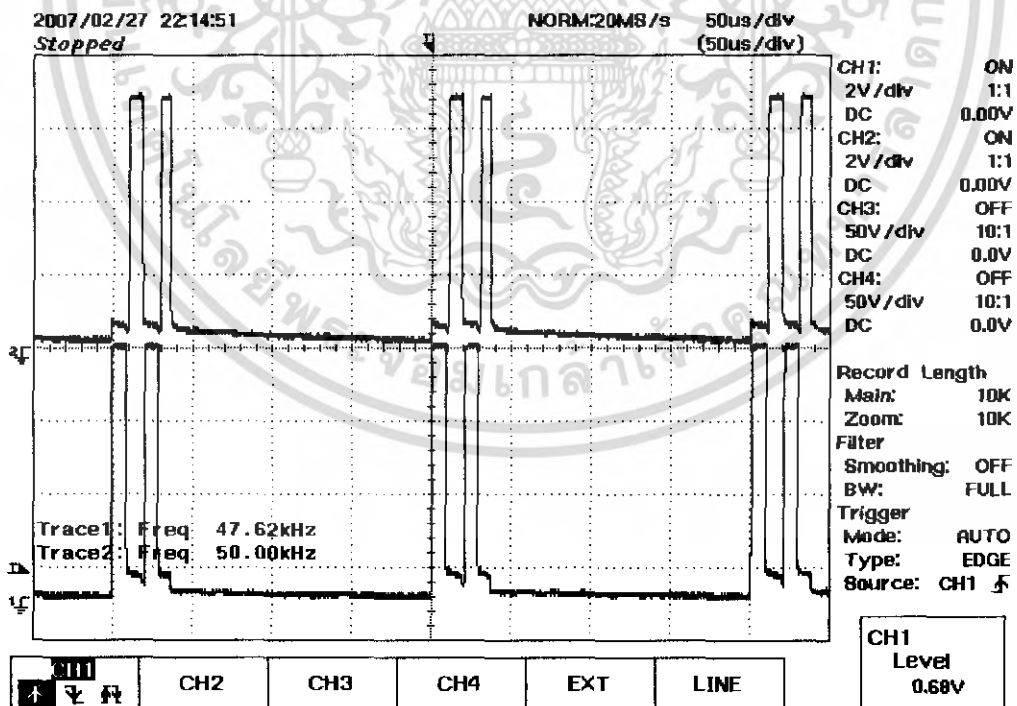
CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 1 ลูกคลื่น

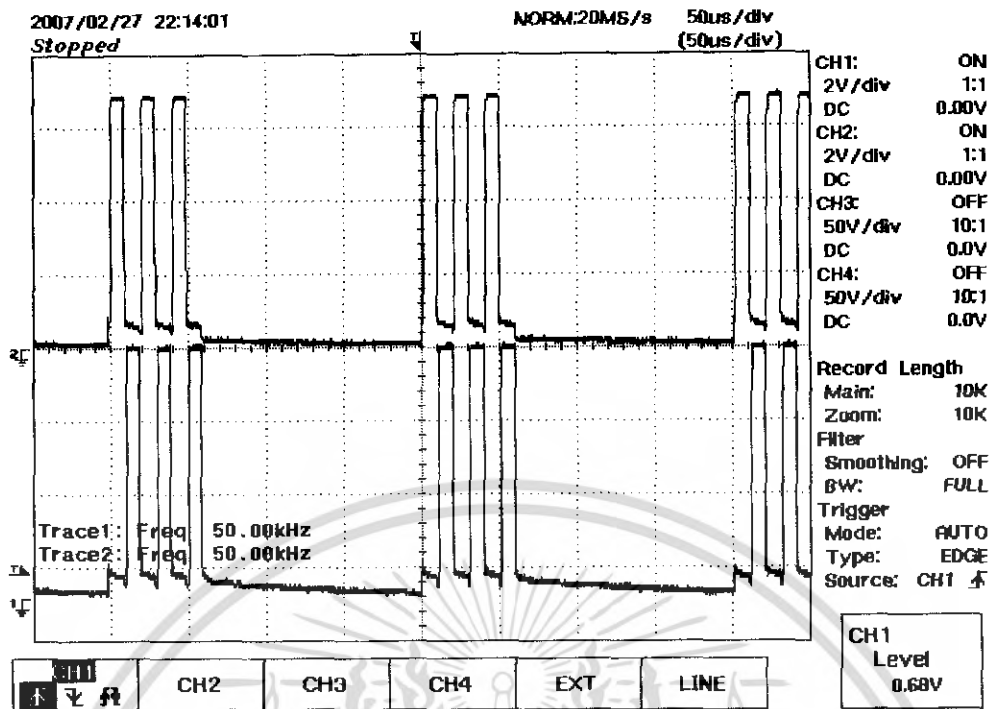
CH1 = 2V/div CH2 = 2V/div 50us/div



รูปที่ 4-9 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 2 ลูกคลื่น

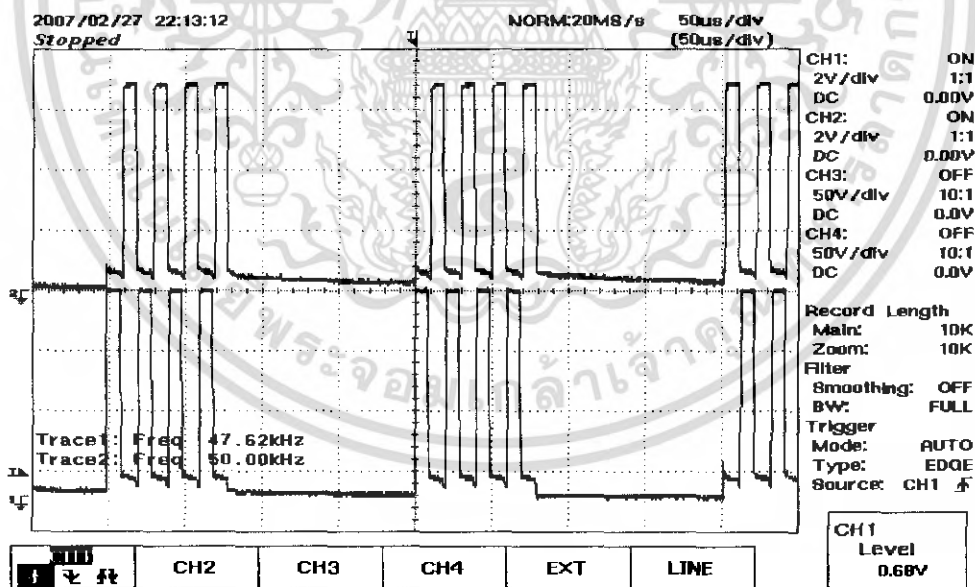
CH1 = 2V/div CH2 = 2V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 3 ลูกคลื่น

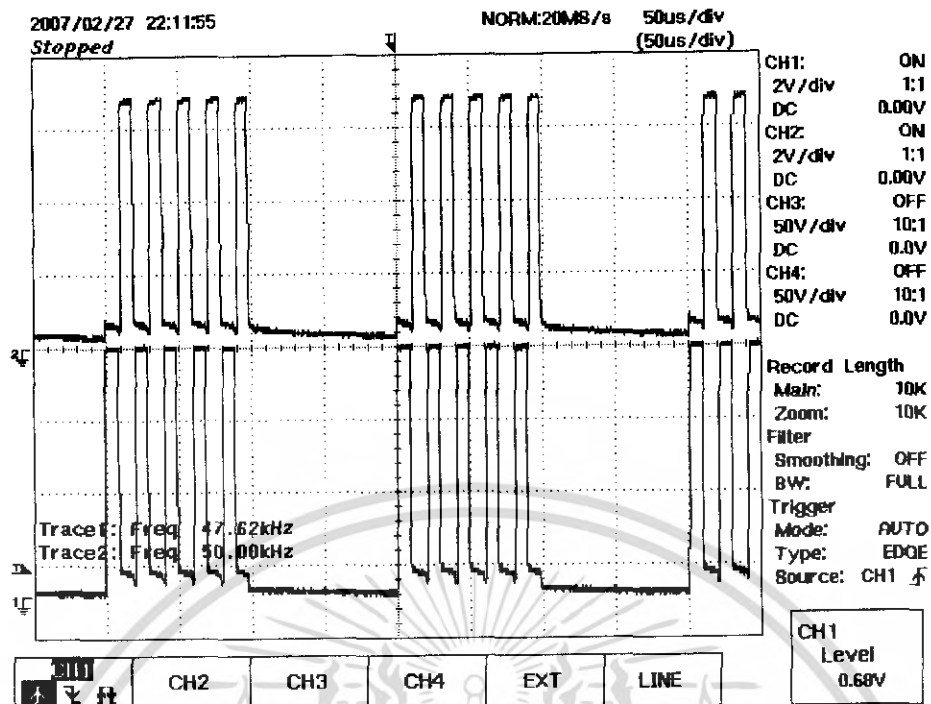
CH1 = 2V/div CH2 = 2V/div 50us/div



รูปที่ 4-11 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 4 ลูกคลื่น

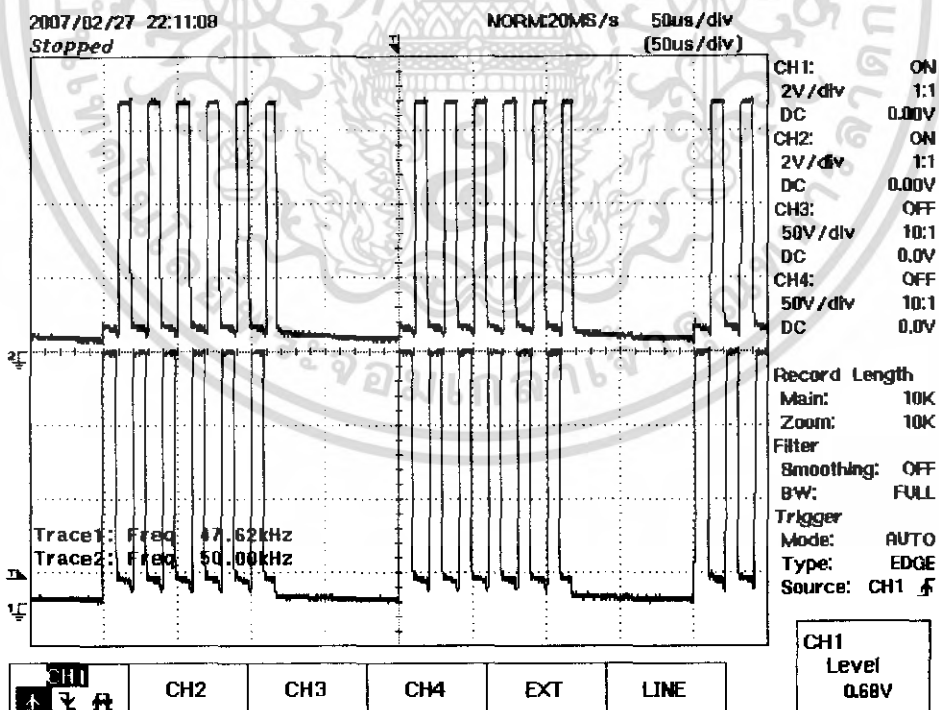
CH1 = 2V/div CH2 = 2V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-12 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 5 ลูกคลื่น

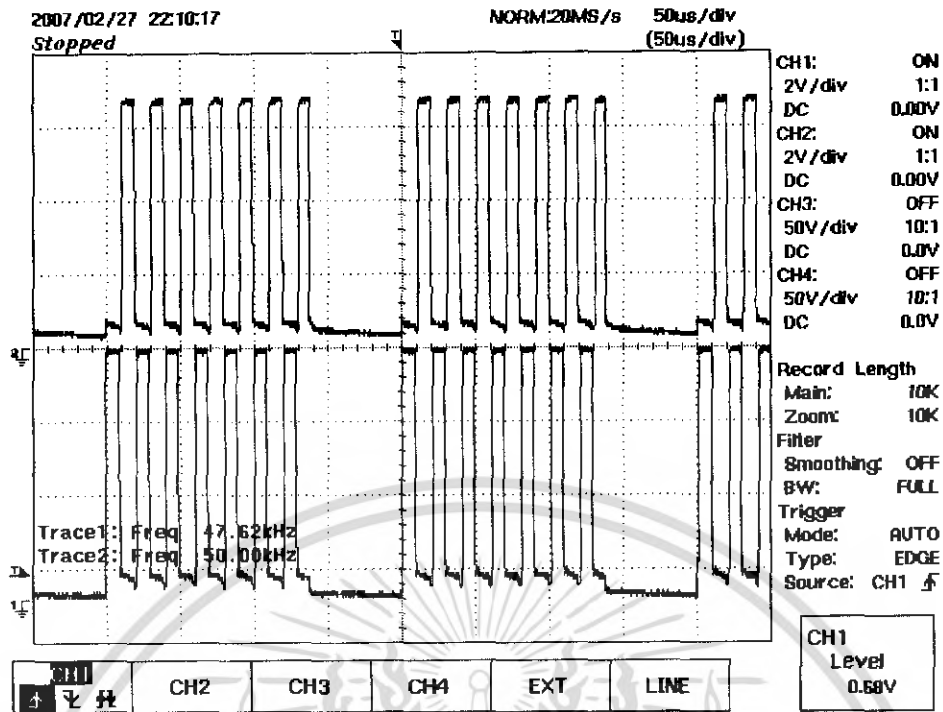
CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50us/div



รูปที่ 4-13 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 6 ลูกคลื่น

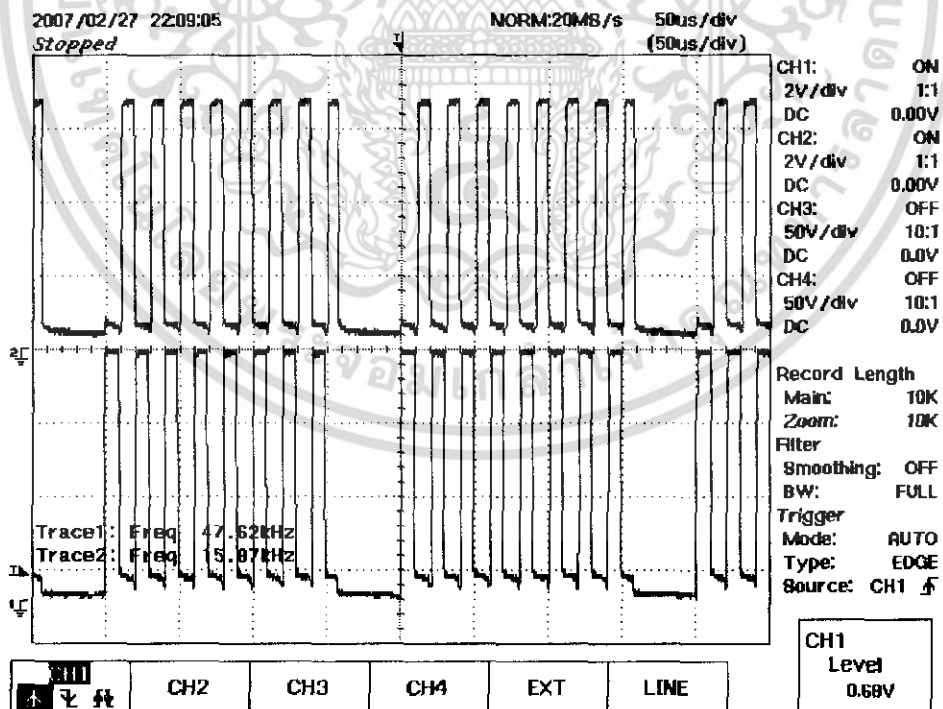
CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-14 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 7 ลูกคลื่น

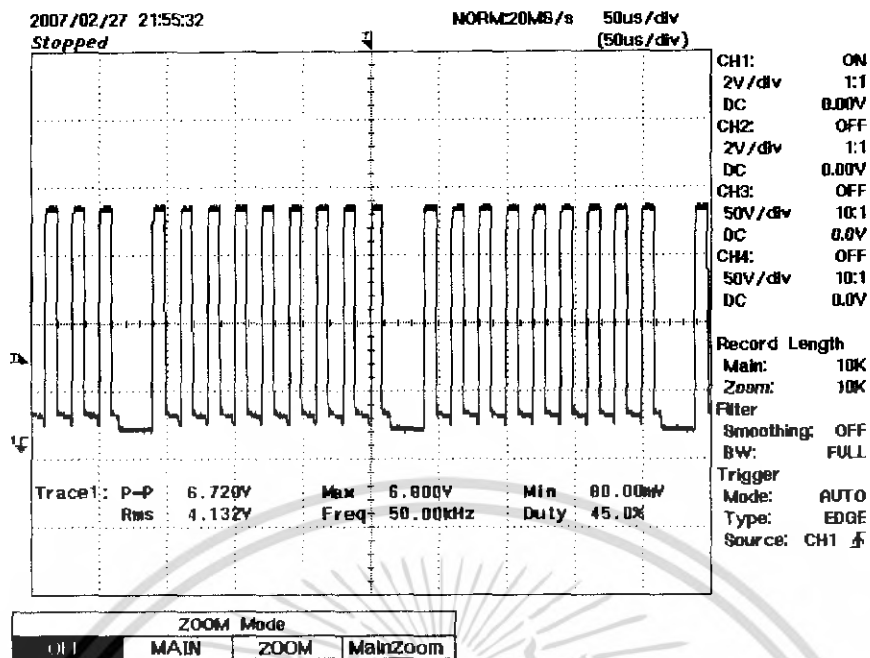
CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50us/div



รูปที่ 4-15 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 8 ลูกคลื่น

CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

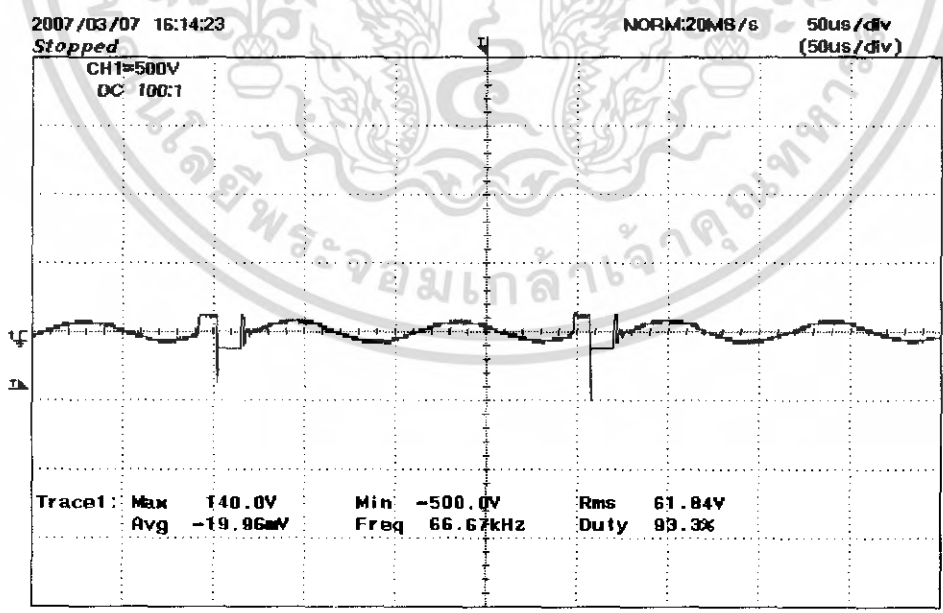


รูปที่ 4-16 สัญญาณ PDM ที่ออกจาก opto จำนวน 9 ลูกคลื่น

CH1 = 5V/div CH2 = 5V/div 50µs/div

4.1.4 การทดลอง INVERTER

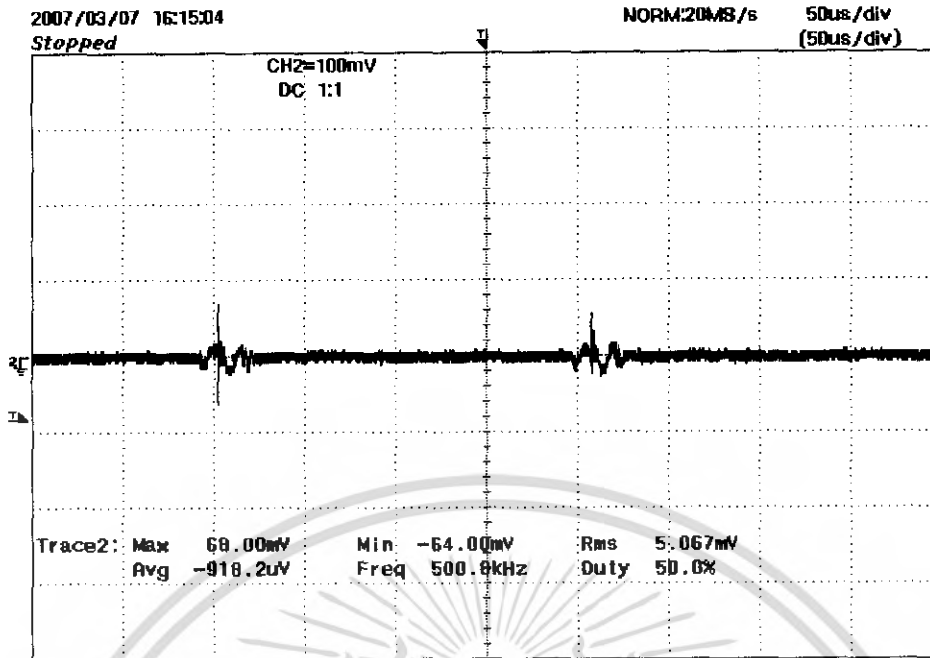
ในการทดลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์นั้นได้ทำการทดลองจากการปรับดิ้วตีของ TL494 จะได้รูปสัญญาณ ดังนี้



รูปที่ 4-17 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 1 ลูกคลื่น )

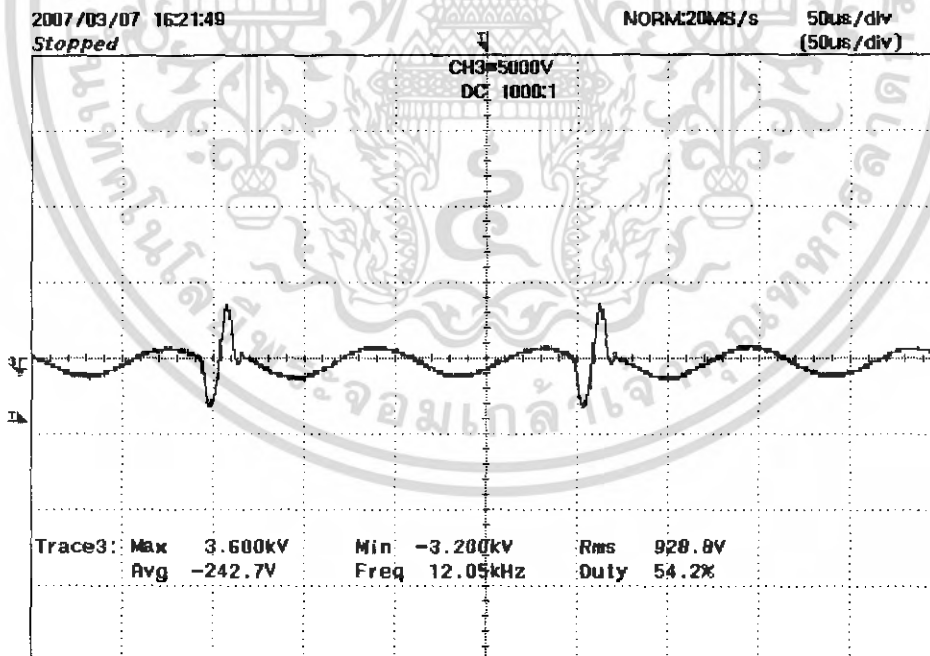
CH1 = 500V/div 50µs/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-18 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 1 ลูกคลื่น )

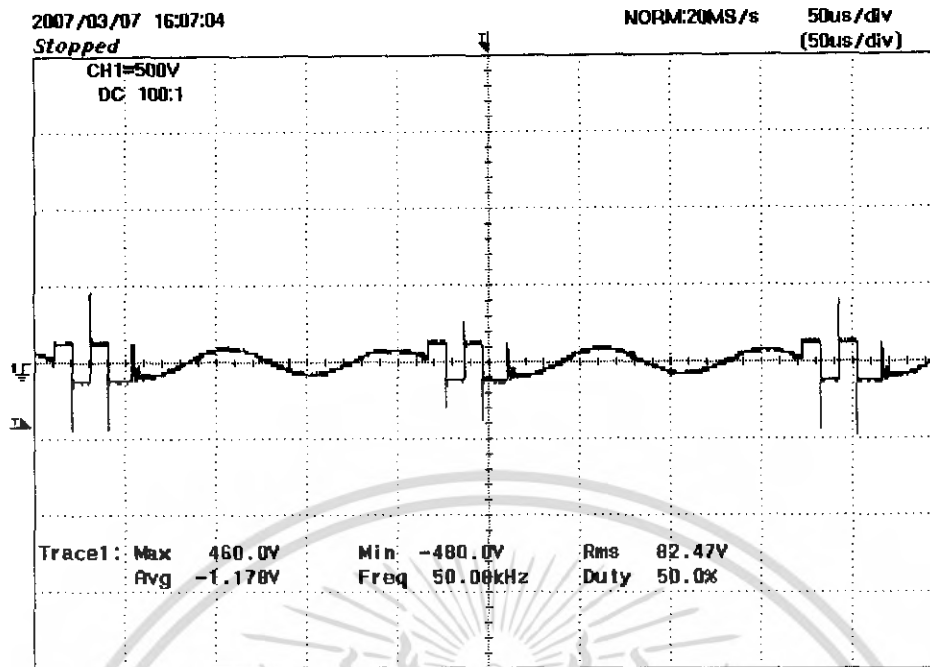
CH1 = 100mV/div 50us/div



รูปที่ 4-19 รูปคลื่นแรงดันต้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 1 ลูกคลื่น )

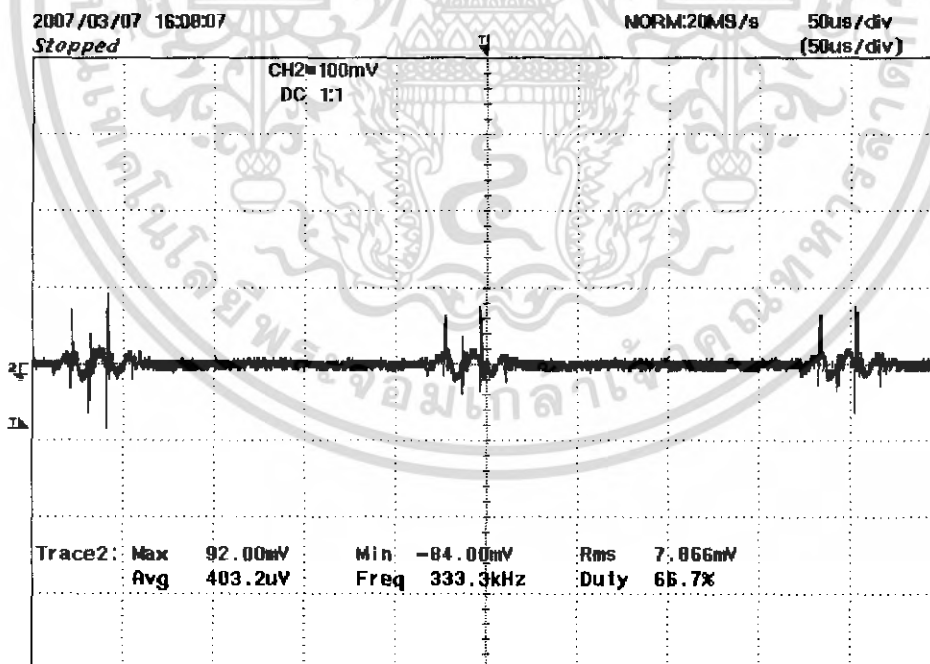
CH1 = 5000V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-20 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 2 ลูกคลื่น )

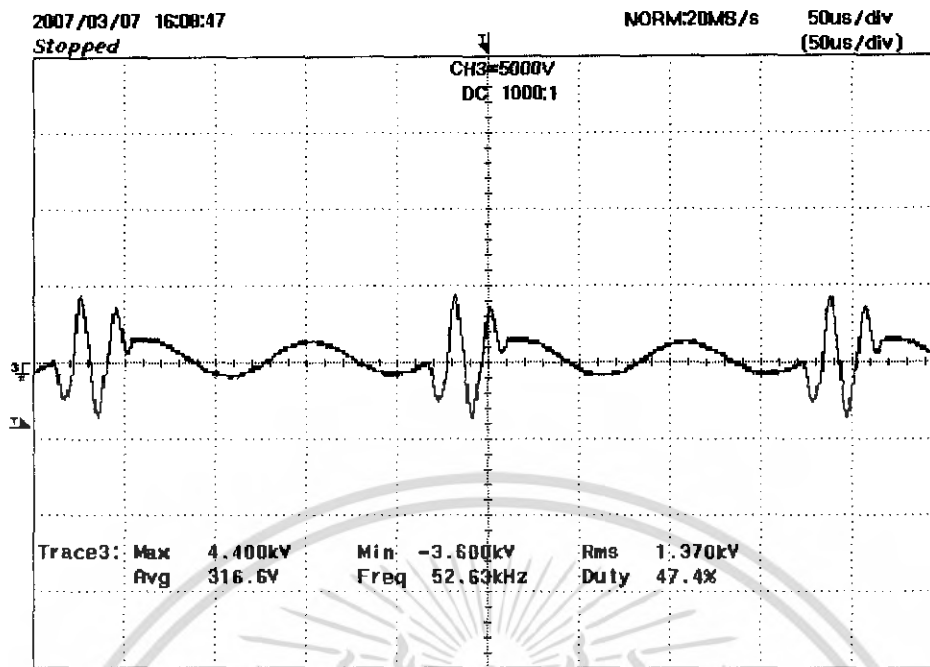
CH1 = 500V/div 50us/div



รูปที่ 4-21 รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 2 ลูกคลื่น )

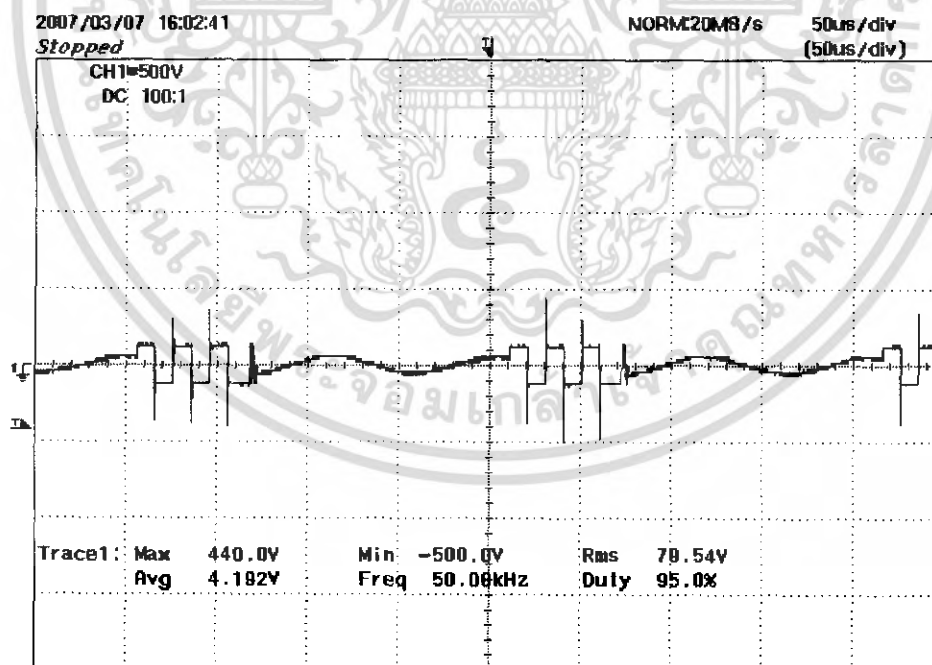
CH1 = 100mV/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-22 รูปคลื่นแรงดันด้านนอกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 2 ลูกคลื่น)

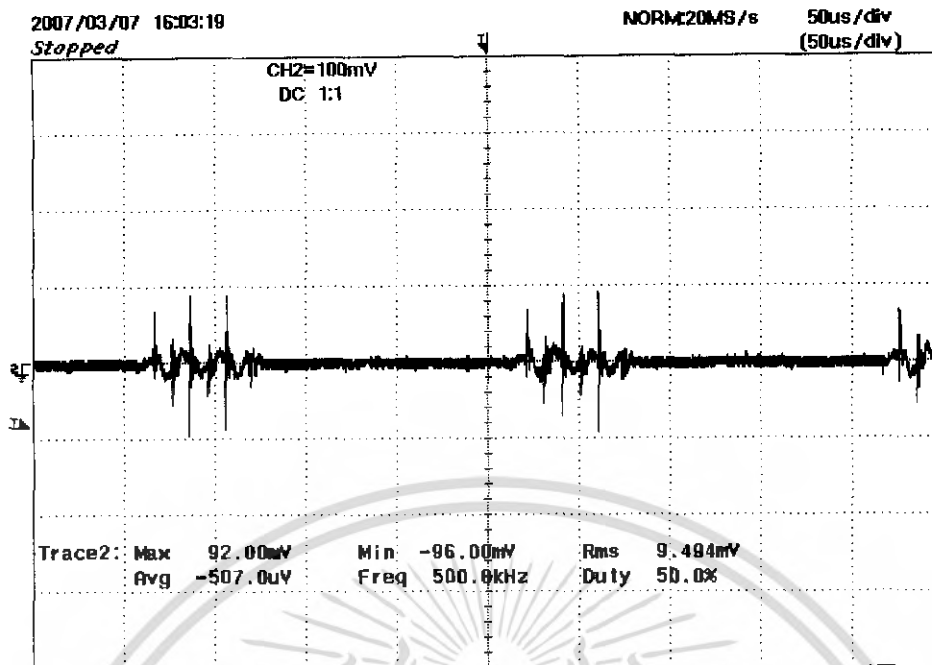
CH1 = 5000V/div 50us/div



รูปที่ 4-23 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากรินเวอร์เตอร์ ( 3 ลูกคลื่น )

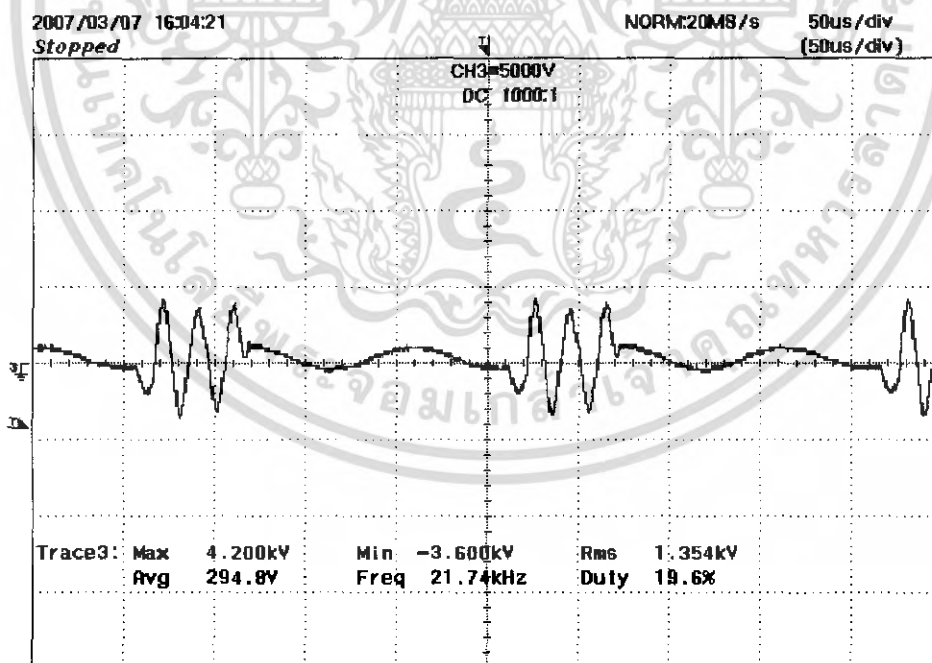
CH1 = 500V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-24 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 3 ลูกคลื่น )

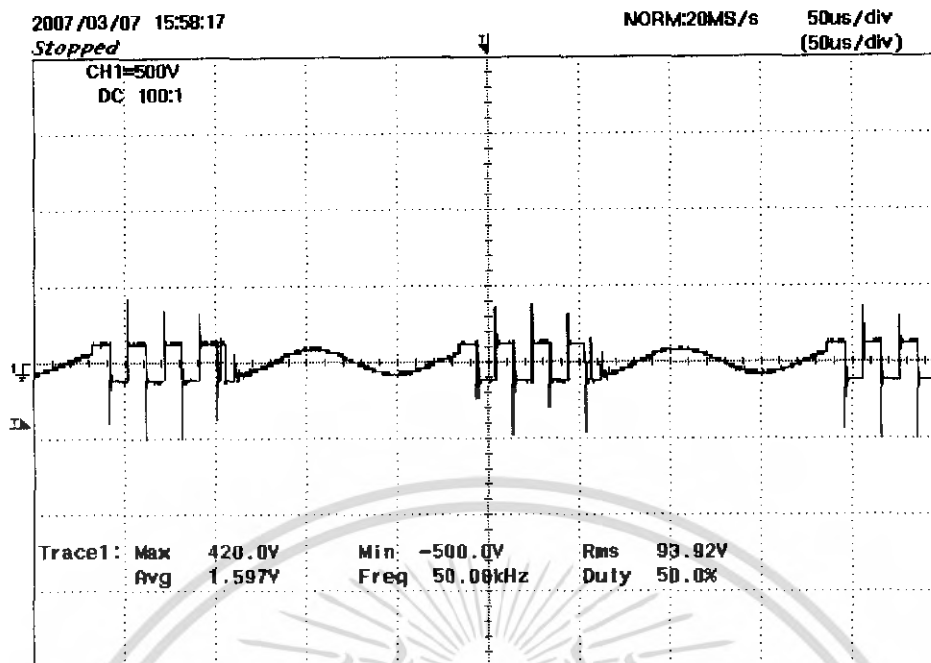
CH1 = 100mV/div 50us/div



รูปที่ 4-25 รูปคลื่นแรงดันต้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 3 ลูกคลื่น )

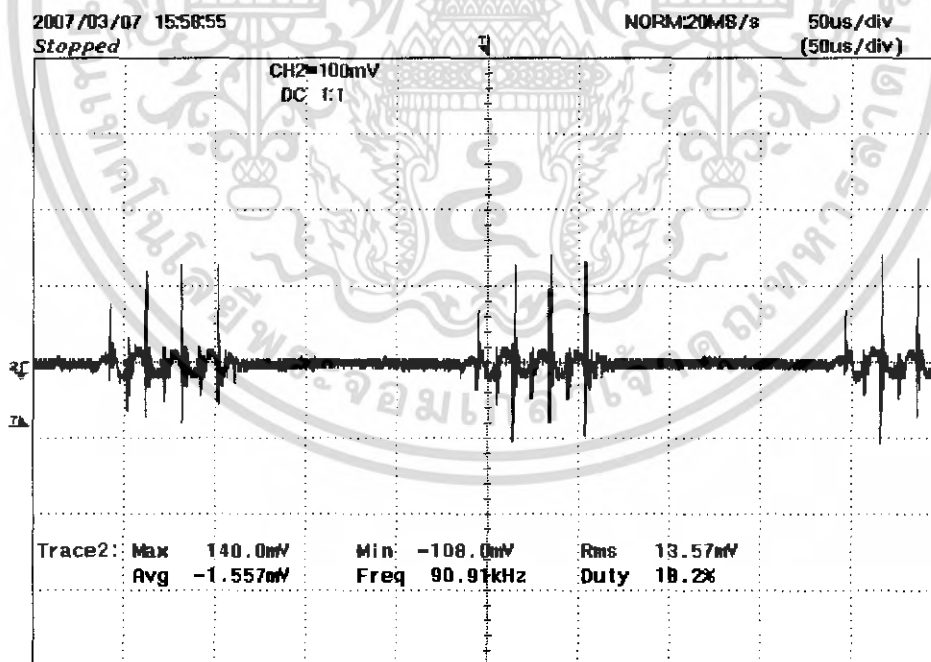
CH1 = 5000V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-26 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 4 ลูกคลื่น )

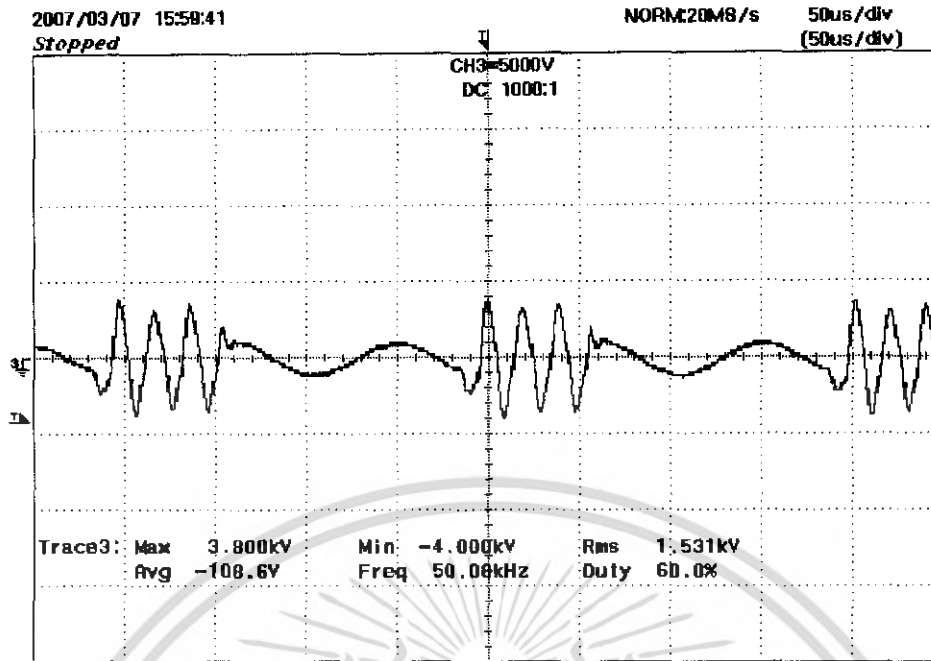
CH1 = 500V/div 50us/div



รูปที่ 4-27 รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 4 ลูกคลื่น )

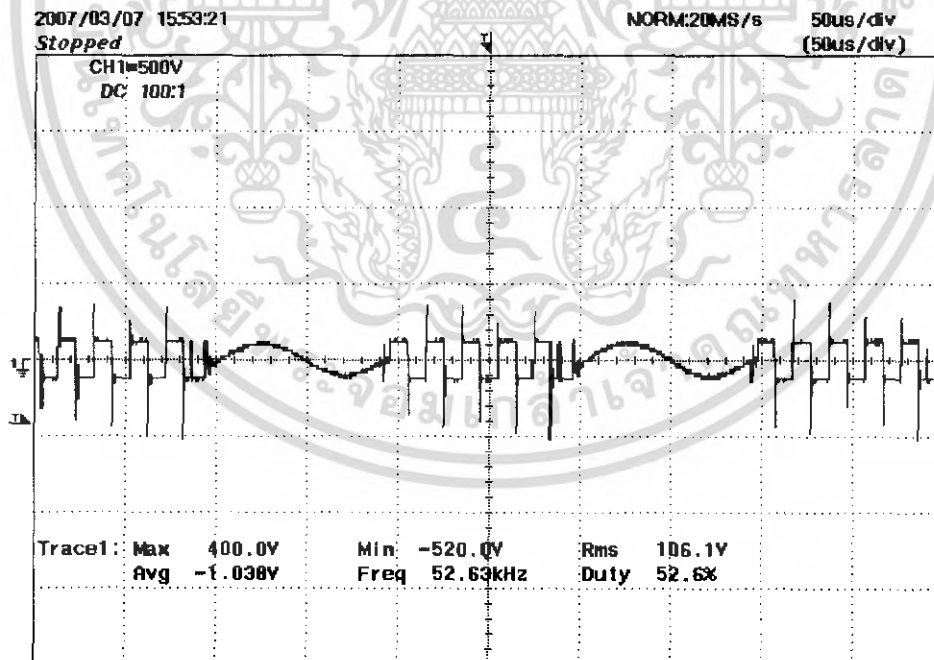
CH1 = 100mV/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-28 รูปคลื่นแรงดันด้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 4 ลูกคลื่น)

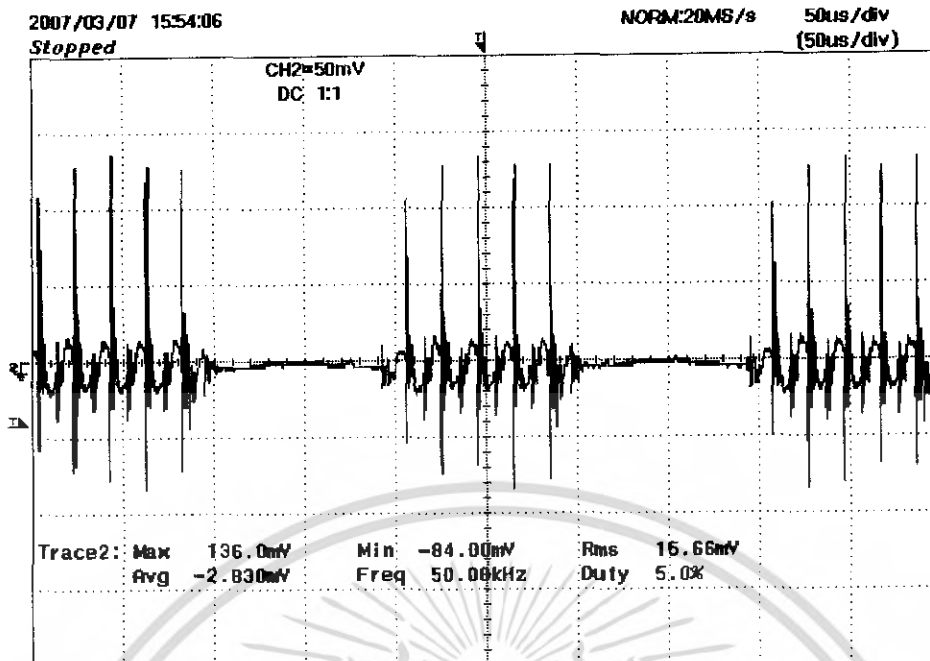
CH1 = 5000V/div 50us/div



รูปที่ 4-29 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 5 ลูกคลื่น )

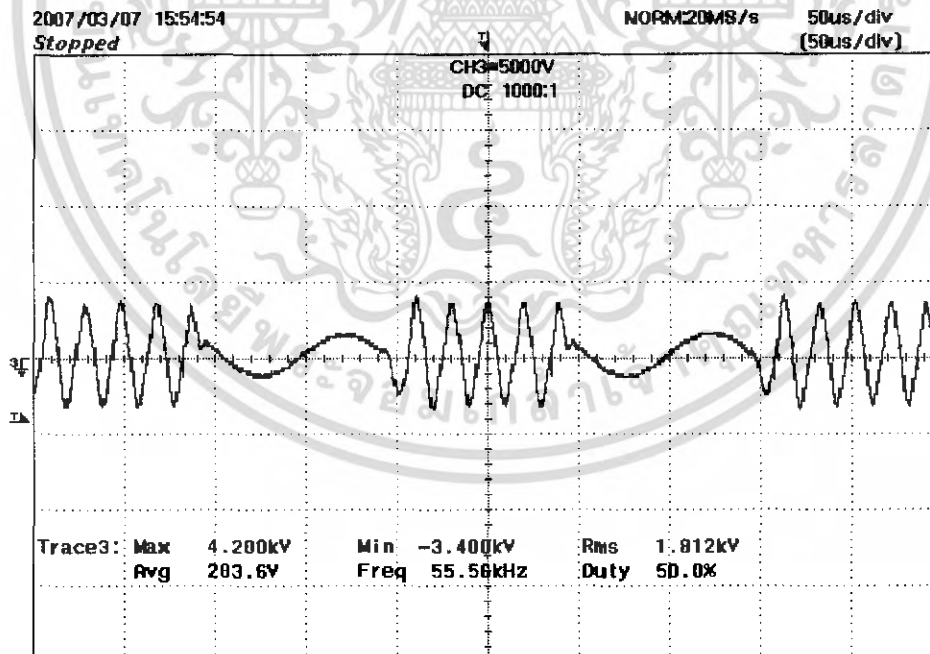
CH1 = 500V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-30 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 5 ลูกคลื่น )

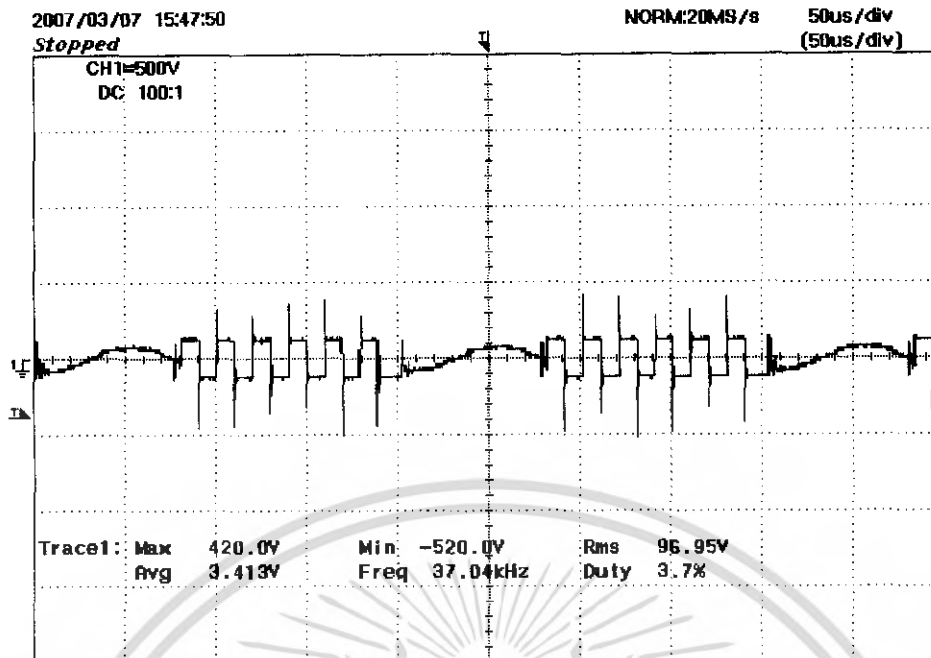
CH1 = 50mV/div 50us/div



รูปที่ 4-31 รูปคลื่นแรงดันด้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 5 ลูกคลื่น )

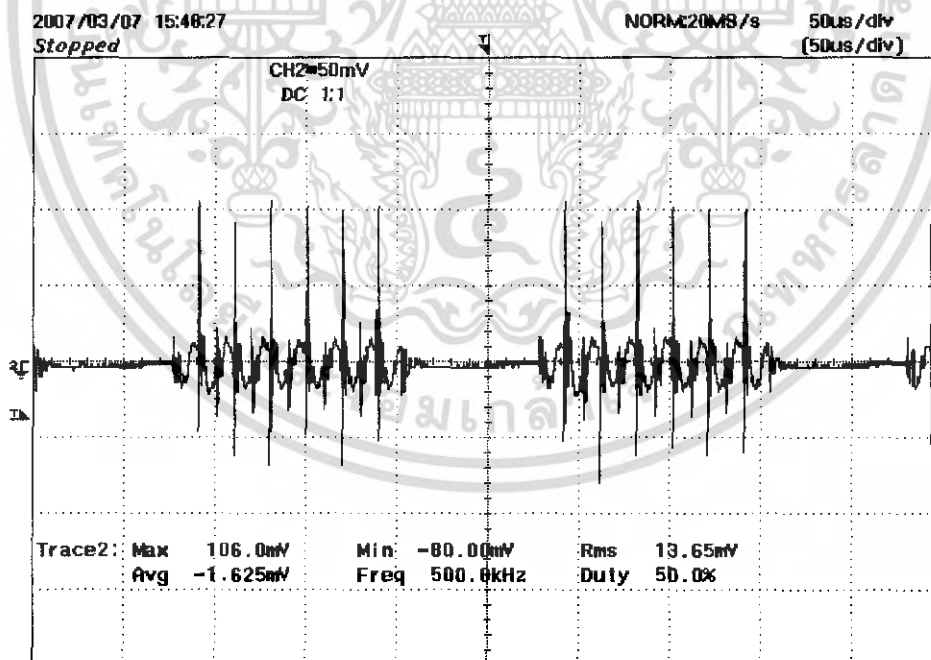
CH1 = 5000V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-32 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 6 ลูกคลื่น )

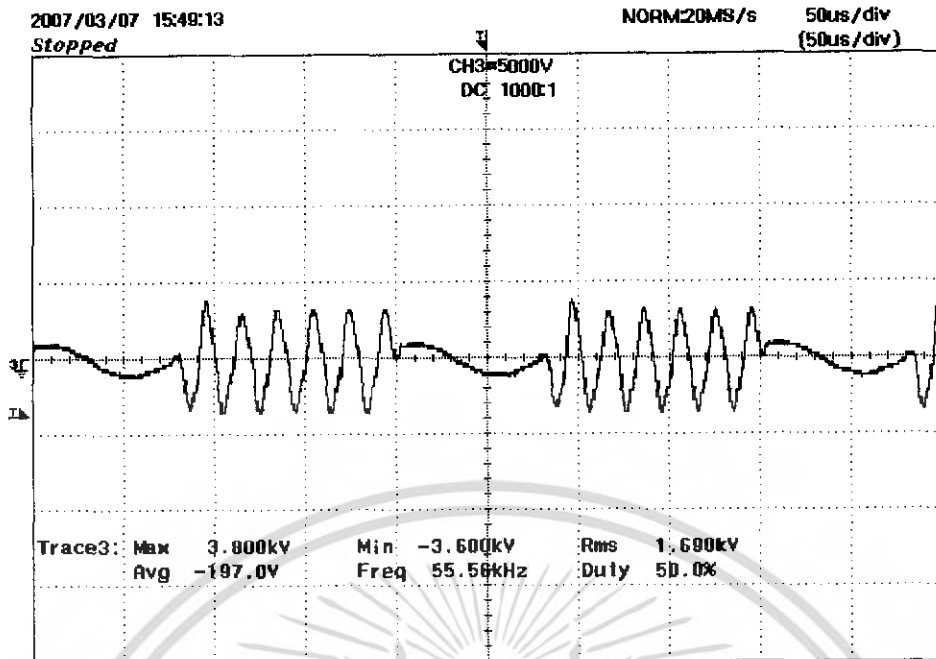
CH1 = 500V/div 50us/div



รูปที่ 4-33 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 6 ลูกคลื่น )

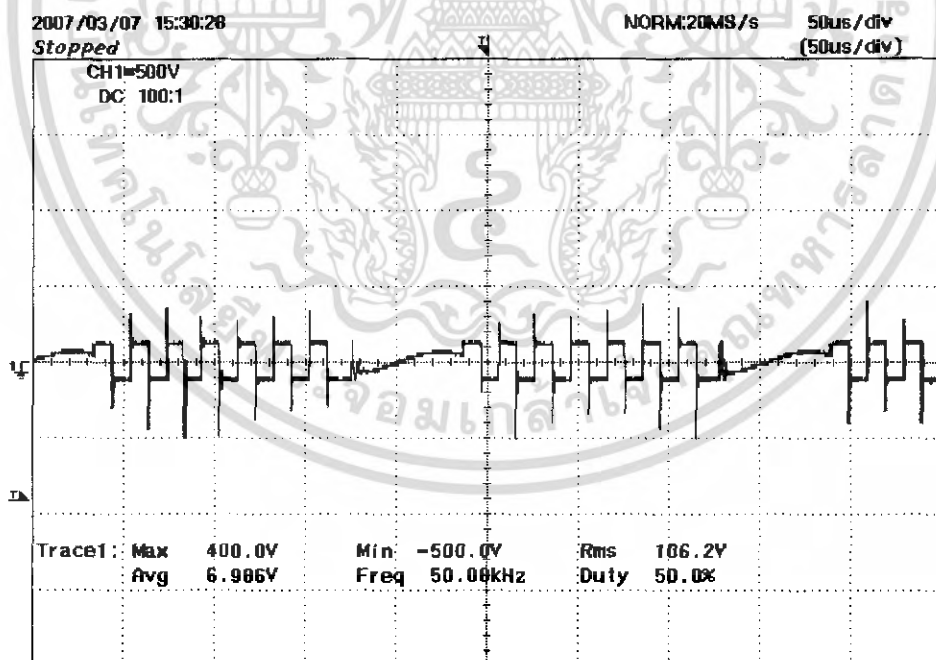
CH1 = 50mV/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-34 รูปคลื่นแรงดันต้านทานออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 6 ลูกคลื่น)

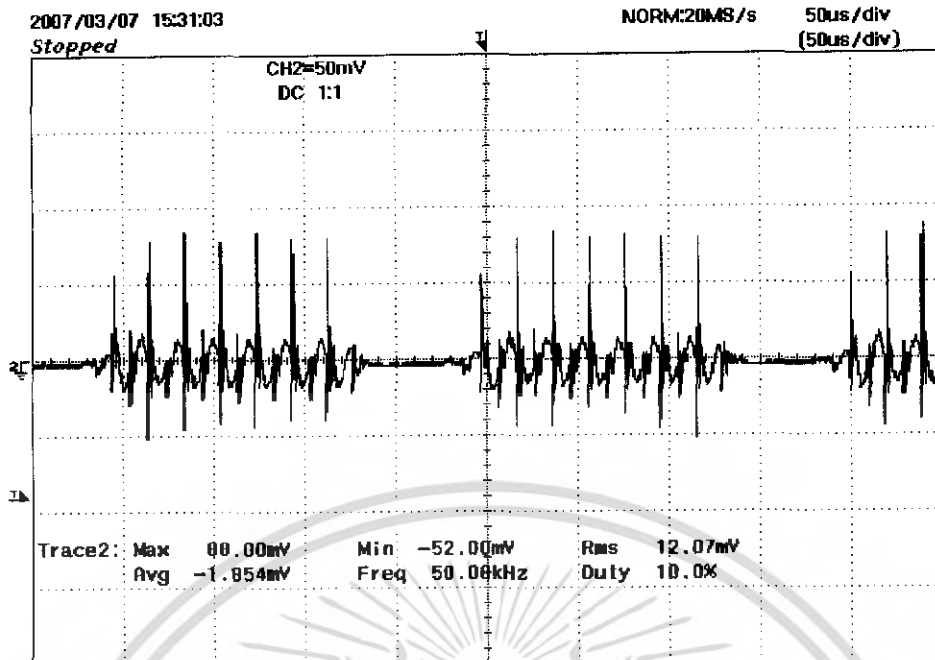
CH1 = 5000V/div 50us/div



รูปที่ 4-35 รูปคลื่นแรงดันต้านทานขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 7 ลูกคลื่น )

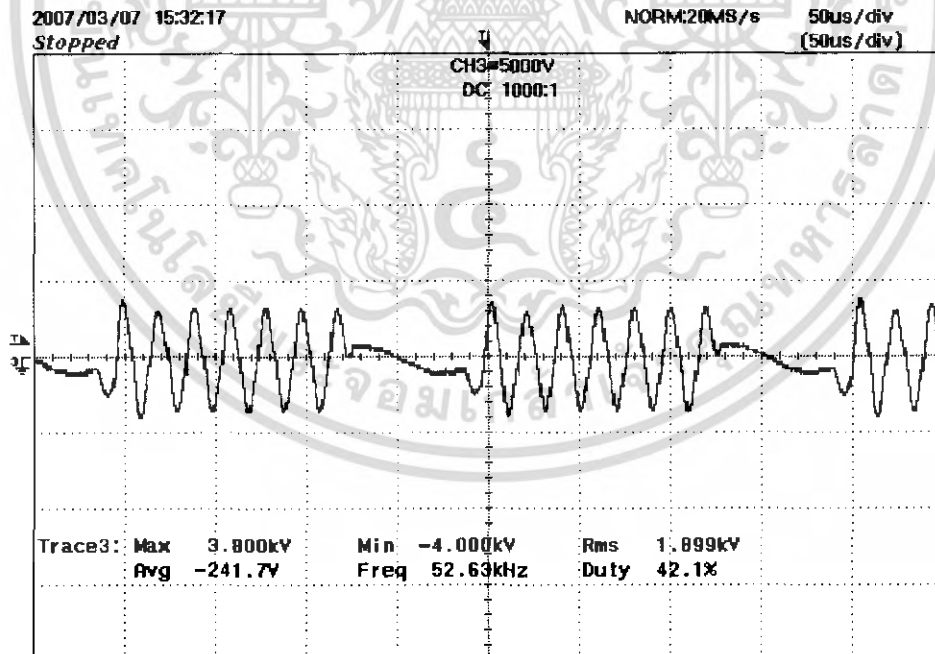
CH1 = 500V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-36 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 7 ลูกคลื่น )

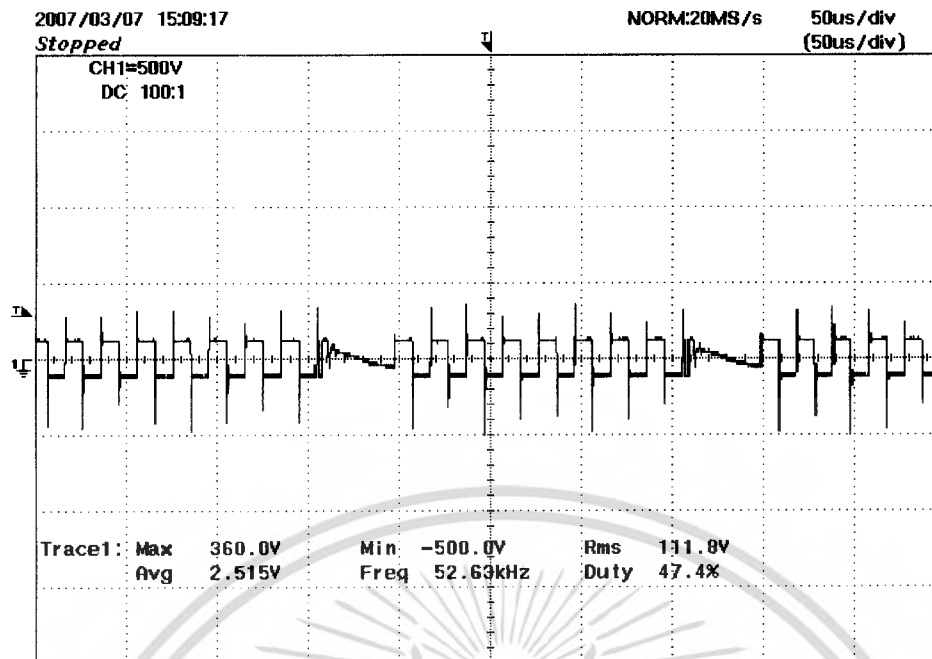
CH1 = 50mV/div 50us/div



รูปที่ 4-37 รูปคลื่นแรงดันต้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 7 ลูกคลื่น )

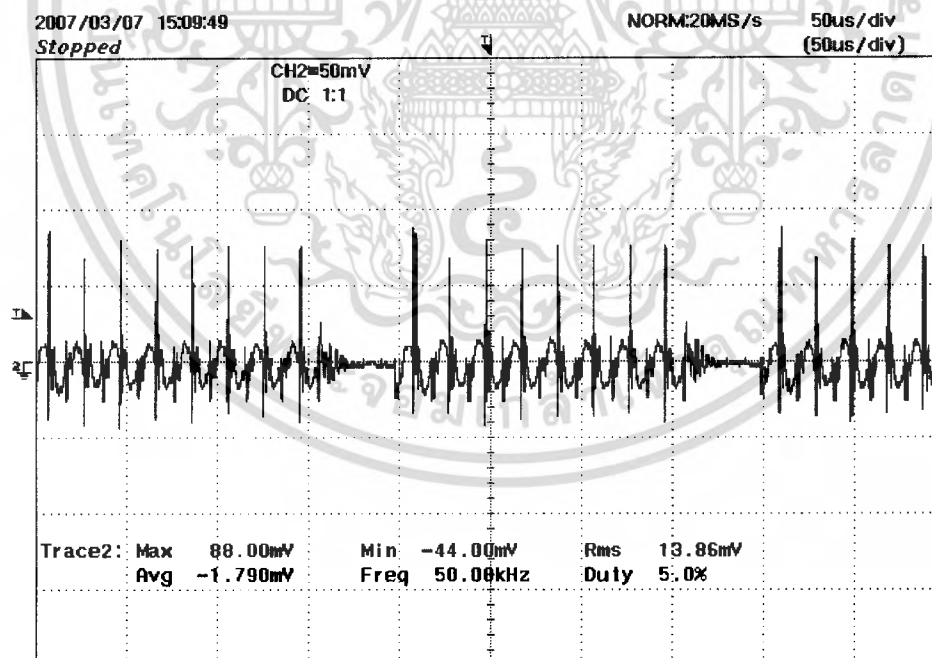
CH1 = 5000V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-38 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 8 ลูกคลื่น )

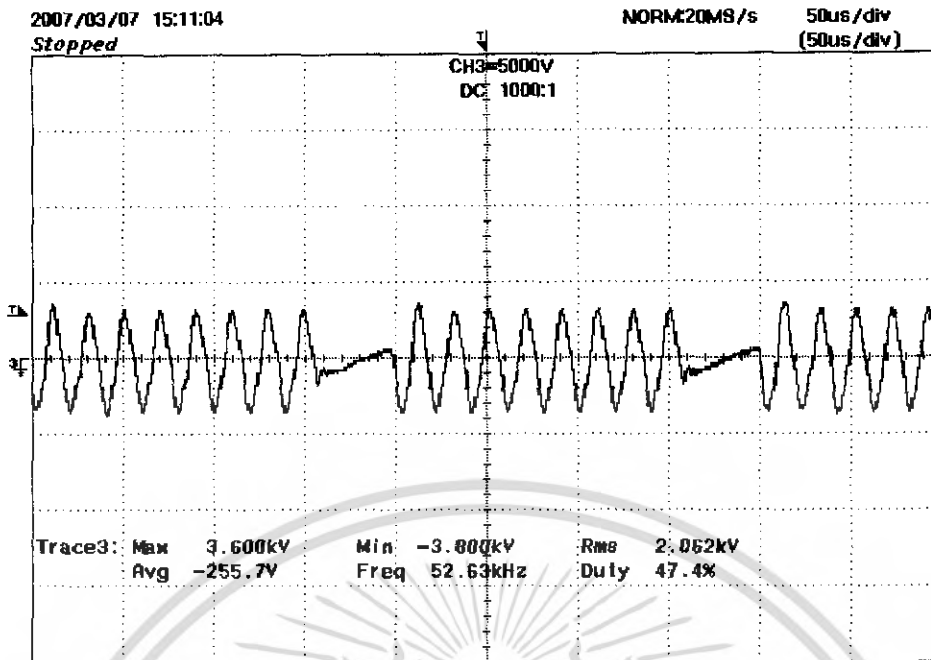
CH1 = 500V/div 50us/div



รูปที่ 4-39 รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 8 ลูกคลื่น )

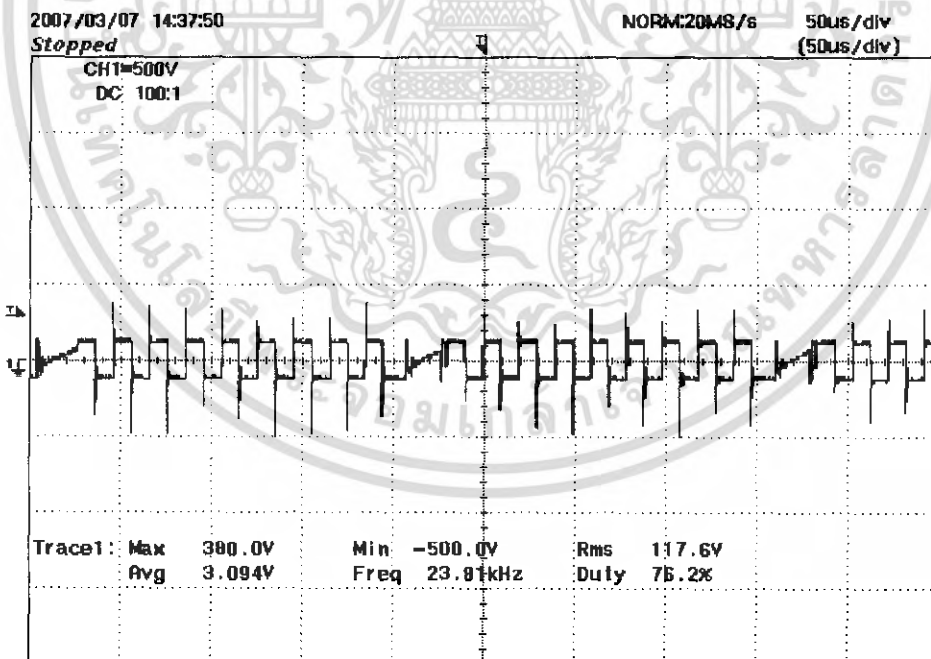
CH1 = 50mV/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-40 รูปคลื่นแรงดันต้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 8 ลูกคลื่น)

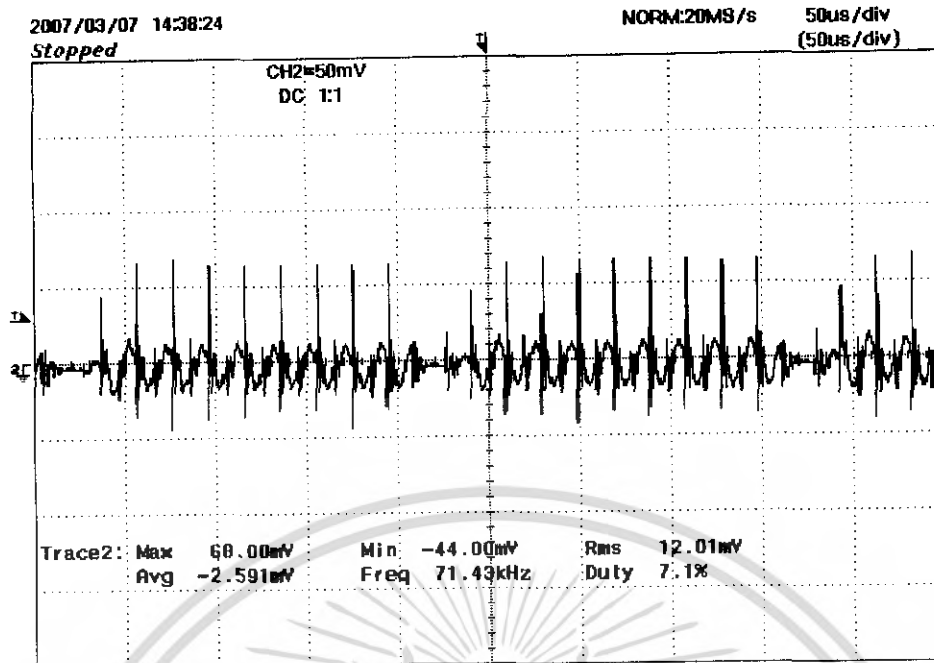
CH1 = 5000V/div 50us/div



รูปที่ 4-41 รูปคลื่นแรงดันต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 9 ลูกคลื่น )

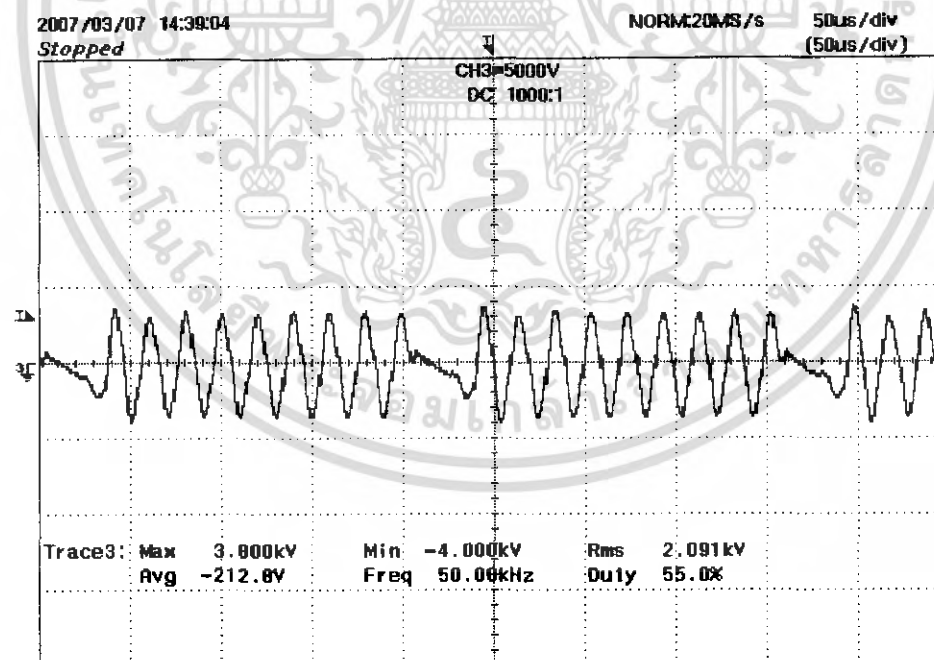
CH1 = 500V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-42 รูปคลื่นกระแสต้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 9 ลูกคลื่น )

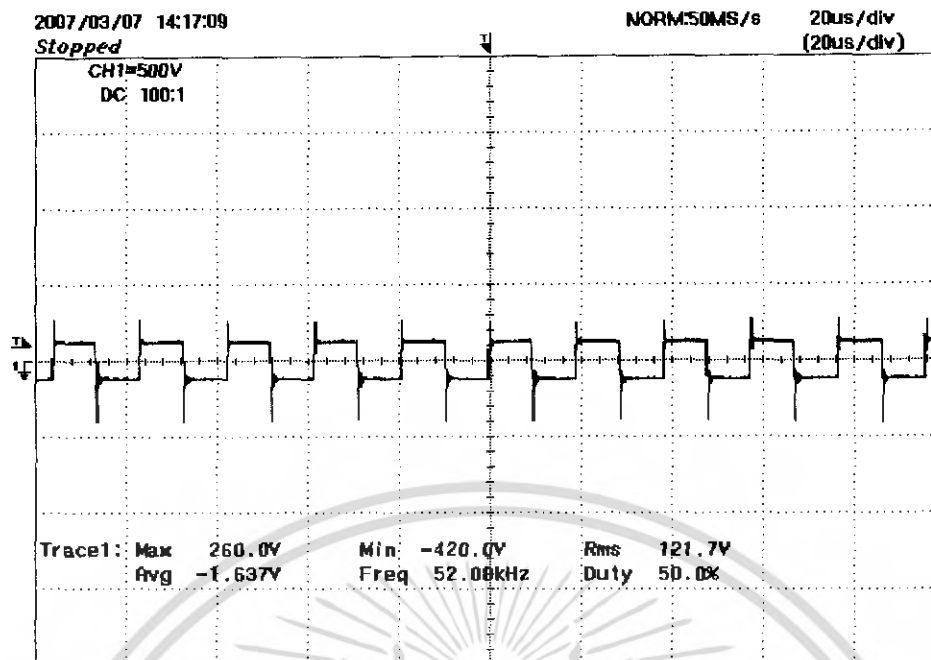
CH1 = 50mV/div 50us/div



รูปที่ 4-43 รูปคลื่นแรงดันต้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 9 ลูกคลื่น )

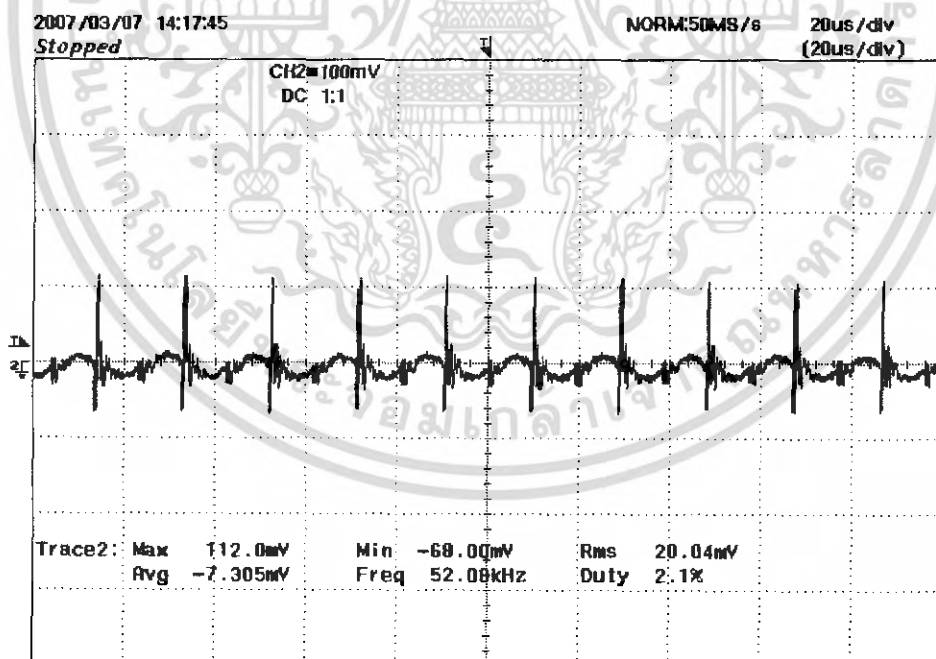
CH1 = 5000V/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-44 รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 10 ลูกคลื่น )

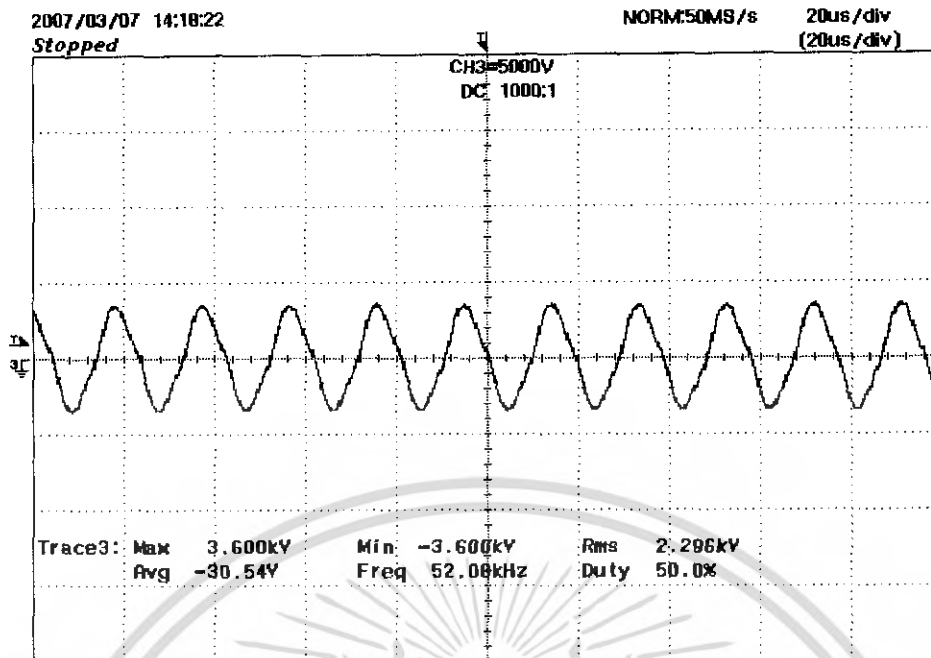
CH1 = 500V/div 50us/div



รูปที่ 4-45 รูปคลื่นกระแสด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ( 10 ลูกคลื่น )

CH1 = 100mV/div 50us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-46 รูปคลื่นแรงดันด้านออกจากหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง ( 10 ลูกคลื่น)

CH1 = 5000V/div 50us/div

#### 4.2 ทำการวัดปริมาณไอโซน

การตรวจวัดปริมาณไอโซนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีอัลตราไวโอแลตสเปกโตรเมทรีหรือการใช้เทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยในโครงการนี้จะใช้วิธีการทางเคมีซึ่งเรียกว่า วิธีไอโอดิเมทริก (Iodometric methods) โดยมีหลักการคือ ใช้สารละลายที่มีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไอโซนสูง เช่น สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ทำให้ได้สารใหม่เกิดขึ้น จากนั้นสามารถหาปริมาณไอโซนได้โดยกานาโคเตรดกับสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) หรือฟีนอลิกออกไซด์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณไอโซน

##### 1. สารเคมี

1.1 สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 2 % โดยน้ำหนัก โดยละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 20 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเก็บในขวดสีชา 1 คืนก่อนนำมาใช้

1.2 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1 นอร์มอล

1.3 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.10 นอร์มอล โดยละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 น้ำแข็งเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก โดยละลายแบ่ง 1 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร 6 ใบ

2.2 กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ

2.3 ปีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร 1 ใบ

2.4 ปีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร 1 อัน

2.5 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร 1 อัน

2.6 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร 2 อัน

2.7 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร 1 อัน

2.8 นาฬิกาจับเวลา 1 อัน

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณไอโชน

1 .ดูดซึมก๊าซไอโชน (Absorption) โดยผ่านก๊าซจากชุดทดลองลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีสารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์ บรรจุอยู่ 100 มิลลิลิตร

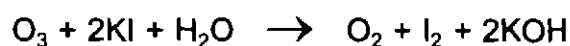
2 .ทำการไตเตรต (Titration) โดยนำสารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์ ที่ได้จากข้อ 1 (สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองหรือสีส้ม) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เพื่อปรับค่า pH จากนั้นนำไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสีเหลืองค่อย ๆ จางหายไป (แสดงว่าใกล้ถึงจุดยุติแล้ว) เติมน้ำแข็ง 1 มิลลิลิตร (เป็นอินดิเคเตอร์) สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงินแต่จะสังเกตค่อนข้างยากมาก ทำการไตเตรตต่อจนสีน้ำเงินค่อยจางหายไป บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไอโชนต่อไป

หมายเหตุ กรณีที่ใช้อากาศผ่านกระบวนการแทนออกซิเจน ควรมีการทำ Blank test เพื่อหาปริมาณไอโชนที่แท้จริงโดยการพ่นอากาศผ่านลงในสารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์ 100 มิลลิลิตร นำไปเติมกรด เติมน้ำแข็ง และทำการไตเตรตหาปริมาณไอโชนที่มีอยู่ในอากาศ

การคำนวณหาปริมาณไอโชนที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

1 . การดูดซึมไอโชนโดยใช้สารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์



2. การไตเตรตโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์

มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาปริมาณไอโชนได้จากความสัมพันธ์

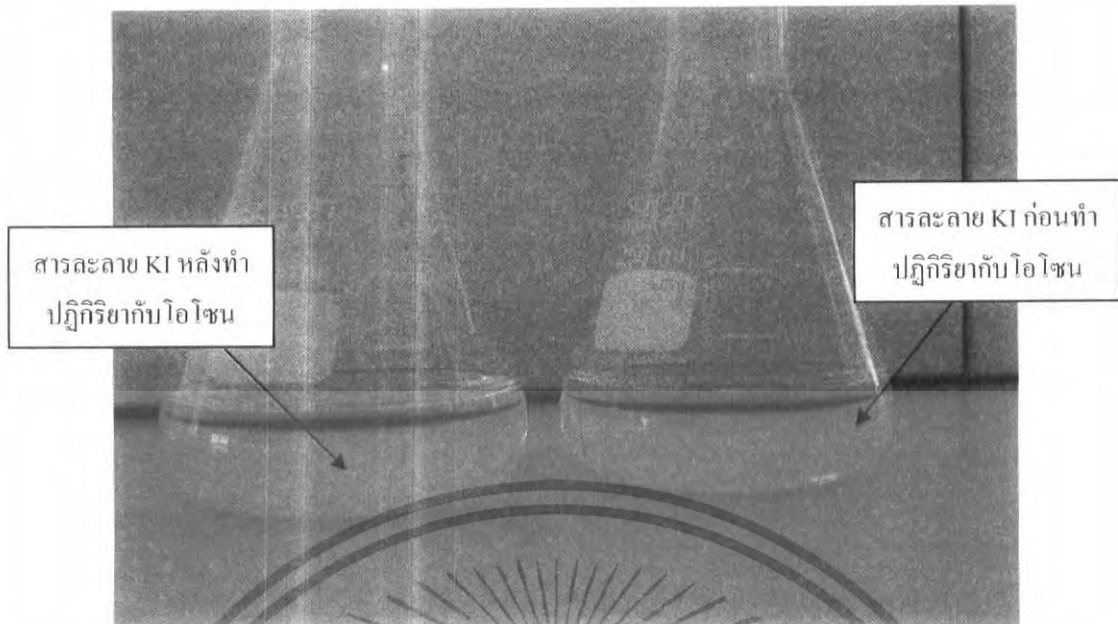
$$\text{ปริมาณไอโชน(มิลลิกรัม)} = 24 * \text{ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)}$$



รูปที่ 4-47 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับตรวจวัดปริมาณไอโชนด้วยวิธีไอโอดิเมทริก

ตัวอย่างการคำนวณ เช่นกรณีที่ใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตในการไตเตรตปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการฟนไอโชนลงในสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์เป็น 5 นาที คือ ปริมาณก๊าซไอโชนที่ได้ =  $24 * 0.05 * 60 / 5 = 14.4 \text{ mg/hr}$  เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

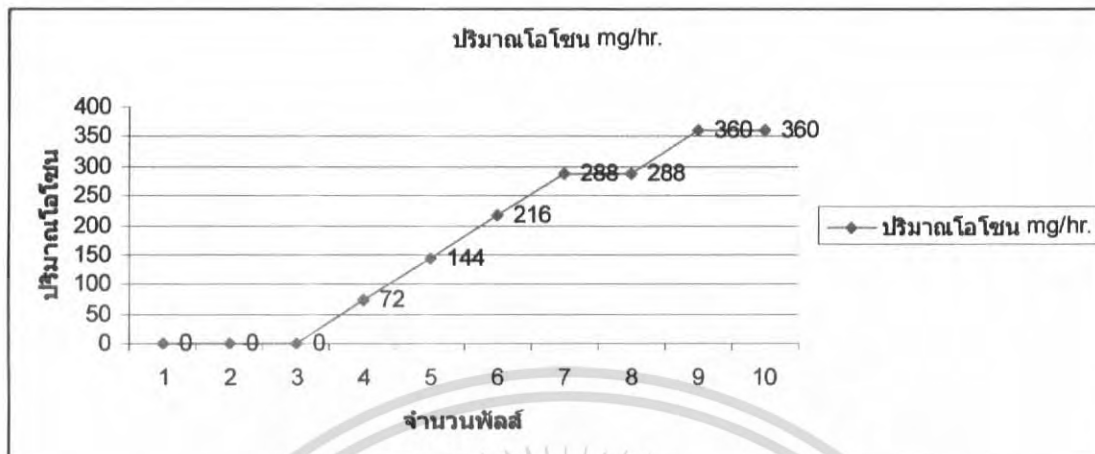


รูปที่ 4-48 สีของสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับโอโซน

4.2.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซนที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุทต่างๆ โดยกำหนดให้ความถี่มีค่าคงที่ที่ 50 kHz ซึ่งได้ปริมาณโอโซนดังแสดงในตาราง ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุทต่างๆ โดยอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากชุดอิเล็กโทรดเท่ากับ 10 ลิตรต่อนาที

| จำนวนพัลส์ | เวลาที่พบโอโซน<br>(นาที) | ปริมาตร KI<br>(ml) | ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$<br>(ml) | ปริมาณโอโซน<br>mg/hr. |
|------------|--------------------------|--------------------|---|-----------------------|
| 10         | 1                        | 100                | 0.25  | 360                   |
| 9          | 1                        | 100                | 0.25  | 360                   |
| 8          | 1                        | 100                | 0.20  | 288                   |
| 7          | 1                        | 100                | 0.20  | 288                   |
| 6          | 1                        | 100                | 0.15  | 216                   |
| 5          | 1                        | 100                | 0.10  | 144                   |
| 4          | 1                        | 100                | 0.05  | 72                    |
| 3          | 1                        | 100                | 0.00  | 0                     |
| 2          | 1                        | 100                | 0.00  | 0                     |
| 1          | 1                        | 100                | 0.00  | 0                     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันเอาท์พุทและปริมาณไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการที่ได้นำเอาทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูง มาใช้ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่สามารถทำให้ผลิตก๊าซไอโซนขึ้นมาได้ ซึ่งออกแบบลักษณะของชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์เป็นแบบทรงกระบอกแกนซ้อนร่วมมีฉนวน 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูง ทำให้ก๊าซไอโซนที่ออกมา ซึ่งชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์จะมีลักษณะ ดังรูป

5.1.2 ชุดสร้างความถี่สูงคือ ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ที่แปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณพัลส์เดรนซิติ ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อแปลงแรงดันสูง ในชุดสร้างความถี่สูงนี้ จะถูกออกแบบอยู่ที่ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ต

5.1.3 ในส่วนของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงนี้ จะออกแบบให้ทำงานที่พิกัด 4 - 6 กิโลโวลท์ และสามารถทำงานที่ความถี่พิกัด 50 กิโลเฮิร์ต

5.1.4 จากความสัมพันธ์ของรูปคลื่นแรงดันในแต่ละช่วงพบว่าเมื่อกำหนดให้มีรูปคลื่นลดลงจะทำให้การกำเนิดก๊าซไอโซนลดลงตามไปด้วย

#### 5.2 ปัญหาที่พบ

โครงการนี้มีปัญหาหลาย ๆ ด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานกำเนิดก๊าซไอโซน

5.2.1 การทำงานของหม้อแปลงที่แรงดันสูงความถี่สูง ค่า Ratio ประมาณ 21 ย่านการทำงาน 50 kHz ซึ่งการทำงานของหม้อแปลงนี้จะต้องออกแบบให้กระแสกับแรงดันสัมพันธ์กันซึ่งถ้าไม่สัมพันธ์กันจะทำให้เกิดความร้อนที่หม้อแปลงและจะส่งผลกระทบต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ได้.

5.2.2 ปัญหาของสัญญาณขับเนื่องจากการใช้ความถี่จากอุปกรณ์สองตัว จึงมีปัญหาการหารกันไม่ลงตัวทำให้สัญญาณ ทำให้สัญญาณมีการวิ่งไปวิ่งมาทำให้หม้อแปลงมีการสั่น เกิดเสียงดังเกิดความร้อน

5.2.3 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์เนื่องด้วยฉนวนแก้วมันเปราะและบางมาก เมื่อแรงดันสูงๆ จะทำให้ฉนวนแก้วเกิดการเบรกดาวน์ได้ง่ายขึ้น.

5.2.4 ปัญหาทางด้านการวัดปริมาณไอโซนเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีความละเอียดของสเกลที่ต่ำทำให้การทดสอบหาปริมาณไอโซนที่ทำการคำนวณหามีค่าที่ไม่ละเอียด

5.2.5 เนื่องด้วยก๊าซไอโซนที่ผลิตออกมานั้นมีค่าน้อย คาดว่าน่าจะเกิดจากแรงดันและอัตราการไหลของบีมาอากาศที่จ่ายเข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์รวมถึงความร้อนของชั้นอากาศด้วย

### 5.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนนั้นควรจะออกแบบให้เครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนสามารถผลิตก๊าซไอโซนให้มากขึ้น และควรมีการ Close loop จะทำให้ผลิตก๊าซไอโซนออกมา

ด้านชุดอิเล็กทรอนิกส์ควรทำให้สามารถระบายความร้อนให้แก่วงจรภายในของอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการผลิตก๊าซไอโซนได้มากขึ้น

ในส่วนของหม้อแปลงถ้าทำให้เป็นหม้อแปลงเรโซแนนซ์ได้ ก็จะทำให้การเกิดก๊าซไอโซนที่ผลิตออกมาได้มีปริมาณมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Muhammad H. Rashid , **Power Electronics** , Third edition, prentice Hall ,2004
- [2] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [3] G.Chryssis, **High-Frequency Switching Power Supplies**, Theory And Design, 2nd ED., McGraw-Hill Publishing Company, Inc., 1989,1984
- [4] สุวัฒน์ แซ่ตัน "สวิตชิง พาวเวอร์ซัพพลาย" 2538
- [5] พรพิมล รัตนวิเชียร " เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์" วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วศบ.สจล.,2543
- [6] สุพล รักประทุม " โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม" บริษัทชนนิยมจำกัด,2543
- [7] โกวิทย์ พันธุ์บัว,ชานาญ ตั้งสมบุญ,ปราณี ชีพพิงwana,ยศสันต์ ดิเรกศรี "เครื่องกำเนิดโอโซน" วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรม วศบ. สจล.,2545
- [8] ศุภฤกษ์ โชติพิพัฒน์วรกุล,อนันต์ ศรีสุก "เครื่องผลิตโอโซน" วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วศบ. สจล.,2545
- [9] วีระเชษฐ ชันเงิน,วุฒิพล ชาราชิรเศรษฐ์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง" วิ.เจ.พรินตัง,2548
- [10] สาร์วย สังข์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง",2547
- [11] ศศิโรตม์ เกตุแก้ว,วีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์ "การศึกษาผลของการเปลี่ยนความถี่สวิตชิงในฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ต่อปริมาณการผลิตก๊าซโอโซน"
- [12] พูนศรี วรรณการ,ประภาษ ไพรสุวรรณ,วิจิตร กิณเรศ "การออกแบบและวิเคราะห์สวิตช์โหลด เอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทางด้านอินพุตสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการควบคุมกระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง"
- [13] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ, สนพ.อินโฟเพรส, 2543
- [14] J.Marcos Alonso,Jesus Cardesin,Emilio Lopez Corominas,Manuel Rico-Secades,Jorge Garcia, IEEE, "Low-Power High-Voltage High-Frequency Power Supply for Ozone Generation"
- [15] M.Akbari,V.Zahedzadeh,S.Shirmohammadzadeh,J.Chitsaz,M.chitsaz "Efficeint Ozone Generator using Full-Bridge Inverter and its Performance Evaluation"
- [16] J.Marcos Alonso,A.J.Calleja,J.Ribas,M.Valdes "Analysis and design of a Low-Power High-Voltage High-Frequency Power Supply for Ozone Generation"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two traditional Thai lamps (Lampang) on stands. The entire design is set against a background of stylized floral and flame patterns. The Thai text around the border of the seal reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรียรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Prachonkhae Jao Kun Thara Ladkrabang) at the bottom.

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการวัดปริมาณก๊าซโอโซน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองผลการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง..... 14 กุมภาพันธ์ 2550 .....

ผู้ทำการทดลอง..... ไทวาทะ ชาติวณิช .....

ผลการทดลอง

| จำนวนพลาสต์ | เวลาที่พ่นไอโซน<br>(นาที) | ปริมาตร KI<br>(ml) | ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$<br>(ml) |
|-------------|---------------------------|--------------------|---|
| 10          | 1                         | 100                | 0.25  |
| 9           | 1                         | 100                | 0.25  |
| 8           | 1                         | 100                | 0.20  |
| 7           | 1                         | 100                | 0.20  |
| 6           | 1                         | 100                | 0.15  |
| 5           | 1                         | 100                | 0.10  |
| 4           | 1                         | 100                | 0.05  |
| 3           | 1                         | 100                | 0.00  |
| 2           | 1                         | 100                | 0.00  |
| 1           | 1                         | 100                | 0.00  |

.....  
(.....)

เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ข**  
**ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ**  
**เครื่องผลิตก๊าซไอโซน ความถี่สูง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP250(INV)

**TRANSISTOR INVERTER  
INVERTERS FOR AIR CONDITIONER  
IGBT GATE DRIVE  
POWER MOS FET GATE DRIVE**

The TOSHIBA TLP250(INV) consists of a GaAIAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
This unit is 8-lead DIP.  
TLP250(INV) is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current :  $I_F=5\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Current( $I_{CC}$ ) :  $11\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Voltage( $V_{CC}$ ) :  $10\sim 35\text{V}$
- Output Current( $I_O$ ) :  $\pm 2.0\text{A}(\text{MAX})$
- Switching Time( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ) :  $0.5\mu\text{s}(\text{MAX})$
- Isolation Voltage :  $2500\text{V}_{\text{rms}}$
- UL Recognized : UL1577,File No.E67349
- Option(D4)

VDE Approved : DIN VDE0884/06.92 Certificate No.76823  
Maximum Operating Insulation Voltage :  $630\text{V}_{\text{PK}}$   
Highest Permissible Over Voltage :  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

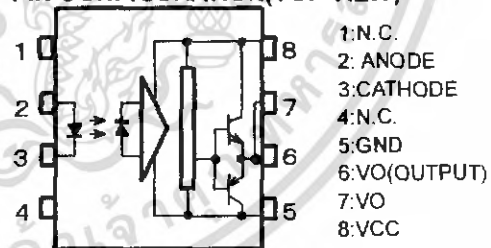
**(Note):**When a VDE0884 approved type is needed,  
Please designate the "Option(D4)"

- Creepage Distance :  $6.4\text{mm}(\text{MIN})$
- Clearance :  $6.4\text{mm}(\text{MIN})$

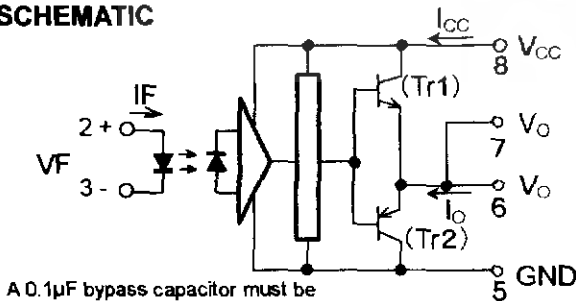
**TRUTH TABLE**

|           |     |      |      |
|-----------|-----|------|------|
|           |     | Tr 1 | Tr 2 |
| INPUT LED | ON  | ON   | OFF  |
|           | OFF | OFF  | ON   |

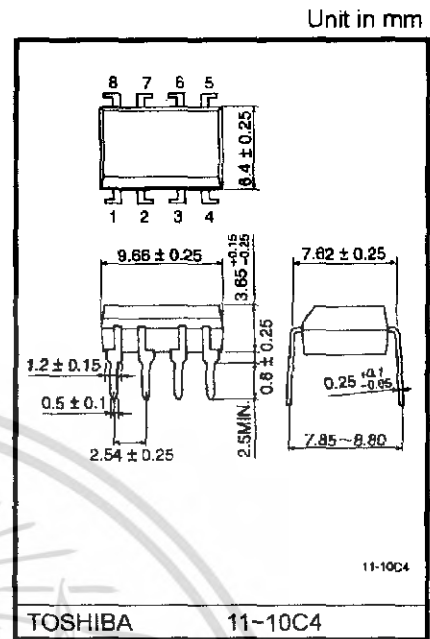
**PIN CONFIGURATION(TOP VIEW)**



**SCHEMATIC**



A 0.1 $\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5(See Note 5).



TOSHIBA 11-10C4  
Weight: 0.54 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

| CHARACTERISTIC  |   | SYMBOL                    | RATING                       | UNIT    |        |
|---|---|---------------------------|------------------------------|---------|--------|
| LED   | Forward Current                         | $I_F$                     | 20                           | mA      |        |
|   | Forward Current Derating (Ta≥70°C)      | $\Delta I_F / \Delta T_a$ | -0.36                        | mA / °C |        |
|   | Peak Transient Forward Current (Note 1) | $I_{FPT}$                 | 1                            | A       |        |
|   | Reverse Voltage                         | $V_R$                     | 5                            | V       |        |
|   | Junction Temperature                    | $T_J$                     | 125                          | °C      |        |
| DETECTOR  | "H" Peak Output Current                 | (Note 2)                  | PW ≤ 2.5μs, fs 15 kHz        | -1.5    | A      |
|   |   |                           | PW ≤ 1.0μs, fs 15 kHz        | -2.0    |        |
|   | "L" Peak Output Current                 | (Note 2)                  | PW ≤ 2.5μs, fs 15 kHz        | +1.5    | A      |
|   |   |                           | PW ≤ 1.0μs, fs 15 kHz        | +2.0    |        |
|   | Output Voltage                          | (Ta ≤ 70°C)               | $V_O$                        | 35      | V      |
|   |   | (Ta = 85°C)               |                              | 24      |        |
|   | Supply Voltage                          | (Ta ≤ 70°C)               | $V_{CC}$                     | 35      | V      |
|   |   | (Ta = 85°C)               |                              | 24      |        |
|   | Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)     |                           | $\Delta V_O / \Delta T_a$    | -0.73   | V / °C |
|   | Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)     |                           | $\Delta V_{CC} / \Delta T_a$ | -0.73   | V / °C |
| Junction Temperature  |   | $T_J$                     | 125                          | °C      |        |
| Operating Frequency (Note 3)                                |   | f                         | 25                           | kHz     |        |
| Operating Temperature Range                                 |   | $T_{opr}$                 | -20~85                       | °C      |        |
| Storage Temperature Range                                   |   | $T_{stg}$                 | -55~125                      | °C      |        |
| Lead Soldering Temperature(10s)                             |   | $T_{scl}$                 | 260                          | °C      |        |
| Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%, Ta=25°C) (Note 4) |   | $BV_S$                    | 2500                         | Vrms    |        |

(Note 1) : Pulse width  $PW \leq 1\mu s, 300pps$

(Note 2) : Exponential Waveform

(Note 3) : Exponential Waveform  $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s), I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(Note 4) : Device considered a two terminal device : pins 1,2,3 and 4 shorted together and pins 5,6,7 and 8 shorted together.

(Note 5) : A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

| CHARACTERISTIC        | SYMBOL              | MIN | TYP | MAX  | UNIT |    |
|-----------------------|---------------------|-----|-----|------|------|----|
| Input Current, ON     | $I_{F(ON)}$         | 7   | 8   | 10   | mA   |    |
| Input Voltage, OFF    | $V_{F(OFF)}$        | 0   | —   | 0.8  | V    |    |
| Supply Voltage        | $V_{CC}$            | 15  | —   | 30   | 20   | V  |
| Peak Output Current   | $I_{OPH} / I_{OPL}$ | —   | —   | ±0.5 | A    |    |
| Operating Temperature | $T_{opr}$           | -20 | 25  | 70   | 85   | °C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

| CHARACTERISTIC                             |           | SYMBOL               | TEST CIRCUIT | TEST CONDITION  | MIN  | TYP.   | MAX   | UNIT  |    |
|--|-----------|----------------------|--------------|---|--|--|-------|-------|----|
| Input Forward Voltage                      |           | V <sub>F</sub>       | —            | I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C   | —  | 1.6  | 1.8   | V     |    |
| Temperature Coefficient of Forward Voltage |           | ΔV <sub>F</sub> /ΔTa | —            | I <sub>F</sub> = 10 mA  | —  | -2.0   | —     | mV/°C |    |
| Input Reverse Current                      |           | I <sub>R</sub>       | —            | V <sub>R</sub> = 5 V, Ta = 25°C   | —  | —  | 10    | μA    |    |
| Input Capacitance                          |           | C <sub>T</sub>       | —            | V = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C   | —  | 45   | 250   | pF    |    |
| Output Current                             | "H" Level | I <sub>OPH</sub>     | 2            | V <sub>CC</sub> = 30 V<br>(*1)  | I <sub>F</sub> = 10 mA<br>V <sub>0.6</sub> = 4 V | -1.0   | -1.5  | —     | A  |
|  | "L" Level | I <sub>OPL</sub>     | 1            |   |  | I <sub>F</sub> = 0<br>V <sub>0.5</sub> = 2.5 V | 1.0   | 2     |    |
| Output Voltage                             | "H" Level | V <sub>OH</sub>      | 3            | V <sub>CC1</sub> = +15 V<br>V <sub>EE1</sub> = -15 V<br>R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5 mA  | 11   | 12.8   | —     | V     |    |
|  | "L" Level | V <sub>OL</sub>      | 4            | V <sub>CC1</sub> = +15 V<br>V <sub>EE1</sub> = -15 V<br>R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8 V | —  | -14.2  | -12.5 |       |    |
| Supply Current                             | "H" Level | I <sub>CCH</sub>     | —            | V <sub>CC</sub> = 30 V  | I <sub>F</sub> = 10 mA<br>Ta = 25°C              | —  | 7     | —     | mA |
|  |           |                      |              |   | I <sub>F</sub> = 10 mA                           | —  | —     | 11    |    |
|  | "L" Level | I <sub>CCL</sub>     | —            |   | I <sub>F</sub> = 0 mA<br>Ta = 25°C               | —  | 7.5   | —     | mA |
|  |           |                      |              |   | I <sub>F</sub> = 0 mA                            | —  | —     | 11    |    |
| Threshold Input Current                    | L → H     | I <sub>FLH</sub>     | —            | V <sub>CC1</sub> = +15 V<br>V <sub>EE1</sub> = -15 V<br>R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V    | —  | 1.2  | 5     | mA    |    |
| Threshold Input Voltage                    | H → L     | V <sub>FHL</sub>     | —            | V <sub>CC1</sub> = +15 V<br>V <sub>EE1</sub> = -15 V<br>R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V    | 0.8  | —  | —     | V     |    |
| Supply Voltage                             |           | V <sub>CC</sub>      | —            | —   | 10   | —  | 35    | V     |    |
| Capacitance (Input-Output)                 |           | C <sub>S</sub>       | —            | V <sub>S</sub> = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C  | —  | 1.0  | 2.0   | pF    |    |
| Resistance (Input-Output)                  |           | R <sub>S</sub>       | —            | V <sub>S</sub> = 500 V, Ta = 25°C<br>R.H. ≤ 60%   | 1×10 <sup>12</sup>                               | 10 <sup>14</sup>                               | —     | Ω     |    |

(\*) : All typical values are at Ta=25°C

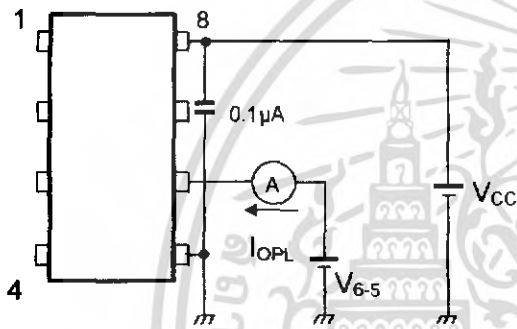
(\*1) : Duration of IO time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

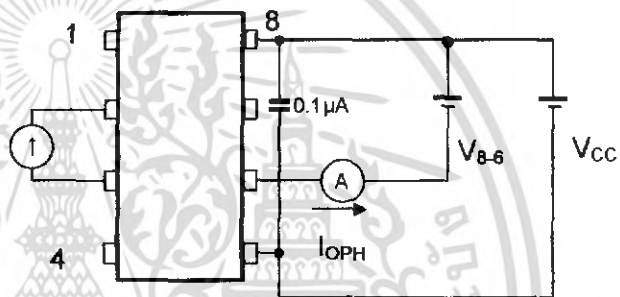
**SWITCHING CHARACTERISTICS** ( $T_a = -20\sim 70^\circ\text{C}$ , Unless otherwise specified)

| CHARACTERISTIC                                      |     | SYMBOL                | TEST CIRCUIT | TEST CONDITION  | MIN    | TYP. | MAX  | UNIT                   |  |
|---|-----|-----------------------|--------------|---|--------|------|------|------------------------|--|
| Propagation Delay Time                              | L→H | $t_{PLH}$             | 5            | $I_F = 8\text{ mA}$ ,<br>$V_{CC} = 15\text{ V}$<br>$R_L = 20\Omega$ , $C_L = 10\text{ nF}$          | 0.05   | 0.15 | 0.5  | $\mu\text{s}$          |  |
|   | H→L | $t_{PHL}$             |              |   | 0.05   | 0.15 | 0.5  |                        |  |
| Switching Time Dispersion between ON and OFF        |     | $ t_{PHL} - t_{PLH} $ |              |   | —      | —    | 0.45 |                        |  |
| Output Rise Time                                    |     | $t_r$                 |              |   | —      | —    | —    |                        |  |
| Output Fall Time                                    |     | $t_f$                 |              |   | —      | —    | —    |                        |  |
| Common Mode Transient Immunity at High Level Output |     | $CM_H$                | 6            | $V_{CM} = 1000\text{ V}$ , $I_F = 8\text{ mA}$<br>$V_{CC} = 30\text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$ | -15000 | —    | —    | $\text{V}/\mu\text{s}$ |  |
| Common Mode Transient Immunity at Low Level Output  |     | $CM_L$                |              |   | 15000  | —    | —    | $\text{V}/\mu\text{s}$ |  |

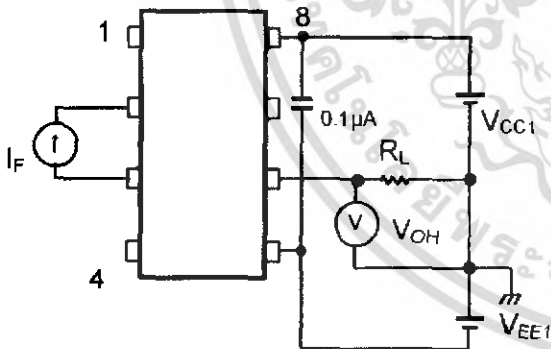
**Fig.1  $I_{OPL}$  TEST CIRCUIT**



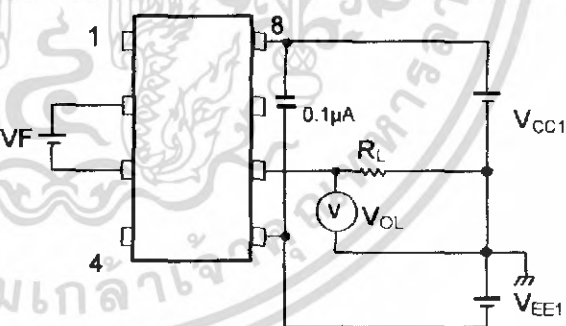
**Fig.2  $I_{OPH}$  TEST CIRCUIT**



**Fig.3  $V_{OH}$  TEST CIRCUIT**



**Fig.4  $V_{OL}$  TEST CIRCUIT**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig.5 tpLH, tpHL, tr, tf TEST CIRCUIT

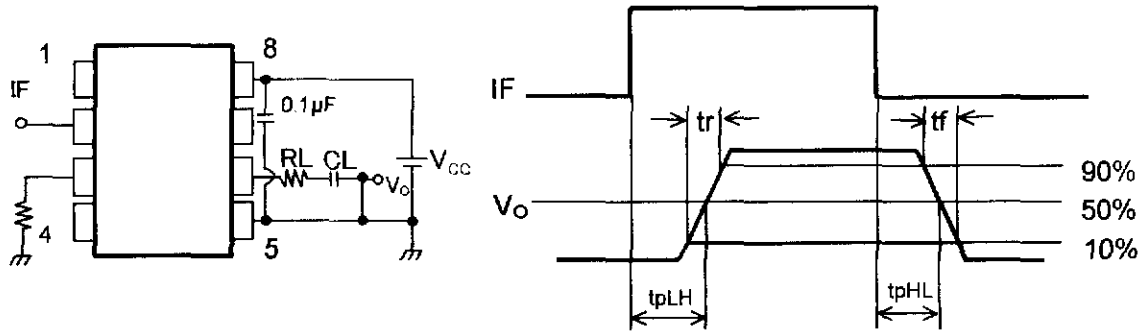
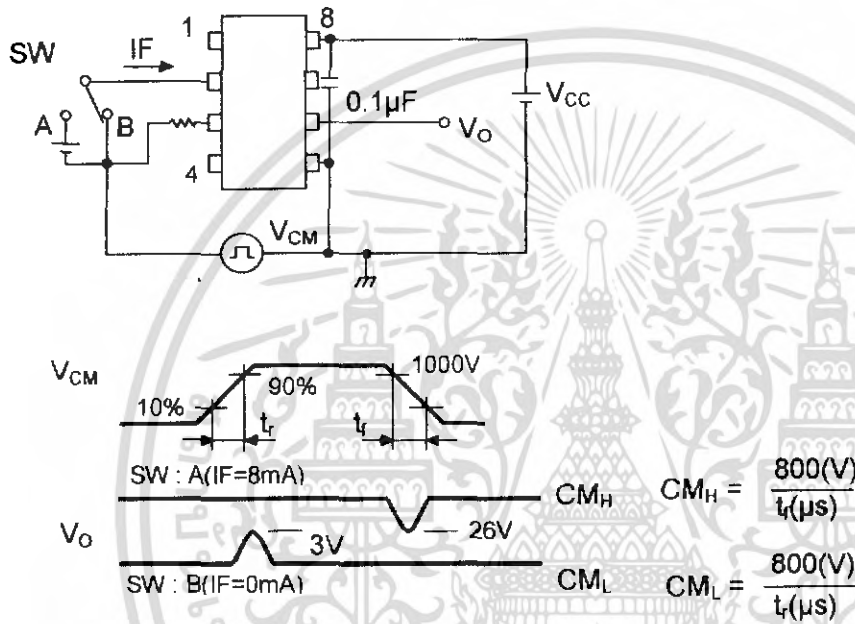


Fig.6 CMH, CML TEST CIRCUIT



CMH(CML) is the maximum rate of rise(fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low(high)state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.  
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET**

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

**Ordering Information**

| PART NUMBER | PACKAGE  | BRAND  |
|-------------|----------|--------|
| IRF510      | TO-220AB | IRF510 |

NOTE: When ordering, include the entire part number.

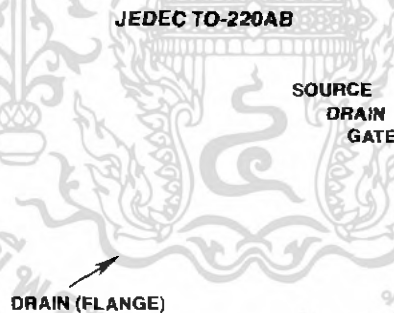
**Features**

- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Symbol**



**Packaging**



# IRF510

## Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

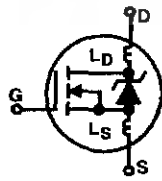
|   | IRF510         | UNITS                       |
|---|----------------|-----------------------------|
| Drain to Source Voltage (Note 1) .....                        | $V_{DS}$       | 100 V                       |
| Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (Note 1) ..... | $V_{DGR}$      | 100 V                       |
| Continuous Drain Current .....                                | $I_D$          | 5.6 A                       |
| $T_C = 100^\circ\text{C}$ .....                               | $I_D$          | 4 A                         |
| Pulsed Drain Current (Note 3) .....                           | $I_{DM}$       | 20 A                        |
| Gate to Source Voltage .....                                  | $V_{GS}$       | $\pm 20$ V                  |
| Maximum Power Dissipation .....                               | $P_D$          | 43 W                        |
| Linear Derating Factor .....                                  |                | 0.29 W/ $^\circ\text{C}$    |
| Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) .....           | $E_{AS}$       | 19 mJ                       |
| Operating and Storage Temperature Range .....                 | $T_J, T_{STG}$ | -55 to 175 $^\circ\text{C}$ |
| Maximum Temperature for Soldering                             |                |                             |
| Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s .....              | $T_L$          | 300 $^\circ\text{C}$        |
| Package Body for 10s, See Techbrief 334 .....                 | $T_{pk}$       | 260 $^\circ\text{C}$        |

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $150^\circ\text{C}$ .

## Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

| PARAMETER  | SYMBOL          | TEST CONDITIONS   | MIN   | TYP | MAX       | UNITS              |    |
|--|-----------------|---|---|-----|-----------|--------------------|----|
| Drain to Source Breakdown Voltage                  | $BV_{DSS}$      | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ , (Figure 10)   | 100   | -   | -         | V                  |    |
| Gate to Threshold Voltage                          | $V_{GS(TH)}$    | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$   | 2.0   | -   | 4.0       | V                  |    |
| Zero-Gate Voltage Drain Current                    | $I_{DSS}$       | $V_{DS} = 95V, V_{GS} = 0V$   | -   | -   | 25        | $\mu A$            |    |
|  |                 | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$                          | -   | -   | 250       | $\mu A$            |    |
| On-State Drain Current (Note 2)                    | $I_{D(ON)}$     | $V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$ (Figure 7)  | 5.6   | -   | -         | A                  |    |
| Gate to Source Leakage Current                     | $I_{GSS}$       | $V_{GS} = \pm 20V$  | -   | -   | $\pm 100$ | nA                 |    |
| Drain to Source On Resistance (Note 2)             | $r_{DS(ON)}$    | $V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$ (Figures 8, 9)   | -   | 0.4 | 0.54      | $\Omega$           |    |
| Forward Transconductance (Note 2)                  | $g_{fs}$        | $V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A$ (Figure 12)  | 1.3   | 2.0 | -         | S                  |    |
| Turn-On Delay Time                                 | $t_{d(ON)}$     | $I_D = 5.6A, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50V, R_L = 9\Omega,$<br>$V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V$               | -   | 8   | 12        | ns                 |    |
| Rise Time  | $t_r$           | MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature                                 | -   | 25  | 63        | ns                 |    |
| Turn-Off Delay Time                                | $t_{d(OFF)}$    |   | -   | 15  | 7         | ns                 |    |
| Fall Time  | $t_f$           |   | -   | 12  | 59        | ns                 |    |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain) | $Q_g(TOT)$      | $V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS},$<br>$I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14) | -   | 5.0 | 30        | nC                 |    |
| Gate to Source Charge                              | $Q_{gs}$        | Gate charge is essentially independent of operating temperature.  | -   | 2.0 | -         | nC                 |    |
| Gate to Drain "Miller" Charge                      | $Q_{gd}$        |   | -   | 3.0 | -         | nC                 |    |
| Input Capacitance                                  | $C_{ISS}$       | $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)   | -   | 135 | -         | pF                 |    |
| Output Capacitance                                 | $C_{OSS}$       |   | -   | 80  | -         | pF                 |    |
| Reverse-Transfer Capacitance                       | $C_{RSS}$       |   | -   | 20  | -         | pF                 |    |
| Internal Drain Inductance                          | $L_D$           | Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die   | Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances<br> | -   | 3.5       | -                  | nH |
|  |                 | Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die                                    |   | -   | 4.5       | -                  | nH |
| Internal Source Inductance                         | $L_S$           | Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad                               |   | -   | 7.5       | -                  | nH |
| Junction to Case                                   | $R_{\theta JC}$ |   | -   | -   | 3.5       | $^\circ\text{C/W}$ |    |
| Junction to Ambient                                | $R_{\theta JA}$ | Free air operation  | -   | -   | 60        | $^\circ\text{C/W}$ |    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source to Drain Diode Specifications

| PARAMETER                              | SYMBOL    | Test Conditions  | MIN  | TYP | MAX  | UNITS         |
|--|-----------|--|------|-----|------|---------------|
| Continuous Source to Drain Current     | $I_{SD}$  | Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode                     | -    | -   | 5.6  | A             |
| Pulse Source to Drain Current (Note 3) | $I_{SDM}$ |  | -    | -   | 20   | A             |
| Source to Drain Diode Voltage (Note 2) | $V_{SD}$  | $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 5.6\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)       | -    | -   | 2.5  | V             |
| Reverse Recovery Time                  | $t_{rr}$  | $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 5.6\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | 4.6  | 96  | 200  | ns            |
| Reverse Recovered Charge               | $Q_{RR}$  | $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 5.6\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | 0.17 | 0.4 | 0.83 | $\mu\text{C}$ |

NOTES:

- Pulse test: pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .
- Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
- $V_{DD} = 25\text{V}$ , start  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 910\mu\text{H}$ ,  $R_G = 25\Omega$ , peak  $I_{AS} = 5.6\text{A}$ .

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

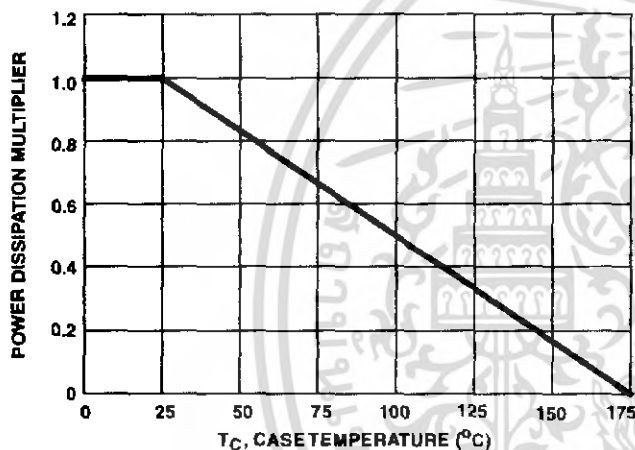


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

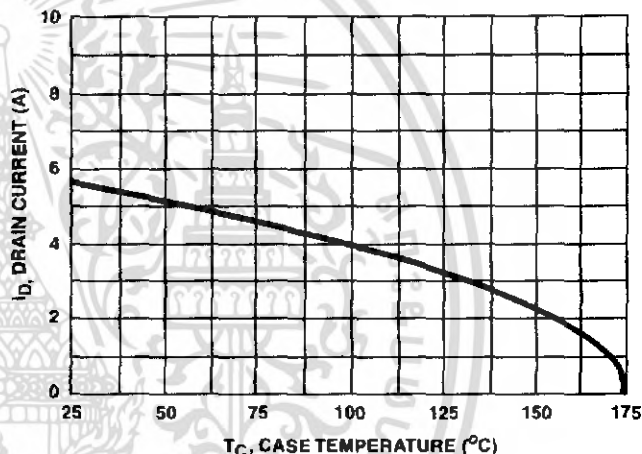


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

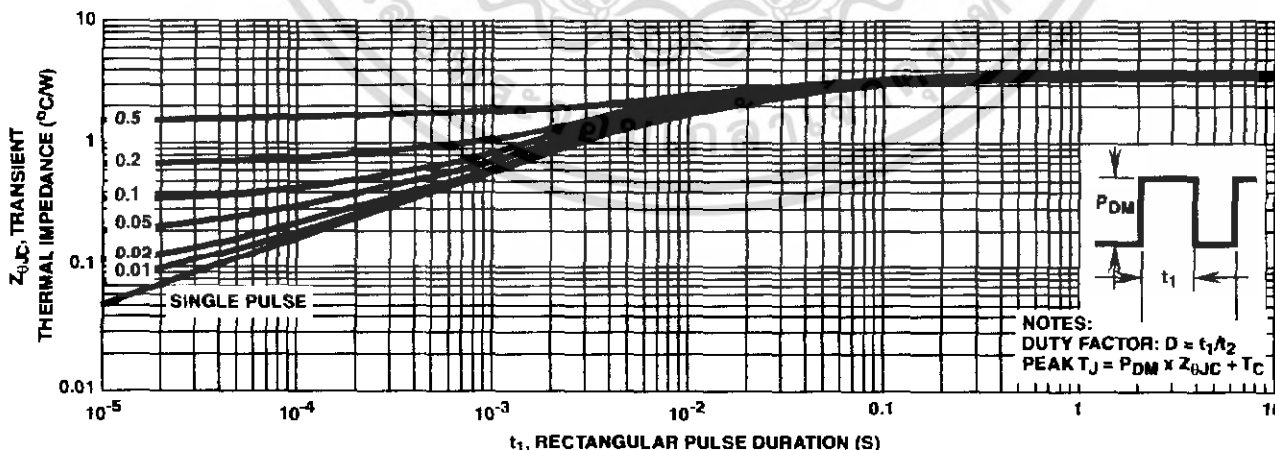


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

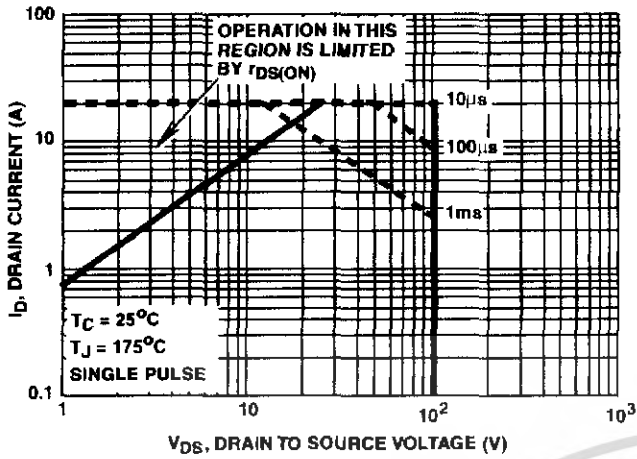


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

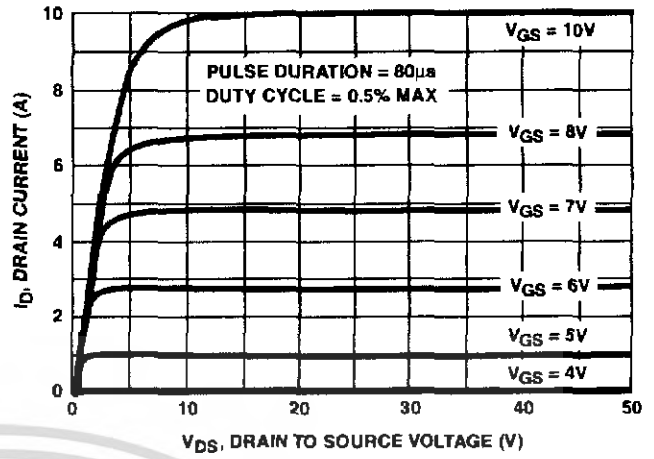


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

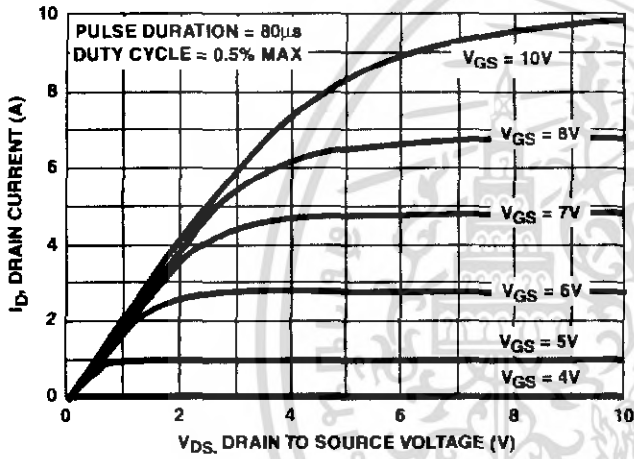


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

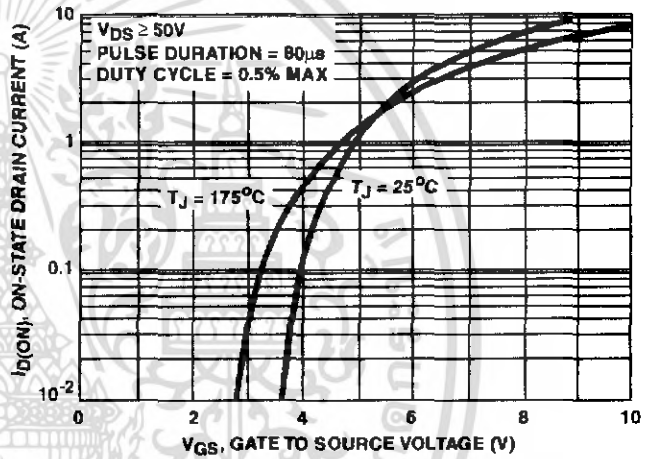


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

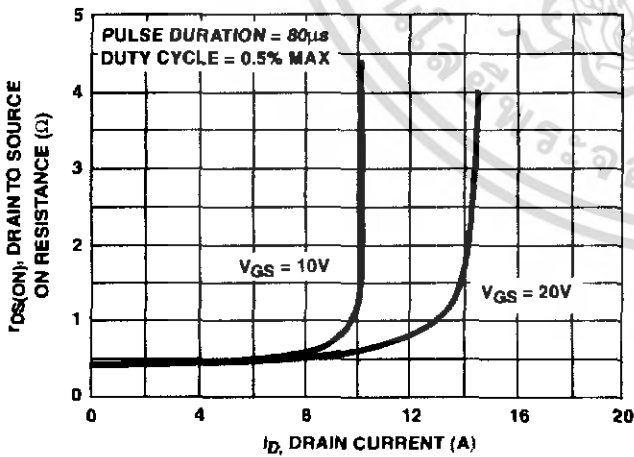


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

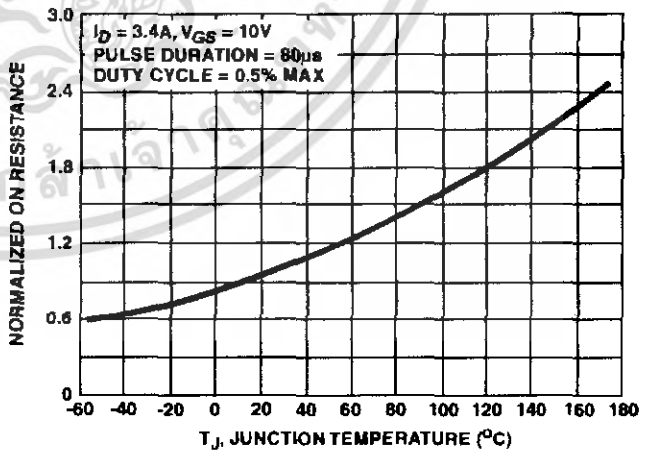


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

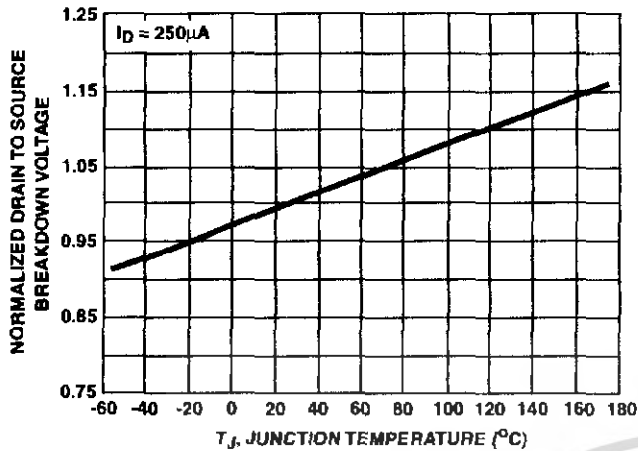


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

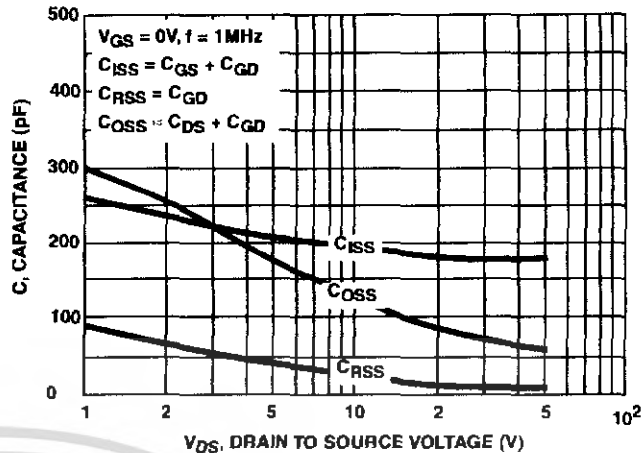


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

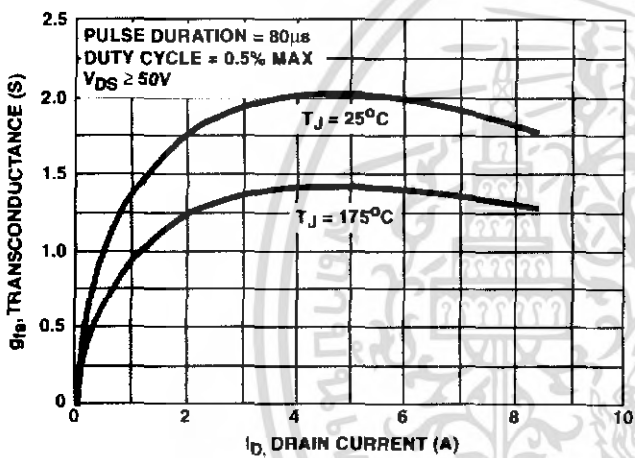


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

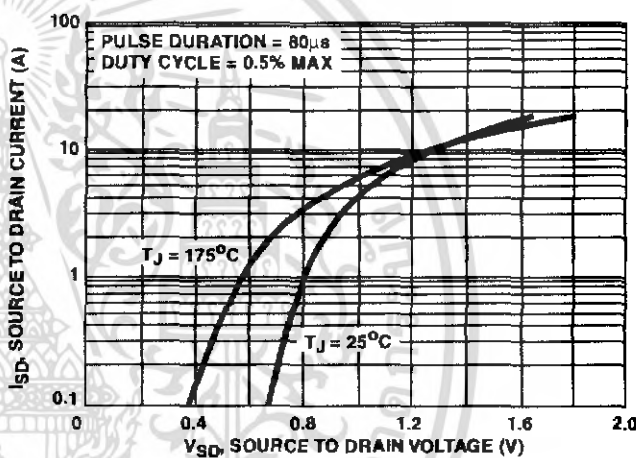


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

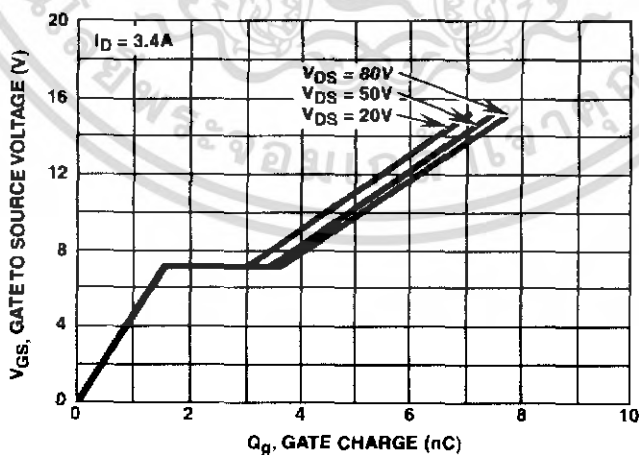


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

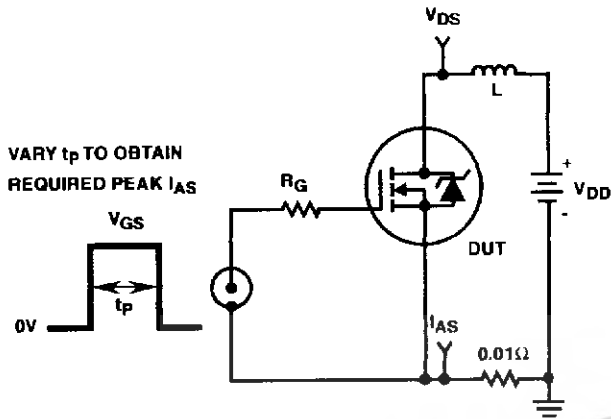


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

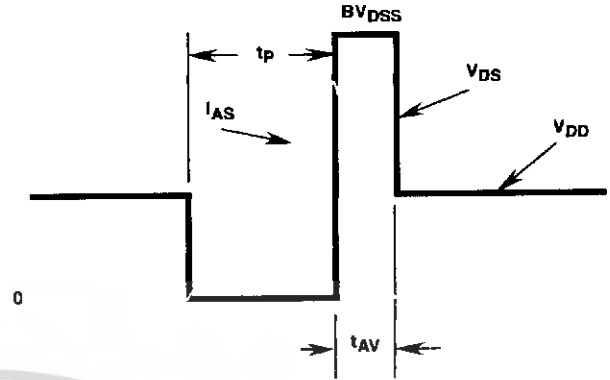


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

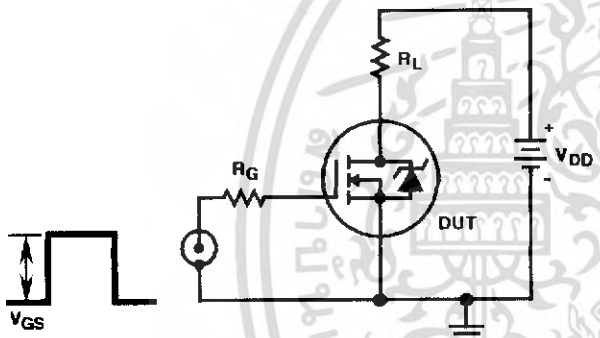


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

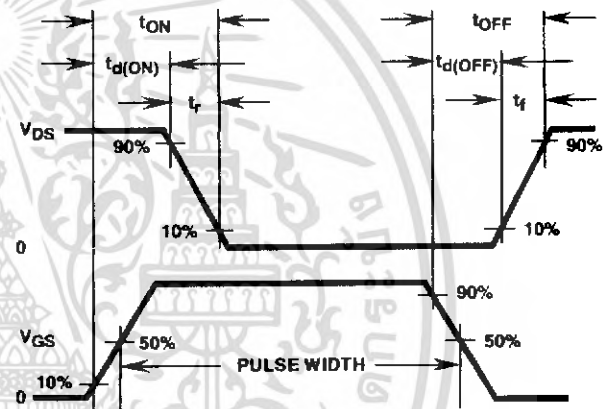


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

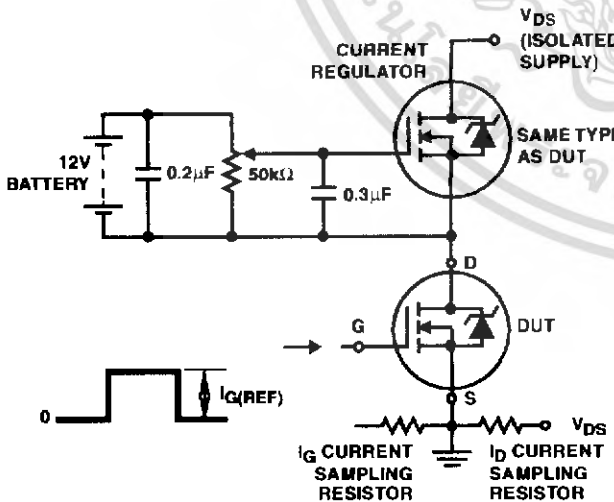


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

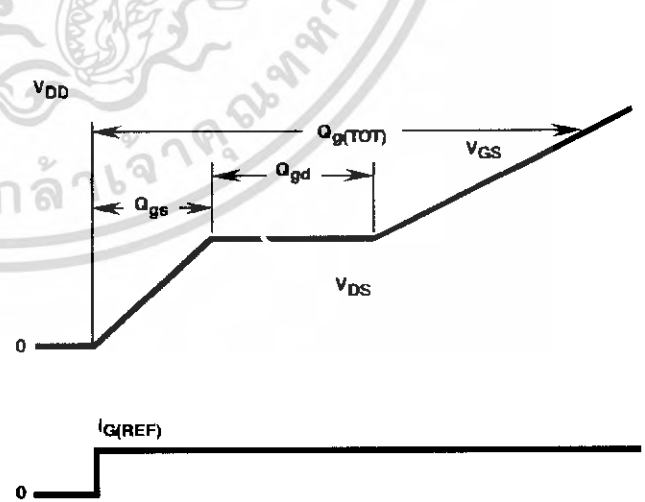


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

|                                  |                                 |                                 |                             |                  |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------|
| ACE <sub>x</sub> <sup>™</sup>    | FAST <sup>®</sup>               | OPTOLOGIC <sup>™</sup>          | SMART START <sup>™</sup>    | VCX <sup>™</sup> |
| Bottomless <sup>™</sup>          | FAST <sub>r</sub> <sup>™</sup>  | OPTOPLANAR <sup>™</sup>         | STAR*POWER <sup>™</sup>     |                  |
| CoolFET <sup>™</sup>             | FRFET <sup>™</sup>              | PACMAN <sup>™</sup>             | Stealth <sup>™</sup>        |                  |
| CROSSVOLT <sup>™</sup>           | GlobalOptoisolator <sup>™</sup> | POP <sup>™</sup>                | SuperSOT <sup>™</sup> -3    |                  |
| DenseTrench <sup>™</sup>         | GTO <sup>™</sup>                | Power247 <sup>™</sup>           | SuperSOT <sup>™</sup> -6    |                  |
| DOME <sup>™</sup>                | HiSeC <sup>™</sup>              | PowerTrench <sup>®</sup>        | SuperSOT <sup>™</sup> -8    |                  |
| EcoSPARK <sup>™</sup>            | ISOPLANAR <sup>™</sup>          | QFET <sup>™</sup>               | SyncFET <sup>™</sup>        |                  |
| E <sup>2</sup> CMOS <sup>™</sup> | LittleFET <sup>™</sup>          | QS <sup>™</sup>                 | TinyLogic <sup>™</sup>      |                  |
| EnSigna <sup>™</sup>             | MicroFET <sup>™</sup>           | QT Optoelectronics <sup>™</sup> | TruTranslation <sup>™</sup> |                  |
| FACT <sup>™</sup>                | MicroPak <sup>™</sup>           | Quiet Series <sup>™</sup>       | UHC <sup>™</sup>            |                  |
| FACT Quiet Series <sup>™</sup>   | MICROWIRE <sup>™</sup>          | SILENT SWITCHER <sup>®</sup>    | UltraFET <sup>®</sup>       |                  |

STAR\*POWER is used under license

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

| Datasheet Identification | Product Status         | Definition  |
|--------------------------|------------------------|---|
| Advance Information      | Formative or In Design | This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.  |
| Preliminary              | First Production       | This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design. |
| No Identification Needed | Full Production        | This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.   |
| Obsolete                 | Not In Production      | This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.   |

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IRFP450

## N-CHANNEL 500V - 0.31Ω - 14A TO-247

### PowerMesh™ II MOSFET

| TYPE    | V <sub>DSS</sub> | R <sub>DS(on)</sub> | I <sub>D</sub> |
|---------|------------------|---------------------|----------------|
| IRFP450 | 500V             | < 0.38Ω             | 14 A           |

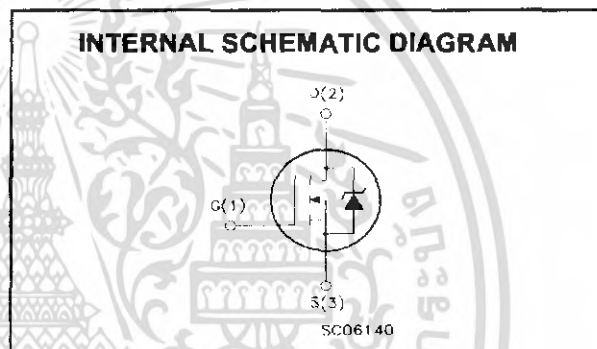
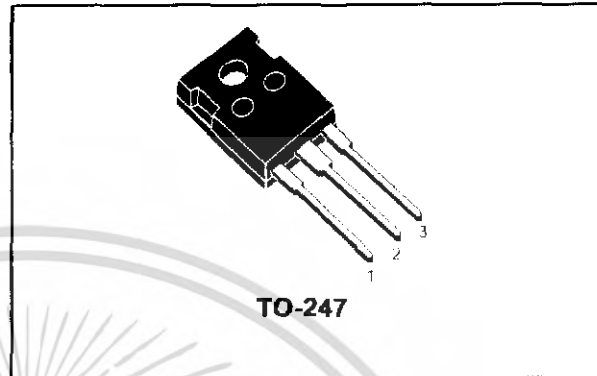
- TYPICAL R<sub>DS(on)</sub> = 0.31Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- NEW HIGH VOLTAGE BENCHMARK
- GATE CHARGE MINIMIZED

#### DESCRIPTION

The PowerMESH™ II is the evolution of the first generation of MESH OVERLAY™. The layout refinements introduced greatly improve the Ron\*area figure of merit while keeping the device at the leading edge for what concerns switching speed, gate charge and ruggedness.

#### APPLICATIONS

- SWITCH MODE POWER SUPPLIES (SMPS)
- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- DC-AC CONVERTERS FOR WELDING EQUIPMENT AND UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES AND MOTOR DRIVE



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol              | Parameter  | Value      | Unit |
|---------------------|--|------------|------|
| V <sub>DS</sub>     | Drain-source Voltage (V <sub>GS</sub> = 0)           | 500        | V    |
| V <sub>DGR</sub>    | Drain-gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 20 kΩ)         | 500        | V    |
| V <sub>GS</sub>     | Gate- source Voltage                                 | ±30        | V    |
| I <sub>D</sub>      | Drain Current (continuous) at T <sub>C</sub> = 25°C  | 14         | A    |
| I <sub>D</sub>      | Drain Current (continuous) at T <sub>C</sub> = 100°C | 8.7        | A    |
| I <sub>DM</sub> (●) | Drain Current (pulsed)                               | 56         | A    |
| P <sub>TOT</sub>    | Total Dissipation at T <sub>C</sub> = 25°C           | 190        | W    |
|                     | Derating Factor                                      | 1.5        | W/°C |
| dv/dt(1)            | Peak Diode Recovery voltage slope                    | 3.5        | V/ns |
| T <sub>stg</sub>    | Storage Temperature                                  | -65 to 150 | °C   |
| T <sub>j</sub>      | Max. Operating Junction Temperature                  | 150        | °C   |

(\*)Pulse width limited by safe operating area

(1)I<sub>SD</sub> ≤ 14A, di/dt ≤ 100A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>j</sub> ≤ T<sub>JMAX</sub>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THERMAL DATA**

|                |  |      |      |
|----------------|--|------|------|
| Rthj-case      | Thermal Resistance Junction-case Max           | 0.66 | °C/W |
| Rthj-amb       | Thermal Resistance Junction-ambient Max        | 30   | °C/W |
| T <sub>l</sub> | Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose | 300  | °C   |

**AVALANCHE CHARACTERISTICS**

| Symbol          | Parameter  | Max Value | Unit |
|-----------------|--|-----------|------|
| I <sub>AR</sub> | Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T <sub>j</sub> max)                                | 14        | A    |
| E <sub>AS</sub> | Single Pulse Avalanche Energy (starting T <sub>j</sub> = 25 °C, I <sub>D</sub> = I <sub>AR</sub> , V <sub>DD</sub> = 50 V) | 800       | mJ   |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TCASE = 25 °C UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)  
OFF**

| Symbol               | Parameter   | Test Conditions   | Min. | Typ. | Max.    | Unit     |
|----------------------|---|---|------|------|---------|----------|
| V <sub>(BR)DSS</sub> | Drain-source Breakdown Voltage                        | I <sub>D</sub> = 250 μA, V <sub>GS</sub> = 0  | 500  |      |         | V        |
| I <sub>DSS</sub>     | Zero Gate Voltage Drain Current (V <sub>GS</sub> = 0) | V <sub>DS</sub> = Max Rating<br>V <sub>DS</sub> = Max Rating, T <sub>C</sub> = 125 °C |      |      | 1<br>50 | μA<br>μA |
| I <sub>GSS</sub>     | Gate-body Leakage Current (V <sub>DS</sub> = 0)       | V <sub>GS</sub> = ±30V  |      |      | ±100    | nA       |

**ON (1)**

| Symbol              | Parameter                         | Test Conditions   | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|
| V <sub>GS(th)</sub> | Gate Threshold Voltage            | V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250 μA | 2    | 3    | 4    | V    |
| R <sub>DS(on)</sub> | Static Drain-source On Resistance | V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 7A                  |      | 0.31 | 0.38 | Ω    |

**DYNAMIC**

| Symbol           | Parameter                    | Test Conditions  | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|------------------|------------------------------|--|------|------|------|------|
| g <sub>fs</sub>  | Forward Transconductance     | V <sub>DS</sub> > I <sub>D(on)</sub> × R <sub>DS(on)max</sub> ,<br>I <sub>D</sub> = 7A |      | 13   |      | S    |
| C <sub>iss</sub> | Input Capacitance            | V <sub>DS</sub> = 25V, f = 1 MHz, V <sub>GS</sub> = 0                                  |      | 2000 |      | pF   |
| C <sub>oss</sub> | Output Capacitance           |  |      | 300  |      | pF   |
| C <sub>rss</sub> | Reverse Transfer Capacitance |  |      | 43   |      | pF   |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

SWITCHING ON

| Symbol      | Parameter          | Test Conditions   | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-------------|--------------------|---|------|------|------|------|
| $t_{d(on)}$ | Turn-on Delay Time | $V_{DD} = 250V, I_D = 7A$                                       |      | 20   |      | ns   |
| $t_r$       | Rise Time          | $R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$<br>(see test circuit, Figure 3) |      | 23   |      | ns   |
| $Q_g$       | Total Gate Charge  | $V_{DD} = 400V, I_D = 14A,$<br>$V_{GS} = 10V, R_G = 4.7\Omega$  |      | 75   | 90   | nC   |
| $Q_{gs}$    | Gate-Source Charge |   |      | 10   |      | nC   |
| $Q_{gd}$    | Gate-Drain Charge  |   |      | 38   |      | nC   |

SWITCHING OFF

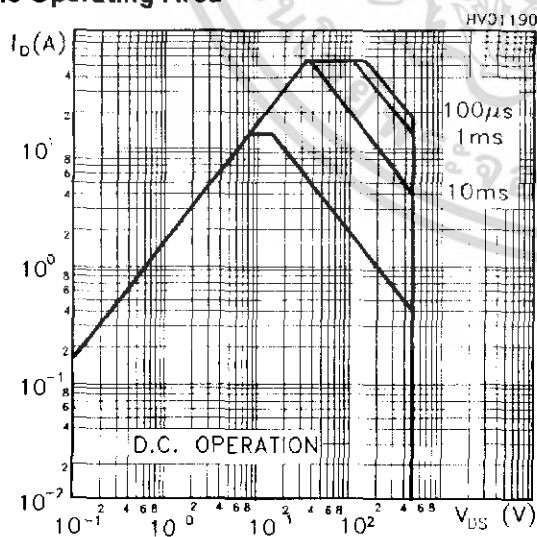
| Symbol        | Parameter             | Test Conditions  | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---------------|-----------------------|--|------|------|------|------|
| $t_{r(Voff)}$ | Off-voltage Rise Time | $V_{DD} = 400V, I_D = 14A,$<br>$R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$<br>(see test circuit, Figure 5) |      | 25   |      | ns   |
| $t_f$         | Fall Time             |  |      | 30   |      | ns   |
| $t_c$         | Cross-over Time       |  |      | 62   |      | ns   |

SOURCE DRAIN DIODE

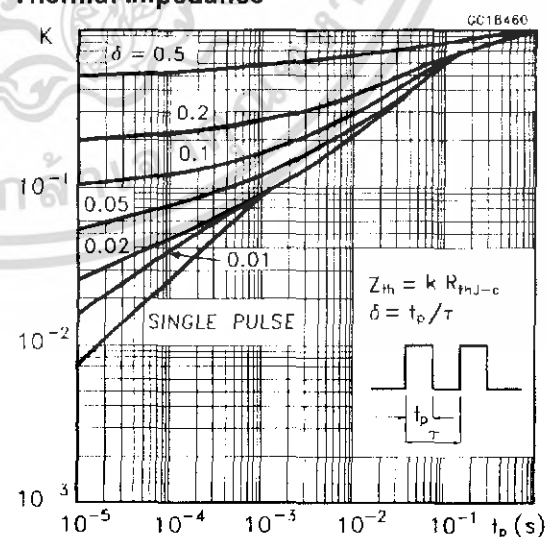
| Symbol       | Parameter                     | Test Conditions   | Min. | Typ. | Max. | Unit    |
|--------------|-------------------------------|---|------|------|------|---------|
| $I_{SD}$     | Source-drain Current          |   |      |      | 14   | A       |
| $I_{SDM(2)}$ | Source-drain Current (pulsed) |   |      |      | 56   | A       |
| $V_{SO(1)}$  | Forward On Voltage            | $I_{SD} = 14A, V_{GS} = 0$  |      |      | 1.6  | V       |
| $t_{rr}$     | Reverse Recovery Time         | $I_{SD} = 14A, di/dt = 100A/\mu s,$<br>$V_{DD} = 100V, T_j = 150^\circ C$<br>(see test circuit, Figure 5) |      | 670  |      | ns      |
| $Q_{rr}$     | Reverse Recovery Charge       |   |      | 6.7  |      | $\mu C$ |
| $I_{RRM}$    | Reverse Recovery Current      |   |      | 20   |      | A       |

Note: 1. Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu s$ , duty cycle 1.5 %.  
2. Pulse width limited by safe operating area.

Safe Operating Area

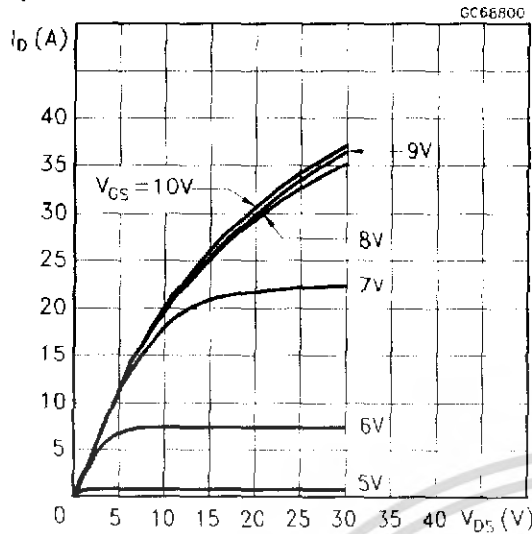


Thermal Impedance

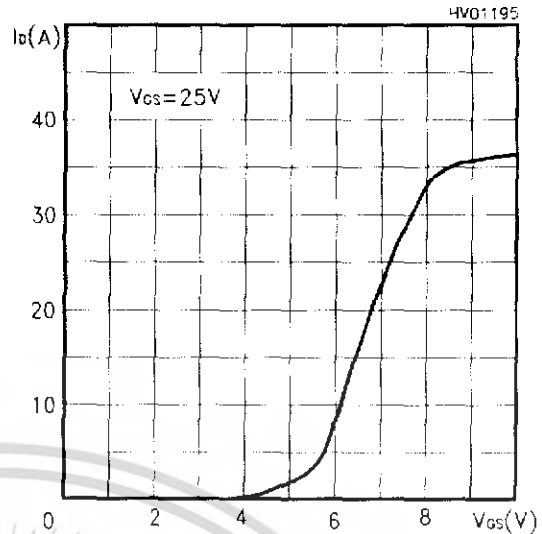


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

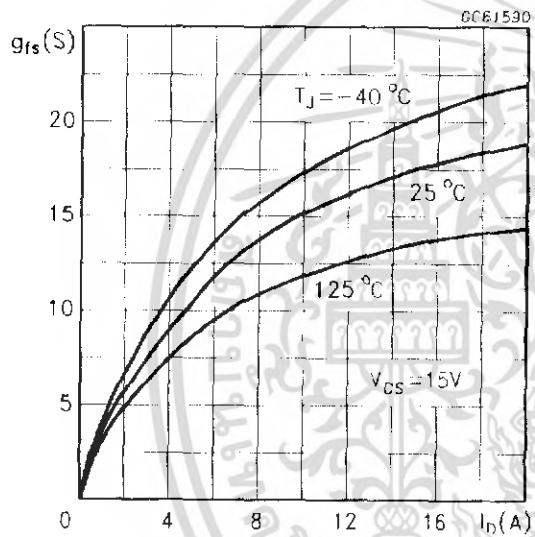
Output Characteristics



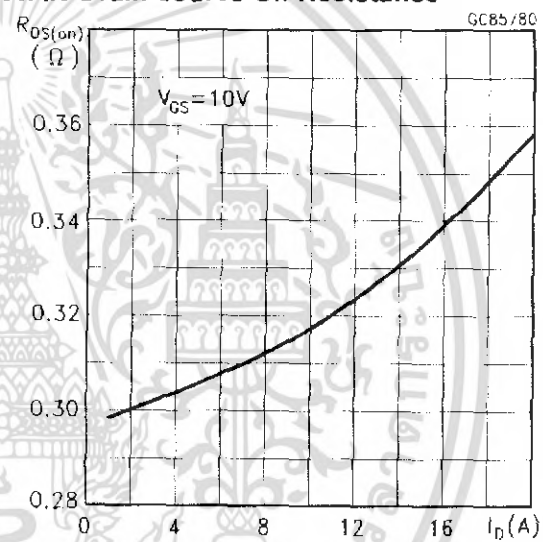
Transfer Characteristics



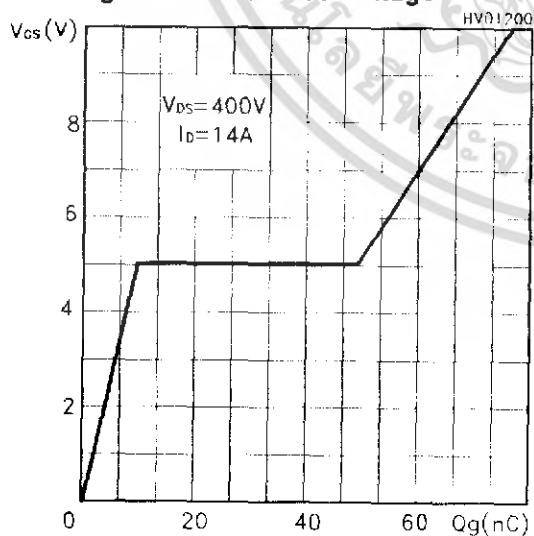
Transconductance



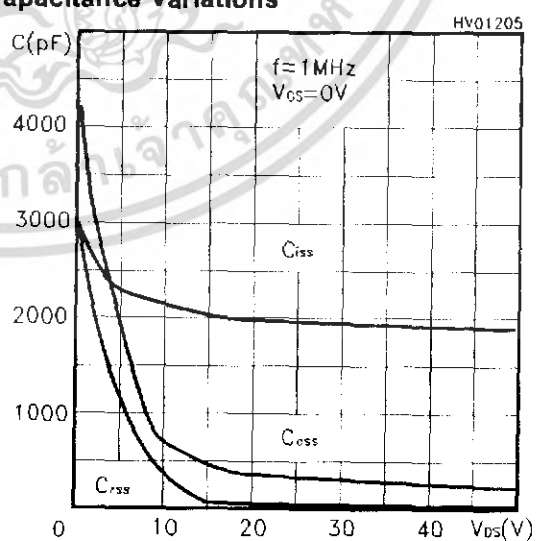
Static Drain-source On Resistance



Gate Charge vs Gate-source Voltage

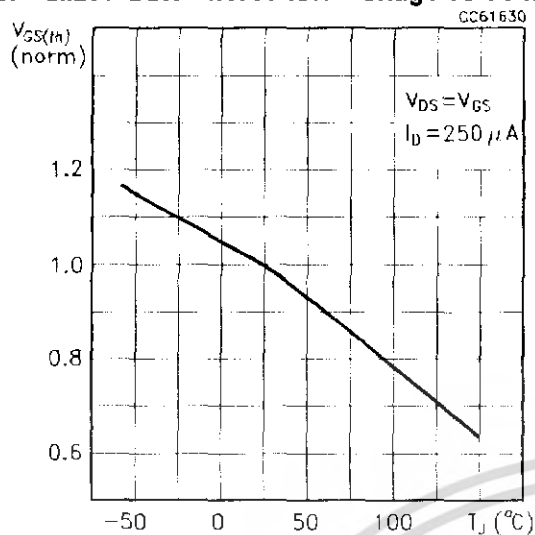


Capacitance Variations

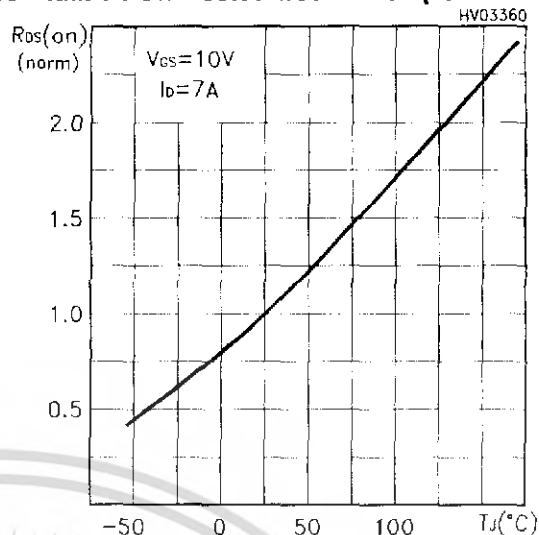


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

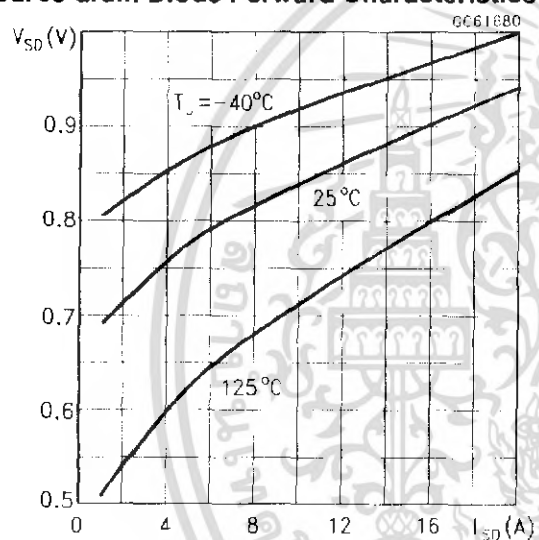
Normalized Gate Threshold Voltage vs Temp.



Normalized On Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

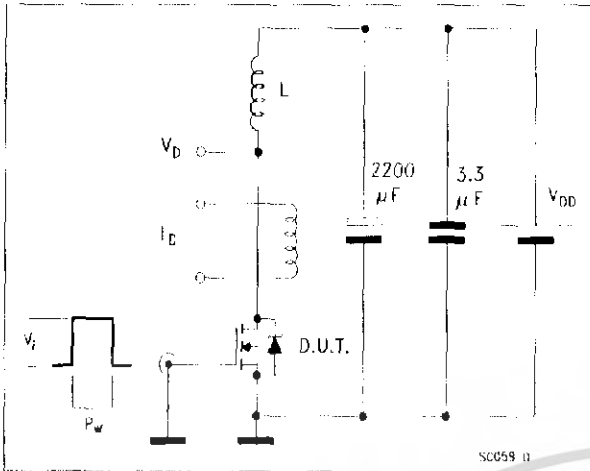


Fig. 2: Unclamped Inductive Waveform

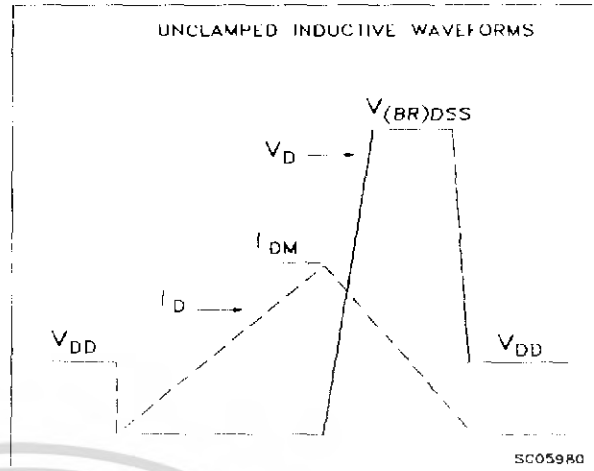


Fig. 3: Switching Times Test Circuit For Resistive Load

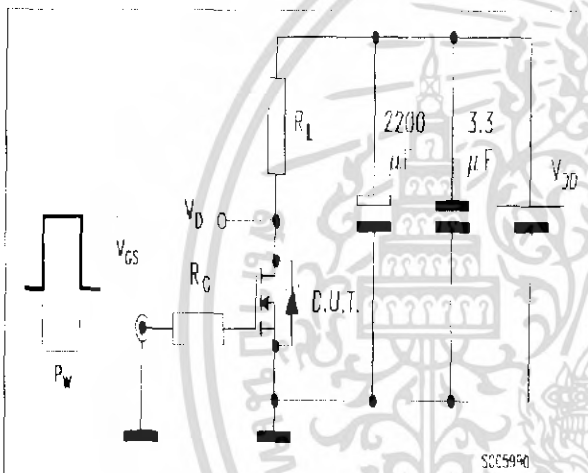


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

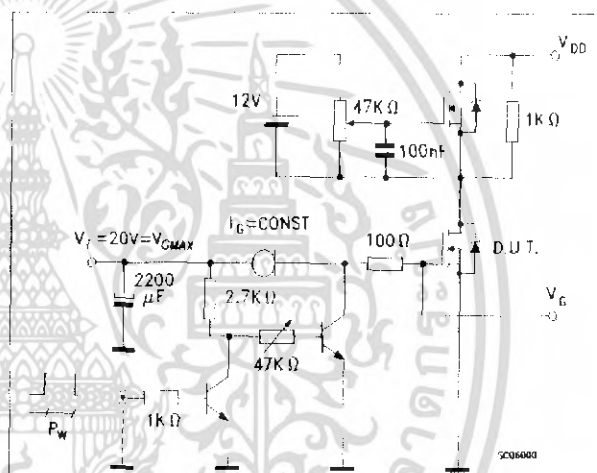
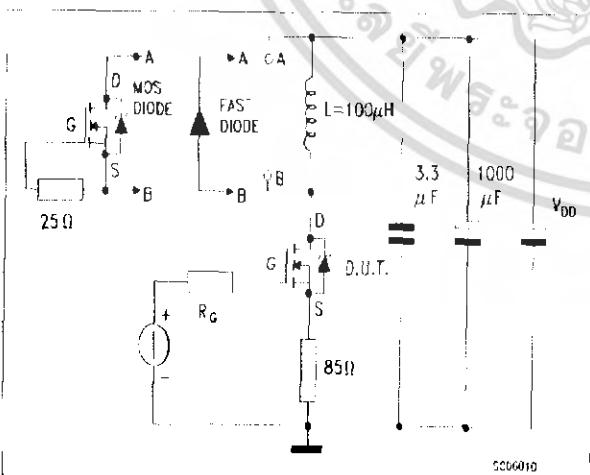


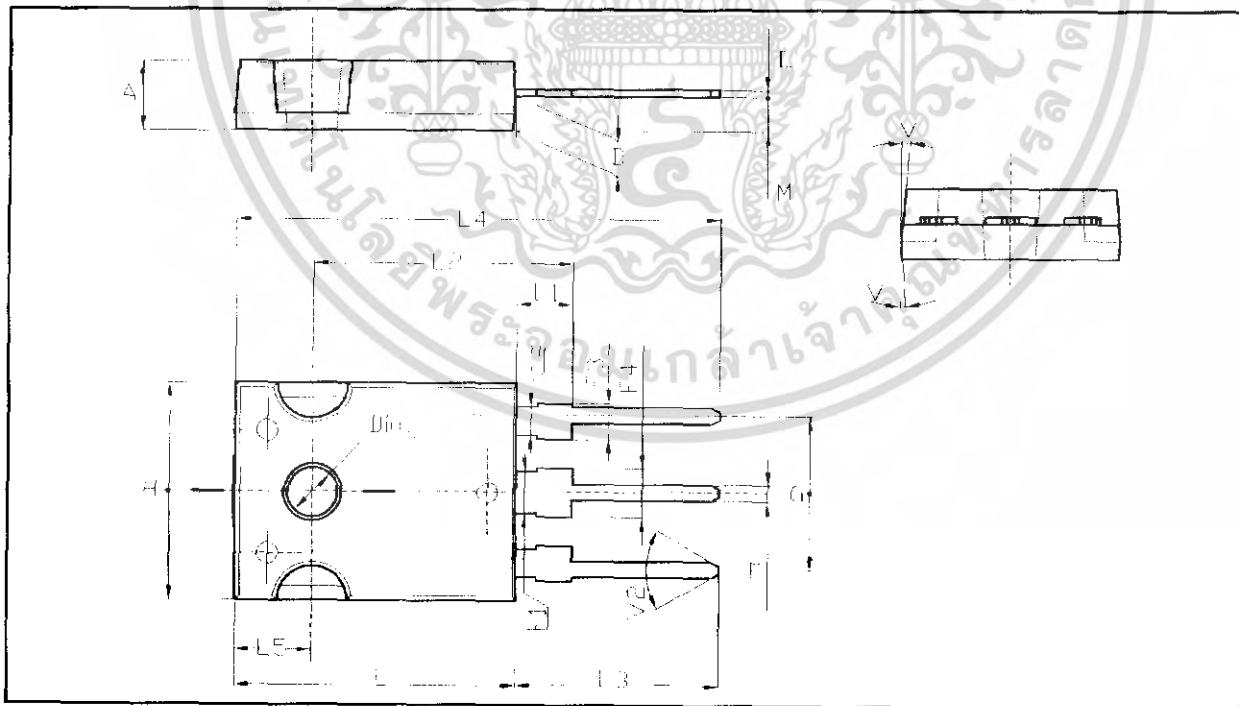
Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TO-247 MECHANICAL DATA**

| DIM. | mm.   |       |       | inch  |      |       |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|      | MIN.  | TYP.  | MAX.  | MIN.  | TYP. | MAX.  |
| A    | 4.85  |       | 5.15  | 0.19  |      | 0.20  |
| D    | 2.20  |       | 2.60  | 0.08  |      | 0.10  |
| E    | 0.40  |       | 0.80  | 0.015 |      | 0.03  |
| F    | 1     |       | 1.40  | 0.04  |      | 0.05  |
| F1   |       | 3     |       |       | 0.11 |       |
| F2   |       | 2     |       |       | 0.07 |       |
| F3   | 2     |       | 2.40  | 0.07  |      | 0.09  |
| F4   | 3     |       | 3.40  | 0.11  |      | 0.13  |
| G    |       | 10.90 |       |       | 0.43 |       |
| H    | 15.45 |       | 15.75 | 0.60  |      | 0.62  |
| L    | 19.85 |       | 20.15 | 0.78  |      | 0.79  |
| L1   | 3.70  |       | 4.30  | 0.14  |      | 0.17  |
| L2   |       | 18.50 |       |       | 0.72 |       |
| L3   | 14.20 |       | 14.80 | 0.56  |      | 0.58  |
| L4   |       | 34.60 |       |       | 1.36 |       |
| L5   |       | 5.50  |       |       | 0.21 |       |
| M    | 2     |       | 3     | 0.07  |      | 0.11  |
| V    |       | 5°    |       |       | 5°   |       |
| V2   |       | 60°   |       |       | 60°  |       |
| Dia  | 3.55  |       | 3.65  | 0.14  |      | 0.143 |





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>

# TL494, NCV494

## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

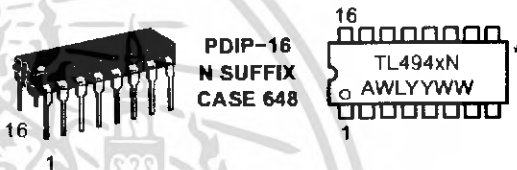
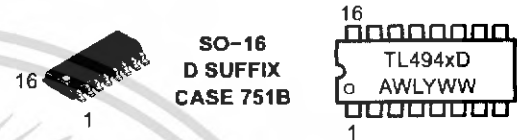
The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- 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
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes

ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

### MARKING DIAGRAMS



x = B, C or I  
A = Assembly Location  
WL, L = Wafer Lot  
YY, Y = Year  
WW, W = Work Week

\*This marking diagram also applies to NCV494.

### ORDERING INFORMATION

| Device      | Package | Shipping†        |
|-------------|---------|------------------|
| TL494BD     | SO-16   | 48 Units/Rail    |
| TL494BDR2   | SO-16   | 2500 Tape & Reel |
| TL494CD     | SO-16   | 48 Units/Rail    |
| TL494CDR2   | SO-16   | 2500 Tape & Reel |
| TL494CN     | PDIP-16 | 25 Units/Rail    |
| TL494IN     | PDIP-16 | 25 Units/Rail    |
| NCV494BDR2* | SO-16   | 2500 Tape & Reel |

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

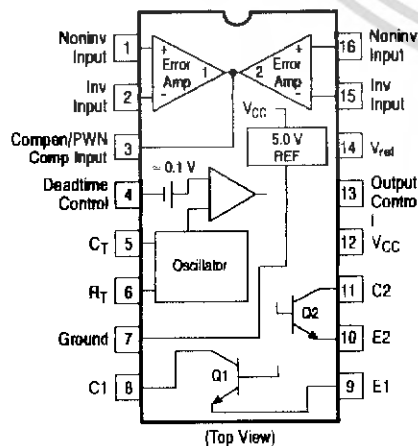
\*NCV494:  $T_{low} = -40^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{high} = +125^{\circ}\text{C}$ .  
Guaranteed by design. NCV prefix is for automotive and other applications requiring site and change control.

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

| Rating   | Symbol                 | Value  | Unit                 |
|--|------------------------|--|----------------------|
| Power Supply Voltage   | $V_{CC}$               | 42   | V                    |
| Collector Output Voltage   | $V_{C1}$ ,<br>$V_{C2}$ | 42   | V                    |
| Collector Output Current<br>(Each transistor) (Note 1)                       | $I_{C1}$ , $I_{C2}$    | 500  | mA                   |
| Amplifier Input Voltage Range  | $V_{IR}$               | -0.3 to +42  | V                    |
| Power Dissipation @ $T_A \leq 45^{\circ}\text{C}$                            | $P_D$                  | 1000   | mW                   |
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient                                      | $R_{\theta JA}$        | 80   | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Operating Junction Temperature   | $T_J$                  | 125  | $^{\circ}\text{C}$   |
| Storage Temperature Range  | $T_{stg}$              | -55 to +125  | $^{\circ}\text{C}$   |
| Operating Ambient Temperature Range<br>TL494B<br>TL494C<br>TL494I<br>NCV494B | $T_A$                  | -40 to +125<br>0 to +70<br>-40 to +85<br>-40 to +125 | $^{\circ}\text{C}$   |
| Derating Ambient Temperature   | $T_A$                  | 45   | $^{\circ}\text{C}$   |

1. Maximum thermal limits must be observed.

### PIN CONNECTIONS



# TL494, NCV494

## 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             | $\mu$ F    |
| Oscillator Frequency                       | $f_{osc}$        | 1.0    | 40    | 200            | kHz        |

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ $\mu$ F, $R_T = 12$ 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 |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|
|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|

### 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<br>( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)  | $I_{C(off)}$                 | - | 2.0        | 100        | $\mu$ A       |
| Emitter Off-State Current<br>( $V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)  | $I_{E(off)}$                 | - | -          | -100       | $\mu$ A       |
| Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2)<br>Common-Emitter ( $V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA)<br>Emitter-Follower ( $V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA) | $V_{sat(C)}$<br>$V_{sat(E)}$ | - | 1.1<br>1.5 | 1.3<br>2.5 | V             |
| Output Control Pin Current<br>Low State ( $V_{OC} \leq 0.4$ V)<br>High State ( $V_{OC} = V_{ref}$ )   | $I_{OCL}$<br>$I_{OCH}$       | - | 10<br>0.2  | -<br>3.5   | $\mu$ A<br>mA |
| Output Voltage Rise Time<br>Common-Emitter (See Figure 12)<br>Emitter-Follower (See Figure 13)  | $t_r$                        | - | 100<br>100 | 200<br>200 | ns            |
| Output Voltage Fall Time<br>Common-Emitter (See Figure 12)<br>Emitter-Follower (See Figure 13)  | $t_f$                        | - | 25<br>40   | 100<br>100 | ns            |

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

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494

## 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.

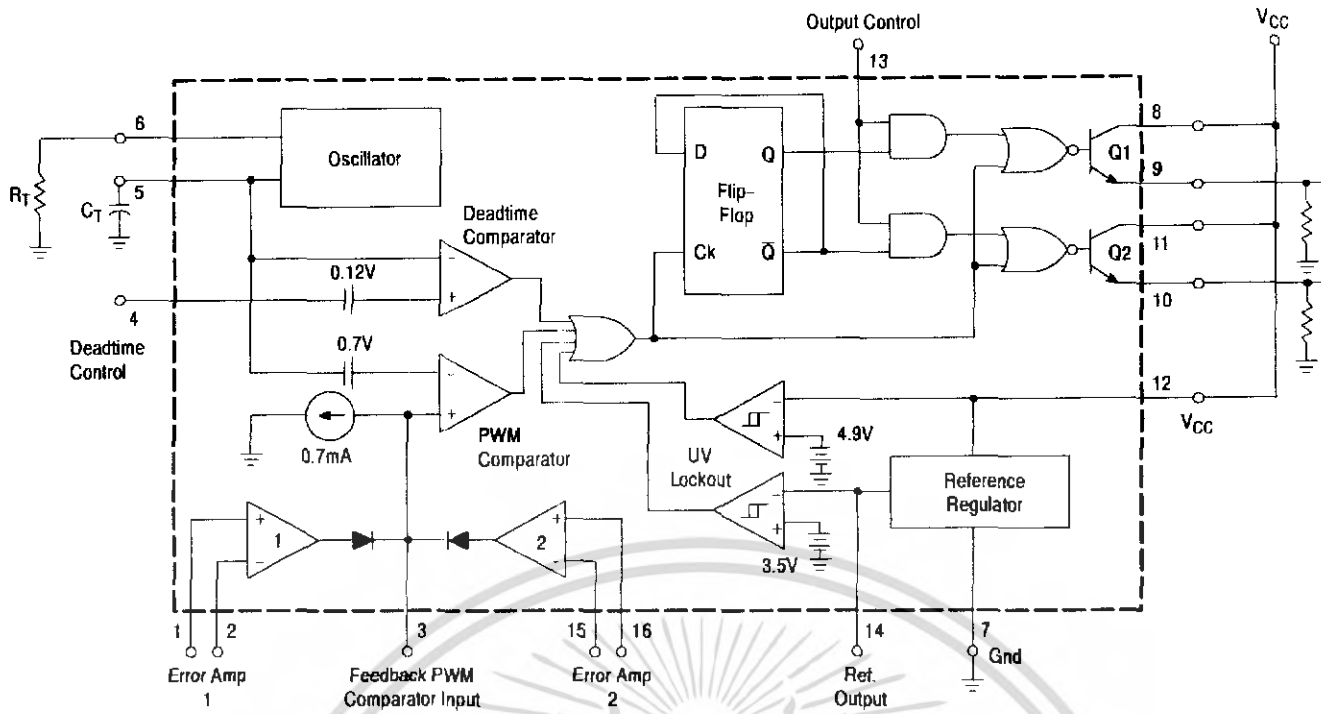
| Characteristics  | Symbol                      | Min                  | Typ        | Max      | Unit          |
|--|-----------------------------|----------------------|------------|----------|---------------|
| <b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>   |                             |                      |            |          |               |
| 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     | $\mu\text{A}$ |
| 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 $3.5\ \text{V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )   | $A_{VOL}$                   | 70                   | 95         | -        | dB            |
| Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to $3.5\ \text{V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )  | $f_{C-}$                    | -                    | 350        | -        | kHz           |
| Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to $3.5\ \text{V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )  | $\phi_m$                    | -                    | 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            |
| <b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)   |                             |                      |            |          |               |
| Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)  | $V_{TH}$                    | -                    | 2.5        | 4.5      | V             |
| Input Sink Current ( $V_{Pin 3} = 0.7\ \text{V}$ )   | $I_{I-}$                    | 0.3                  | 0.7        | -        | mA            |
| <b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)   |                             |                      |            |          |               |
| Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin 4} = 0\ \text{V}$ to $5.25\ \text{V}$ )   | $I_{IB}$ (DT)               | -                    | -2.0       | -10      | $\mu\text{A}$ |
| Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode<br>( $V_{Pin 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )<br>( $V_{Pin 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ ) | $DC_{max}$                  | 45<br>-              | 48<br>45   | 50<br>50 | %             |
| Input Threshold Voltage (Pin 4)<br>(Zero Duty Cycle)<br>(Maximum Duty Cycle)   | $V_{th}$                    | -<br>0               | 2.8<br>-   | 3.3<br>- | V             |
| <b>OSCILLATOR SECTION</b>  |                             |                      |            |          |               |
| Frequency ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )  | $f_{osc}$                   | -                    | 40         | -        | kHz           |
| Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )   | $\sigma_{f_{osc}}$          | -                    | 3.0        | -        | %             |
| Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0\ \text{V}$ to $40\ \text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )  | $\Delta f_{osc} (\Delta V)$ | -                    | 0.1        | -        | %             |
| Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ )<br>( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )   | $\Delta f_{osc} (\Delta T)$ | -                    | -          | 12       | %             |
| <b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>  |                             |                      |            |          |               |
| Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$ )  | $V_{th}$                    | 5.5                  | 6.43       | 7.0      | V             |
| <b>TOTAL DEVICE</b>  |                             |                      |            |          |               |
| Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open)<br>( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ )<br>( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ )  | $I_{CC}$                    | -                    | 5.5<br>7.0 | 10<br>15 | mA            |
| Average Supply Current<br>( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , $V_{Pin 4} = 2.0\ \text{V}$ )<br>( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ ) (See Figure 12)  |                             | -                    | 7.0        | -        | mA            |

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

<http://onsemi.com>

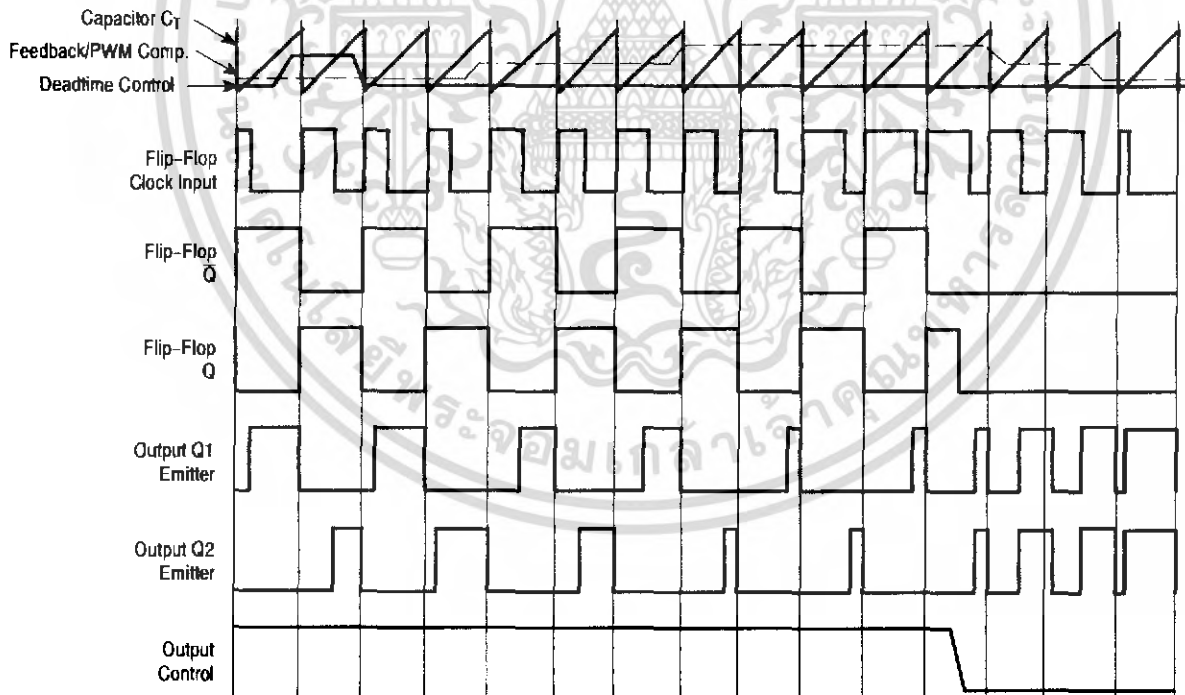
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494



This device contains 46 active transistors.

**Figure 1. Representative Block Diagram**



**Figure 2. Timing Diagram**

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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:

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

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                         |
| @ $V_{ref}$           | 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  $\pm 5.0\%$  with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

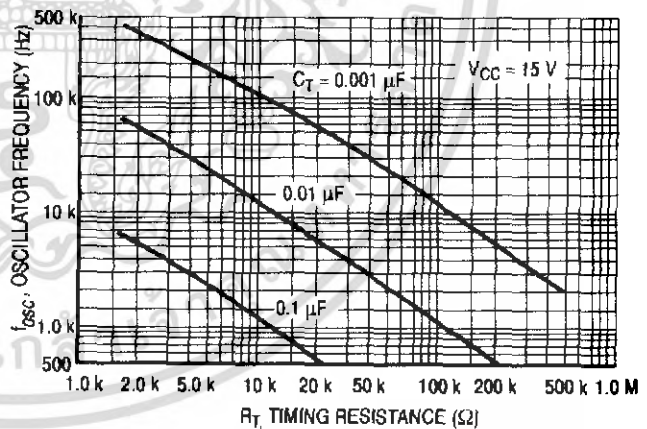


Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

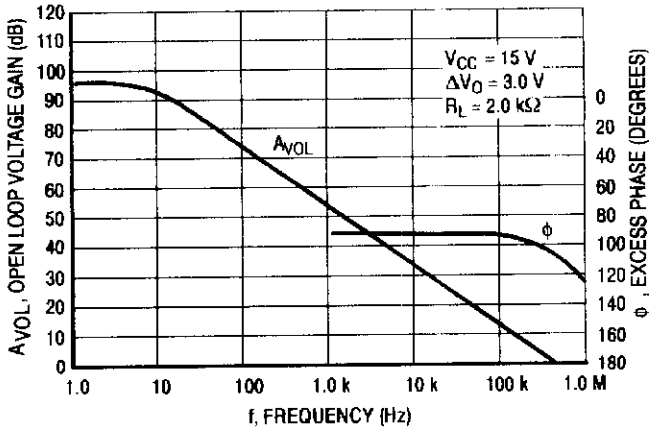


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

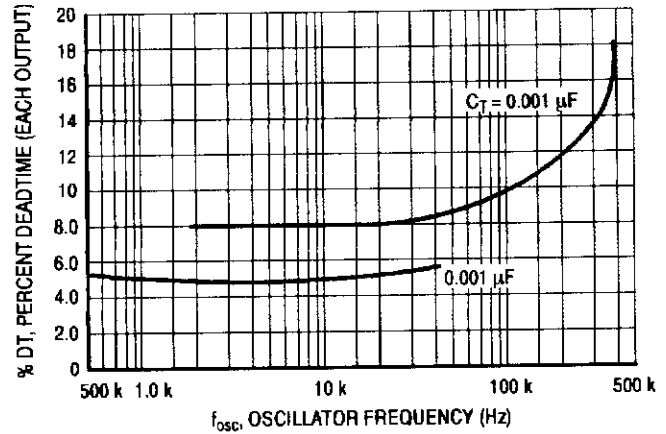


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

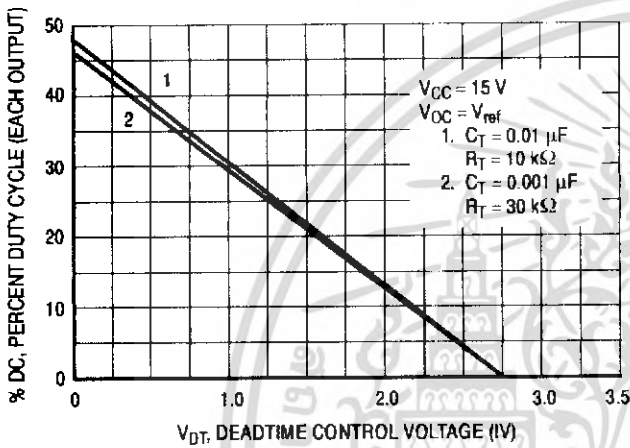


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

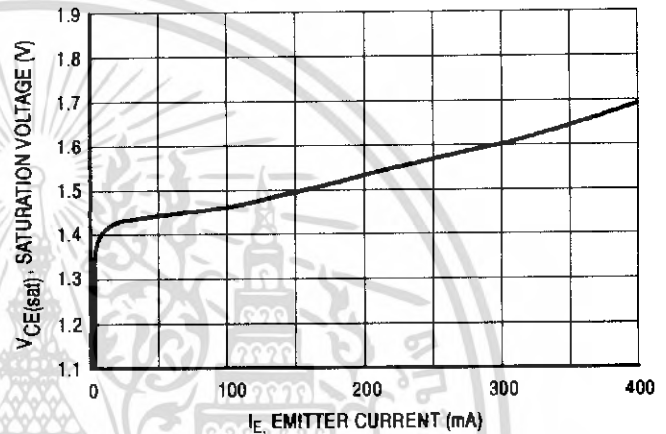


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

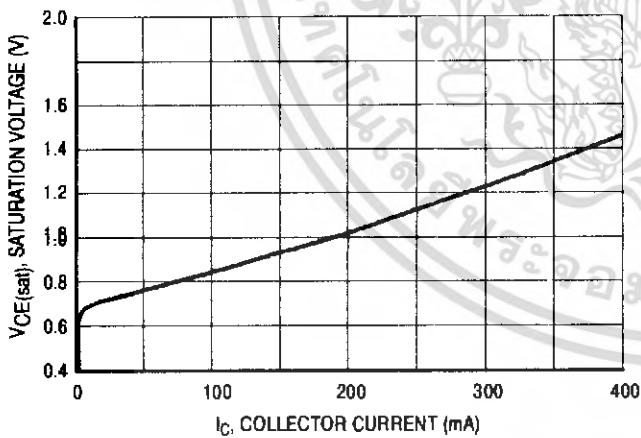


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

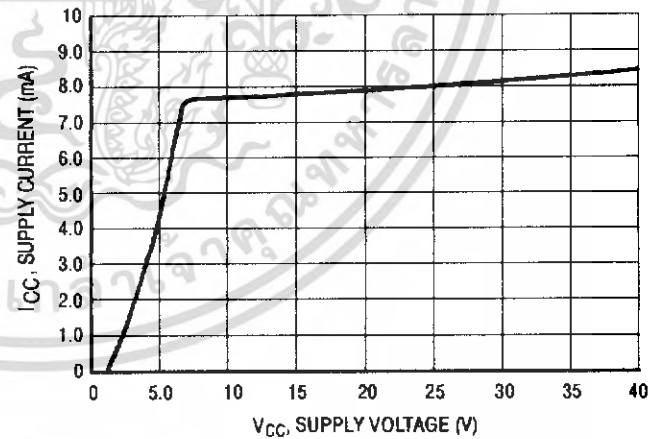


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

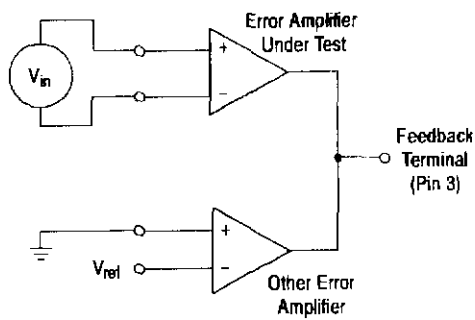


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

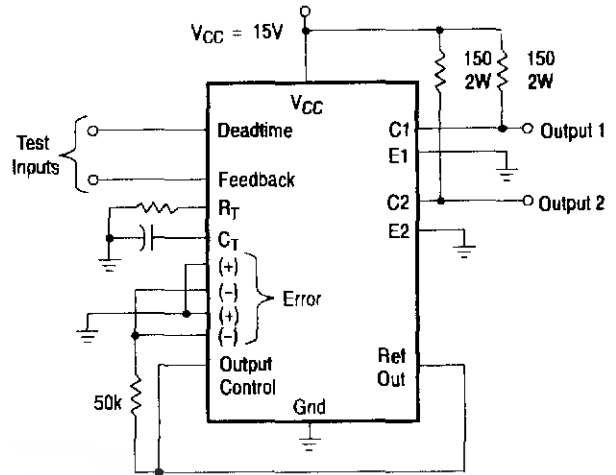


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

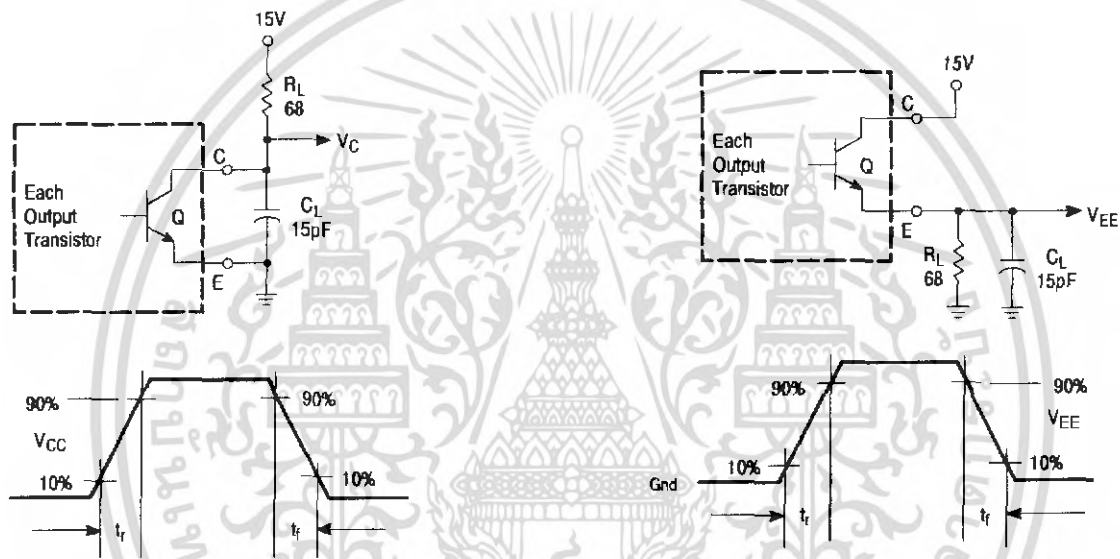


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

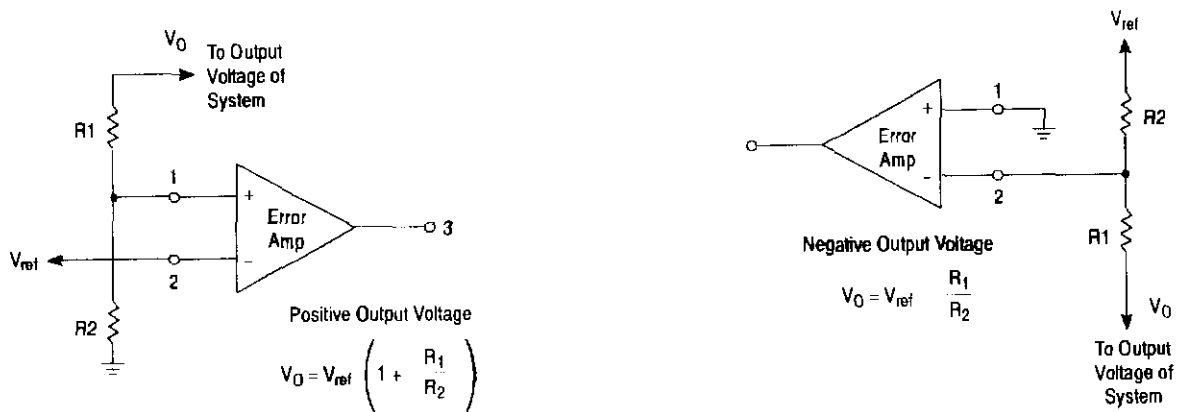


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

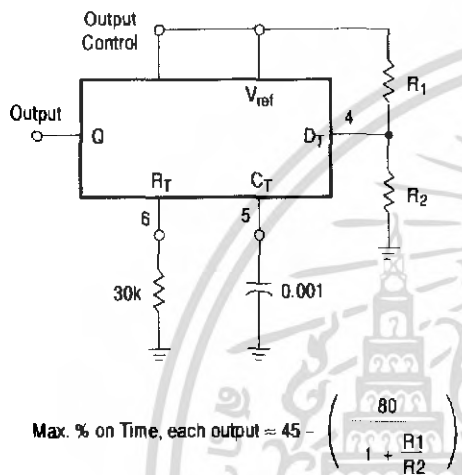


Figure 15. Deadtime Control Circuit

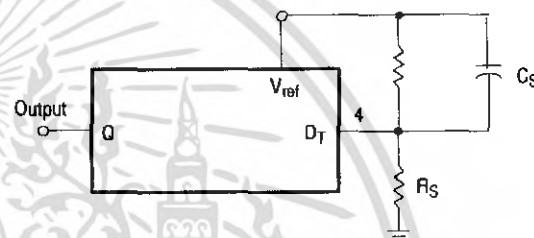


Figure 16. Soft-Start Circuit

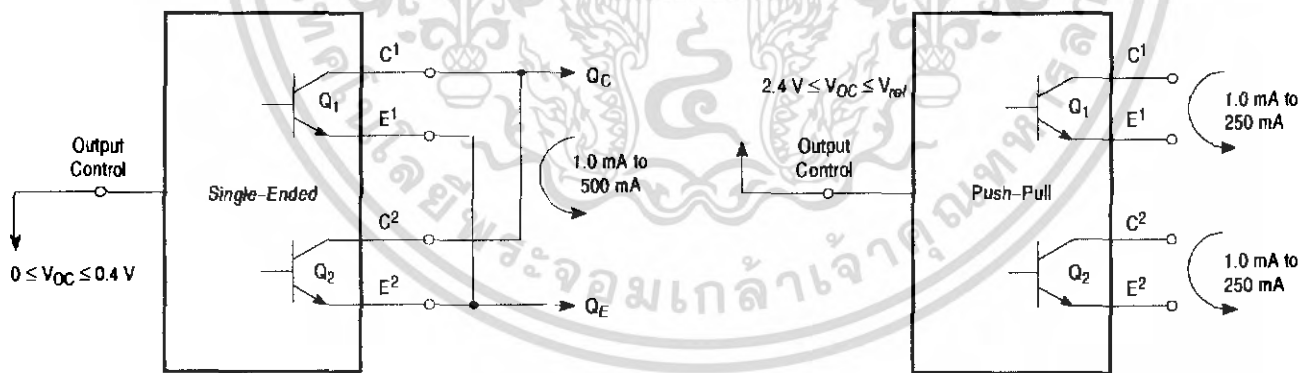


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

# TL494, NCV494

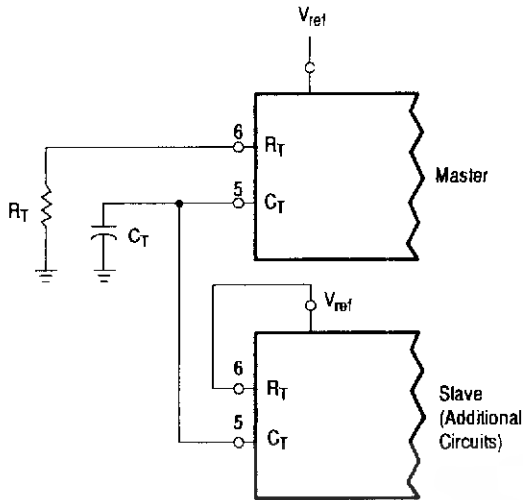


Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

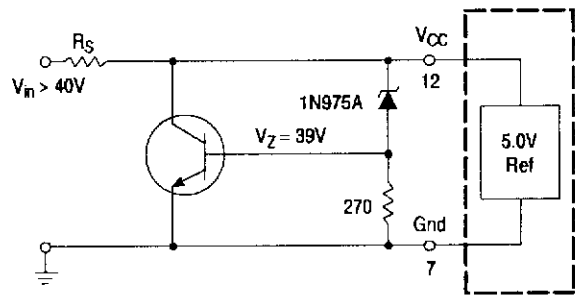


Figure 19. Operation with  $V_{in} > 40\text{ V}$  Using External Zener

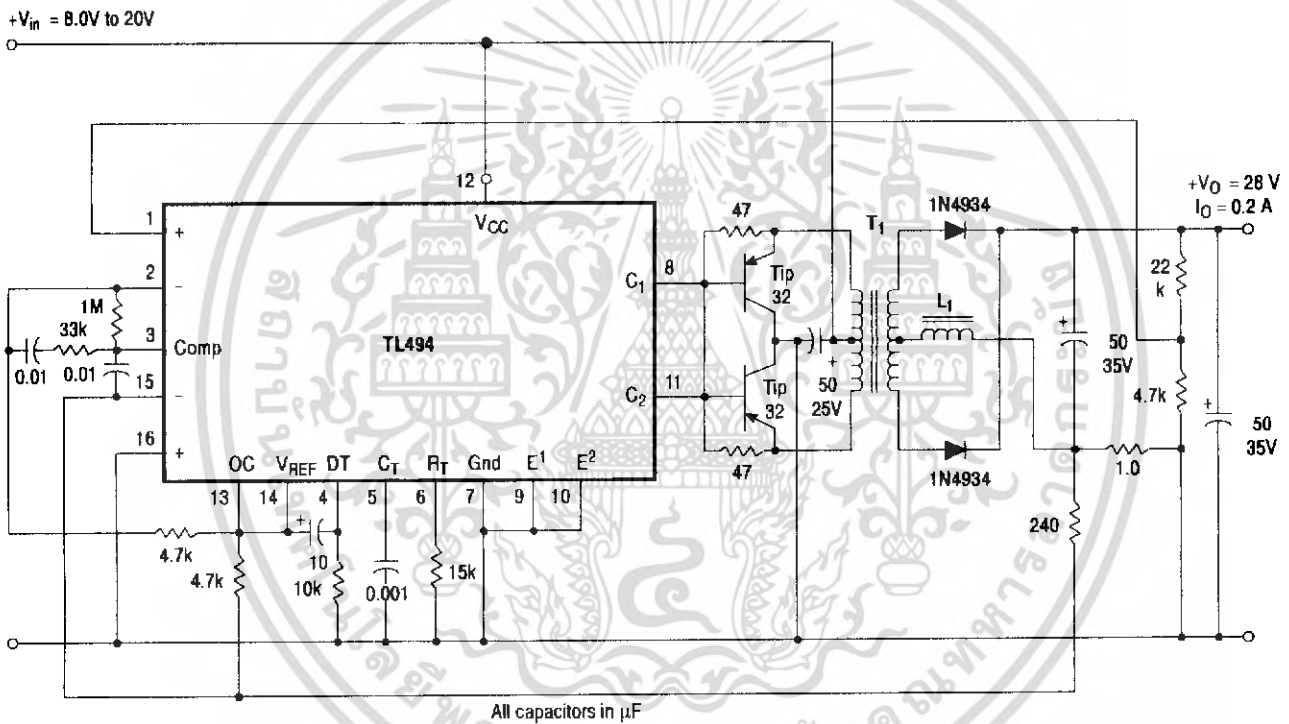


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

| 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. #36 AWG  
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494

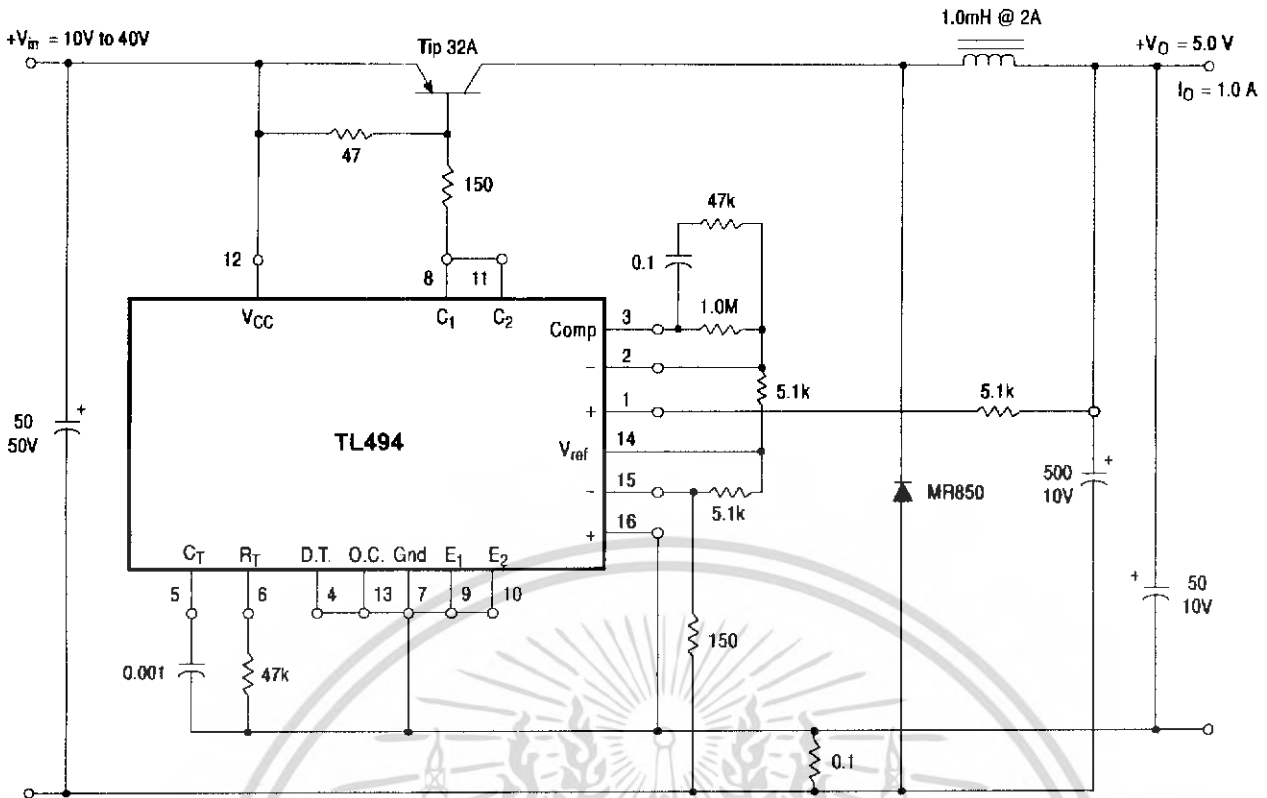


Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter

| Test                  | Conditions   | Results           |
|-----------------------|--|-------------------|
| Line Regulation       | $V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$                          | 3.0 mV 0.01%      |
| Load Regulation       | $V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$ | 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%               |

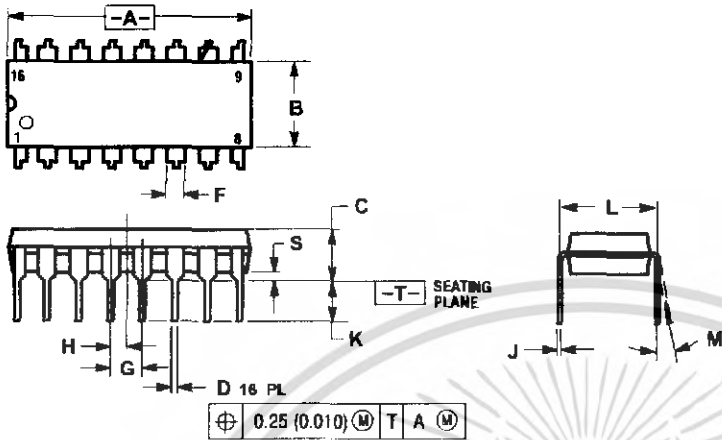
<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494

## PACKAGE DIMENSIONS

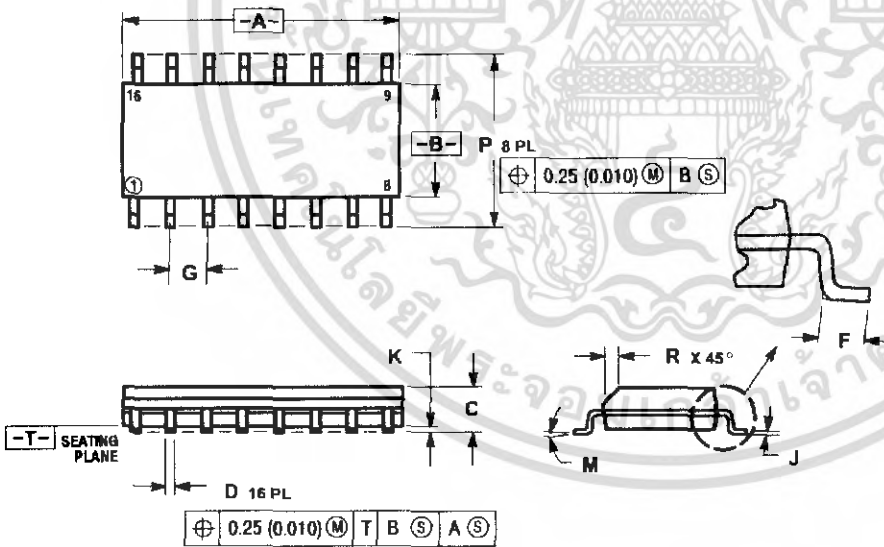
**PDIP-16**  
**N SUFFIX**  
CASE 648-08  
ISSUE R



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
  4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
  5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

| DIM | INCHES    |       | MILLIMETERS |       |
|-----|-----------|-------|-------------|-------|
|     | MIN       | MAX   | MIN         | MAX   |
| A   | 0.740     | 0.770 | 18.80       | 19.55 |
| B   | 0.250     | 0.270 | 6.35        | 6.85  |
| C   | 0.145     | 0.175 | 3.69        | 4.44  |
| D   | 0.015     | 0.021 | 0.39        | 0.53  |
| F   | 0.040     | 0.70  | 1.02        | 1.77  |
| G   | 0.100 BSC |       | 2.54 BSC    |       |
| H   | 0.050 BSC |       | 1.27 BSC    |       |
| J   | 0.008     | 0.015 | 0.21        | 0.38  |
| K   | 0.110     | 0.130 | 2.80        | 3.30  |
| L   | 0.295     | 0.305 | 7.50        | 7.74  |
| M   | 0°        | 10°   | 0°          | 10°   |
| S   | 0.020     | 0.040 | 0.51        | 1.01  |

**SO-16**  
**D SUFFIX**  
CASE 751B-05  
ISSUE J



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
  3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
  5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

| DIM | MILLIMETERS |       | INCHES    |       |
|-----|-------------|-------|-----------|-------|
|     | MIN         | MAX   | MIN       | MAX   |
| A   | 9.80        | 10.00 | 0.386     | 0.393 |
| B   | 3.80        | 4.00  | 0.150     | 0.157 |
| C   | 1.35        | 1.75  | 0.054     | 0.068 |
| D   | 0.35        | 0.49  | 0.014     | 0.019 |
| F   | 0.40        | 1.25  | 0.018     | 0.049 |
| G   | 1.27 BSC    |       | 0.050 BSC |       |
| J   | 0.19        | 0.25  | 0.008     | 0.009 |
| K   | 0.10        | 0.25  | 0.004     | 0.009 |
| M   | 0°          | 7°    | 0°        | 7°    |
| P   | 5.80        | 6.20  | 0.229     | 0.244 |
| R   | 0.25        | 0.50  | 0.010     | 0.019 |

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**GEORGE CHRYSISS**  
**HIGH-FREQUENCY SWITCHING**  
**POWER SUPPLIES:**  
**THEORY AND DESIGN**

SECOND EDITION



Faculty of Engineering Library



K024121

**McGraw-Hill Publishing Company** ใช้งานที่ NEW YORK เท่านั้น ST. LOUIS ให้นำไป SAN FRANCISCO ราคา  
AUCKLAND BOGOTÁ HAMBURG LONDON MADRID MEXICO MILAN MONTREAL NEW DELHI  
PANAMA PARIS SÃO PAULO SINGAPORE SYDNEY TOKYO TORONTO

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Chryssis, George.

High-frequency switching power supplies.

Includes index.

1. Electronic apparatus and appliances—Power supply.
2. Microelectronics—Power supply. I. Title.

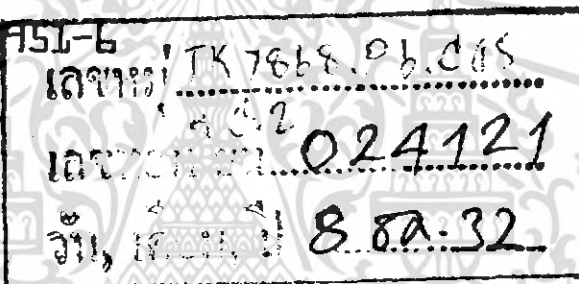
TK7868.P6C47 1989 621.381'044 88-13681

ISBN 0-07-010951-6

Copyright © 1989, 1984 by McGraw-Hill, Inc. All rights reserved.  
Printed in the United States of America. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

1234567890 DOC/DOC 89432109

ISBN 0-07-010951-6

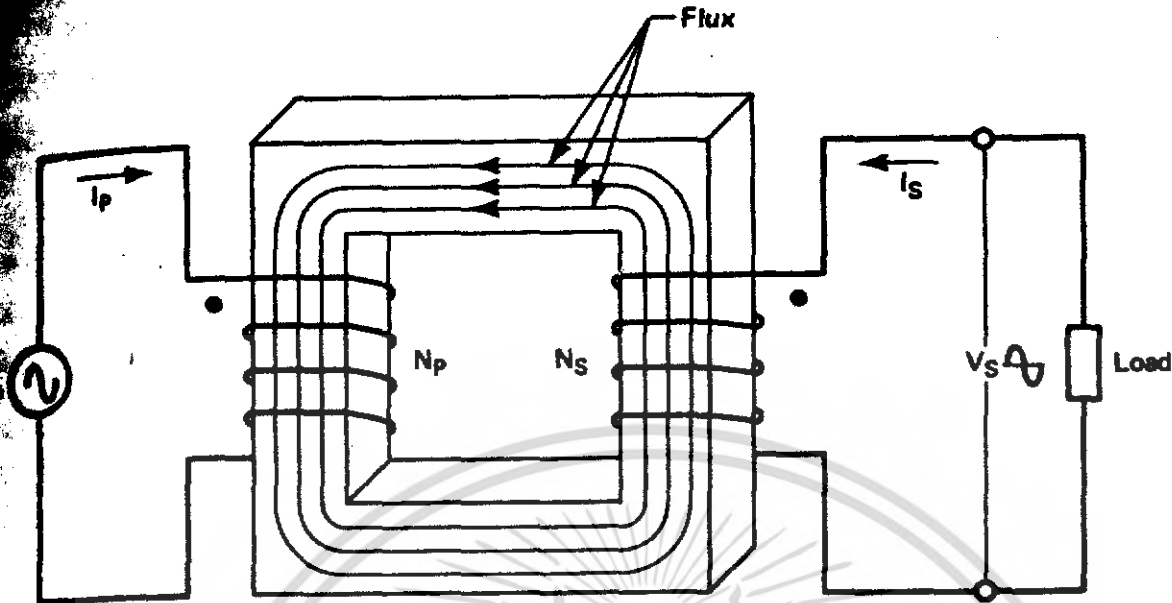


*The editors for this book were Daniel A. Gonneau and Marci Nugent, the designer was the Riverside Graphic Studio, Inc., and the production supervisor was Suzanne W. Babeuf. It was set in Caledonia by Techna Type, Inc.*

Printed and bound by R. R. Donnelley & Sons Company.

Information contained in this work has been obtained by McGraw-Hill, Inc., from sources believed to be reliable. However, neither McGraw-Hill nor its authors guarantees the accuracy or completeness of any information published herein, and neither McGraw-Hill nor its authors shall be responsible for any errors, omissions, or damages arising out of use of this information. This work is published with the understanding that McGraw-Hill and its authors are supplying information but are not attempting to render engineering or other professional services. If such services are required, the assistance of an appropriate professional should be sought.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
For more information about other McGraw-Hill materials, call 1-800-2-MCGRAW in the United States. In other countries, call your nearest McGraw-Hill office.



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

FIGURE 5-7 Typical two-winding transformer.

One of the most useful characteristics of a transformer is the electrical isolation which it offers between primary and secondary.

From the fundamental transformer magnetic relationship

$$e = NA_e \left( \frac{dB}{dt} \right) 10^{-8} \tag{5-6}$$

we can derive an expression to calculate the flux density  $B$  in order to make sure that the transformer operates in the linear portion of the magnetization curve. This expression is given by

$$B_{max} = \frac{(V_p)10^8}{KfN_pA_e} \tag{5-7}$$

- where  $V_p$  = impressed primary voltage, V
- $f$  = frequency, Hz
- $N_p$  = primary number of turns
- $A_e$  = core effective area,  $cm^2$
- $K = 4.44$  for sine waves

Since this book is devoted to switching power supplies,  $K = 4$  will be used for push-pull and bridge converters, and  $K = 2$  will be used for forward converters.

Normally, the designer of the power transformer chooses  $B_{max}$  arbitrarily, so that it lies within the linear region of the  $B-H$  curve. A good starting point is to choose  $B_{max} = B_{sat}/2$ .