

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำ สำหรับผลิตโอโซน

Low power High frequency High voltage Power supply for Ozone
Generation



รพ.
ฉ 152ท
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72117
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ย. 2550

b. 117 b3 b02
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำ สำหรับผลิตโอโซน

Low power High frequency High voltage Power supply For Ozone Generation



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อ. ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

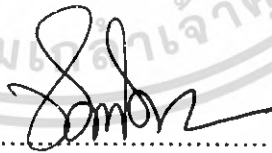
เรื่อง แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำ สำหรับผลิตไอโซน

ผู้จัดทำ

1. นายชนพล สุภรัตน์ศิริ
2. นายพูนลาภ เมฆเข็มทอง
3. นายยศต่นัย สุนทรวินิต



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



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำ สำหรับผลิตไอโซน

นายชนพล ศุภรัตน์ศิริ

นายพูนลาภ เมฆเข็มทอง

นายยศदनัย สุนทรวินิต

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

แหล่งจ่ายแรงดันสูงความถี่สูงกำลังต่ำสำหรับผลิตไอโซนที่นำเสนอในปฏิญานิพนธ์นี้ เป็นการออกแบบวงจรการสร้างแรงดันสูงอย่างง่าย โดยใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นที่สุดทำให้มีต้นทุนในการสร้างวงจรต่ำ โดยมีอุปกรณ์หลักเพียงหม้อแปลงความถี่สูงและอุปกรณ์สวิตซ์ หลักการทำงานและเงื่อนไขวิธีการออกแบบได้อธิบายดังในรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์นี้ เครื่องผลิตไอโซนกำลังต่ำต้นแบบได้ทำการสร้างและทดสอบเพื่อทดสอบสมมติฐานการลดต้นทุนการสร้างอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่ได้ให้การช่วยเหลือและเอื้อเพื่อให้
คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาโทครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วง

รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้
คำแนะนำและคอยดูแลเอาใจใส่พวกเราอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณพ่อและแม่ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้เอื้อเพื่อคำแนะนำและ
อุปกรณ์ในการทดสอบไอโซน

ขอบคุณเพื่อนานที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา และคอยช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่นายช่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่อำนวยความสะดวกในการยืม
อุปกรณ์ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low power High frequency High voltage Power supply For Ozone Generation

Thanapon Suparatsiri

Phunlap Mekkhemthong

Yotdanai Suntornwinit

Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnares Advisor

Chaitat maneeinn Advisor

2006

ABSTRACT

Low power High frequency High voltage Power supply For Ozone Generation is proposed in the project. The topology of it is simple by fewer devices. Then low cost to build it. General device is only high frequency transformers and switching device. The operation principle and design considerations are described in detail in the project. Low power for Ozone Generations is built and tested for assumption of low cost exactly.

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	1
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ก๊าซไอโซน	3
2.3 กระบวนการแตกตัวของก๊าซไอโซนและการผลิตไอโซน	7
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า (Electric field)	8
2.5 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองแรงดัน (Filter)	13
2.6 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)	14
2.7 หม้อแปลงความถี่สูง	16
2.8 การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลย์	18
2.9 วงจรควบคุมสัญญาณขับขาเกทของมอสเฟตกำลัง	22
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	24
3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน	24
3.2 คำนวนแรงดันที่ใช้ในการแตกตัวของออกซิเจน	26
3.3 การออกแบบหม้อแปลง	28
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมสวิตช์มอสเฟตกำลัง	29
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	31
4.1 การทดสอบวัดสัญญาณต่างๆ ของชุดแหล่งกำเนิดความถี่สูงแรงดันสูง	31
4.2 ทำการวัดปริมาณไอโซน	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	42
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	43
5.3 แนวทางในการพัฒนา	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	57
กิตติกรรมประกาศ	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณการใช้งานโอโซน	7
2.2 เส้นโค้งแสดงระดับพลังงานของออกซิเจน	8
2.3 คุณสมบัติของสนามไฟฟ้า 3 ชนิดตามรูปร่างของอิเล็กโทรดต่างกัน	9
2.4 แสดงลักษณะทรงกระบอกซ้อนกัน	10
2.5 แสดงลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันจำนวน 2 ชั้น	11
2.6 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)	13
2.7 การใส่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์	14
2.8 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด N Channel	15
2.9 แสดงคุณสมบัติการทำงานของมอสเฟต	15
2.10 แสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของหม้อแปลง	17
2.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำสำหรับผลิตโอโซน	18
2.12 ก. และข. วงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายไฟ ค. สัญญาณแรงดันเอาต์พุต	18
2.13 แสดงรูปแรงดันเอาต์พุต (ก.) และกระแสอินพุต (ข.)	21
2.14 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494	22
2.15 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T และ CT ในการกำหนดความถี่	23
3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดโอโซนแรงดันสูงความถี่สูง	24
3.2 ลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโทรดสำหรับผลิตโอโซน	26
3.3 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมมอสเฟตกำลัง	29
3.4 โครงสร้างของไอซี PC923	30
3.5 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณเกิดของมอสเฟต	30
4.1 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรถูกกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 110 Vrms	32
4.2 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรถูกกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 100 Vrms	32
4.3 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรถูกกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 90 Vrms	33
4.4 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรถูกกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 80 Vrms	33
4.5 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรถูกกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 70 Vrms	34
4.6 สัญญาณกระแสอินพุตของวงจรถูก	34
4.6 (ต่อ) สัญญาณกระแสอินพุตของวงจรถูก	35
4.7 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันสูง	37
4.7 (ต่อ) สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันสูง	37
4.8 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับตรวจวัดปริมาณโอโซนด้วยวิธีไอโอโดเมทริก	39
4.9 สีของสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับโอโซน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากหม้อแปลงในขณะที่จ่ายให้แก่ชุดอิเล็กทรอนิกส์	40
4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตและปริมาณไอโซน	41
4.12 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องผลิตไอโซน	41
5.1 แสดงชุดอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก	42
5.2 แสดงลักษณะภายในของชุดอิเล็กทรอนิกส์	42



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น	5
2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน	6
4.1 แสดงปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุทต่างๆ	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อโรคเข้ามาแทนที่การใช้สารเคมีอันตรายจำพวก คลอรีน ต่างทับทิม ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะทิ้งสารตกค้างไว้ในผลิตภัณฑ์ จึงได้นำโอโซนมาใช้ แทนสารเคมีอันตราย แต่เนื่องจากโอโซนมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรงการนำไปใช้งานต้องควบคุม ปริมาณให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบและสร้างชุดทดลองที่ผลิตโอโซน ซึ่งใน ชุดทดลองนี้ใช้หลักการเกิดโคโรนาดีสชาร์จของอากาศซึ่งสามารถพบได้ตามเสาไฟฟ้าแรงสูง เมื่อต้องการแรงดันสูงจึงต้องออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันสูงและเลือกที่ความถี่สูงด้วยเพื่อลด ขนาดของอุปกรณ์ให้เล็กลง โดยแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายแรงดันสูงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของ โมเลกุลของอากาศทำให้เกิดโอโซน หลังจากนั้นเนื่องจากโอโซนไม่เสถียรจึงทำให้สลายตัว กลายเป็นออกซิเจนอีกครั้ง

1.2 ความสำคัญของปัญหา

การฆ่าเชื้อโรคในวัตถุดิบเช่นน้ำ ในประเทศไทยยังมีการใช้งานสารคลอรีนแต่เนื่องจาก สารคลอรีนมีอันตรายมากจึงควรมีการนำวิธีการฆ่าเชื้อโรคแบบที่มีอันตรายน้อยลงทำให้ได้มี การทำการวิจัยและทดลองนำโอโซนซึ่งเป็นสารธรรมชาติซึ่งน่าจะมีอันตรายน้อยกว่าคลอรีน ถ้า หากโอโซนได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายจะช่วยเพิ่มลดความเสี่ยงที่จะได้รับสารเคมีตกค้าง ซึ่ง อาจทำให้เกิดผลข้างเคียงได้

1.3 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูงเพื่อใช้ในการผลิตโอโซน
2. ออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการผลิตโอโซน
3. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่มีผลต่อปริมาณโอโซน
4. ออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำ ราคาถูก

1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. สร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง
2. สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการผลิตโอโซน
3. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่มีผลต่อปริมาณโอโซน

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดโอโซนจากปรากฏการณ์โคโรนา
2. ศึกษาการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อผลิตโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง
4. สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการผลิตโอโซน
5. ศึกษาการวัดปริมาณโอโซน
6. ทำการวัดปริมาณโอโซน
7. ปรับปรุงและแก้ไขวงจรต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
8. จัดทำปฏิญญาพันธ์และแก้ไข
9. สรุปผลการดำเนินงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และความเข้าใจในกระบวนการเกิดโอโซน
2. ได้รับความรู้และความเข้าใจในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟ
3. ได้รับความรู้ในการทดลองหาปริมาณโอโซนทางเคมีปฏิบัติ
4. ได้รับความรู้ทางด้าน การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ผลิตโอโซน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยซึ่งประกอบด้วยข้อมูลโดยทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซโอโซน เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ หม้อแปลงความถี่สูงและวงจรต่าง ซึ่งแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของโอโซน
2. กระบวนการแตกตัวของก๊าซโอโซนและการผลิตโอโซน
3. ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า (Electric field)
4. วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองแรงดัน (Filter)
5. มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)
6. หม้อแปลงความถี่สูง
7. วงจรสร้างสัญญาณควบคุมขาเกทของมอสเฟตกำลัง

2.2 ข้อมูลทั่วไปของโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซที่เริ่มเป็นที่รู้จักกันและในใจมากในปัจจุบันเนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ทำหน้าที่แบบเดียวกัน คือเป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidize) นอกจากนี้ยังสามารถทำหน้าที่อื่นๆ ได้อย่างดี ในส่วนนี้จะเป็นการแนะนำให้รู้จักโอโซนโดยกล่าวถึงคุณสมบัติ หน้าที่ ข้อดี ข้อเสีย และวิธีการผลิตโอโซน โดยโอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจนจับตัวกัน 3 อะตอมในสภาวะกึ่งเสถียร (Meta – stable state)

ข้อมูลโดยทั่วไปของก๊าซโอโซน

2.2.1 ลักษณะบ่งชี้ตัวผลิตภัณฑ์ (Product Identification)

ชื่อผลิตภัณฑ์ (Product Name) : โอโซน (Ozone)

ชื่อเรียกพ้อง (Synonyms) : Activated Oxygen , Triatomic Oxygen

ตระกูลทางเคมี (Chemical Family) : Oxidizer

สูตรโมเลกุล (Molecular Formula) : O_3

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) : 48.0

2.2.2 ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย (Hazardous Ingredient)

ส่วนประกอบ (Component) : Ozone Gas

ความเข้มข้น (Concentration) : 0 – 4 % โดยน้ำหนัก

2.2.3 ข้อมูลทางกายภาพ

จุดเดือด : $-111.9^{\circ}C$

จุดหลอมเหลว : $-192.7^{\circ}C$

ความสามารถในการละลายในน้ำที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$: 0.003 g/l (3 ppm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของไอ : 1 (เท่ากับอากาศ)

2.2.4 คุณสมบัติทางเคมี

สารเป้าหมายในการทำปฏิกิริยาของไอโซนแบ่งเป็นหมวดหมู่ดังนี้

2.2.4.1 สารอินทรีย์ เช่น ไอออนโลหะหนักพวก เหล็ก แมงกานีส และ สารประกอบคลอรีน

2.2.4.2 สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น สิ่งปนเปื้อนขนาดเล็ก (micro pollutant) ต่าง ๆ เช่น สารไฮโดรคาร์บอน สารประกอบอะโรมาติก สารประกอบ แอมโมเนีย และยาฆ่าแมลง

2.2.4.3 โครงสร้างเซลล์ในสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น

2.2.5 การติดไฟและลุกไหม้

ไอโซนเป็นก๊าซที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซ์ที่รุนแรง โดยที่การออกซิไดซ์จะเริ่มต้นที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าการออกซิเดชันของออกซิเจน ไอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ไม่ อิ่มตัวทำให้เกิดไอโซไนซ์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เสถียร และอาจจะย่อยสลายไปกับการระเบิดที่ รุนแรงไอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิปกติ ไอโซนจะสลายตัวกลายเป็นโบโดมิคออกซิเจน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอยู่ในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ไฮโดรเจน เหล็ก และโครเมียม การย่อย สลายอาจจะทำให้เกิดการระเบิดได้

2.2.6 ข้อมูลอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)

ปริมาณที่เหมาะสม : โดยมาตรฐานแล้วอนุญาตให้มีก๊าซไอโซนอยู่ในอากาศประมาณ 0.1 ppm. โดยเฉลี่ยที่ประมาณ 8 ชั่วโมง หรือประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ ปริมาณไอโซนในน้ำไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้

ลักษณะอาการเมื่อได้รับก๊าซไอโซน : จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเมื่อสูดดมกลิ่นที่มีความเข้มข้นของก๊าซไอโซนประมาณ 0.04 ppm. และเมื่อความเข้มข้นของก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้น กลิ่นของก๊าซไอโซนอาจจะลดลง จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตาและทำให้จมูกและลำคอแห้ง และทำให้ไอ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซไอโซนเพิ่มมากขึ้นมาก ๆ อาจทำให้เกิดอาการปวดหัว โรคกระเพาะ อาเจียน เหนื่อยหอบ สุดท้ายถึงกับส่งผลอันตรายต่อปอดและถึงแก่เสียชีวิตได้

คุณสมบัติความเป็นพิษ : ก๊าซไอโซนจะทำลายระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเราสามารถได้ กลิ่นของไอโซนได้ที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 0.02 ppm. ถึง 0.05 ppm . ก๊าซไอโซนจะส่งผลถึง ตาและเยื่อจมูกต่างๆ และมีผลต่อปอดที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ ในระบบร่างกาย ได้มีรายงาน เกี่ยวกับผลกระทบจากการแพร่กระจายของประจุไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายต่อ โครงสร้างโครโมโซม ถึงแม้ว่าผลกระทบจากการได้รับก๊าซไอโซนจะมีลักษณะที่เกิดอย่าง เฉียบพลัน แต่ก็สามารถเกิดอาการเรื้อรังเช่นเกิดกับปอดซึ่งทำให้ร่างกายอ่อนแอลง ไอโซนเป็น สารเคมีที่ไม่เคยตรวจพบในการใช้งานเลยว่าเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา ในขณะที่สารผลิตภัณฑ์ของคลอรีนหลายชนิดเป็นพิษอย่างรุนแรง นอกจากนี้ไอโซนยังจัดว่า

เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคและปลอดเชื้อที่สมบูรณ์แบบ แต่โดยคุณสมบัติแล้ว โอโซนเป็นก๊าซที่เป็นพิษ ค่าศักย์ออกซิเดชันสูงถึง 2.07 V (สำหรับคลอรีน 1.36 V) ดังนั้น ถ้าปราศจากความรู้ความเข้าใจก่อนการใช้งานจึงมีอันตรายมาก โดยสามารถระบุระดับความเป็นพิษของโอโซนและผลที่เกิดขึ้นไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น

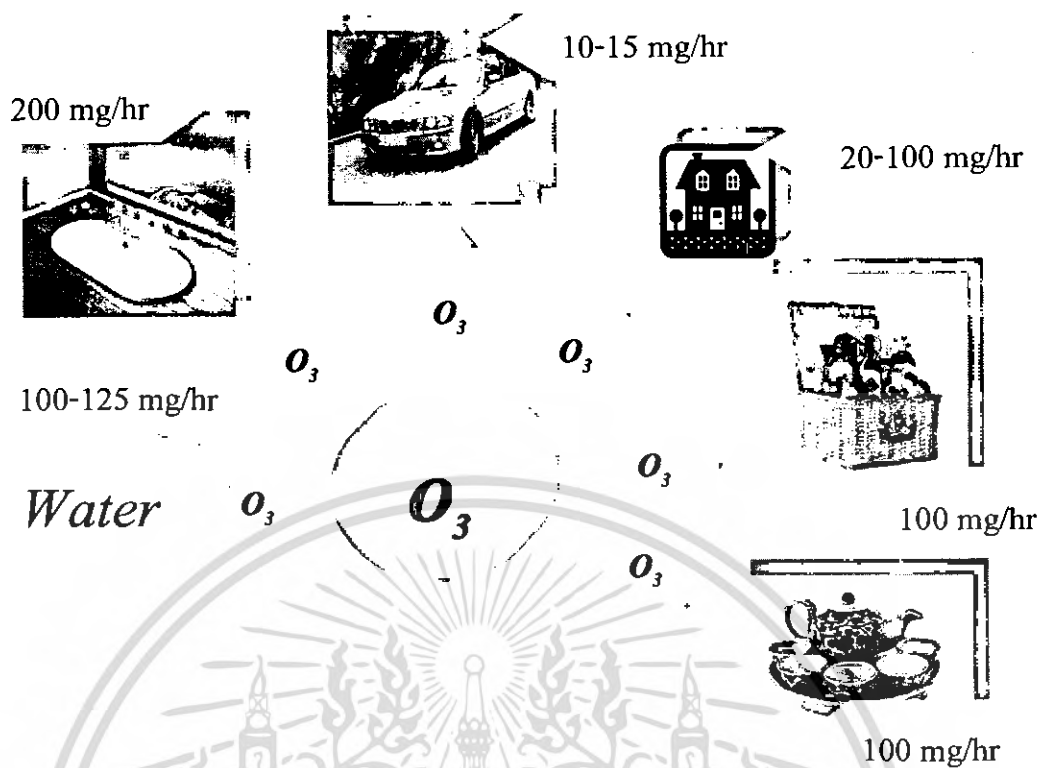
ระดับโอโซน (ppm. : part per million)	ผลที่เกิดขึ้น
0.001 – 0.125	ระดับที่พบในชั้นบรรยากาศ ค่านี้แปรผันตามตำแหน่งและสภาพบรรยากาศแวดล้อม
0.05	ระดับสูงสุดที่ผลิตจาก Electronic air cleaner และอุปกรณ์ในบ้าน
0.1	ระดับสูงสุดที่ยอมให้มีในบรรยากาศ บริเวณอุตสาหกรรมและที่สาธารณะ
0.3	เริ่มปรากฏผลต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสโดยตรง ในพืชเกิดจุดดำ สีซีด มีใบตาย ในสัตว์เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ
0.5	เกิดการปวดศีรษะ ปวดถูกทำลาย ดิดเชื้อทางเดินหายใจ
1.00 – 2.00	ในการทดสอบ การสูดดมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เกิดอาการป่วย คือ ปวดศีรษะ ปวดหน้าอก และทางเดินหายใจแห้งผาก
1.4 – 5.6	การทดสอบกับต้นถั่วพบว่าใน 70 วินาที ใบถั่วเกิดอาการป่วยรุนแรง
25 ขึ้นไป	เป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิต ในการทดสอบกับสัตว์พบอาการป่วยซึ่งน่าจะเป็นขั้นสุดท้ายแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน

คลอรีน (Chlorine)	โอโซน (Ozone)
1 . มีความเป็นพิษสูง และเป็นก๊าซพิษ	1 . ระดับความเป็นพิษอยู่ที่ 1 mg/l มีกลิ่นฉุน เริ่มสังเกตได้ที่ระดับ 0.01 mg/l ที่ระดับสูงกว่านี้มีการระคายเคืองสูงมาก
2 . คลอรีนจะถูกเก็บที่ภาชนะบรรจุกวามดันสูงและสามารถเป็นอันตรายได้เมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น	2 . โอโซนต้องทำการผลิต ณ ตำแหน่งที่ใช้งานไม่สามารถเก็บได้
3 . คลอรีนเมื่อผสมกับยูรีนและเหงื่อจะทำให้เกิดสารประกอบโครเดน ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองตาและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ	3 . โอโซนมีวงจรรชีวิตสั้น หลังทำปฏิกิริยาสลายตัวเป็นออกซิเจน
4 . ราคาคลอรีนสูง	4 . ราคาโอโซนต่ำลงเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและการใช้พลังงานน้อยลงในการผลิตปัจจุบัน
5 . คลอรีนมีค่าความรุนแรงในการทำปฏิกิริยา (Oxidation potential) 1.36 V	5 . โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ทำปฏิกิริยาสูงสุดเนื่องจากค่า(Oxidation potential) 2.07 V
6 . คลอรีนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้	6 . โอโซนที่ค่าความเข้มข้นเดียวกับคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ดีกว่าคลอรีน 600 – 3000 เท่า
7 . คลอรีนมีกลิ่นรุนแรงตกค้างหลักจากการบำบัด	7 . โอโซนไม่มีกลิ่นตกค้าง แต่สามารถกำจัดกลิ่นของยูรีน คาวิน อาหาร และสีได้
8 . คลอรีนกำจัดตะไคร่น้ำได้ดีมาก	8 . โอโซนพบปัญหาการเติบโตของตะไคร่น้ำ ต้องใช้คลอรีนช่วยกระทำ Shock treatment
9 . คลอรีนทำงานได้ดีต้องควบคุม pH ให้อยู่ในย่าน 7.0 – 7.4	9 . โอโซนไม่ต้องมีการควบคุม pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณการใช้งานโอโซน

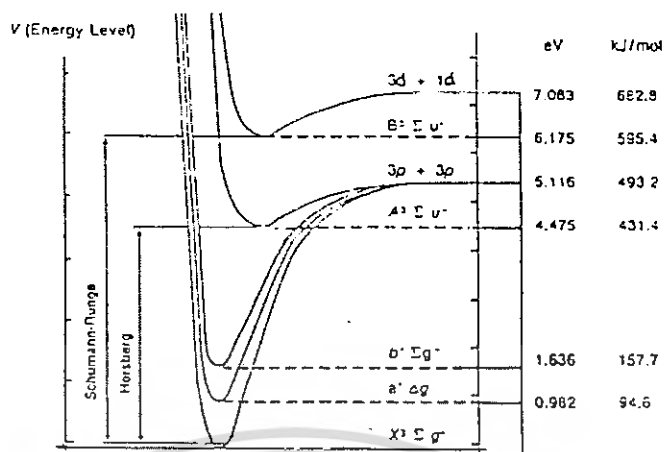
2.3 กระบวนการแตกตัวของก๊าซโอโซนและการผลิตโอโซน

ในอากาศจะประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) 79% และก๊าซออกซิเจน (O_2) 21 % โดยประมาณ นอกจากนั้นเป็นก๊าซเฉื่อยและไอน้ำ โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม จับกันอยู่ในสถานะไม่เสถียรสลายตัวได้ง่ายขึ้นกับเงื่อนไขแวดล้อมและความหนาแน่นของปริมาณที่ผลิต

ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการสร้างอะตอมอิสระของออกซิเจนจากโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ การเกิดก๊าซโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรนา ซึ่งทำให้อากาศเกิดการแตกตัวอันเนื่องมาจาก ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าค่าหนึ่งที่เพียงพอโดยก๊าซออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซนได้ จากปรากฏการณ์ 2 ชนิดคือกระบวนการไอออไนเซชัน (ionization) และกระบวนการแยกตัว (dissociation) ในกระบวนการแตกตัวของก๊าซนั้น เมื่อเกิดไอออไนเซชันคือการเพิ่มของประจุแบบทวีคูณ (Electron avalanche) นำไปสู่การเบรกดาวนในฉนวนที่พิจารณา กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากการเกิดเบรกดาวนที่เกิดขึ้น ทำให้อโอโซนซึ่งมีพลังงานพันธะต่ำเกิดการสลายตัว ดังนั้นการผลิตโอโซนจึงไม่ควรเกิดการเบรกดาวนเกิดขึ้น

นั่นคือพลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน (W) แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

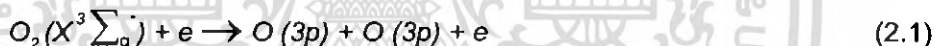


Source: Hasegawa (1977).

รูปที่ 2.2 เส้นโค้งแสดงระดับพลังงานของออกซิเจน

2.3.1 ขั้นตอนการแตกโครงสร้างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ

จากรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาจากระดับพลังงานของออกซิเจนจะเห็นว่าออกซิเจนมีระดับพลังงานที่ต่างกันหลายระดับซึ่งค่าพลังงานที่สามารถทำให้ออกซิเจนรวมตัวเริ่มเกิดเป็นไอโซนมี 2 ระดับ $O(3p)$ และ $O(1d)$ ขั้นตอนการสร้างไอโซนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ



อิเล็กตรอนต้องมีพลังงานมากกว่า พลังงานพันธะของโมเลกุลก๊าซจากรูปที่ 2.1 โดยประมาณคือ อยู่ในในช่วง 493.2 kJ/mol หรือ 682.8 kJ/mol จึงจะทำให้เริ่มมีการเกิดก๊าซไอโซน

2.3.2 ขั้นตอนการรวมตัวระหว่างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนกับอะตอมอิสระในข้อ 1 เป็นก๊าซไอโซน



2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า (Electric field)

สนามไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ค่าแฟลคเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ ทางเรขาคณิตของอิเล็กโทรดค่าแฟลคเตอร์สนามไฟฟ้า

$$\eta = \frac{E_{\max}}{E_{av}} \quad (2.4)$$

เมื่อ E_{\max} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดในช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E_{av} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าเฉลี่ย ที่เกิดขึ้นในแก๊สระหว่างอิเล็กโทรด

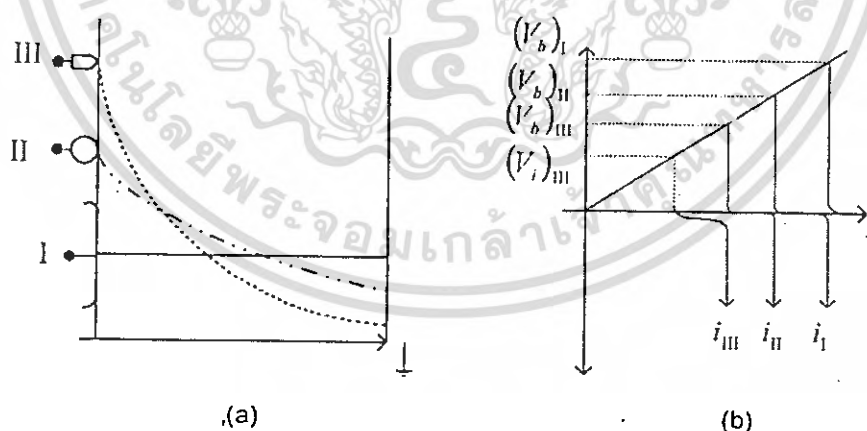
2.4.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform field)

สนามไฟฟ้าที่มีค่า $\eta^* = 1$ นั้นคือกรณีที่ป้อนแรงดันให้ชุดอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าแบบนี้ ถ้าค่า E_{max} ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับค่าความคงทนของฉนวนต่อสนามไฟฟ้า (E_b) จะเกิดเบรกดาวน์ทันที เนื่องจากสนามไฟฟ้าเฉลี่ย E_{av} ทุกจุดมีค่าเท่ากัน

2.4.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (Non - Uniform field)

2.4.2.1 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly non - uniform field) คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $40\% < \eta^* \leq 100\%$ คุณสมบัติใกล้เคียงกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมาก

2.4.2.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly non - uniform field) คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $\eta^* \leq 20\%$ คุณสมบัติที่โดดเด่นของสนามไฟฟ้าแบบนี้คือมีประจุค้างเกิดขึ้นทำให้สนามไฟฟ้าผิดเพี้ยนไปจากปกติ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ จะเกิดกระแสไหลก่อนเกิดเบรกดาวน์นานมาก เรียกว่า กระแสโคโรนา (Corona current) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และความเครียดสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากอิเล็กโทรดออกไปจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3a อิเล็กโทรด III เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติแตกตัวของอากาศแล้วแต่สนามไฟฟ้าบริเวณอื่นยังต่ำมาก จึงไม่เกิดการเบรกดาวน์ผ่านตลอดช่องว่างอากาศ แต่ค่าแรงดันที่อากาศเริ่มแตกตัวคือ V_i (Ignition voltage) ในสนามไฟฟ้าชนิดนี้การหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ทำได้ยากเนื่องจากผลของประจุค้างทำให้สนามไฟฟ้าไม่เป็นไปตามลักษณะเรขาคณิต



รูปที่ 2.3 คุณสมบัติของสนามไฟฟ้า 3 ชนิดตามรูปร่างของอิเล็กโทรดต่างกัน

- I) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ II) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย
 III) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง

รูปร่างของอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิตไอโซนจะมีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกัน มีฉนวน 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ภายในช่องว่างอากาศโดยฉนวนบางที่ชั้นจะต้องมีค่าคงทนสนามไฟฟ้าสูงกว่าอากาศ ซึ่งทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าตกคร่อมอากาศมากขึ้น และผลของฉนวนบางกันในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงทำให้อากาศทนแรงดันเบรกดาวน์สูงขึ้นโดยฉนวนบางที่ใช้เป็นแก้ว (แก้วเป็นสาร อเนกปริยที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ทนความร้อนสูงประกอบด้วย SiO_2 ที่ซับซ้อน ค่าคงที่ฉนวนสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 3.5 – 9 มีค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก 0.005 – 0.01 จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ)

ดังนั้นรูปร่างของอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิตไอโซนจะมีลักษณะเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงในลักษณะทรงกระบอกซ้อนกันดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะทรงกระบอกซ้อนกัน
ทรงกระบอกซ้อนกัน (Coaxial – Cylindrical field)

r_1 = รัศมีวงใน

r_2 = รัศมีวงนอก

l = ความยาว

เส้นฟลักซ์สนามไฟฟ้าคงอยู่ในแนวรัศมีและพื้นผิวของทรงกระบอกคือพื้นผิวศักดาไฟฟ้าเท่า โดยอาศัยสมการที่ 4 ของ Maxwell

$$Q = \int_s \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad (2.5)$$

สำหรับทรงกระบอกซ้อนกันยาว l รัศมี r

หาค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะรัศมี r_x ใด ๆ ($r_1 \leq r_x \leq r_2$)

$$E_{rx} = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \frac{1}{r} \quad (2.6)$$

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนระหว่างทรงกระบอกทั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \int_{r_1}^{r_2} E_{rx} \cdot dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr \tag{2.7}$$

$$V = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \tag{2.8}$$

จะได้

$$E_{rx} = \frac{V}{r_x \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \tag{2.9}$$

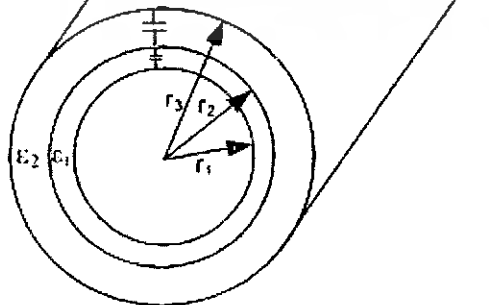
ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดที่ผิวกระบอกวงใน

$$E_{\max} = E_{r_1} = \frac{V}{r_1 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \tag{2.10}$$

Cylindrical Capacitance

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \tag{2.11}$$

ทรงกระบอกซ้อนกันรวมจำนวน 2 ชั้น



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันรวมจำนวน 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่า C จะเหมือน C_1 ต่ออนุกรมกับ C_2 จาก (2.11)

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.12)$$

ค่าตัวเก็บประจุ ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$C_1' = \frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad C_2' = \frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2.13)$$

ค่าตัวเก็บประจุ ที่ต่ออนุกรมกันต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$C_{res}' = \frac{C_1' \cdot C_2'}{C_1' + C_2'} = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 l}{\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.14)$$

ประจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$Q_{res}' = C_{res}' \cdot V = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 V}{\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.15)$$

เมื่อเป็น C ต่ออนุกรม

$$Q_1' = Q_2' = Q' = C_1' V_1 = C_2' V_2 = C_{res}' \cdot V \quad (2.16)$$

แรงดันที่กระจายในตำแหน่ง r_x ใด ๆ

$$V_{rx} = \frac{C_{res}' \cdot V}{C_{res}'} = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 V}{C_{res}' (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.17)$$

ถ้า E_{rx} : ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวน r_x

$$E_{rx} = \frac{Q'}{2\pi\epsilon_x r_x} \quad (2.18)$$

$$\therefore E_{rx} = \frac{\epsilon_1\epsilon_2 V}{r_x \epsilon_x (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.19)$$

ดังนั้นส่วนผลิตไอออนจึงออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกันร่วมฉนวน 2 ชั้น ซึ่งมีลักษณะและขนาดของความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดในแนวแกนอากาศเป็น

$$E_{mzx} = \frac{\epsilon_1 V}{r_2 (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.20)$$

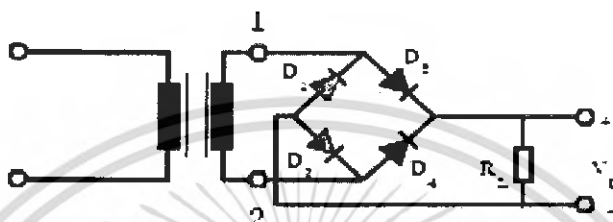
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองแรงดัน (Filter)

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองแรงดัน (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง หรือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางเดียวเท่านั้น อุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในวงจรได้แก่ ไดโอด

2.5.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)

วงจรเรียงกระแสนี้เป็นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)

การทำงานของบริดจ์เรกติไฟเออร์จะมีทิศทางการกำหนดตามลักษณะของลูกศร นั่นคือเมื่อ V_S เพิ่มขึ้นทางบวก ไดโอด D_2 และ D_3 จะนำกระแส และเมื่อแรงดัน V_S ลงไปในทางลบ ไดโอด D_1 และ D_4 จะนำกระแสเป็นผลทำให้กระแสไหลผ่านไหลในทิศทางเดียวเท่านั้น

2.5.1.1 ค่ากระแสกระชาก I_{fsm} (Maximum Surge Current)

กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านบริดจ์ขณะเปิดเครื่อง เมื่อตัวเก็บประจุฟิเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ดังนั้นการเลือกไดโอดจะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสกระชากประมาณ 20 -30 เท่าของพิกัดกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรง

2.5.1.2 ค่ากระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรง I_{fm} (Average Forward Current)

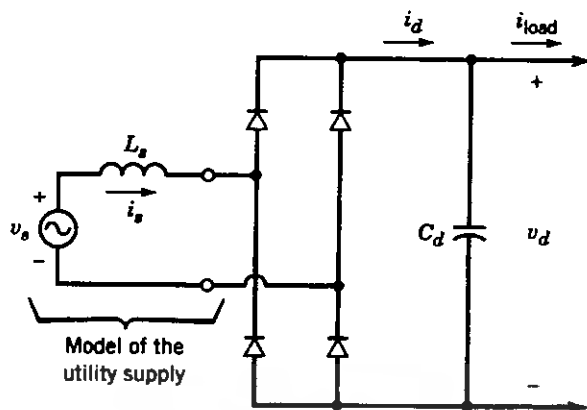
ค่ากระแสเฉลี่ยที่บริดจ์ไดโอดขณะทำงาน ควรมีการเผื่อค่าไว้ประมาณ 1.5 – 2 เท่าจากที่คำนวณได้ในวงจร เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน

2.5.1.3 อัตราแรงดันไบแอสกลับสูงสุด

อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดของไดโอดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุด (V_{peak}) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางต้นอินพุท และต้องมีการเผื่อค่าให้มากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเพื่อป้องกันแรงดันทรานเซียนท์ในไฟฟ้ากระแสสลับ

2.5.2 วงจรกรองแรงดัน (Filter)

แรงดันที่ผ่านวงจรเรกติไฟเออร์มาแล้วนั้น ถ้าพิจารณากันอย่างละเอียดแล้วจะเห็นว่ามีลักษณะแรงดันที่ได้มานั้นไม่ราบเรียบ จำเป็นต้องมีวงจรช่วยทำให้ลักษณะกระแสและแรงดันนั้นราบเรียบขึ้น นั่นก็คือใช้วงจรฟิเตอร์



รูปที่ 2.7 การใส่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์

แรงดันไฟฟ้าที่ได้ที่โหลดนั้น ต้องการให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบขึ้น จึงใช้วิธีการใส่ตัวเก็บประจุไว้ในตัวมัน เมื่อใดที่กระแสป้อนน้อยมันก็จะเอาประจุที่เก็บสะสมไว้ในตัวมันจ่ายแทนซึ่งก็คือการคายประจุ เมื่อใดที่ต้องจ่ายโหลดน้อย มันก็จะแบ่งมาสะสมไว้ซึ่งก็คือการชาร์จประจุ ซึ่งจะช่วยให้ลดแรงผลของแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) ซึ่งสามารถหาค่าของตัวเก็บประจุให้เหมาะสมได้ดังนี้

$$C_{filter} = \frac{I_o \cdot t_{on(max)}}{V_r} \tag{2.21}$$

- โดย I_o คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส (แอมแปร์)
- $T_{on(max)}$ คือ ช่วงเวลาที่ C คายประจุ (วินาที)
- V_r คือ ค่ายอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (V_{p-p})

จากสมการ พบว่า เมื่อ C มีค่ามากขึ้นทำให้แรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยลง ดังนั้น ชนิดและขนาดของตัวเก็บประจุจึงมีผลกับแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) ของแรงดันไฟตรงได้ โดยปกติการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะยอมให้วงจรเรียงกระแสมีแรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาท์พุท

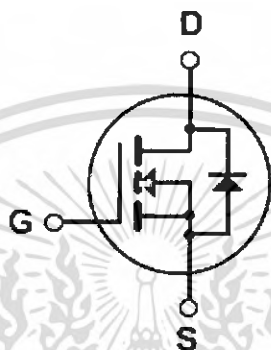
2.6 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)

มอสเฟตกำลังหรือเพาเวอร์มอสเฟต เป็นอุปกรณ์เพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์ที่มีขนาดกำลังต่ำ แต่สามารถในการสวิตชิงที่ความถี่สูงๆ ได้ดี มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานด้วยแรงดัน (Voltage Controlled) โดยจะต้องมีศักดาไฟฟ้าตกร้อมที่ขาเกต (gate) และซอร์ส (source) เพื่อที่จะสร้างสัญญาณกระแสลู่ขาเดรน (drain) เนื่องจากขาเกตถูกแยกออกจากขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

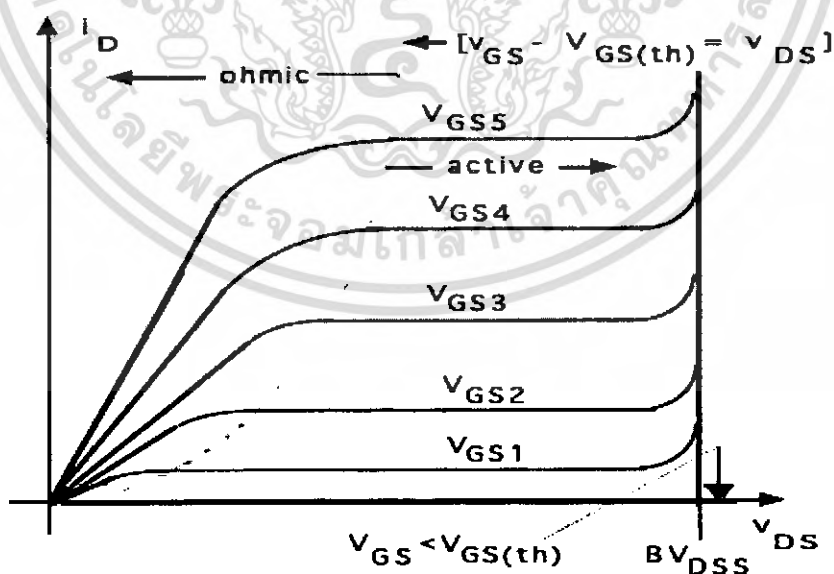
ซอร์ส โดยชั้นซิลิกอนออกไซด์ (Silicon Oxide) จึงเปรียบเสมือนมีค่าตัวเก็บประจุ C ที่ทางด้านอินพุท เราจึงเรียกได้ว่ามอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่มี High Impedance

การหยุดทำงานของมอสเฟตไม่จำเป็นต้องทำการรีเวอร์สกระแส เพราะมอสเฟตเป็นอุปกรณ์ประเภท Majority carrier semiconductor มันจะหยุดนำกระแสทันทีที่ไม่มีศักดาไฟฟ้าที่ขาทเกตและซอร์ส ดังนั้น การหยุดนำกระแสของมอสเฟตจึงขึ้นอยู่กับค่าศักดาไฟฟ้าที่ขาทเกตและซอร์ส



รูปที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด N Channel

รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการทำงานของมอสเฟต ลักษณะของกราฟแสดงของเขตการทำงานที่ชัดเจน 2 ลักษณะ คือ ภาวะความต้านทานคงที่ (Constant Resistant) และภาวะกระแสคงที่ (Constant Current)



รูปที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติการทำงานของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาวะกระแสสูงที่ เมื่อตัดดาไฟฟ้าที่เตรนและซอร์สเพิ่มขึ้น กระแสเตรนจะเป็นสัดส่วน จนกระทั่งตัดดาไฟฟ้าที่เตรนซอร์สเพิ่มขึ้นถึงจุดที่เรียกว่า Pinch-off กรจะเริ่มคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ที่ภาวะความต้านทางคงที่ ก็คือภาวะที่ตัดดาไฟฟ้าดกร้อมที่ขาเตรนและซอร์สหรือ โวลเตจดกรอบที่ขาเตรนและซอร์ส จะเป็นสัดส่วนกับกระแสเตรน ซึ่งเปรียบเสมือนมีตัวต้านทานคงที่ตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดกำลังสูญเสีย (Power loss)

2.7 หม้อแปลงความถี่สูง

2.7.1 ลักษณะแกนที่ใช้

โดยปกติในหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งนิยมใช้ “แกนเฟอร์ไรต์” เพราะมีจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงจะเกิดการสูญเสียค่าที่ความถี่สูง ซึ่งในการเลือกจะต้องมีการกำหนดค่าความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน ซึ่งขึ้นกับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีและขนาดแกน ดังแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

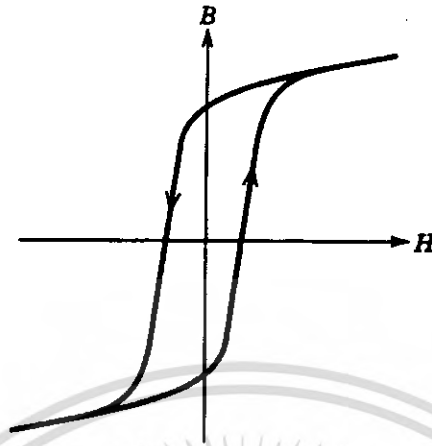
$$\Delta B = \frac{V \cdot t}{N_p \cdot A_e} \cdot 10^8 \quad (2.22)$$

โดย ΔB คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน (เกาส์)
 V คือ ค่าแรงดันที่ดกร้อมขดไพรมารี (V)
 N_p คือ ค่าจำนวนรอบของขดไพรมารี (รอบ)
 A_e คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน (ตารางเซนติเมตร)
 t คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น (วินาที)

จากสมการ (2.22) พบว่าถ้าจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีมีค่าน้อยลง จะทำให้ความหนาแน่นฟลักซ์มีค่ามากขึ้น ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดลวดของขดไพรมารี จะต้องใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้น และต้องสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

เมื่อความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวจะทำให้แรงดันดกร้อมขดไพรมารีมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุทจะไปดกร้อมที่เพาเวอร์มอสเฟตขณะที่ทำงานนำกระแสสูง ๆ แทน ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตพังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้น การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดต้องคำนึงถึง

2.7.2 การอิมิตัวของแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของหม้อแปลง

จากลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสดังรูปที่ 2.10 พบว่า ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก H มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตาม จากจุดดังกล่าวแสดงว่าแกนเฟอร์ไรต์เริ่มมีการอิมิตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation) ดังนั้นการใช้งานจะต้องระวังไม่แกนเฟอร์ไรต์อิมิตัวโดย

2.7.2.1 การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงานมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดของแกนเฟอร์ไรต์

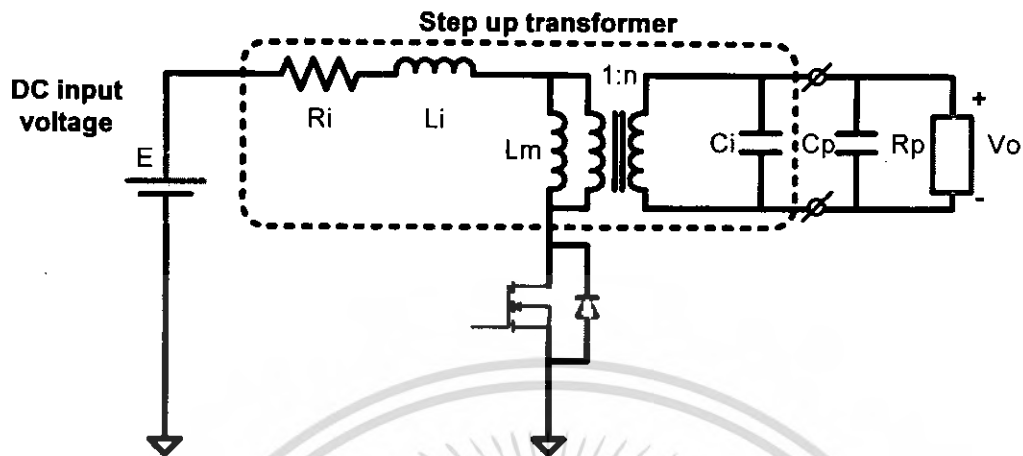
2.7.2.2 การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก (Air gap) ซึ่งจะช่วยป้องกันการอิมิตัวของแกนและช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดมีค่ามากขึ้น ทำให้กำลังของหม้อแปลงเพิ่มขึ้น แต่อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ออกมาและอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

2.7.2.3 การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ให้เหมาะสม เพราะถ้าแกนมีขนาดใหญ่เกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่ถ้าแกนมีขนาดเล็กเกินไปขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน

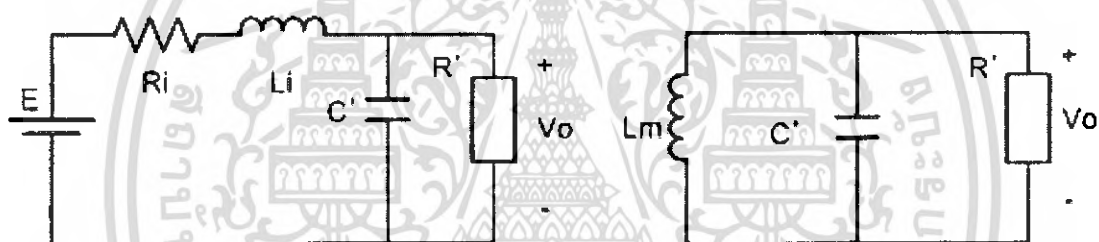
2.7.3 ค่าความสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์

ค่าความสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งทำให้แกนร้อน มีสาเหตุจากการสูญเสียที่เกิดจากลักษณะของฮิสเตอร์รีซิสของแกน (Hysteresis Loss) และการสูญเสียจากการเดินกระแสไหลวนภายในแกนเฟอร์ไรต์ (Eddy Current Loss) ซึ่งความสูญเสียจะมีค่าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ความถี่การใช้งานและอุณหภูมิขณะใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์

2.8 การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์

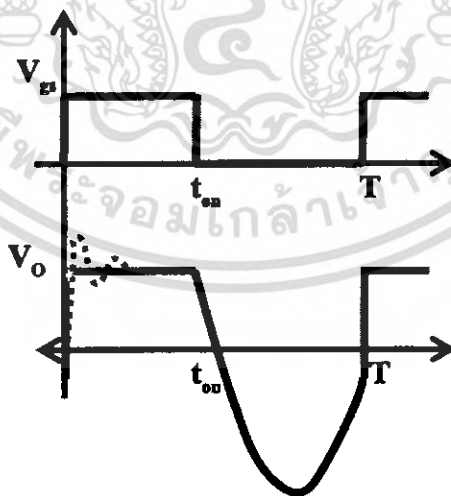


รูปที่ 2.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ความถี่สูง กำลังต่ำสำหรับผลิตไอโซน



ก. ช่วงเวลา 0 - t_{on}

ข. ช่วงเวลา $t_{on} - T$



ค. สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

รูปที่ 2.12 ก. และ ข. วงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายไฟ ค. สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์วงจรสมมูลย์

1. อุปกรณ์ทุกส่วนในวงจรกำหนดให้ทำงานเชิงอุดมคติ
2. ผลของค่าความเหนี่ยวนำ L_m ในวงจรจะละเว้นไม่พิจารณาในช่วงเวลา $0 - t_{on}$
3. กระแสที่ไหลผ่าน L_i ที่เวลา $t=0$ เท่ากันศูนย์และที่เวลา $t=t_{on}$ จะมีค่าน้อยมากจึงละเว้นไม่พิจารณา
4. แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรได้ส่งผ่านมาทางด้านอินพุตแล้ว ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจริงจะต้องคูณด้วยอัตราส่วนของหม้อแปลง ดังนั้นสมการของวงจรสมมูลย์หลังจากส่งผ่านมาทางด้านอินพุตแล้วจะอยู่ใน

รูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์กำลังสองซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.8.2 วิเคราะห์แรงดันเอาต์พุต

- ช่วงเวลา $0 - t_{on}$

$$\frac{d^2 v_0}{dt^2} + \left[\frac{1}{\tau_{L_i}} + \frac{1}{\tau'} \right] \frac{dv_0}{dt} + \left[\omega_i^2 + \frac{1}{\tau_{L_i} \tau'} \right] v_0 = \omega_i^2 E \quad (2.23)$$

- ช่วงเวลา $t_{on} - T$

$$\frac{d^2 v_0}{dt^2} + \frac{1}{\tau_i} \frac{dv_0}{dt} + \omega_{om} v_0 = 0 \quad (2.24)$$

จากนั้นแก้สมการเชิงอนุพันธ์กำลังสองสมการ 2.23 และ 2.24 จะทำให้ได้สมการแรงดันเอาต์พุตคือ

- ช่วงเวลา $0 - t_{on}$

$$V_0(t) = \frac{E}{1+r_i} + \left[V_{oi} - \frac{E}{1+r_i} \right] \exp(-\alpha_i t) \cos \omega_n t + \frac{1}{\omega_n} \left[\alpha_i (V_{oi} - E) - \frac{V_{oi}}{\tau'} \right] \exp(-\alpha_i t) \sin \omega_n t \quad (2.25)$$

- ช่วงเวลา $t_{on} - T$

$$V_0(t-t_{on}) = \frac{E}{1+r_i} \exp[-(t-t_{on})] \cos \omega_m (t-t_{on}) + \frac{E}{\omega_m} \left[\frac{1}{2\tau'} - \frac{1}{\tau'+\tau_{ci}} \right] \exp[-(t-t_{on})] \sin \omega_m (t-t_{on}) \quad (2.26)$$

เมื่อ V_{oi} คือแรงดันเอาต์พุตที่เวลา $t=0$ และเวลา $t=T$

2.8.3 วิเคราะห์กระแสอินพุต

- ช่วงเวลา $0 - t_{on}$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \left[\frac{1}{\tau_{L_i}} + \frac{1}{\tau'} \right] \frac{di}{dt} + \left[\omega_i^2 + \frac{1}{\tau_{L_i} \tau'} \right] i = \frac{\omega_i^2 E}{R'} \quad (2.27)$$

จากนั้นแก้สมการเชิงอนุพันธ์กำลังสองสมการ 2.27 จะทำให้ได้สมการกระแสอินพุตคือ

- ช่วงเวลา 0 - t_{on}

$$i(t) = \frac{\frac{E}{R'}}{1+r_i} \left[1 - \exp(-\alpha_i t) \cos \omega_{ri} t \right] + \frac{1}{\omega_{ri}} \left[\frac{E - V_{oi}}{L_i} - \frac{\alpha_i}{1+r_i} \frac{E}{R'} \right] \exp(-\alpha_i t) \sin \omega_{ri} t \quad (2.28)$$

เมื่อ

$$\tau' = R' C' \quad (2.29)$$

$$\tau_{Li} = \frac{L_i}{R_i} \quad (2.30)$$

$$\alpha_i = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tau'} + \frac{1}{\tau_{Li}} \right] \quad (2.31)$$

$$\omega_{ri} = \sqrt{\omega_{oi}^2 - \alpha_i^2} \quad (2.32)$$

$$\omega_{oi} = \sqrt{\omega_i^2 - \frac{1}{\tau_{Li} \tau'}} \quad (2.33)$$

$$\omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_i C'}} \quad (2.34)$$

$$r_i = \frac{R_i}{R'} \quad (2.35)$$

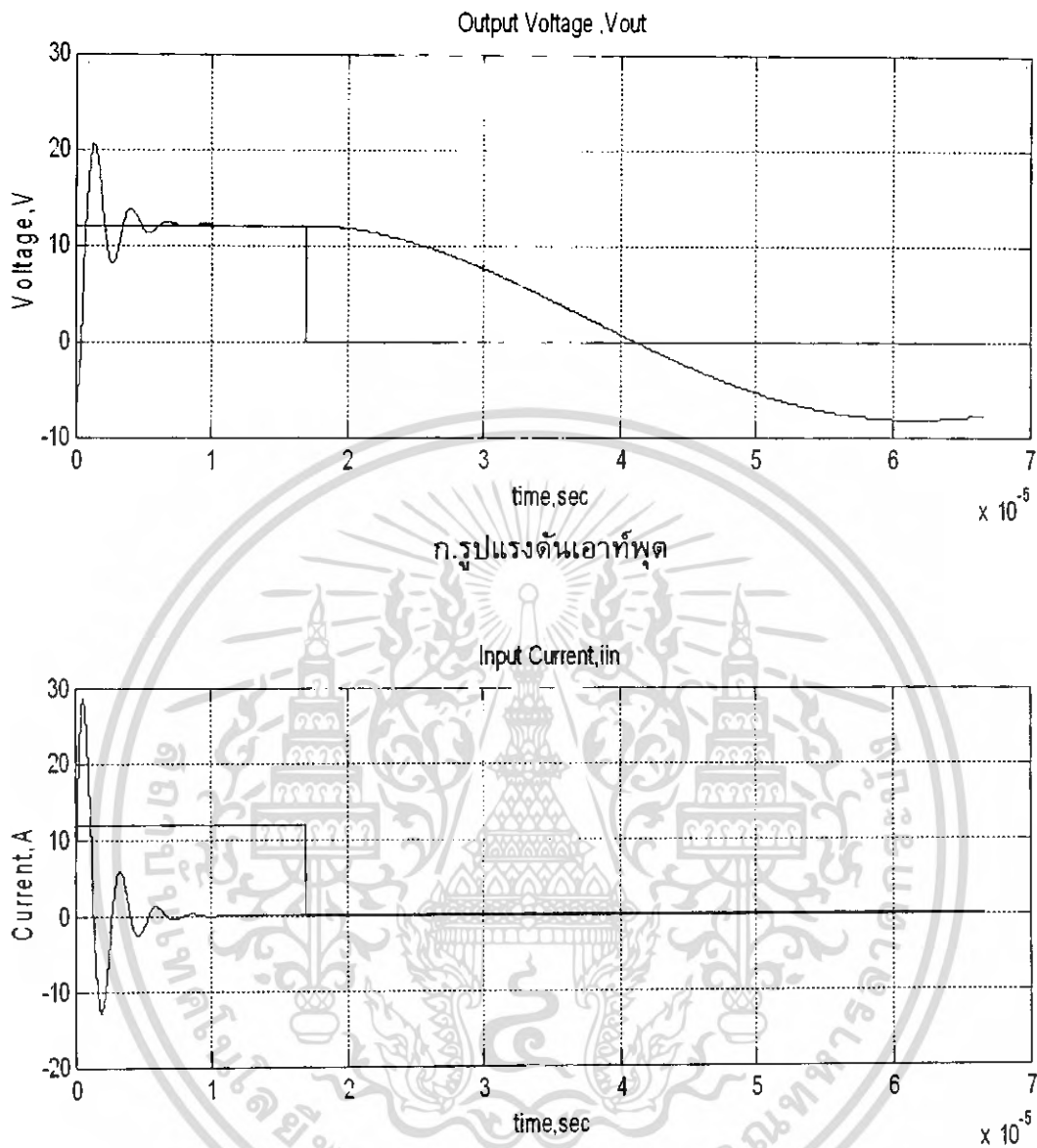
$$\tau_{Ci} = R_i C' \quad (2.36)$$

$$\omega_{rm} = \sqrt{\omega_{om}^2 - \left(\frac{1}{2\tau'} \right)^2} \quad (2.37)$$

$$\omega_{om} = \frac{1}{\sqrt{L_m C'}} \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 ผลการวิเคราะห์ห้วงจรด้วยสมการโดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ



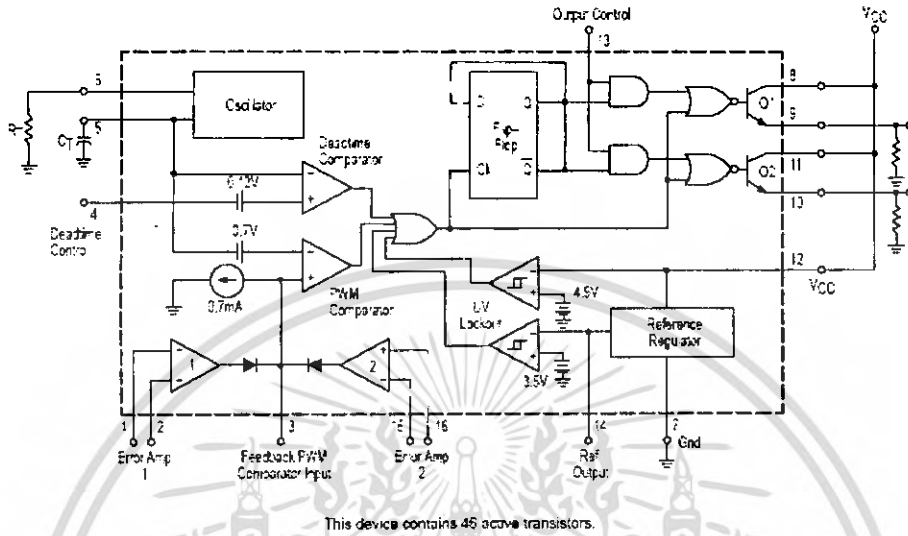
ข. รูปกระแสอินพุต

รูปที่ 2.13 แสดงรูปแรงดันเอาต์พุต (ก.) และกระแสอินพุต (ข.)

ที่ $E=12\text{ V}$, $n=100$, $t_{on}=17\ \mu\text{s}$, $f=15\text{ kHz}$, $R_l=0.23\ \Omega$, $L_l=0.3\ \mu\text{H}$, $L_m=230\ \mu\text{H}$, $R=70\ \Omega$
และ $C'=0.87\ \mu\text{F}$

2.9 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมขาเกตของมอสเฟตกำลัง

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของมอสเฟตโครงสร้างภายในและการจัดการขาของ TL 494 แสดงในรูปที่ 2.14 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้



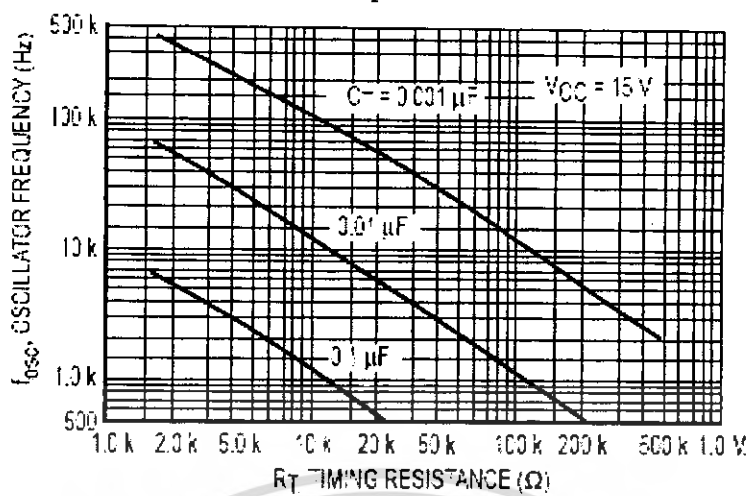
รูปที่ 2.14 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494

วงจรควบคุมสัญญาณขั้วขาเกตของมอสเฟตกำลังจะมีหน้าที่ในการทำให้มอสเฟตกำลังทำงานเป็นสวิทช์ปิดเปิดเพื่อทำให้เกิดความถี่สูงที่โหลด เพราะฉะนั้นจึงต้องสร้างวงจรขั้วเกตขึ้นมา เพื่อนำไปใช้ขั้วเกตของมอสเฟตกำลังให้ทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรสร้างพัลส์ได้จาก IC TL 494

การกำหนดคาบเวลาในการทำงาน

วงจร TL 494 เป็นวงจรพีดีบีลิวเอ็ม ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T ที่ต่อเพิ่มมาจากภายนอกที่ ขา 5 และขา 6 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T \cdot C_T}{1.1} \tag{2.39}$$



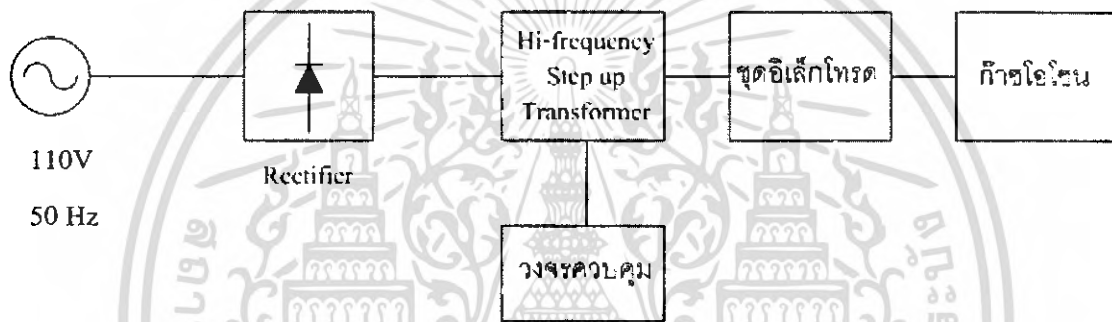
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T และ C_T ในการกำหนดความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดไอโซนความถี่สูงนั้นได้แยกส่วนของการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดก๊าซไอโซนกับส่วนของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนซึ่งในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะประกอบด้วยโครงสร้างดังต่อไปนี้ คือ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ , ส่วนของวงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบ (Filter), หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง, วงจรควบคุมและส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไอโซนแรงดันสูงความถี่สูง

3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน [1]

จากรูปที่ 2.2 แสดงเส้นโค้งระดับพลังงานของออกซิเจนแสดงให้เห็นว่าในการผลิตไอโซนจำเป็นต้องใช้พลังงาน 493.2 kJ/mol – 682.8 kJ/mol ขึ้นไป จึงจะเริ่มทำเริ่มเกิดก๊าซไอโซน เพื่อที่จะแปลงหน่วยเป็นหน่วยโมลเป็นปริมาตรต้องอ้างอิงถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมี โดยจะเขียนความสัมพันธ์ของก๊าซในอุดมคติ (Ideal Gas) ได้เป็น

$$\text{กฎของก๊าซ (Gas Law)} \qquad PV = nRT \qquad (3.1)$$

และก๊าซจริง (Real Gas) พบว่าโมเลกุลของก๊าซของก๊าซมีขนาดและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเป็นแรง Vander Walls ซึ่งขนาดโมเลกุลและแรงกระทำนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของก๊าซแต่ละชนิดและสามารถเขียนสมการโดยประมาณของก๊าซจริงคือ สมการแวนเดอร์วาลส์ (Vander -Walls)

$$\left(P + \frac{a}{V^2} \right) \cdot (V - b) = RT \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.1 และ 3.2

V คือ ปริมาตรก๊าซ m^3

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

R คือ เลขอาโวกาโดร์ $R = 8,314.3$ Pa- m^3 / (kmol-K)

T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}K$)

n คือ จำนวนโมล

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

จะได้ $a = 137,768$

$b = 0.0318$

แทนค่า a และ b ลงในสมการที่ 3.2

$$\left(101.5 \times 10^3 + \frac{137,768}{V^2}\right)(V - 0.0318) = 2,494,290$$

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

$$V = 24.55 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

นั่นคือ

1 mol มีปริมาตร = 0.02455 m^3 โดยประมาณ

ดังนั้นจากรูปที่ 2.1 เส้นโค้งระดับพลังงานของออกซิเจนจะได้ค่าพลังงานช่วง 493.2 KJ/mol ถึง 682.8 KJ/mol

$$493.2 \text{ KJ/mol} = 20,089 \text{ kJ/ m}^3$$

$$\text{และ } 682.8 \text{ KJ/mol} = 27,812.63 \text{ kJ/ m}^3$$

จาก

$$3.6 \times 10^6 \text{ J} = 1 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ J} = 2.78 \times 10^{-4} \text{ Wh}$$

ดังนั้นย่านพลังงานที่ต้องใช้คือ 5.58 KWh/ m^3 ถึง 7.73 KWh/ m^3 ขึ้นไป แต่ในอากาศมีส่วนประกอบของออกซิเจนอยู่ 21 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ดังนั้นย่านพลังงานที่ต้องการในการสลายพลังงานพันธะออกซิเจนคือ 1.172 KWh/ m^3 ถึง 1.62 KWh/ m^3 จึงสามารถที่จะเกิดไอโซนขึ้นในช่องว่างอากาศได้

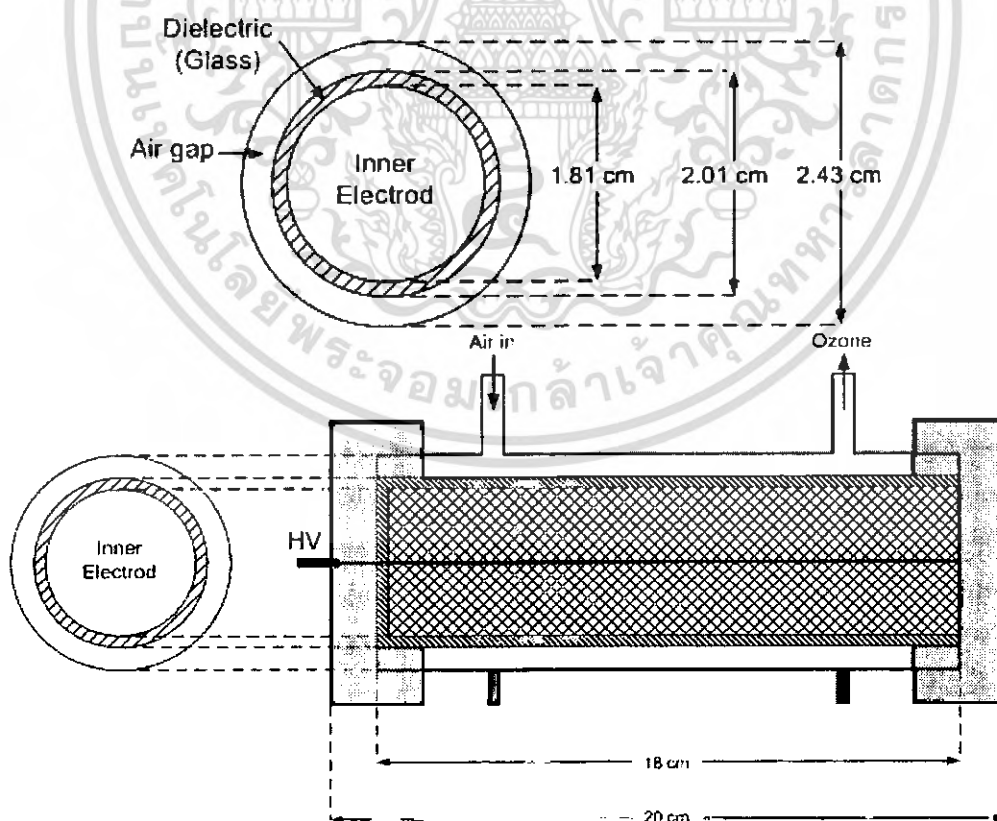
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ค่าแรงดันที่ใช้ในการแตกตัวของออกซิเจน

ในการออกแบบส่วนกำเนิดโอโซนจะใช้หลักการของสนามไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการสร้างอิเล็กโตรด โดยจะออกแบบให้อิเล็กโตรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันและมีฉนวน 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงภายในช่องว่างอากาศโดยฉนวนที่ชั้นจะต้องมีค่าคงทนต่อสนามไฟฟ้าสูงมากกว่าอากาศ จึงจะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าดกคร่อมอากาศมากขึ้นและผลของแผ่นฉนวนบางกันในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงทำให้อากาศทนต่อแรงดันเบรกดาวน์สูงขึ้นโดยฉนวนบางที่ใช้เป็นแก้วเป็นสารอินทรีย์เทอร์โมพลาสติกที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำทนความร้อนสูงประกอบออกไซด์ SiO₂ ที่ซับซ้อน ค่าคงที่ฉนวนสัมพัทธ์ (ε_r) อยู่ในช่วง 3.5-9 มีค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.005-0.01 จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ

ดังนั้นส่วนผลิตก๊าซโอโซนจึงจะออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกันแบบฉนวน 2 ชั้น ซึ่งลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตโอโซนแสดงดังรูปที่ 3.2 จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนเป็นอากาศเป็น

$$E_{Max} = \frac{\epsilon_1 V}{r_2 (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \tag{3.3}$$



รูปที่ 3.2 ลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโตรดสำหรับผลิตโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าคงที่ได้คืออิเล็กทริกของแก้ว ($\epsilon_r = \epsilon_1 = 8$) $r_1 = 0.905$ cm. $r_2 = 1.005$ cm. $r_3 = 1.2128$ cm. และยาว 18 cm.

ดังนั้นปริมาตรอากาศภายในช่องว่างอากาศ (V)

$$\begin{aligned} V &= \pi(r_3^2 - r_2^2) \cdot l \\ &= \pi(0.012128^2 - 0.01005^2) \times 0.18 \\ &= 2.60609 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ &= 26.0609 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ปริมาตรอากาศภายในช่องว่างอากาศเท่ากับ 26.0609 cm³

พลังงานที่ใช้

$$\text{Minimum Energy} = 1.172 \times 10^3 \times 2.60609 \times 10^{-5} = 0.0305 \text{ Wh}$$

$$\text{Maximum Energy} = 1.62 \times 10^3 \times 2.60609 \times 10^{-5} = 0.042 \text{ Wh}$$

จาก $w = \frac{1}{2} \int \epsilon E^2 dV$ (3.4)

$$E = \sqrt{\frac{2w}{\epsilon V}}$$

$$E = \sqrt{\frac{2(0.0305)}{(8.854 \times 10^{-12})(26.0609)}} = 16.259 \text{ kV/cm}$$

และ

$$E = \sqrt{\frac{2(0.042)}{(8.854 \times 10^{-12})(26.0609)}} = 19.079 \text{ kV/cm}$$

จากสมการที่ 3.4 จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไอออน

$$V = \frac{E_{\text{Max}} r_2 (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})}{\epsilon_1} \quad (3.5)$$

ถ้า $E_{\text{Max}} = 16.259$ kV/cm

$$V = \frac{(16.259 \times 10^3)(1.005)(8 \ln \frac{1.2128}{1.005} + \ln \frac{1.005}{0.905})}{8} = 3.27 \text{ kV}$$

ถ้า $E_{\text{Max}} = 19.079$ kV/cm

$$V = \frac{(19.079 \times 10^3)(1.005)(8 \ln \frac{1.2128}{1.005} + \ln \frac{1.005}{0.905})}{8} = 3.854 \text{ kV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโอโซนจากหัวอิเล็กโตรดเท่ากับ 3.27-3.854 kV ในการออกแบบวงจรสำหรับสร้างแรงดันสูงเพื่อการผลิตโอโซนจึงออกแบบในช่วงแรงดัน 0-4 kV_p และสามารถปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าสลับได้ตั้งแต่ 20-100 kHz

3.3 การออกแบบหม้อแปลง

คำนวณจำนวนรอบขดลวด จาก

$$V = 4 f A N B_m \quad (3.6)$$

$$N = \frac{V}{4 f A B_m}$$

เลือกแกนเฟอร์ไรต์ EE-55: $A = 3.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $B_m = 0.2 \text{ T}$

ทางด้าน Primary

$$N_1 = \frac{V_1}{4 f A B_m} = \frac{110 \times \sqrt{2}}{(4)(25 \times 10^3)(3.54 \times 10^{-4})(0.2)} = 21.8936 \approx 22 \text{ รอบ}$$

ทางด้าน Secondary

$$N_2 = \frac{V_2}{4 f A B_m} = \frac{3800}{(4)(25 \times 10^3)(3.54 \times 10^{-4})(0.2)} = 536.723 \approx 540 \text{ รอบ}$$

คำนวณค่า C ของอิเล็กโตรด

$$C'_1 = \frac{2\pi\epsilon_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{(2\pi)(8 \times 8.854 \times 10^{-12})}{\ln \frac{1.005}{0.905}} = 4.2463467 \times 10^{-9} \text{ F/m}$$

$$C'_2 = \frac{2\pi\epsilon_2}{\ln \frac{r_3}{r_2}} = \frac{(2\pi)(1 \times 8.854 \times 10^{-12})}{\ln \frac{1.2128}{1.005}} = 2.959991549 \times 10^{-9} \text{ F/m}$$

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C'_1} + \frac{1}{C'_2}} = 2.767105533 \times 10^{-10} \text{ F} = 0.2767105533 \text{ nF/m}$$

ดังนั้นกระแสทางด้าน Secondary

$$I_{\text{sec}} = \frac{V_{\text{sec}}}{X_c} = \frac{3800}{\frac{1}{(2\pi)(100 \times 10^3)(0.18 \times 2.767 \times 10^{-10})}} = 118.65 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $I_{pr} = aI_{sec} = 24.5 \times 0.11865 = 2.9123 \text{ A}$

เลือกขนาดขดลวดโดยกำหนดให้ใช้ลวดขนาด 450 เซอร์คูลุ่มิล ต่อกระแส 1 A

ดังนั้นขนาดขดลวดทางด้าน Primary

$$450 \times 2.1923 \text{ A} = 1310.543 \text{ เซอร์คูลุ่มิล}$$

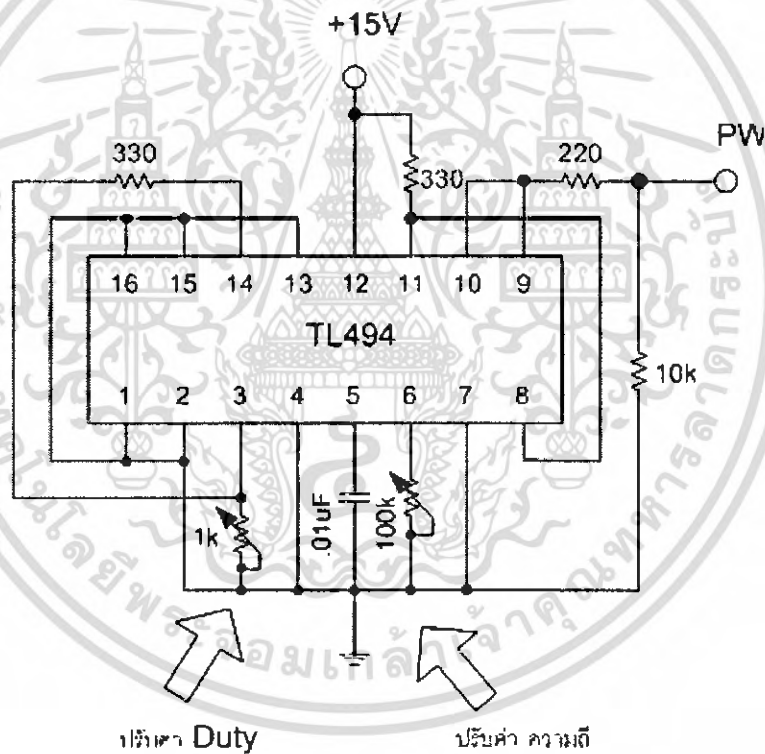
ได้ขนาดลวดเบอร์ 19 แต่เนื่องจากเป็นความถี่สูงจึงทำการตีเกลียวสาย 4 เส้น จึงได้เบอร์ลวดใหม่เป็น $1310/4 = 0.1666$ เซอร์คูลุ่มิล ตรงกับขนาดลวดเบอร์ 24

ขดลวดทางด้าน Secondary

$$450 \times 118.65 \text{ mA} = 53.396 \text{ เซอร์คูลุ่มิล}$$

ได้ขนาดลวดเบอร์ 36 เลือกใช้ลวดเบอร์ 29

3.4 การออกแบบวงจรควบคุมสวิตช์มอสเฟตกำลัง

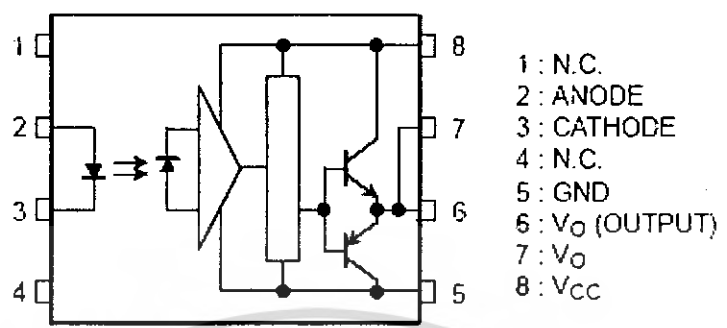


รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์มอสเฟตกำลัง

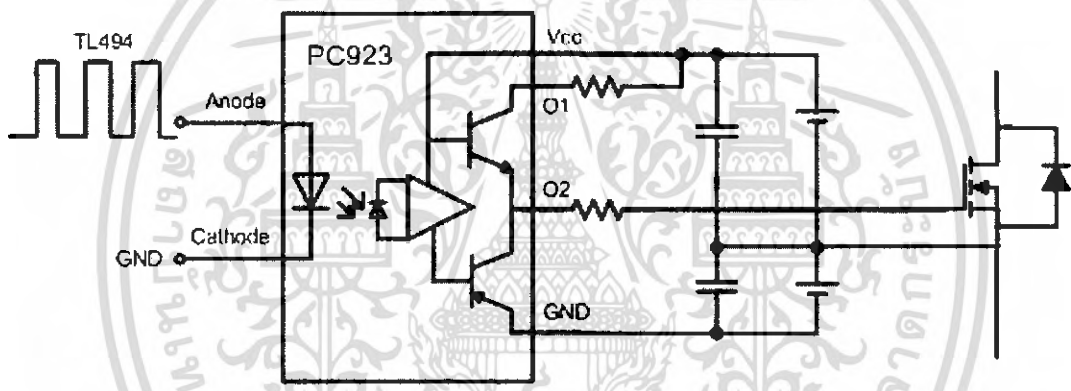
ไอซี TL494 นั้นจำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงกระแสตรงซึ่งในโครงงานนี้ใช้ไฟกระแสตรงขนาด 15 โวลต์โดยไอซี TL494 นั้นจะสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 9 และ 10 ซึ่งเมื่อทำการช็อตถึงกันแล้วสามารถปรับดิวิตีไซเคิลได้ตั้งแต่ 10-90 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับโครงงานนี้เลือกให้ทำงานที่ดิวิตีไซเคิลที่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโครงการนี้จะใช้ไอซี High Speed Photocoupler เบอร์ PC923 เป็นตัวแยก
กราวด์ทางไฟฟ้าของวงจรขับเคลื่อนมอสเฟตและวงจรกำลังของมอสเฟต ซึ่งมีโครงสร้างและวงจร
การทำงานดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของไอซี PC923



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณเกิดของมอสเฟต

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบวัดสัญญาณต่าง ๆ ของชุดแหล่งกำเนิดความถี่สูงแรงดันสูง

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1 . ออสซิลโลสโคป
- 2 . โพรบ *10 และ*100
- 3 . ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 4 . แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้

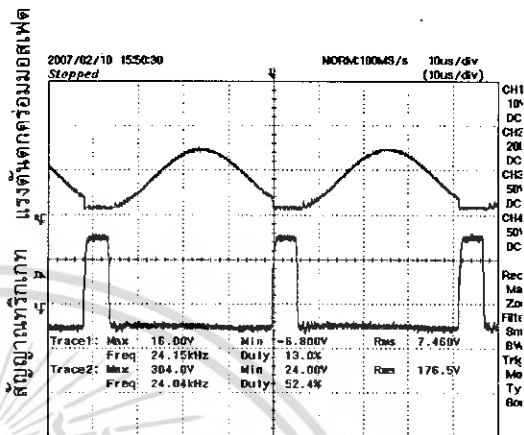
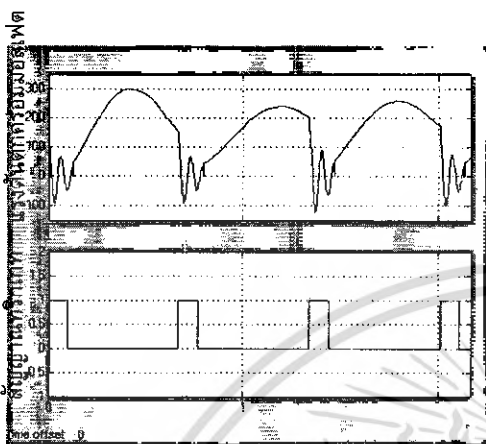
4.1.2 ขั้นตอนในการทดสอบ

- 1 . ทำการทดสอบแหล่งจ่ายแรงดันสูงที่ได้ออกแบบไว้ โดยเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันตกคร่อมอสเฟตที่ได้กับสัญญาณตกคร่อมอสเฟตที่ได้จากการจำลอง
- 2 . ทำการปรับแรงดันอินพุตของวงจรที่ค่า 70 , 80, 90, 100, 110 V_{rms}
- 3 . ทำการวัดสัญญาณของกระแสอินพุตที่แหล่งจ่ายแรงดันสูง โดยเปรียบเทียบสัญญาณของกระแสที่ได้กับสัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลอง
- 4 . ทำการทดสอบแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงความถี่สูงที่ได้ออกแบบไว้
- 5 . ทำการปรับค่าของแรงดันอินพุตของวงจรที่ค่า 155, 148, 141, 134 V_p วัดสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้

หมายเหตุ ทางด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงเป็นแรงดันสูงจึงต้องทำการวัดแบบแบ่งแรงดันโดยคาปาซิเตอร์กับหลอดอิเล็กโทรด(เนื่องจากอิเล็กโทรดเป็นหลอดประเภทคาปาซิเตอร์) ค่าคาปาซิเตอร์ที่ใช้ต่อในวงจรประมาณ 100 เท่าของค่า C ของอิเล็กโทรด เช่น ในการทดลองค่า C ของอิเล็กโทรด เท่ากับ 0.049 nF ดังนั้นค่า C ที่ใช้ต่อในวงจรจะเป็นประมาณ 4.7 nF ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อม C ที่ต่ออนุกรมจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันตกคร่อมอิเล็กโทรดประมาณ 95 เท่า เช่นแรงดันที่วัดได้เท่ากับ 38.4 V ดังนั้นแรงดันตกคร่อมอิเล็กโทรดเท่ากับ 3648 Vp

4.1.3 ผลการทดสอบ

4.1.3.1 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันตกคร่อมมอสเฟตที่ได้จากการจำลอง
เปรียบเทียบกับที่ได้จากวงจรจริง ที่ระดับแรงดันอินพุต 110 Vrms



(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง

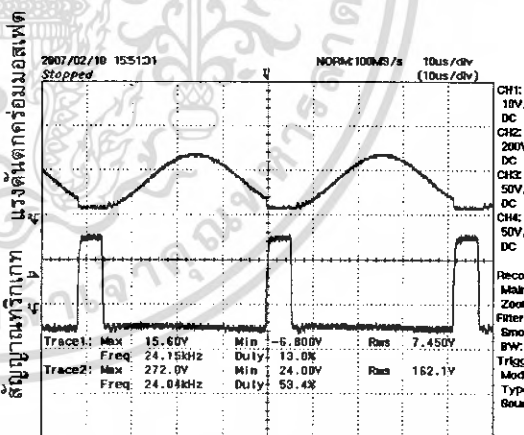
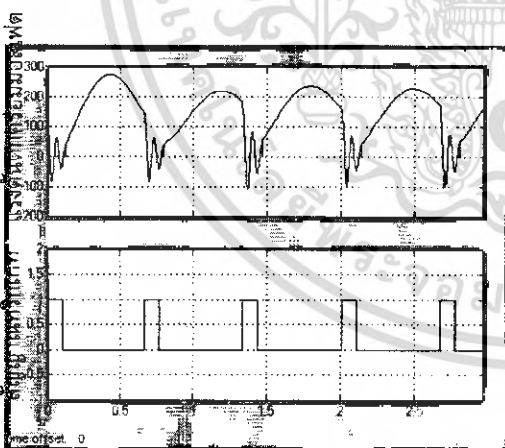
(ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง

100 V/div, 1 V/div, 100 us/div

200 V/div, 10 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.1 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 110 Vrms

- ทำการลดระดับแรงดันอินพุตลงเหลือ 100 Vrms



(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง

(ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง

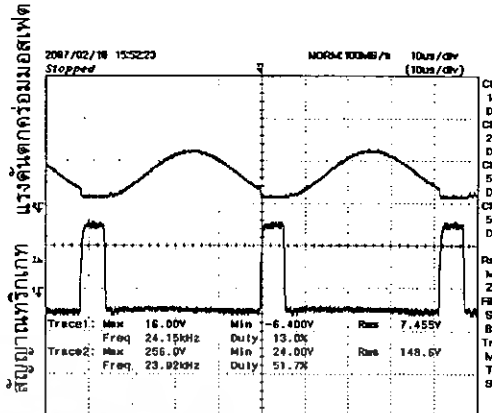
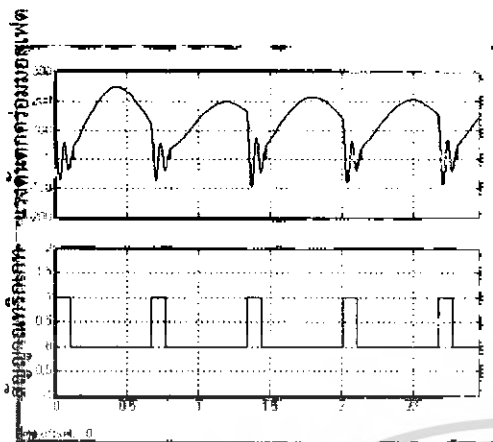
100 V/div, 1 V/div, 100 us/div

200 V/div, 10 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.2 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 100 Vrms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการลดระดับแรงดันอินพุตลงเหลือ 90 Vrms

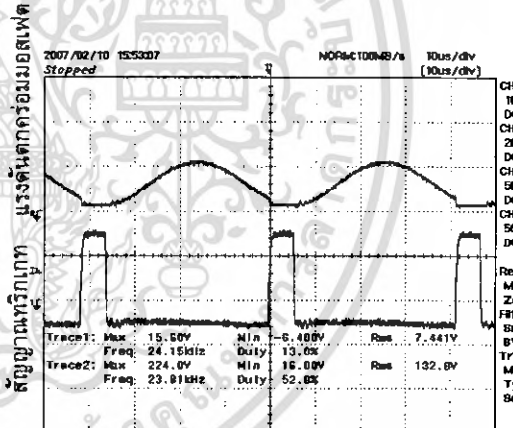
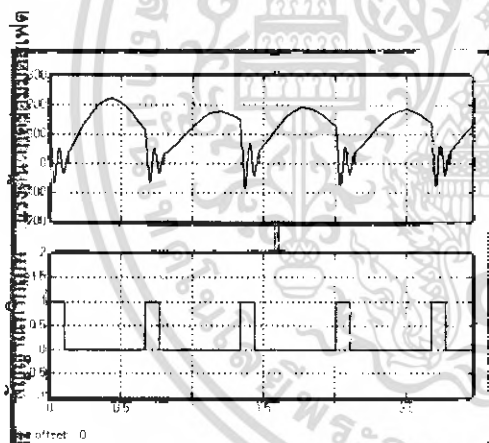


(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง
100 V/div, 1 V/div, 100 us/div

(ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
200 V/div, 10 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.3 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 90 Vrms

- ทำการลดระดับแรงดันอินพุตลงเหลือ 80 Vrms

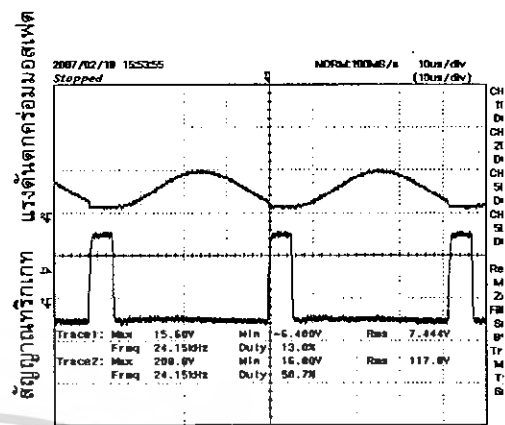
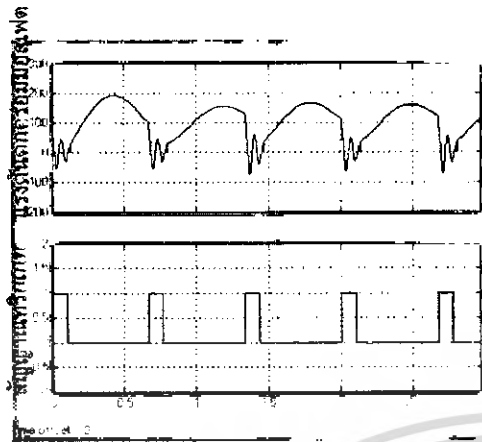


(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง
100 V/div, 1 V/div, 100 us/div

(ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
200 V/div, 10 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.4 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 80 Vrms

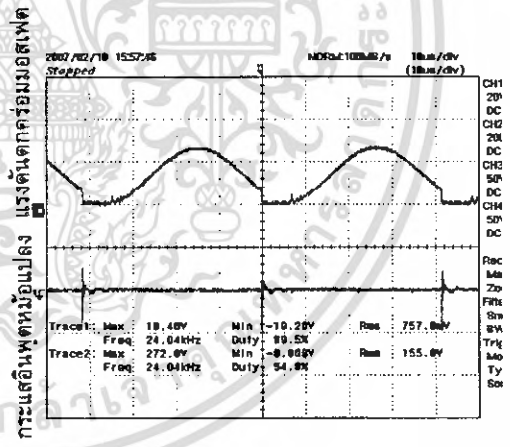
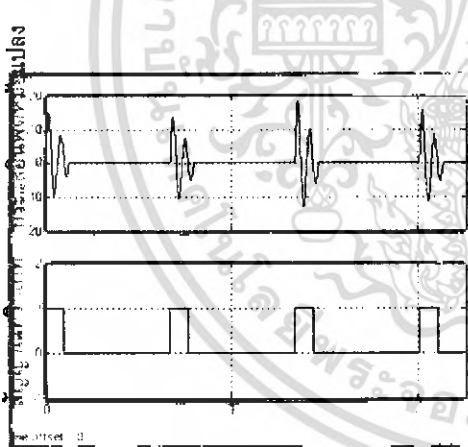
- ทำการลดระดับแรงดันอินพุตลงเหลือ 70 Vrms



(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
 100 V/div, 1 V/div, 100 us/div 200 V/div, 10 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.5 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงกับแบบจำลองที่แรงดันอินพุต 70 Vrms

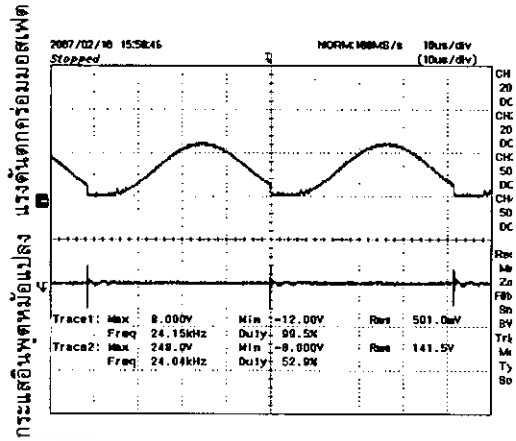
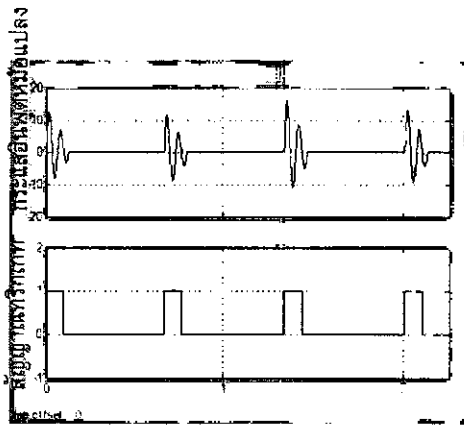
4.1.3.2 เปรียบเทียบสัญญาณกระแสอินพุตที่ได้จากการจำลองเปรียบกับสัญญาณกระแสที่ได้จากวงจรจริง



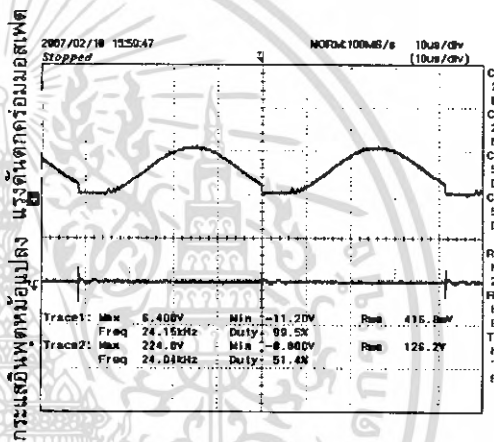
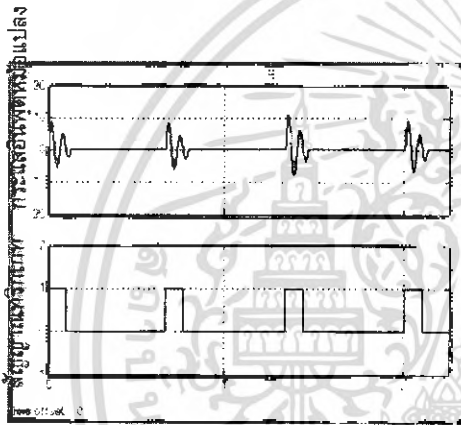
(ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรที่แรงดัน 110 Vrms
 10 A/div, 1 V/div, 100 us/div 200 V/div, 20 A/div, 10 us/div

รูปที่ 4.6 สัญญาณกระแสอินพุตของวงจร

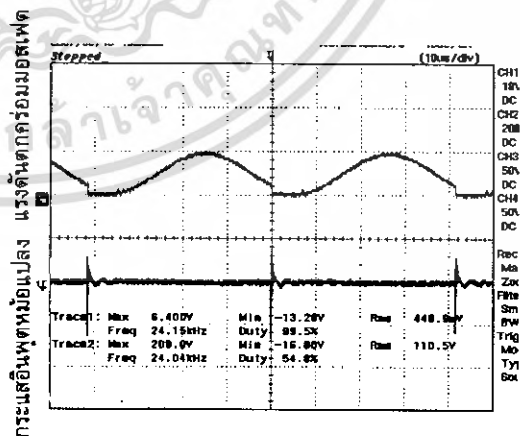
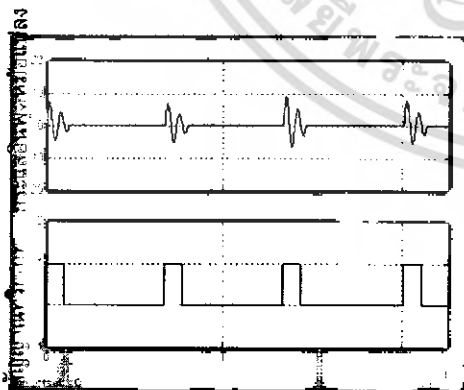
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ง) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรที่แรงดัน 100 Vrms
 10 A/div, 1 V/div, 100 us/div 200 V/div, 20 A/div, 10 us/div



(จ) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ฉ) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรที่แรงดัน 90 Vrms
 10 A/div, 1 V/div, 100 us/div 200 V/div, 20 A/div, 10 us/div

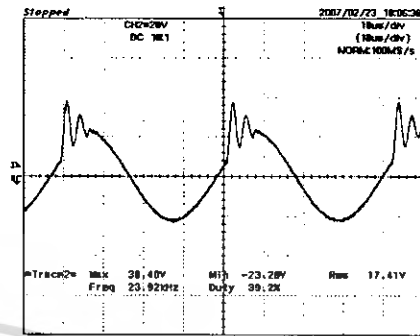
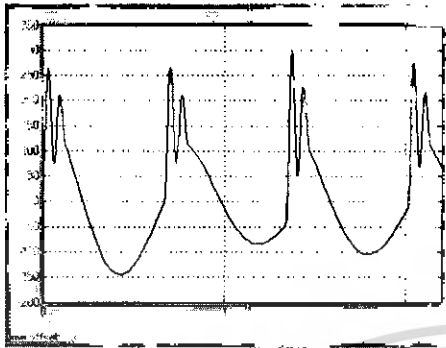


(ช) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ซ) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรที่แรงดัน 80 Vrms
 10 A/div, 1 V/div, 100 us/div 200 V/div, 20 A/div, 10 us/div

รูปที่ 4.6(ต่อ) สัญญาณกระแสสลับของวงจร

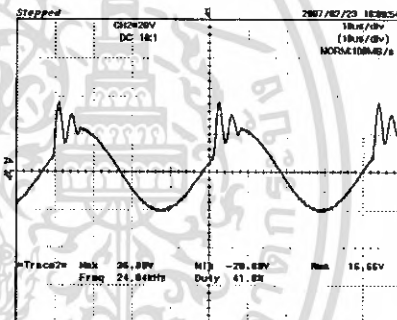
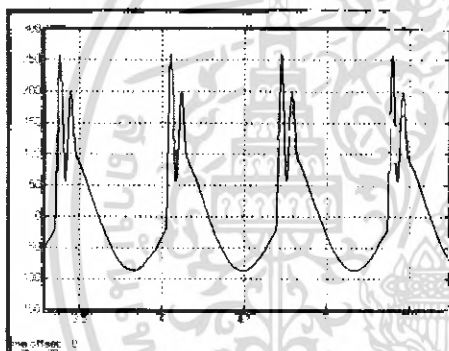
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 . ผลการทดสอบแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง
 เปรียบกับการจำลอง



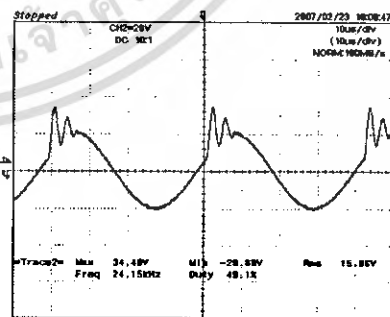
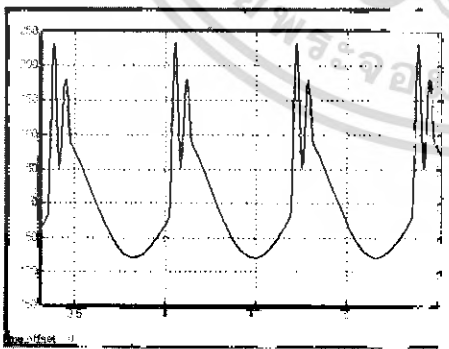
(ก) รูปแรงดันเอาต์พุตจากการจำลอง
 500 V/div, 100 us/div

(ข) รูปแรงดันเอาต์พุตจากวงจรจริง
 2000 V/div, 10 us/div



(ค) รูปแรงดันเอาต์พุตจากการจำลอง
 500 V/div, 100 us/div

(ง) รูปแรงดันเอาต์พุตจากวงจรจริง
 2000 V/div, 10 us/div

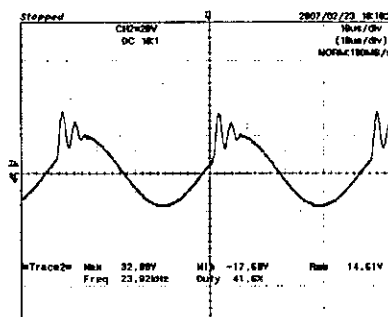
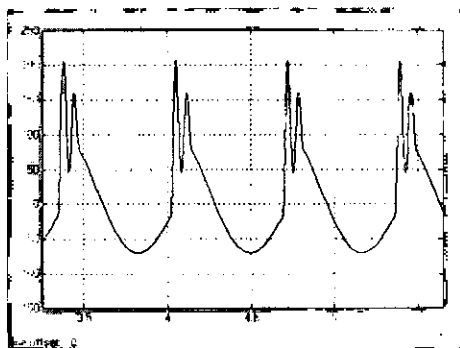


(จ) รูปแรงดันเอาต์พุตจากการจำลอง
 500 V/div, 100 us/div

(ฉ) รูปแรงดันเอาต์พุตจากวงจรจริง
 2000 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) รูปแรงดันเอาต์พุตจากการจำลอง

500 V/div, 100 us/div

(ค) รูปแรงดันเอาต์พุตจากวงจรจริง

2000 V/div, 10 us/div

รูปที่ 4.7 (ต่อ) สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันสูง

4.2 ทำการวัดปริมาณไอโซน

การตรวจวัดปริมาณไอโซนสามารถทำได้หลายวิธี เช่นวิธีอัลตราไวโอแลตสเปกโตรเมทรีหรือการใช้เทคนิคทางอิเล็กโตรเคมี โดยในโครงการนี้จะใช้วิธีการทางเคมีซึ่งเรียกว่า วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric methods) โดยมีหลักการคือ ใช้สารละลายที่มีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไอโซนสูง เช่น สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ทำให้ได้สารใหม่เกิดขึ้น จากนั้นสามารถหาปริมาณไอโซนได้โดยกานาโคเดรตกับสารที่กำหนดที่เป็นตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) หรือฟีนิลาซีนออกไซด์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณไอโซน

1. สารเคมี

- 1.1 สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 2 % โดยน้ำหนัก โดยละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 20 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเก็บในขวดสีชา 1 คืนก่อนนำมาใช้
- 1.2 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_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
- 1.4 น้ำแข็งเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก โดยละลายแข็ง 1 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร 6 ใบ
- 2.2 กระจกบอดวง ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ
- 2.3 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร 1 ใบ
- 2.4 บีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร 1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซน

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

2 .ทำการไตเตรด (Titration) โดยนำสารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์ ที่ได้จากข้อ 1 (สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองหรือสีส้ม) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เพื่อปรับค่า pH จากนั้นนำไปไตเตรดกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสีเหลืองค่อย ๆ จางหายไป (แสดงว่าใกล้ถึงจุดยุติแล้ว) เติมน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตร (เป็นอินดิเคเตอร์) สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงินแต่จะสังเกตค่อนข้างยากมาก ทำการไตเตรดต่อจนสีน้ำเงินค่อย ๆ จางหายไป บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณโอโซนต่อไป

หมายเหตุ กรณีที่ใช้อากาศผ่านกระบวนการแทนออกซิเจน ควรมีการทำ Blank test เพื่อหาปริมาณโอโซนที่แท้จริงโดยการพ่นอากาศผ่านลงในสารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์ 100 มิลลิลิตร นำไปเติมกรด เติมน้ำแบ่ง และทำการไตเตรดหาปริมาณโอโซนที่มีอยู่ในอากาศ

การคำนวณหาปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

1 . การดูดซึ่มโอโซนโดยใช้สารละลายโพแตสเซียมไดโอไดต์



2. การไตเตรดโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

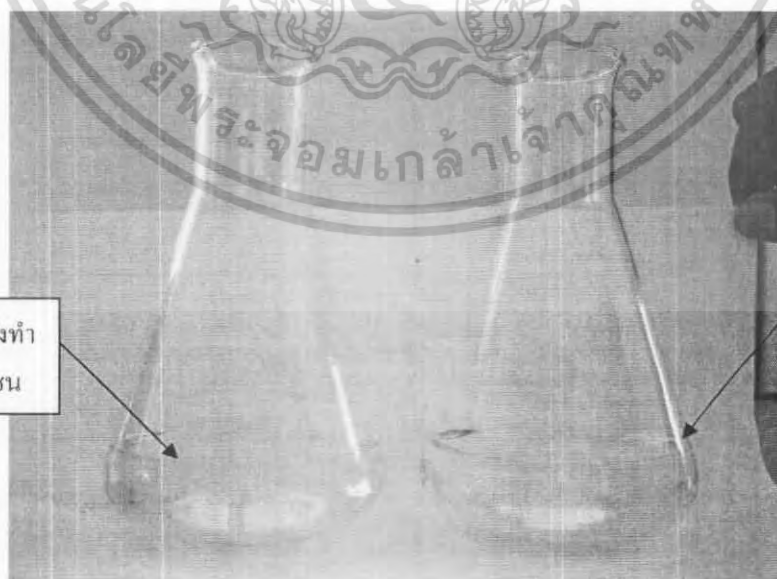


จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาปริมาณโอโซนได้จากความสัมพันธ์
ปริมาณโอโซน(มิลลิกรัม) = 24 * ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)



รูปที่ 4.8 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับตรวจวัดปริมาณไอโซนด้วยวิธีไอโอโดเมตริก

ตัวอย่างการคำนวณ เช่นกรณีที่ใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตในการไตเตรตปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการพ่นไอโซนลงในสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์เป็น 5 นาที คือ ปริมาณก๊าซไอโซนที่ได้ $= 24 \times 0.05 \times 60/5 = 14.4 \text{ mg/hr}$ เป็นต้น



สารละลาย KI หลังทำ
ปฏิกิริยากับ ไอโซน

สารละลาย KI ก่อนทำ
ปฏิกิริยากับ ไอโซน

รูปที่ 4.9 สีของสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับไอโซน

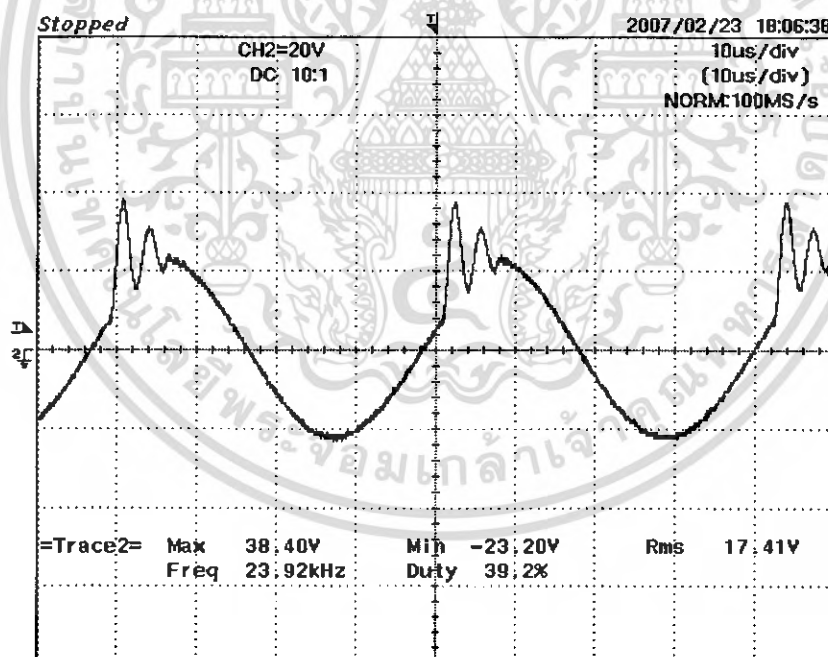
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซนที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุตต่างๆ โดยกำหนดให้ความถี่มีค่าคงที่ที่ 25 kHz ซึ่งได้ปริมาณโอโซนดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นที่ค่าพิกัดแรงดันเอาท์พุตต่างๆ

อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากชุดอิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 10 ลิตรต่อนาทีที่ความถี่สวิตซ์ 25 kHz

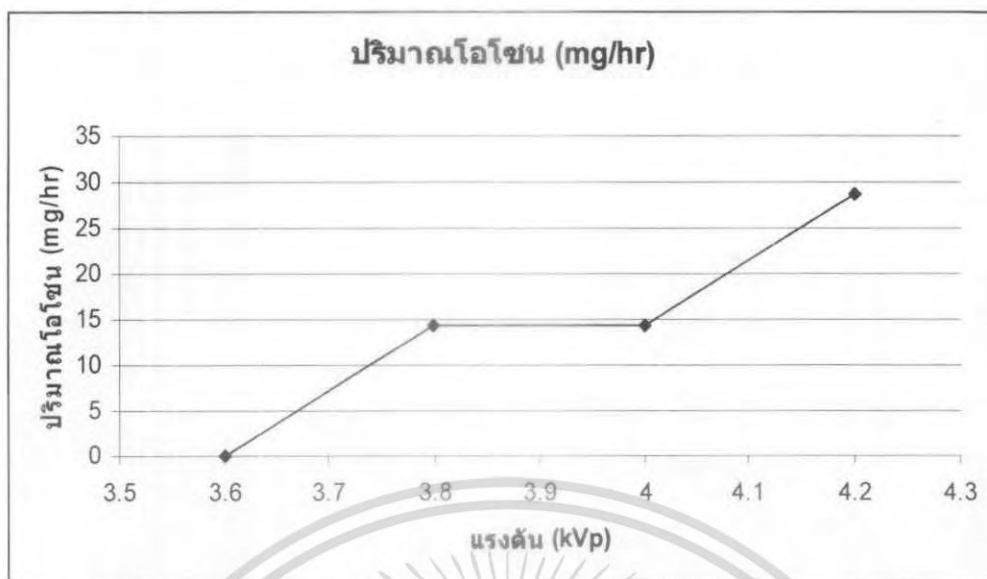
แรงดันอินพุต (V _{rms})	กระแสอินพุต (A _{rms})	PF	กำลังไฟฟ้า อินพุต (watt)	แรงดัน เอาท์พุต(Vp)	ปริมาณ โอโซน (mg/hr)
105.7	0.24	0.71	17	3600	-
109.7	0.24	0.71	18	3760	14.4
115.8	0.24	0.71	19	4000	14.4
119.8	0.25	0.71	21	4160	28.8



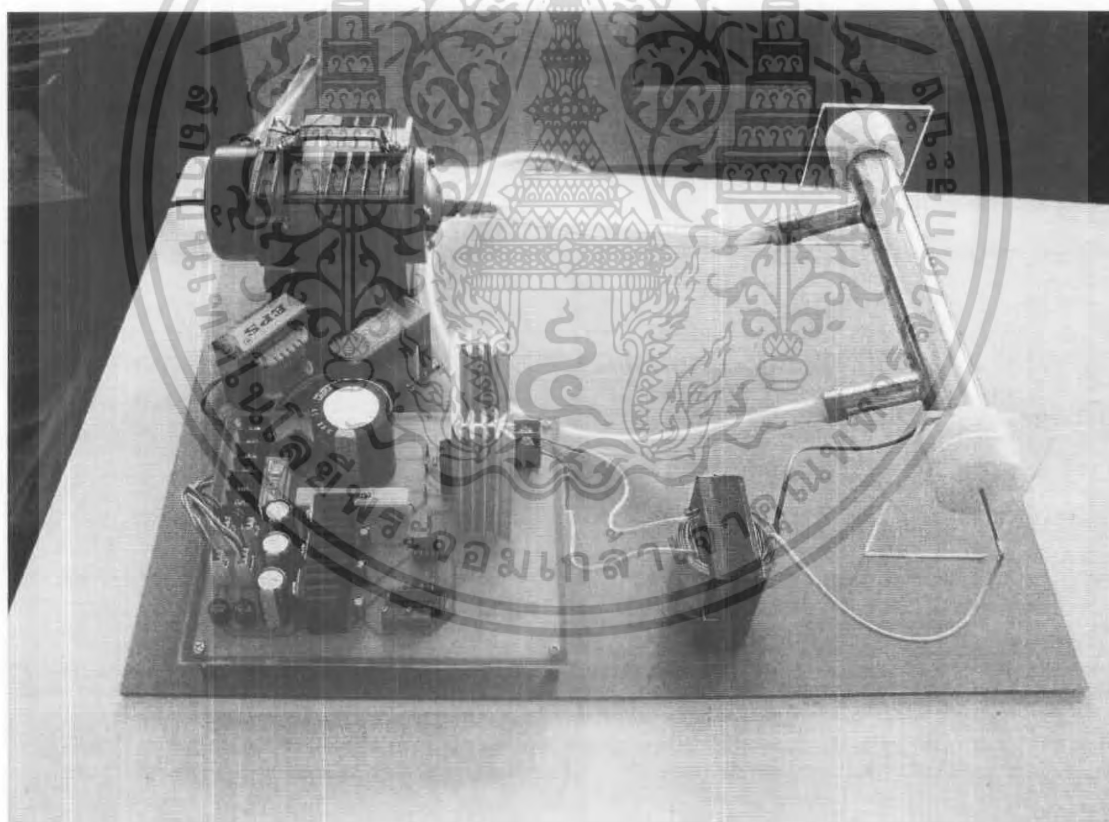
รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ออกจากหม้อแปลงในขณะที่จ่ายให้แก่ชุดอิเล็กทรอนิกส์

2000 V/div, 10 us/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันเอกซเรย์และปริมาณไอโซน



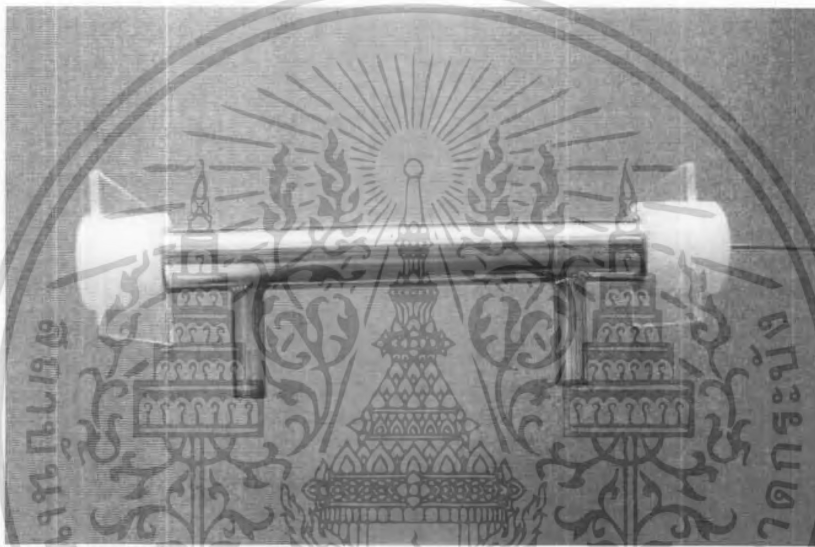
รูปที่ 4.12 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องผลิตไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. จากการที่ได้นำเอาทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูคอนสามารถทำให้ผลิตโอโซนขึ้นได้ซึ่งออกแบบใช้ลักษณะของชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูคอนเป็นแบบทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น ซึ่งจะช่วยให้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าทรงกระบอกแบบชั้นเดียว ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูคอนที่ออกแบบและนำมาใช้งานแสดงดังรูป 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูคอนภายนอก



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะภายในของชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในส่วนของชุดสร้างความถี่สูงของโรงงานนี้จะมีคล้ายกับวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์คือจะมีอุปกรณ์สวิตช์เพียงตัวเดียวต่ออยู่ทางด้านไพมารีของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

3. ในส่วนของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงได้ทำการคำนวณและออกแบบจำนวนรอบและขนาดของขดลวดโดยได้ออกแบบที่ความถี่ใช้งาน 25 kHz ซึ่งสามารถสร้างแรงดันสูงความถี่สูงเพียงพอที่จะทำให้ออกซิเจนในหลอดอิเล็กโทรดแตกตัวกลายเป็นไอโซนได้

4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงกับปริมาณการเกิดไอโซนนั้นพบว่าเมื่อแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของไอโซนที่ได้จากแหล่งกำเนิดไอโซนมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเครื่องกำเนิดไอโซนในโรงงานนี้สามารถผลิตไอโซนได้ 28.8 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงที่แรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงประมาณ 4000 Vp ความถี่ 25 kHz ดิวตี้ 15 % อัตราการไหลของอากาศ 10 ลิตรต่อนาที

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยโรงงานนี้พบว่ามีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อปริมาณไอโซนและเป็นอุปสรรคต่อการผลิตก๊าซไอโซน

1. ย่านการใช้งานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงจะสามารถใช้งานในย่านความถี่ประมาณ 22-28 กิโลเฮิร์ต ถ้าความถี่มีค่าสูงกว่าย่านนี้จะส่งผลให้แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีแรงดันสไปร์เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์สูงมากส่งผลให้อุปกรณ์สวิตช์ร้อนจนเกิดการเสียหายได้
2. ย่านการใช้งานจะสามารถใช้งานในย่านดิวตี้ 12-15% ซึ่งต้องควบคุมดิวตี้อย่างระมัดระวังเพราะถ้าดิวตี้มีค่าสูงกว่าย่านนี้จะส่งผลให้แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีแรงดันสไปร์สูงมากส่งผลให้อุปกรณ์สวิตช์ร้อนจนเกิดการเสียหายได้
3. ย่านพิกัดแรงดันอินพุตของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงจะใช้งานในย่านไม่เกิน 110 Vrms ถ้าแรงดันอินพุตของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงมีค่าสูงกว่า 110 Vrms จะส่งผลให้ค่ากระแสอินพุตในช่วงเทิร์นออนมีค่าสูงมากซึ่งจะทำให้อุปกรณ์สวิตช์ทนพิกัดกระแสไม่ได้
4. เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีเพียง 21 % ดังนั้นถ้าสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ก็จะสามารถเพิ่มปริมาณไอโซนได้มากยิ่งขึ้น และจะช่วยลดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ได้ด้วย อาจทำได้โดยการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ป้อนให้กับหลอดอิเล็กโทรด ซึ่งจะสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ดีด้วย
5. ในการทำการวิจัยสิ่งแวดล้อมไม่ได้ทำการควบคุม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการเกิดไอโซนทั้งสิ้น

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาเครื่องผลิตโอโซนในส่วนของการทำงานกำเนิดความถี่สูงเพื่อจ่ายให้แก่หม้อแปลง อุปกรณ์สวิตช์ต้องทนความเครียดของแรงดันไฟฟ้าสูงมากและยังต้องทนพิกัดกระแสสูงด้วย ซึ่งนับได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในโครงการนี้

ถ้าต้องการนำไปใช้งานที่แรงดันไฟฟ้า 220 Vrms จำเป็นต้องมีวงจรระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 110 Vrms เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า

ส่วนของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงต้องใช้ฉนวนในการพันหม้อแปลงที่มีความสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง เพื่อป้องกันการเบรกดาวระหว่างขดลวดของหม้อแปลงและการเสียหายเนื่องจากความร้อนสูง

ในส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์ทำการออกแบบให้ช่องว่างอากาศเล็กลงเพื่อให้ได้ย่านพลังงานที่ใช้ในการสร้างโอโซนลดลงด้วย



บรรณานุกรม

- [1] ทบวงมหาวิทยาลัย, **เคมี 1**, กรุงเทพฯ, บริษัทอักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด, 2541.
- [2] มนัส สังวรศิลป์ และวรรณ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้ MATLAB ฉบับสมบูรณ์**, กรุงเทพฯ, สนพ. อินโฟเพรส, 2543.
- [3] วีระเชษฐ์ ชันเงินและวุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, กรุงเทพฯ, หจก.วี.เจ.พรินติ้ง; 2548.
- [4] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [5] J. Marcos Alonso, Jesus Cardesin, Emilio Lopez Corominas, Manuel Rico-Secades, Jorge Garcia, "Low-Power High-Frequency Power Supply for Ozone Generation" **in IEEE**.
- [6] J. Marcos Alonso, A. J. Calleja, J. Ribas, M. Valdes and J. Losada, "Analysis and Design of a Low-Power High-voltage High-Frequency Power Supply for Ozone Generation" **In IEEE**.
- [7] ศิธีโรตม์ เกตุแก้วและวีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์, " การศึกษาผลของการเปลี่ยนความถี่ สวิตซ์ิ่งในฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ต่อปริมาตรการผลิตโอโซน", **วิศวกรรมสารลาดกระบัง 2004**, หน้า 72-76
- [8] พรพิมล รัตนวิเชียร, "เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ = Ozone generator by solar energy", **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลปริมาณไอโซนในลักษณะต่าง ๆ

ลักษณะและพื้นที่ใช้งาน	ปริมาณที่ใช้ (mg/hr)
ในรถยนต์	10 – 15
ในห้อง 10 ตารางเมตร	20
20 ตารางเมตร	40
33 ตารางเมตร	70
55 ตารางเมตร	100
ทำน้ำดื่ม 10 – 30 ลิตร	100 – 125
สลายสารพิษในผัก	100
ทำความสะอาดภาชนะ	100
ซักล้างสารที่ตกค้างในเสื้อผ้า	100
เสริมความงาม	100
อ่างอาบน้ำ 150 ลิตร	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโอโซนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค

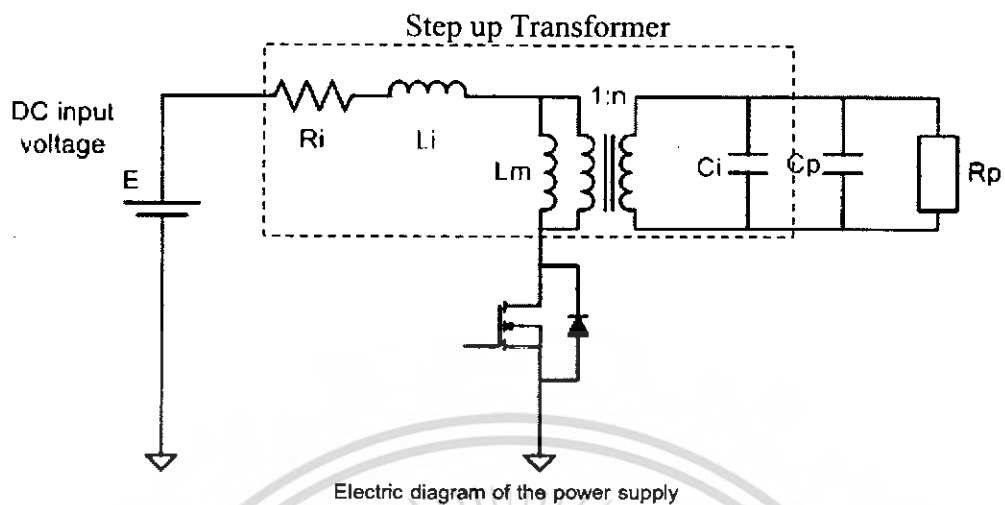
ข้อดี	ข้อเสีย
มีกำลังออกซิไดซ์ที่รุนแรงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้น ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคจุลินทรีย์และไวรัสได้ใน 2- 3 วินาที	เป็นก๊าซที่เป็นพิษ
โอโซนจะเปลี่ยนเป็นออกซิเจนในน้ำหลังจากการทำกาฆ่าเชื้อโรคแล้ว	ราคาของกระบวนการผลิตโอโซนจะสูงกว่าเมื่อใช้คลอรีน
ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี	การติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก
ปฏิกิริยาจะเกิดและสลายตัวไปอย่างรวดเร็วเมื่อกระทำกับสารพวกอินทรีย์	อุปกรณ์ในส่วนที่เกิดปฏิกิริยาโอโซนจำเป็นต้องป้องกันก๊าซพิษและอันตรายจากไฟได้
โอโซนส่วนมากจะสลายตัวในน้ำอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีสารตกค้าง	อาจเกิดสารจำพวกอัลดีไฮด์และคีโตนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

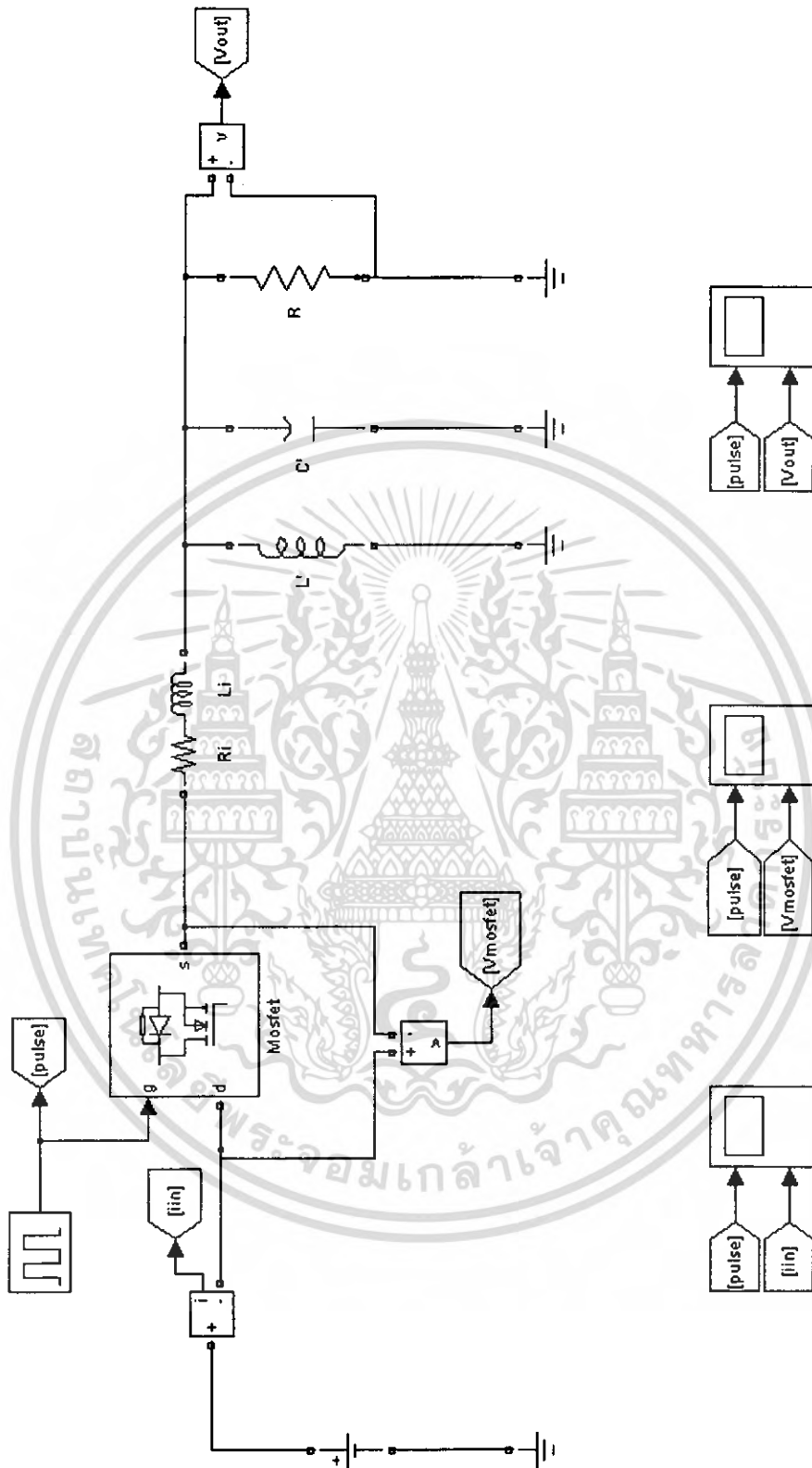
ผลจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB



วงจรมูลยของ Step up Transformer และชุดอิเล็กทรอนิกส์



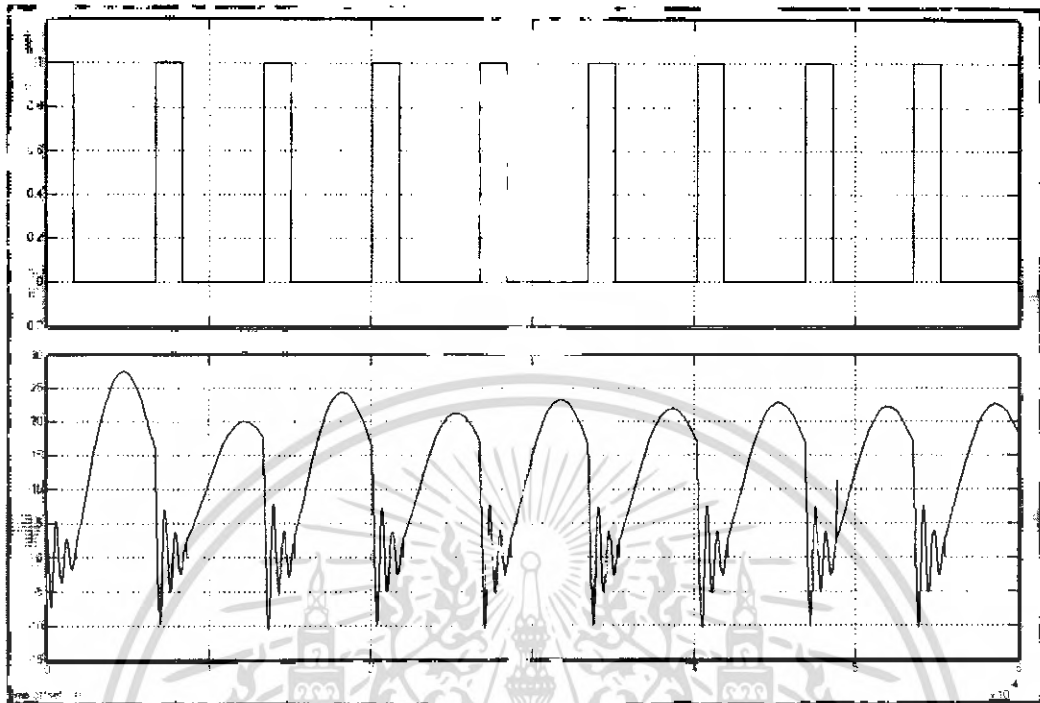
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



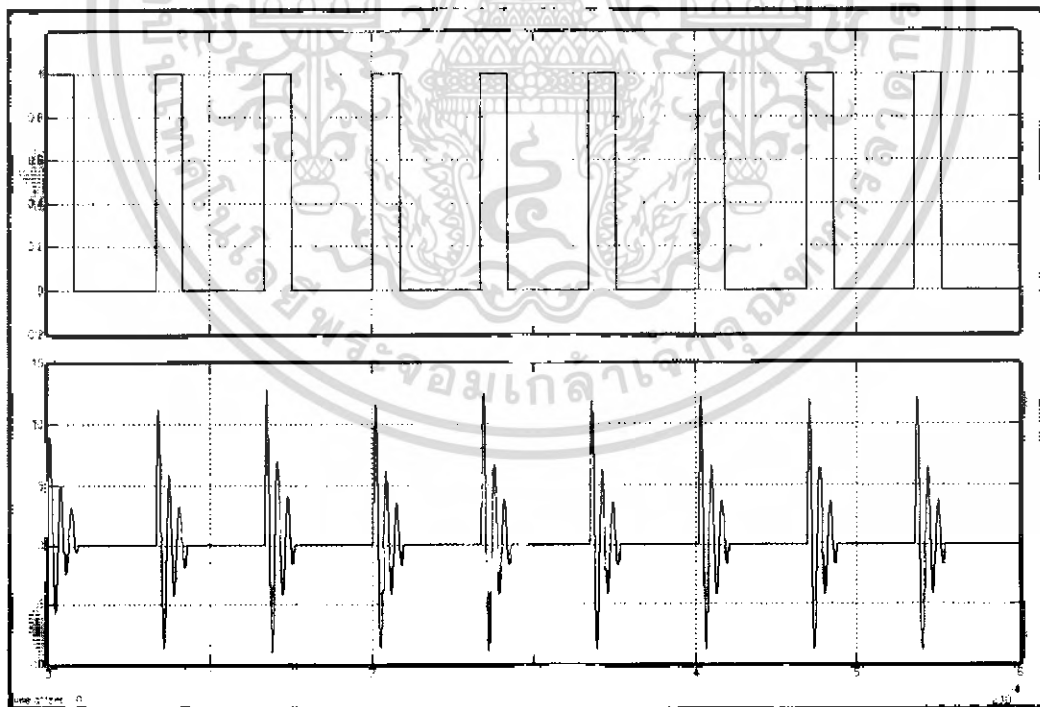
วงจรจำลองการทำงานของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB (Simulink)

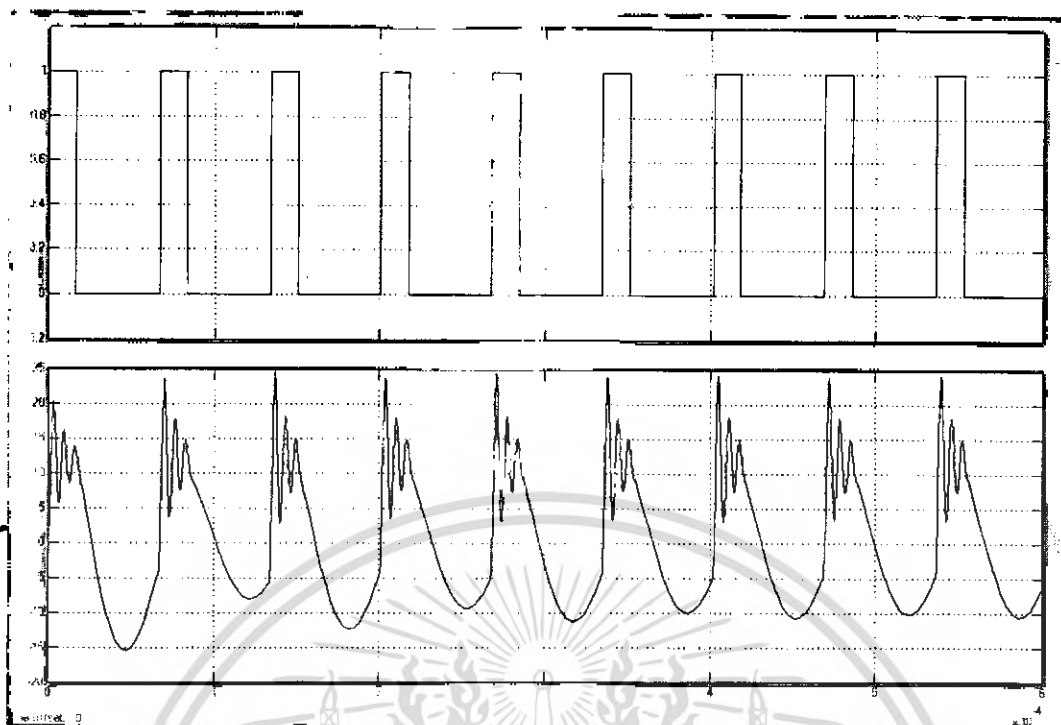


รูปสัญญาณทริกเกทและแรงดันตกคร่อมมอเตอร์



รูปสัญญาณทริกเกทกระแสอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



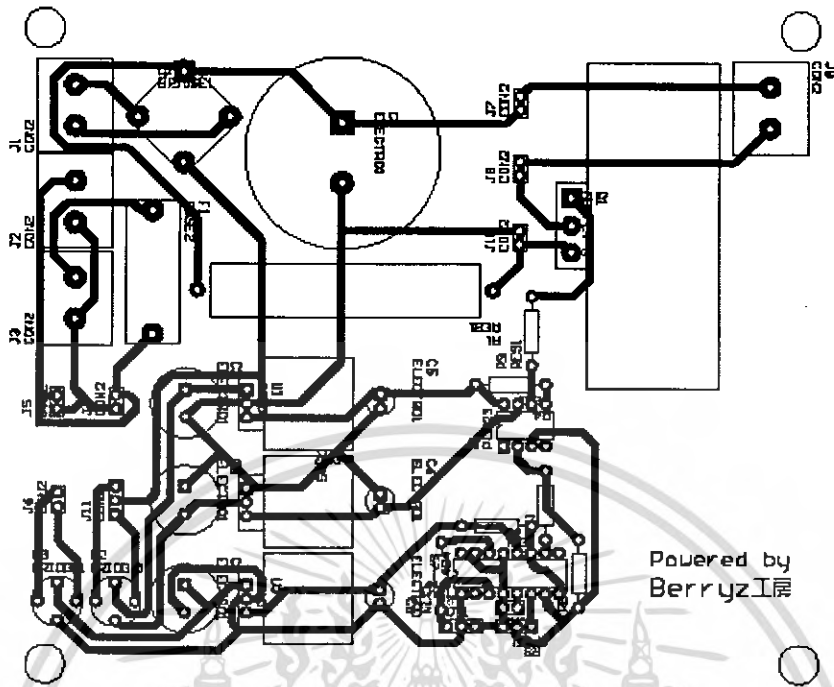
รูปสัญญาณทริกเกตแรงดันเอาต์พุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปถ่ายพิมพ์วงจรเครื่องผลิตไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



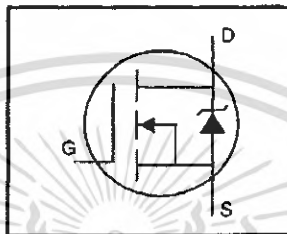
**ภาคผนวก ก.
ข้อมูลอุปกรณ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460PbF

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = 500V$$

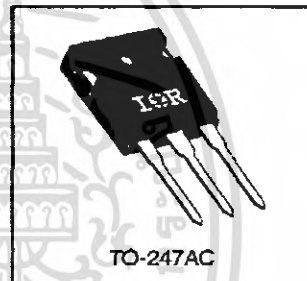
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

Description

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

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




Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	13	
I_{DM}	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	280	W
	2.2	W/°C
V_{GS}	±20	V
E_{AS}	960	mJ
I_{AR}	20	A
E_{AR}	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
T_J	-55 to +150	°C
T_{S1G}		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf•in (1.1 N•m)	


Thermal Resistance

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

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

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

Source-Drain Ratings and Characteristics

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

Notes:

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

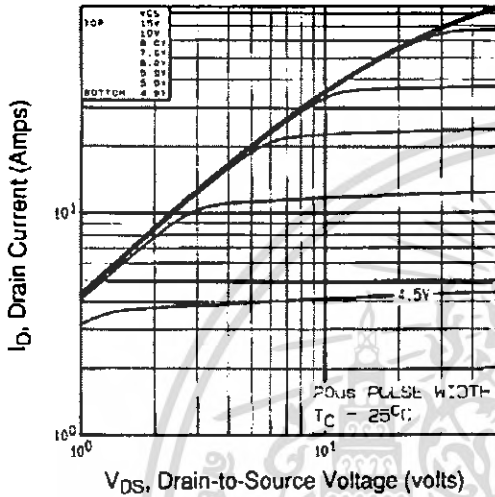


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

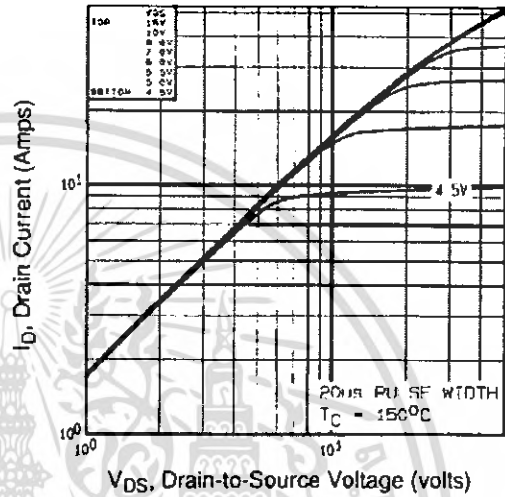


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=150°C

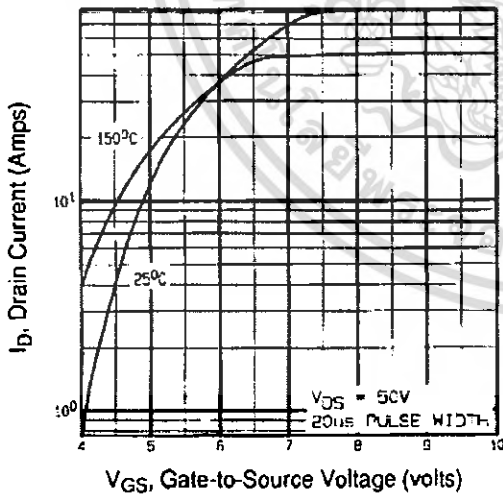


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

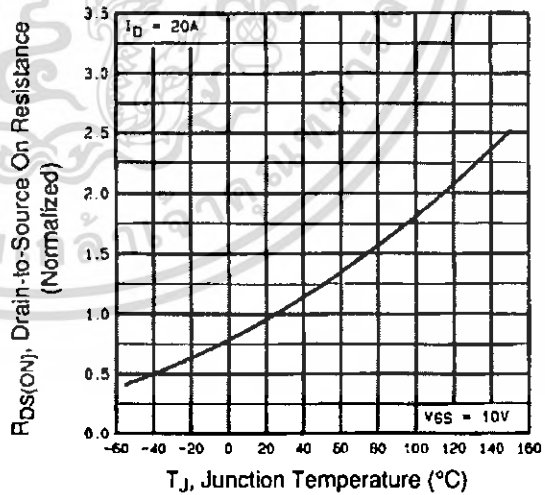


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

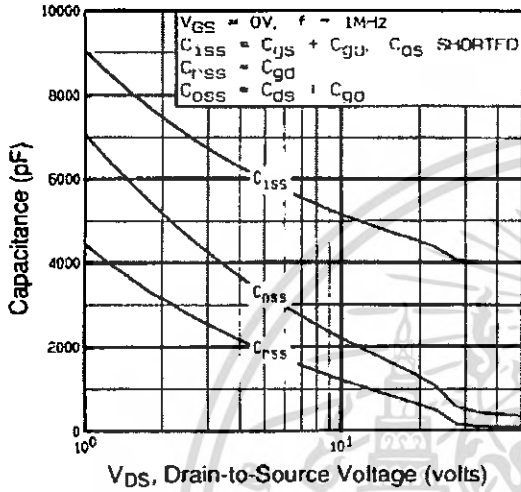


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

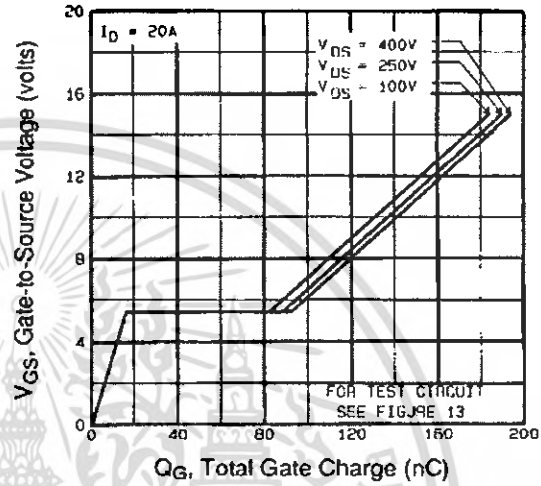


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

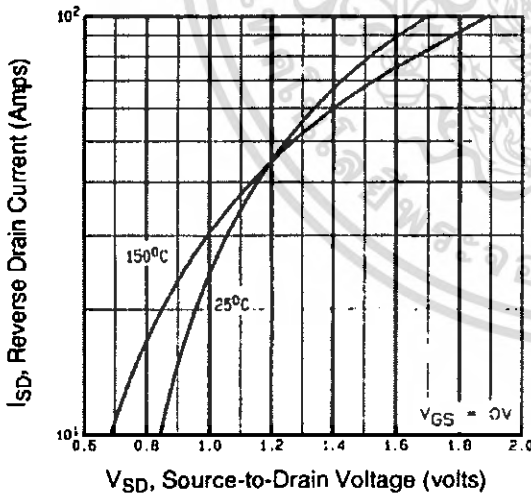


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

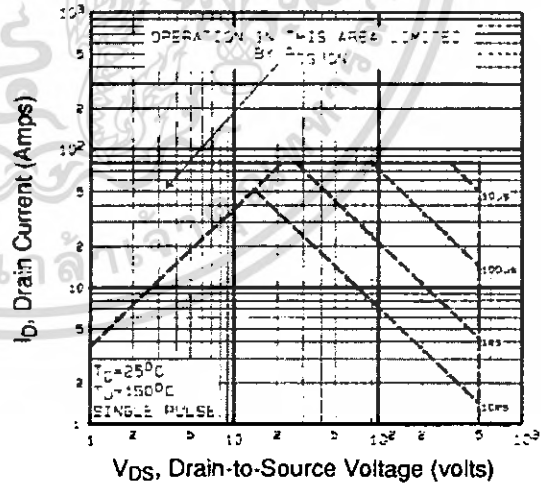


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

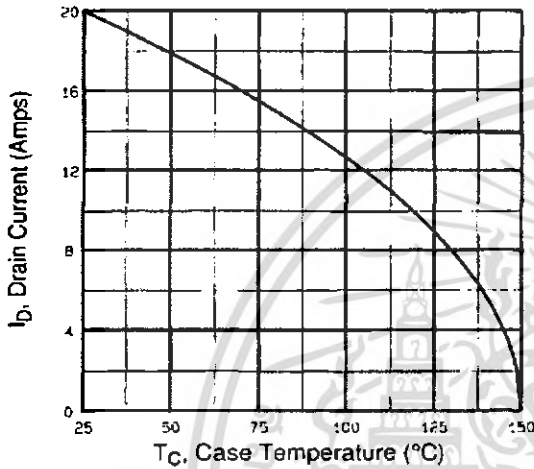


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

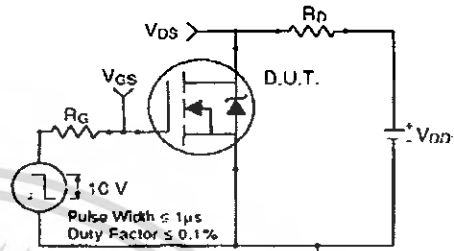


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

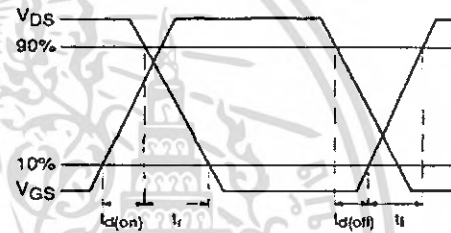


Fig 10b. Switching Time Waveforms

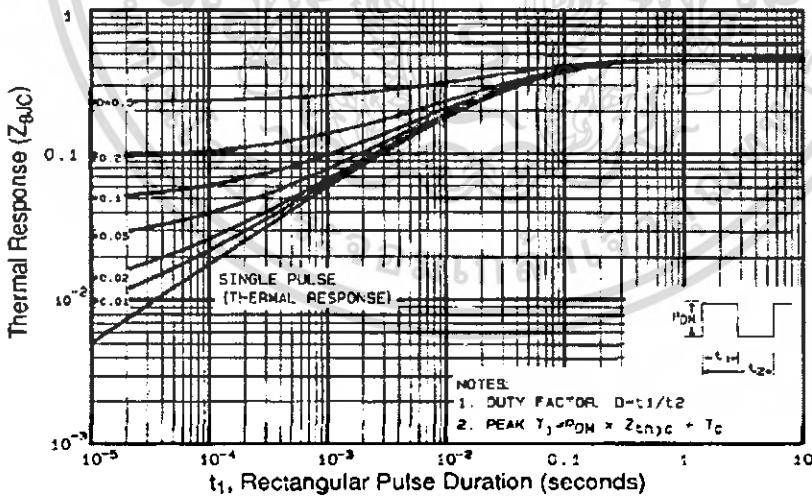


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

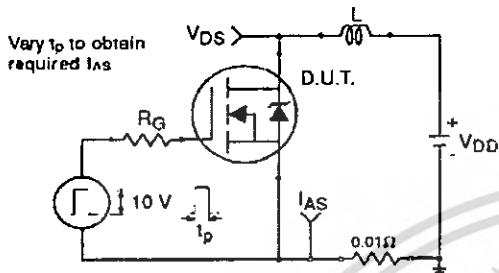


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

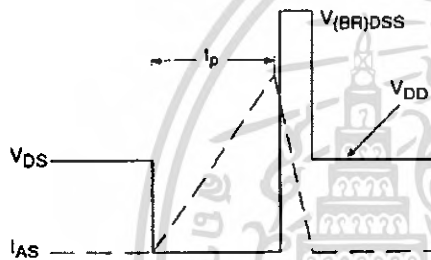


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

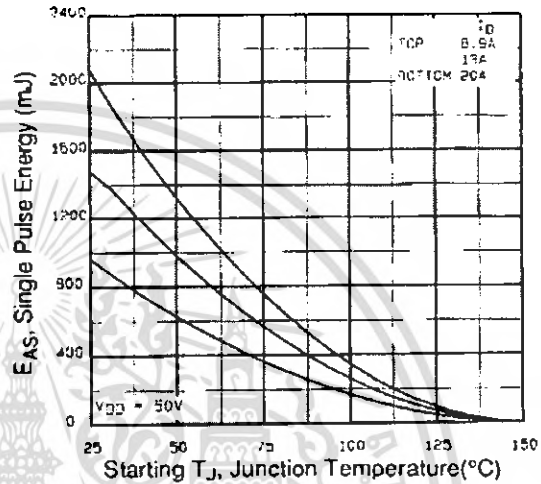


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

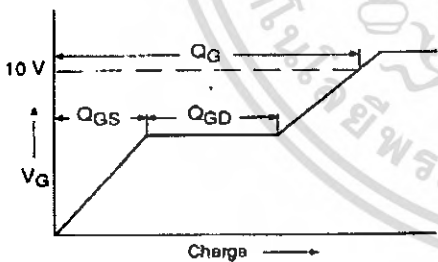


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

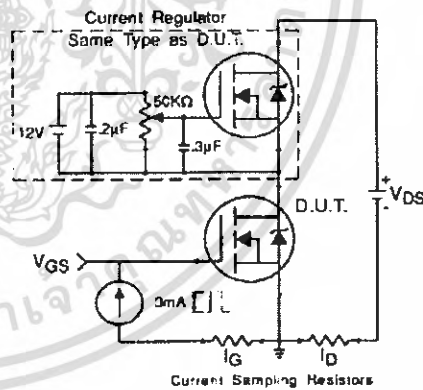


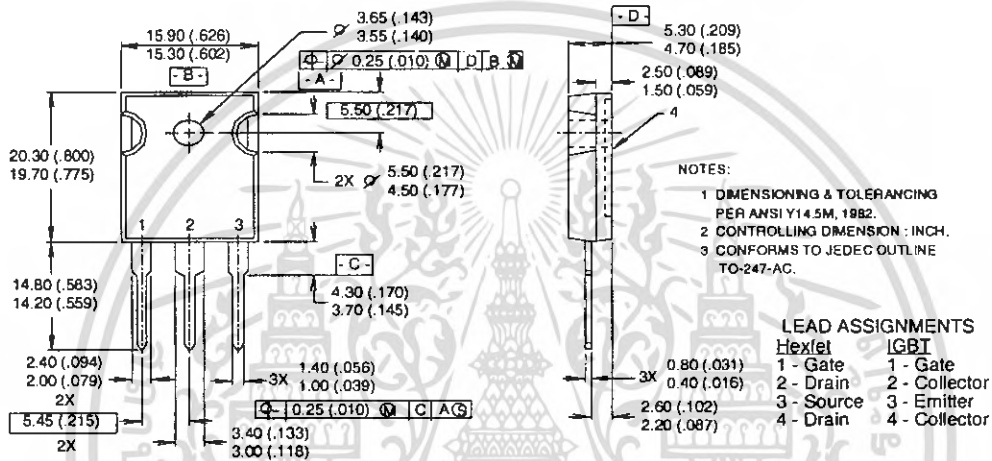
Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

TO-247AC Package Outline

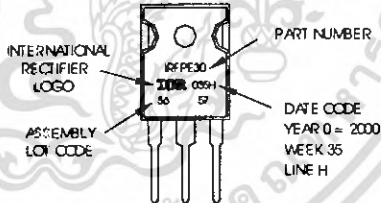
Dimensions are shown in millimeters (inches)



TO-247AC Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRFP30
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 5657
ASSEMBLED ON WW35, 2000
IN THE ASSEMBLY LINE "H"

Note: "P" in assembly line
position indicates "Lead-Free"



Data and specifications subject to change without notice.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.12/03

SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

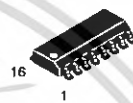
The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

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

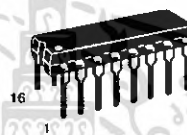
TL494

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



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



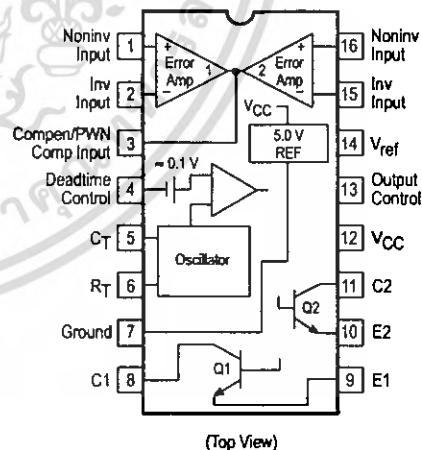
N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

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

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

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

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

TL494

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω , 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 ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	μ A
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	μ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	– –	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	– –	10 0.2	– 3.5	μ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	– –	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	– –	25 40	100 100	ns

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

TL494

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

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

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

ERROR AMPLIFIER SECTION

Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	–	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	–	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	–	–0.1	–1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	–0.3 to V_{CC} –2.0			V
Open Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	–	dB
Unity–Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_{c-}	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity–Gain ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	–4.0	–	mA

PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)

Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{Pin\ 3} = 0.7\text{ V}$)	I_{L-}	0.3	0.7	–	mA

DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)

Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$ to 5.25 V)	I_{IB} (DT)	–	–2.0	–10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push–Pull Mode ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45	48	50	%
		–	45	50	
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	–	2.8	3.3	V
		0	–	–	

OSCILLATOR SECTION

Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	$\sigma_{f_{osc}}$	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to 40 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	Δf_{osc} (ΔV)	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	Δf_{osc} (ΔT)	–	–	12	%

UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION

Turn–On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
---	----------	-----	------	-----	---

TOTAL DEVICE

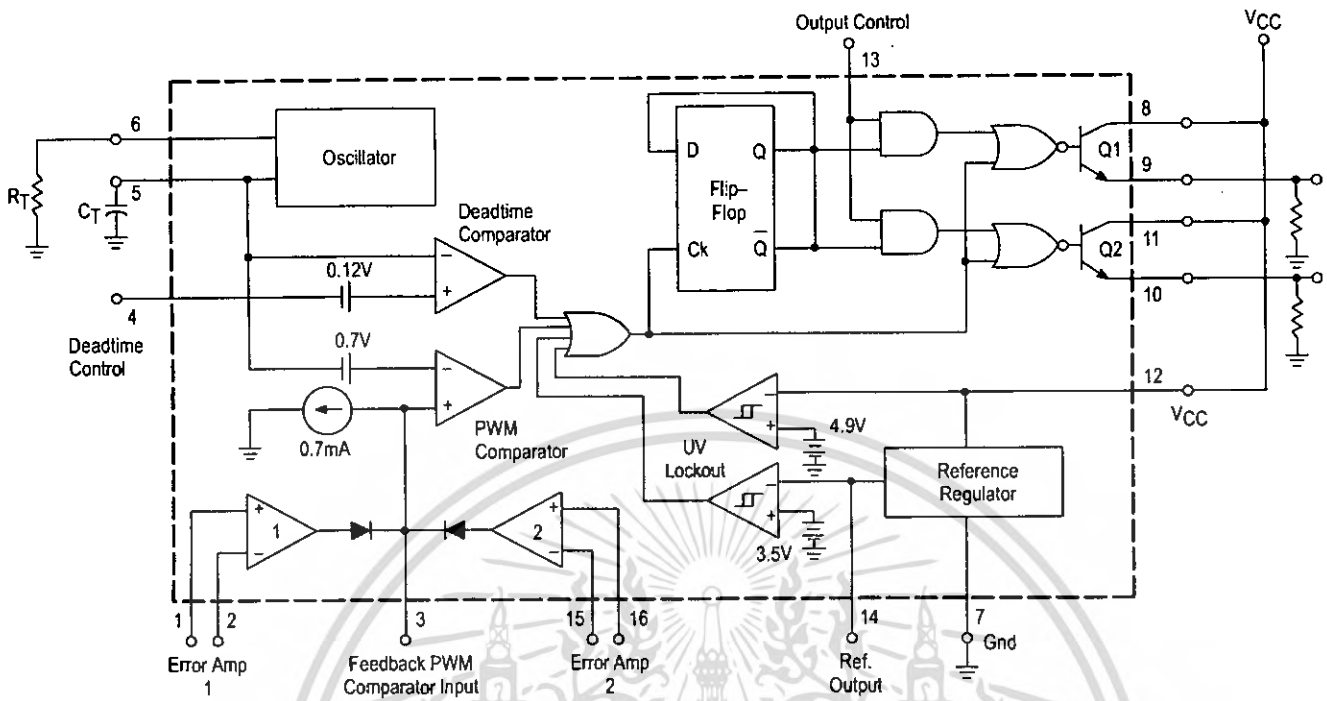
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	I_{CC}	–	5.5	10	mA
		–	7.0	15	
Average Supply Current ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{Pin\ 4} = 2.0\text{ V}$) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

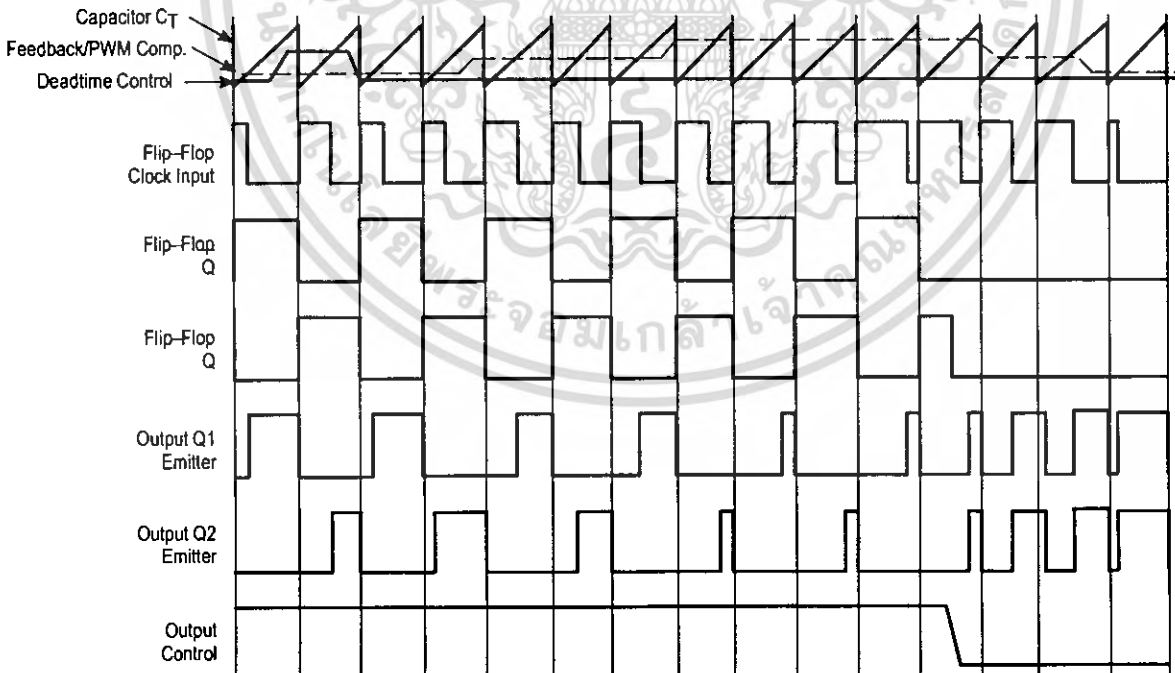
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



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

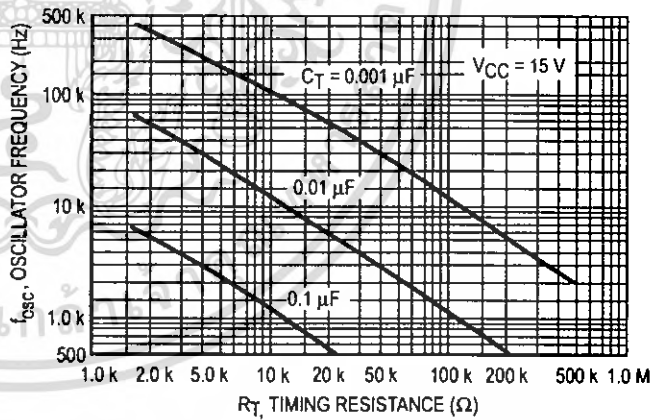


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

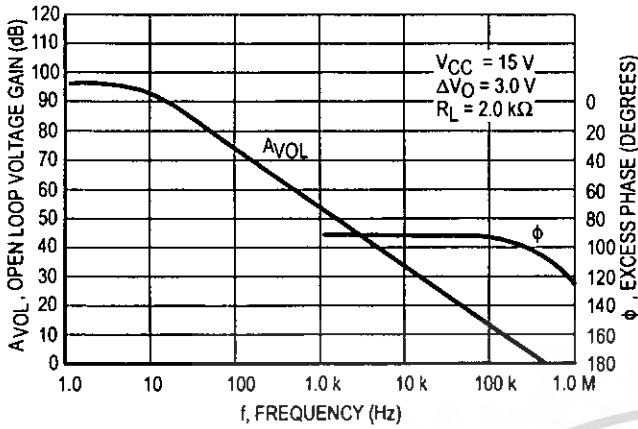


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

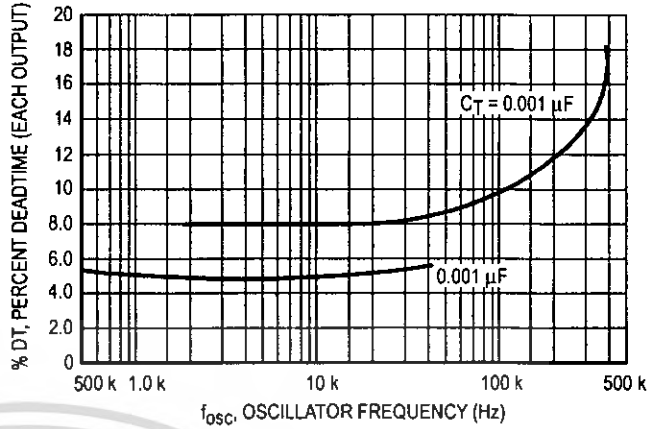


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

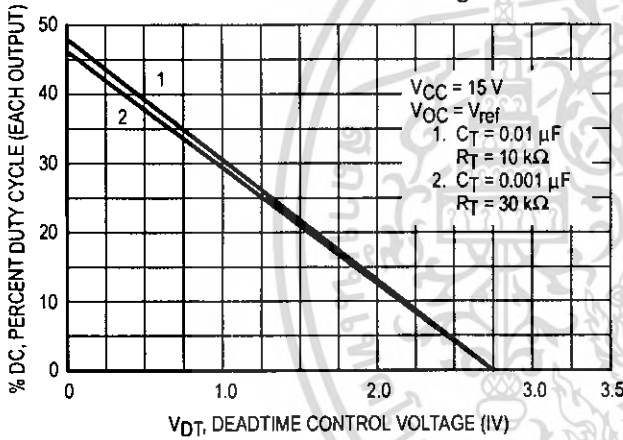


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

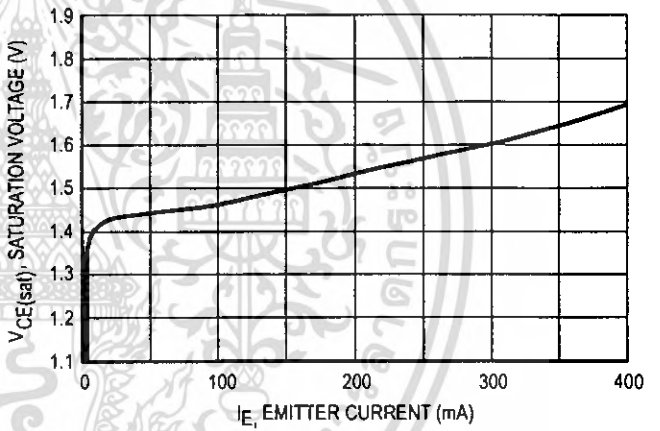


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

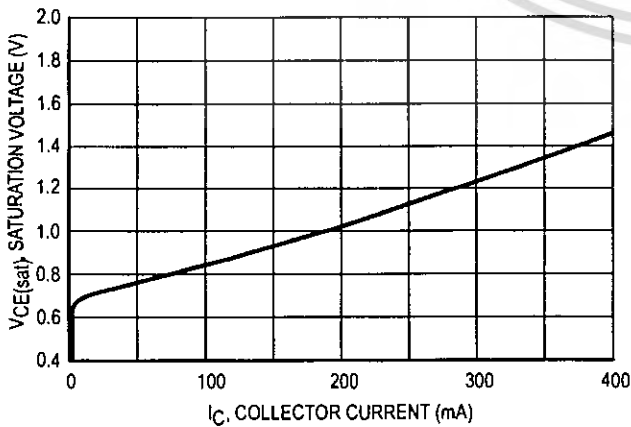


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

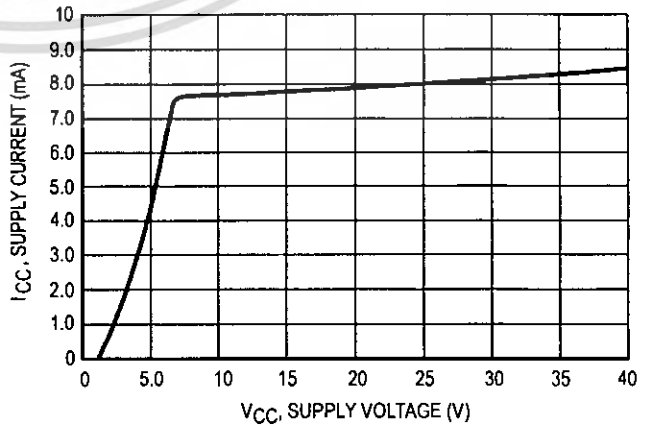


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

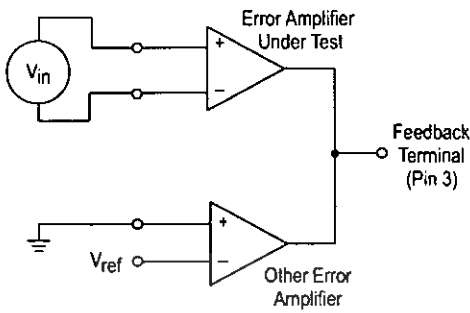


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

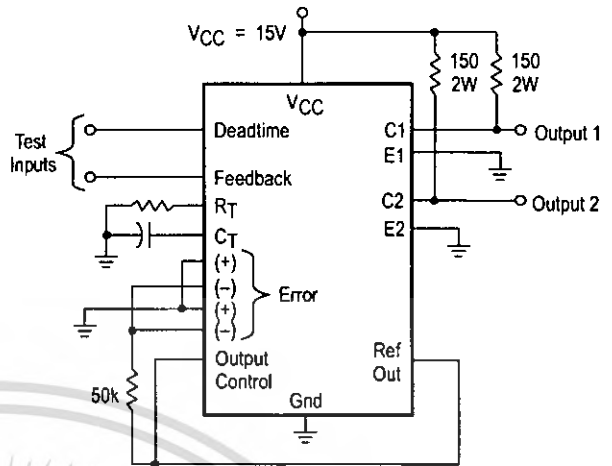


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

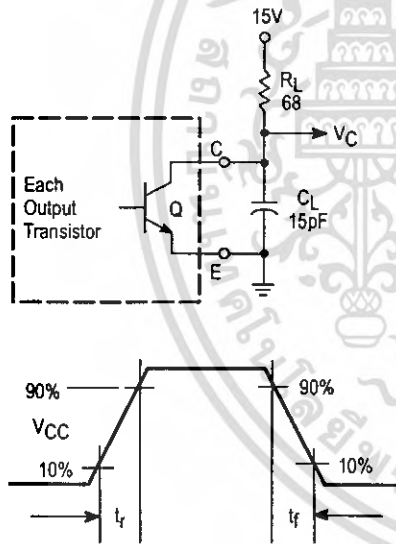


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

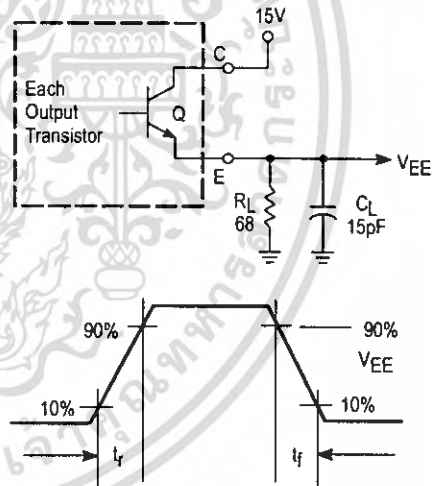


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

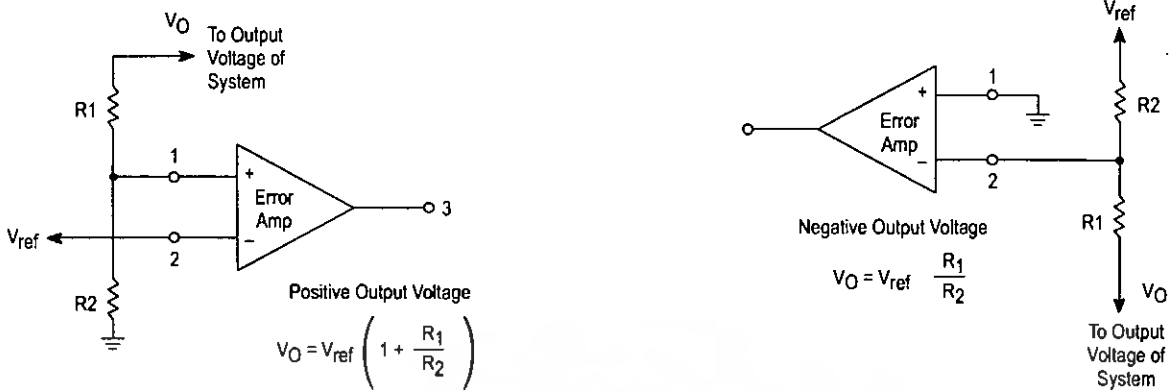


Figure 15. Deadtime Control Circuit

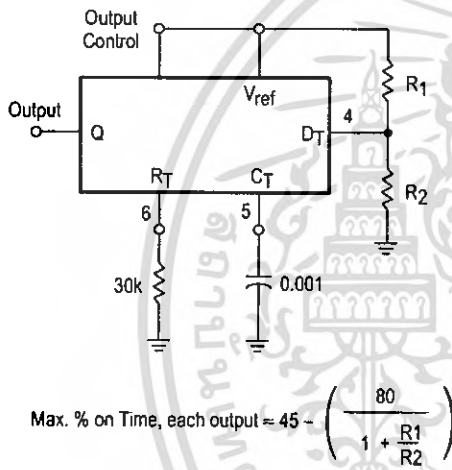


Figure 16. Soft-Start Circuit

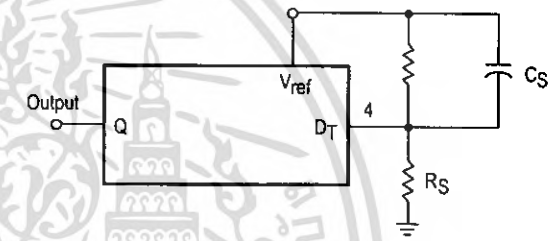
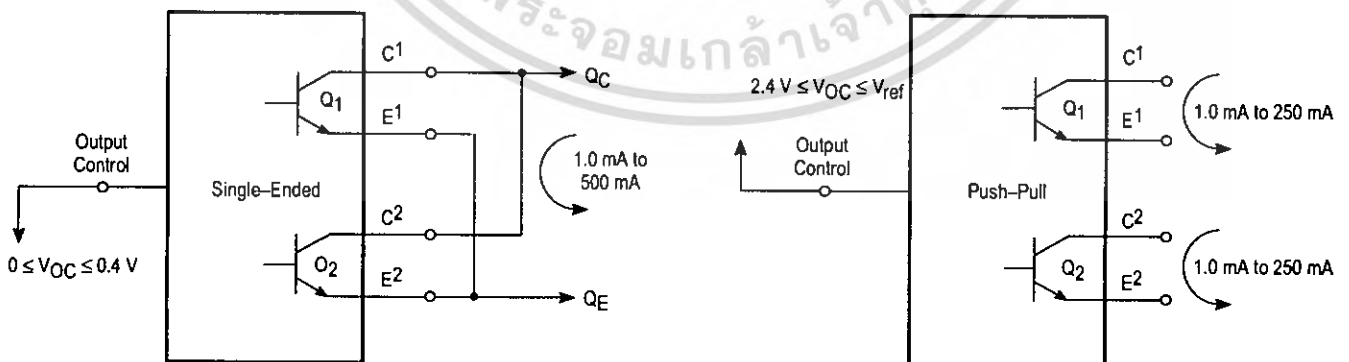


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

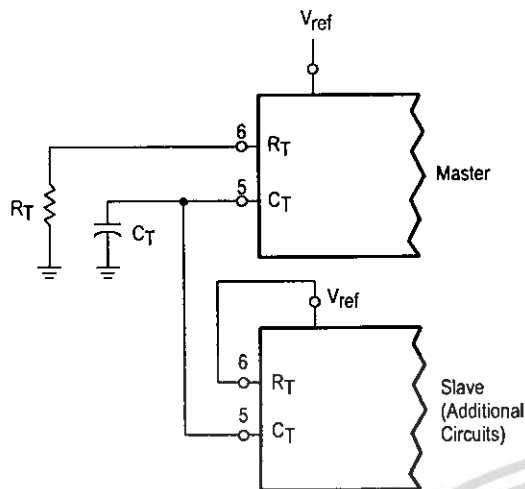


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

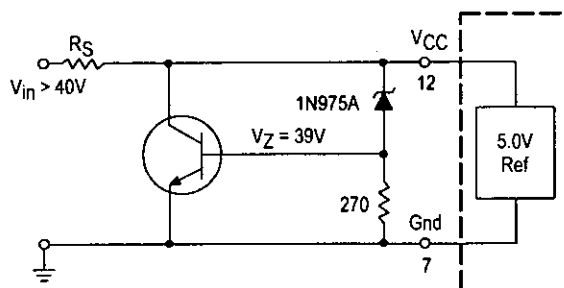
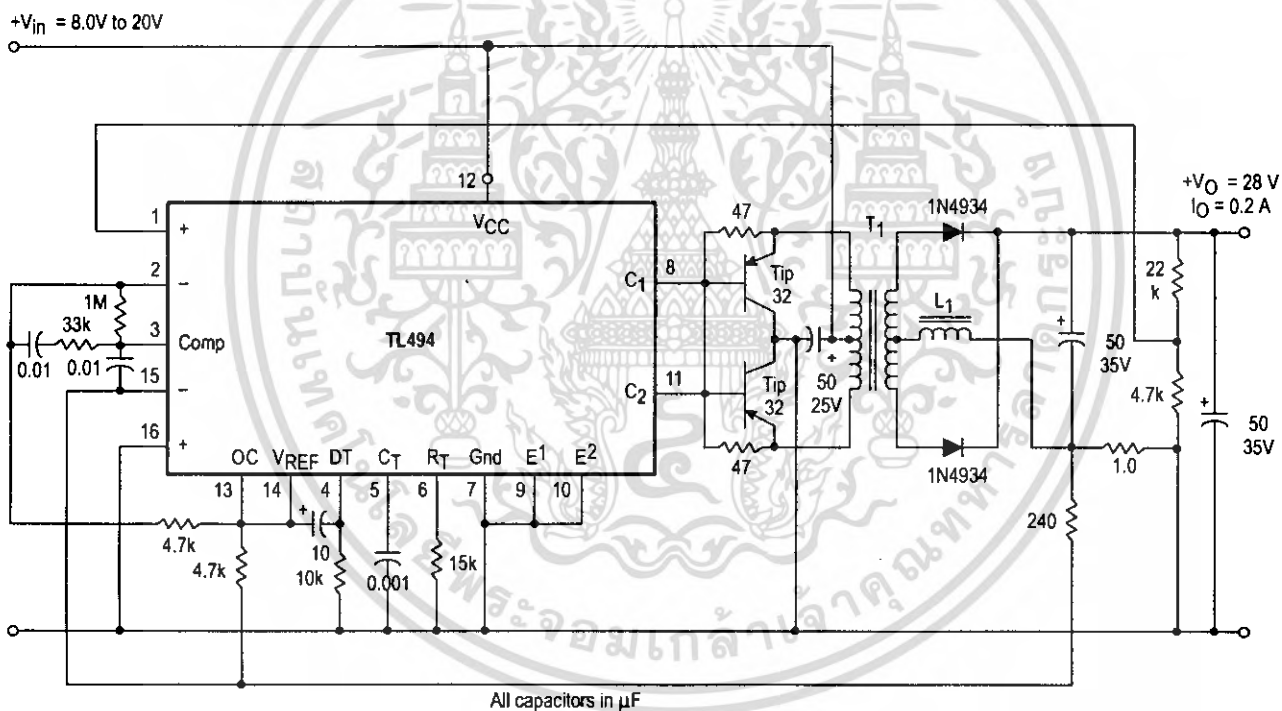


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

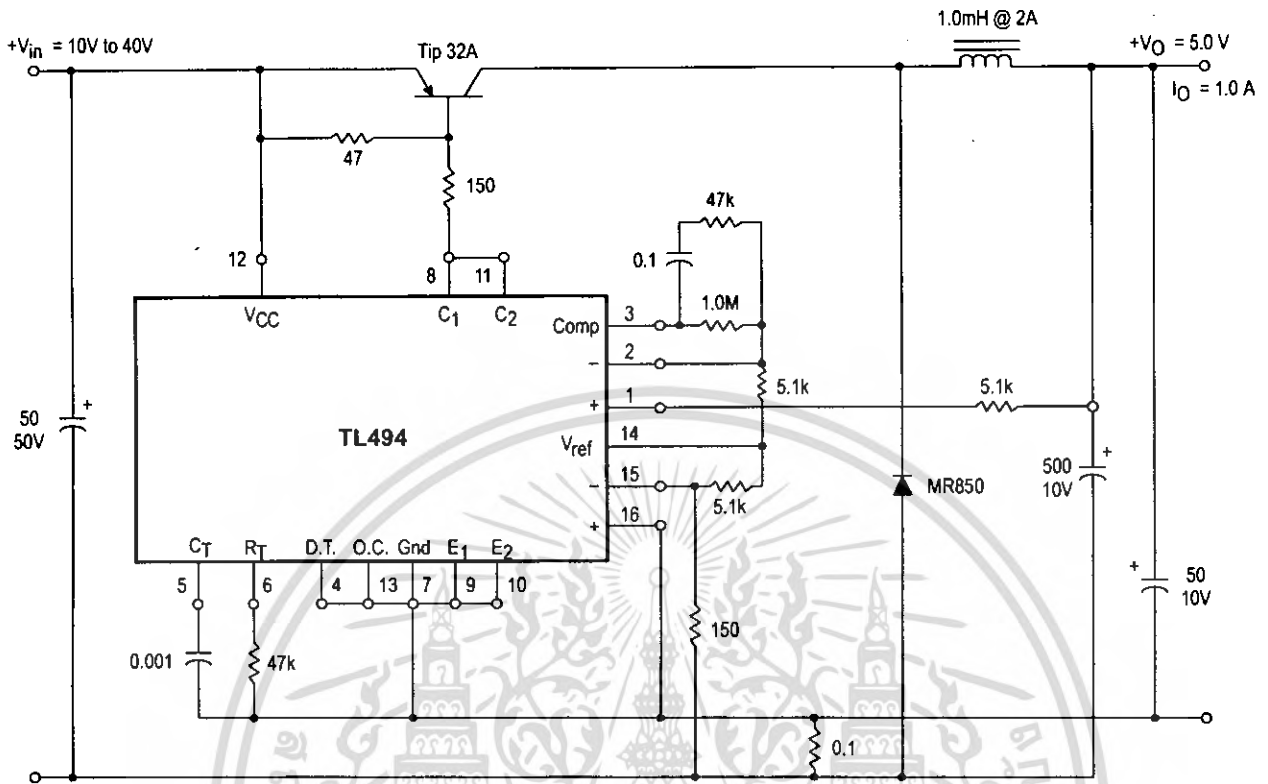


Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to } 40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ mA to } 1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V},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

TL494

Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



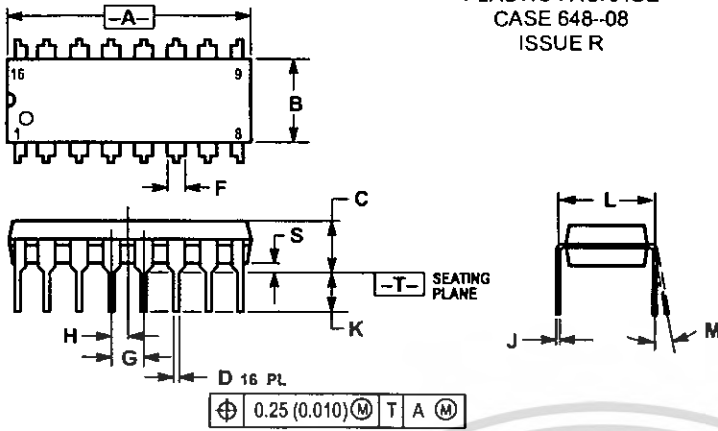
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in}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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TL494

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R

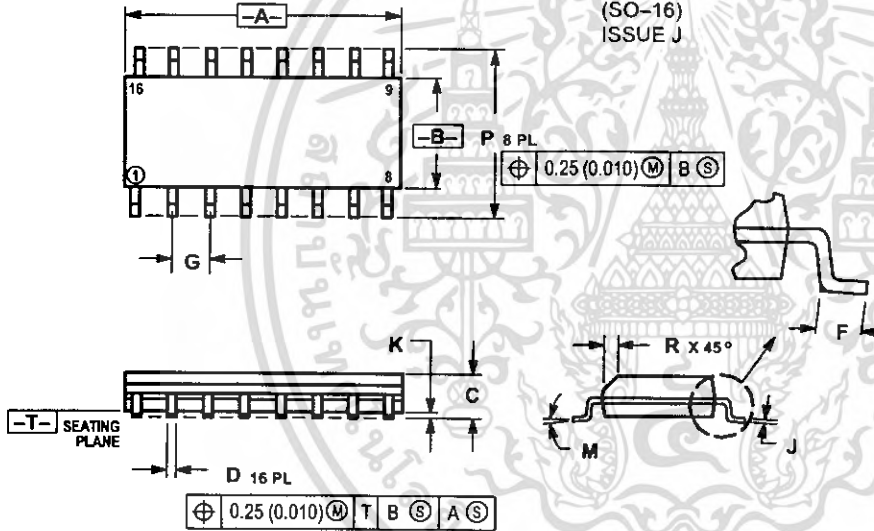


NOTES:

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

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751B-05 (SO-16) 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	0.016	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



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

How to reach us:

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

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

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

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

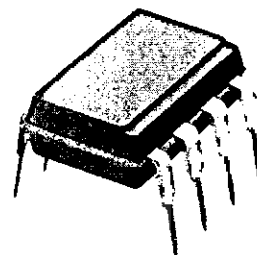
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้ TL494/D



PC923L0NSZ0F Series

High Speed, Gate Drive DIP 8 pin
*OPIC Photocoupler



■ Description

PC923L0NSZ0F Series contains a LED optically coupled to an OPIC chip.

It is packaged in a 8 pin DIP, available in SMT gullwing lead form option.

Input-output isolation voltage(rms) is 5.0 kV, High speed response (t_{PHL} , t_{PLH} : MAX. 0.5 μ s).

■ Features

1. 8 pin DIP package
2. Double transfer mold package
(Ideal for Flow Soldering)
3. Built-in direct drive circuit for MOSFET / IGBT drive
(I_{O1P} , I_{O2P} : 0.6 A)
4. High speed response (t_{PHL} , t_{PLH} : MAX. 0.5 μ s)
5. Wide operating supply voltage range
(V_{CC} =15 to 30 V)
6. High noise immunity due to high instantaneous common mode rejection voltage (CM_H : MIN. 15kV/ μ s, CM_L : MIN. 15kV/ μ s)
7. High isolation voltage between input and output
($V_{iso(rms)}$: 5.0 kV)
8. Lead-free and RoHS directive compliant

■ Agency approvals/Compliance

1. Recognized by UL1577 (Double protection isolation), file No. E64380 (as model No. **PC923L**)
2. Approved by VDE, DIN EN60747-5-2^(*) (as an option), file No. 40008898 (as model No. **PC923L**)
3. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

^(*)DIN EN60747-5-2 : successor standard of DIN VDE0884

■ Applications

1. IGBT/MOSFET gate drive for inverter control

*"OPIC"(Optical IC) is a trademark of the SHARP Corporation. An OPIC consists of a light-detecting element and a signal-processing circuit integrated onto a single chip.

Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.

In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

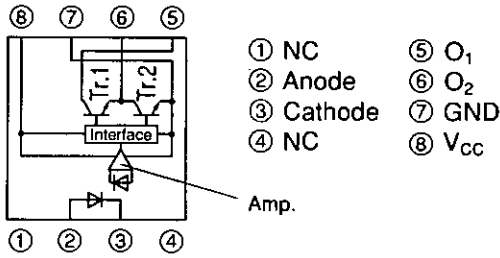
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

Sheet No.: D2-A06002EN

Date Jun. 30. 2005

© SHARP Corporation

Internal Connection Diagram

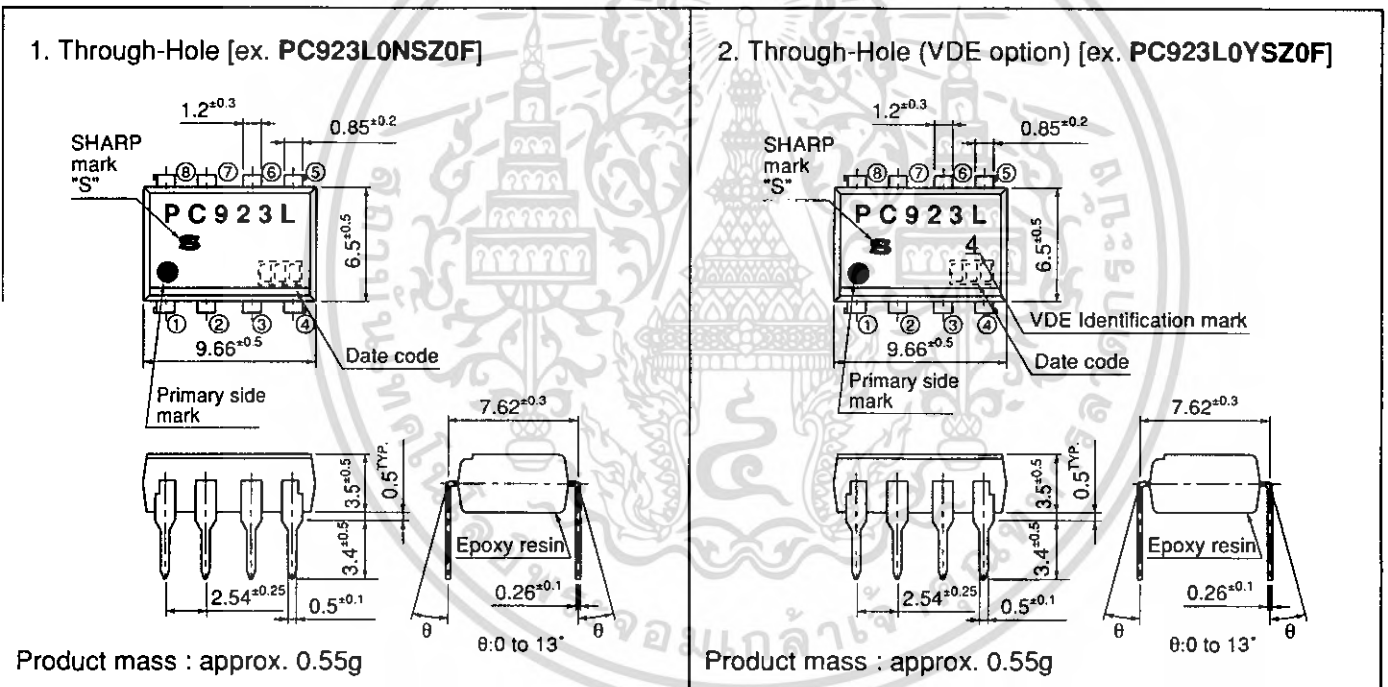


Truth table

Input	O ₂ Terminal output	Tr. 1	Tr. 2
ON	High level	ON	OFF
OFF	Low level	OFF	ON

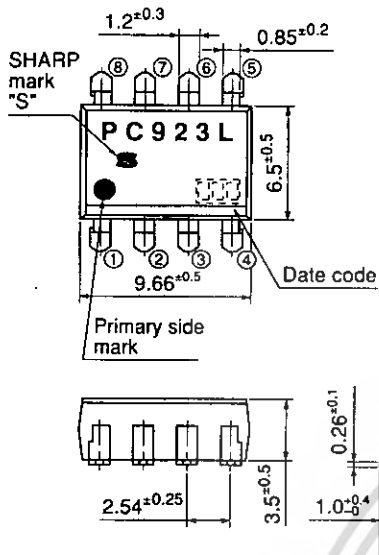
Outline Dimensions

(Unit : mm)

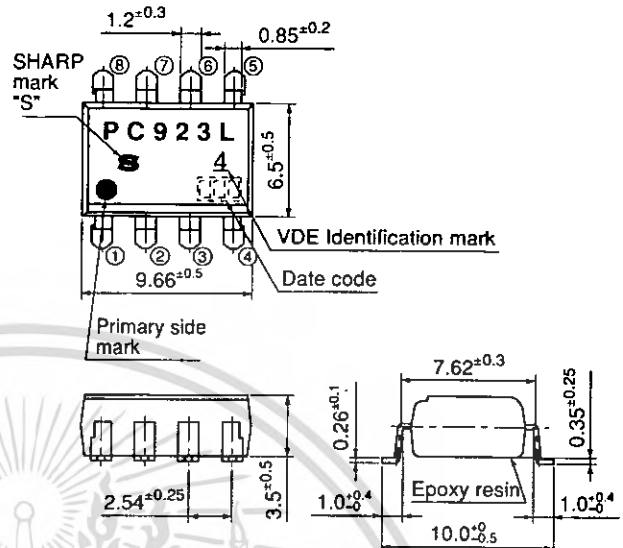


(Unit : mm)

3. SMT Gullwing Lead-Form [ex. PC923L0NIP0F]



4. SMT Gullwing Lead-Form (VDE option) [ex. PC923L0YIP0F]



Product mass : approx. 0.51g

Product mass : approx. 0.51g

Plating material : SnCu (Cu : TYP. 2%)

Date code (3 digit)

1st digit				2nd digit		3rd digit	
Year of production				Month of production		Week of production	
A.D.	Mark	A.D.	Mark	Month	Mark	Week	Mark
1990	A	2002	P	January	1	1st	1
1991	B	2003	R	February	2	2nd	2
1992	C	2004	S	March	3	3rd	3
1993	D	2005	T	April	4	4th	4
1994	E	2006	U	May	5	5.6th	5
1995	F	2007	V	June	6		
1996	H	2008	W	July	7		
1997	J	2009	X	August	8		
1998	K	2010	A	September	9		
1999	L	2011	B	October	O		
2000	M	2012	C	November	N		
2001	N	:	:	December	D		

repeats in a 20 year cycle

Country of origin

Japan

Rank mark

There is no rank mark indicator.



Absolute Maximum Ratings

(T_a=25°C)

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	*1 Forward current	I _F	20	mA
	Reverse voltage	V _R	5	V
Output	Supply voltage	V _{CC}	35	V
	O ₁ output current	I _{O1}	0.1	A
	*2 O ₁ Peak output current	I _{O1P}	0.6	A
	O ₂ output current	I _{O2}	0.1	A
	*2 O ₂ Peak output current	I _{O2P}	0.6	A
	O ₁ output voltage	V _{O1}	35	V
	*3 Power dissipation	P _O	500	mW
*4 Total power dissipation		P _{tot}	550	mW
*5 Isolation voltage		V _{iso (rms)}	5.0	kV
Operating temperature		T _{opr}	-40 to +85	°C
Storage temperature		T _{sig}	-55 to +125	°C
*6 Soldering temperature		T _{sol}	270	°C

*1 The derating factors of a absolute maximum ratings due to ambient temperature are shown in Fig.10

*2 Pulse width≤0.15μs, Duty ratio : 0.01

*3, 4 The derating factors of a absolute maximum ratings due to ambient temperature are shown in Fig.11

*5 AC for 1minute, 40 to 60 %RH, f=60Hz

*6 For 10s

Electro-optical Characteristics*7

(Unless otherwise specified T_a=T_{opr})

	Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	V _{F1}	T _a =25°C, I _F =10mA	-	1.6	1.75	V	
		V _{F2}	T _a =25°C, I _F =0.2mA	1.2	1.5	-	V	
	Reverse current	I _R	T _a =25°C, V _R =5V	-	-	10	μA	
	Terminal capacitance	C _t	T _a =25°C, V=0, f=1MHz	-	60	150	pF	
Output	Supply voltage	V _{CC}	-	15	-	30	V	
	O ₁ Low level output voltage	V _{O1L}	V _{CC1} =12V, V _{CC2} =-12V, I _{O1} =0.1A, I _F =5mA	-	0.2	0.4	V	
	O ₂ High level output voltage	V _{O2H}	V _{CC} =V _{O1} =24V, I _{O2} =-0.1A, I _F =5mA	20	22	-	V	
	O ₂ Low level output voltage	V _{O2L}	V _{CC} =24V, I _{O2} =0.1A, I _F =0	-	0.5	0.8	V	
	O ₁ leak current	I _{O1L}	V _{CC} =V _{O1} =35V, I _F =0	-	-	500	μA	
	O ₂ leak current	I _{O2L}	V _{CC} =V _{O2} =35V, I _F =5mA	-	-	500	μA	
	*9 High level supply current	I _{CCH}	V _{CC} =24V, I _F =5mA	-	1.3	3.0	mA	
	*9 Low level supply current	I _{CCL}	V _{CC} =24V, I _F =0	-	1.3	3.0	mA	
	*8 "Low→High" input threshold current	I _{FLH}	T _a =25°C, V _{CC} =24V	0.3	1.5	3.0	mA	
			V _{CC} =24V	0.2	-	5.0	mA	
Transfer characteristics	Isolation resistance	R _{ISO}	T _a =25°C, DC500V, 40 to 60%RH	5×10 ¹⁰	10 ¹¹	-	Ω	
	Response time	"Low→High" propagation delay time	t _{PLH}	T _a =25°C, V _{CC} =24V, I _F =5mA R _G =47Ω, C _G =3 000pF	-	0.3	0.5	μs
		"High→Low" propagation delay time	t _{PHL}		-	0.3	0.5	μs
		Rise time	t _r		-	0.2	0.5	μs
		Fall time	t _f		-	0.2	0.5	μs
	Instantaneous common mode rejection voltage (High level output)	CM _H	T _a =25°C, V _{CM} =1.5kV _(p-p) I _F =5mA, V _{CC} =24V, ΔV _{O2H} =2.0V	-15	-	-	kV/μs	
Instantaneous common mode rejection voltage (Low level output)	CM _L	T _a =25°C, V _{CM} =1.5kV _(p-p) I _F =0, V _{CC} =24V, ΔV _{O2L} =2.0V	15	-	-	kV/μs		

*7 It shall connect a by-pass capacitor of 0.01μF or more between V_{CC} (pin ⑧) and GND (pin ⑦) near the device, when it measures the transfer characteristics and the output side characteristics

*8 I_{FLH} represents forward current when output goes from "Low" to "High" *9 O₂ output terminal is set open

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sheet No.: D2-A06002EN

Model Line-up

Lead Form	Through-Hole		SMT Gullwing			
Package	Sleeve			Taping		
	50pcs/sleeve			1 000pcs/reel		
DIN EN60747-5-2	—	Approved	—	Approved	—	Approved
Model No.	PC923L0NSZ0F	PC923L0YSZ0F	PC923L0NIZ0F	PC923L0YIZ0F	PC923L0NIP0F	PC923L0YIP0F

Please contact a local SHARP sales representative to inquire about production status.



Fig.1 Test Circuit for O₁ Low Level Output Voltage

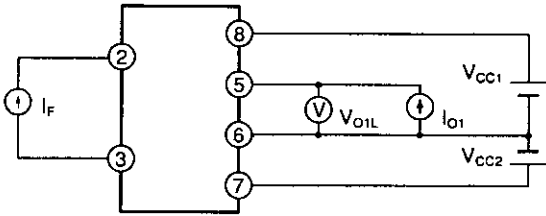


Fig.2 Test Circuit for O₂ High Level Output Voltage

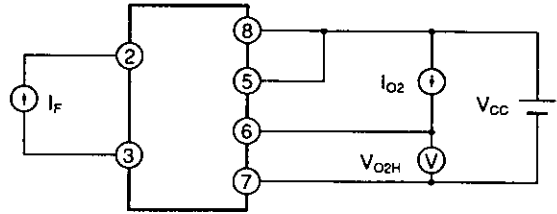


Fig.3 Test Circuit for O₂ Low Level Output Voltage

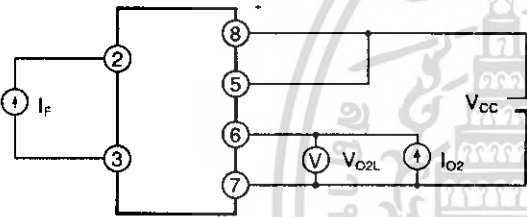


Fig.4 Test Circuit for O₁ Leak Current

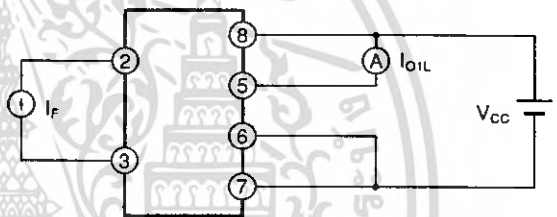


Fig.5 Test Circuit for O₂ Leak Current

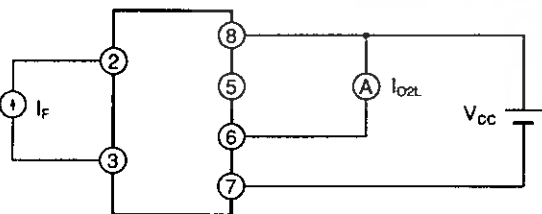


Fig.6 Test Circuit for High Level / Low Level Supply Current

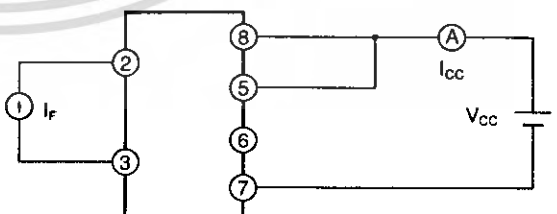


Fig.7 Test Circuit for "Low→High" Input Threshold Current

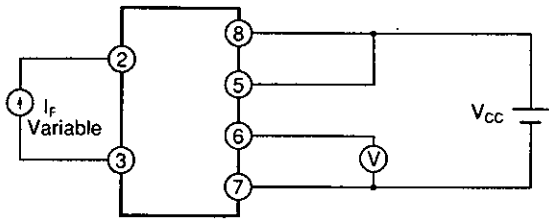


Fig.8 Test Circuit for Response Time

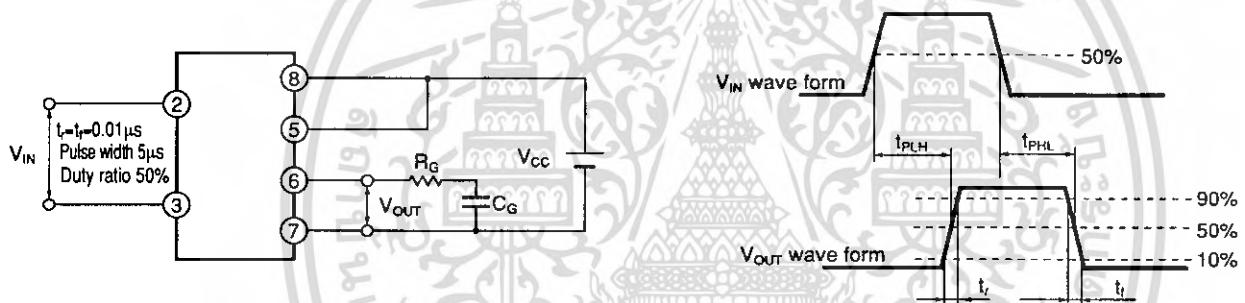


Fig.9 Test Circuit for Instantaneous Common Mode Rejection Voltage

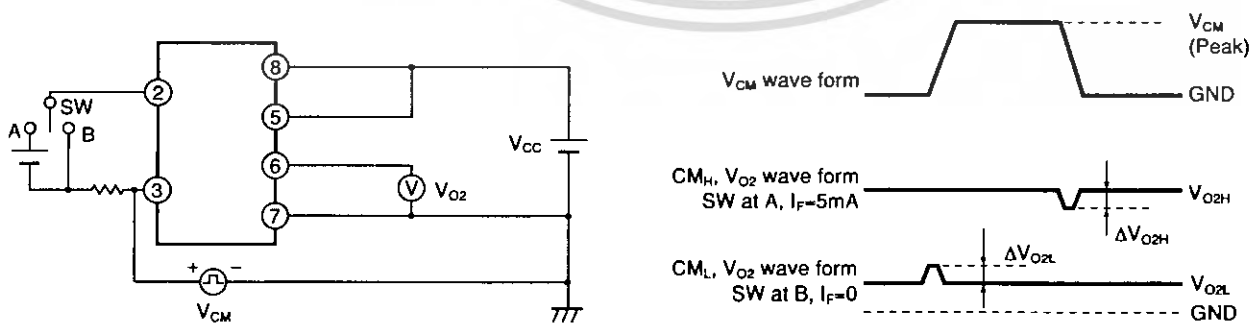


Fig.10 Forward Current vs. Ambient Temperature

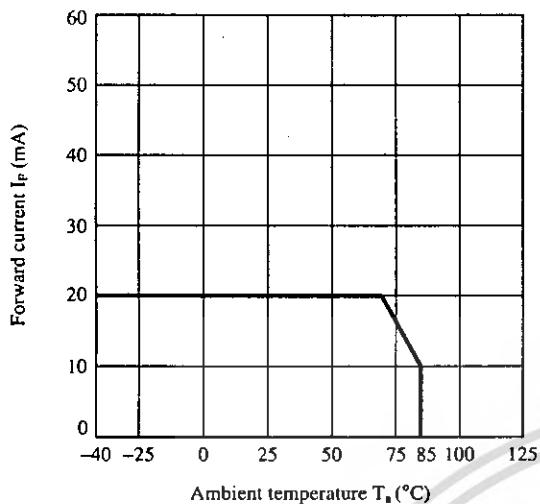


Fig.11 Power Dissipation vs. Ambient Temperature

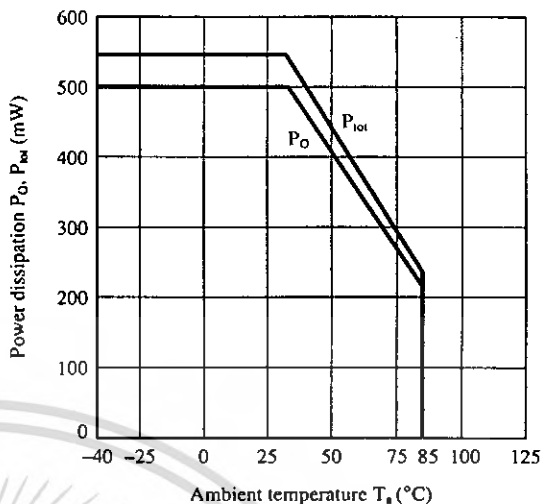


Fig.12 Forward Current vs. Forward Voltage

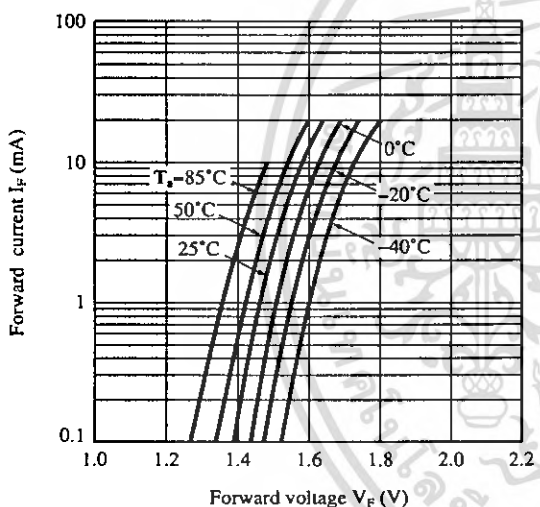


Fig.13 "Low→High" Relative Input Threshold Current vs. Supply Voltage

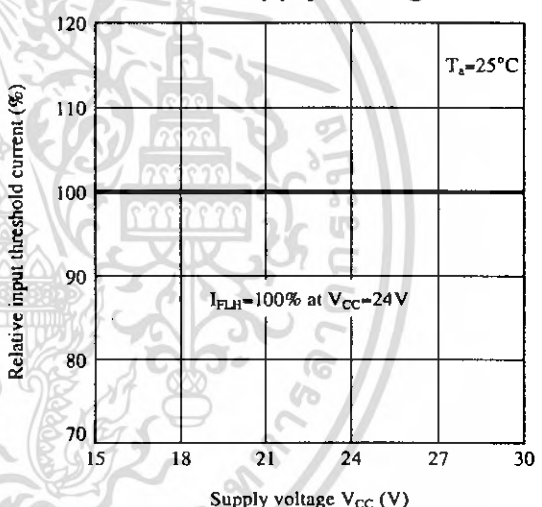


Fig.14 "Low→High" Relative Input Threshold Current vs. Ambient Temperature

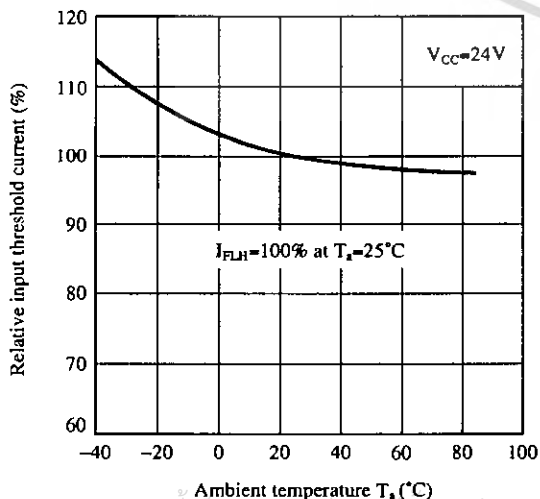


Fig.15 O₁ Low Level Output Voltage vs. O₁ Output Current

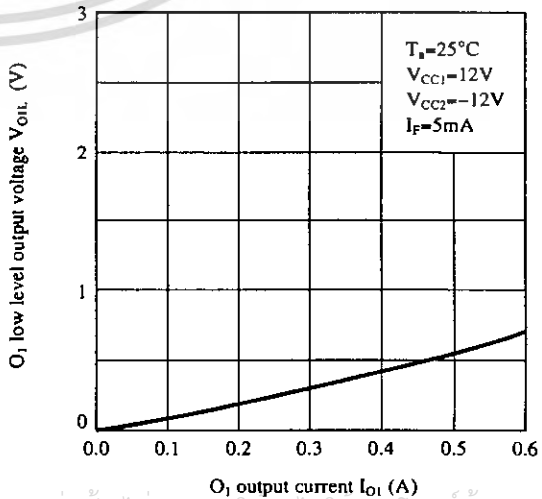


Fig.16 O₁ Low Level Output Voltage vs. Ambient Temperature

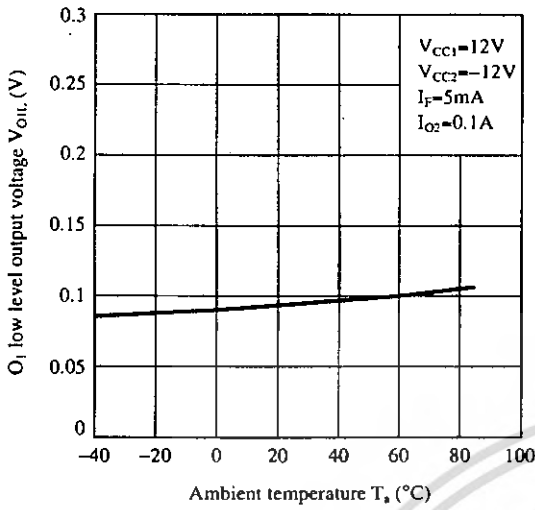


Fig.17 O₂ Output Voltage Drop vs. O₂ Output Current

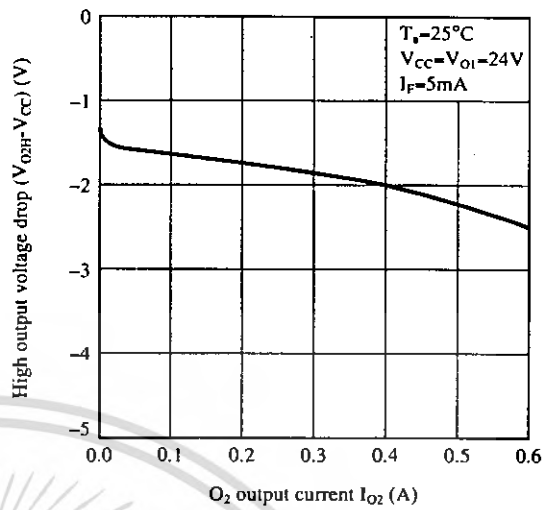


Fig.18 O₂ High Level Output Voltage vs. Supply Voltage

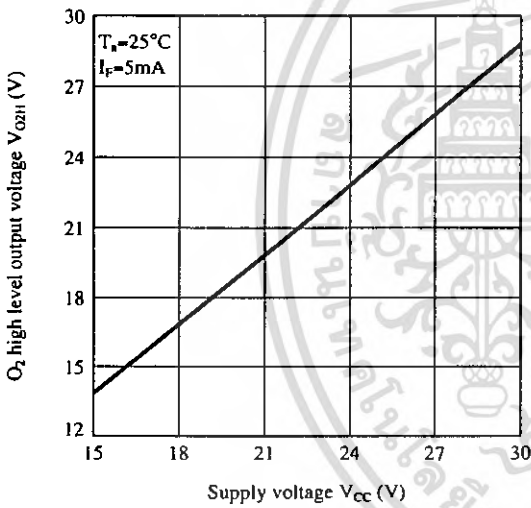


Fig.19 O₂ High Level Output Voltage vs. Ambient Temperature

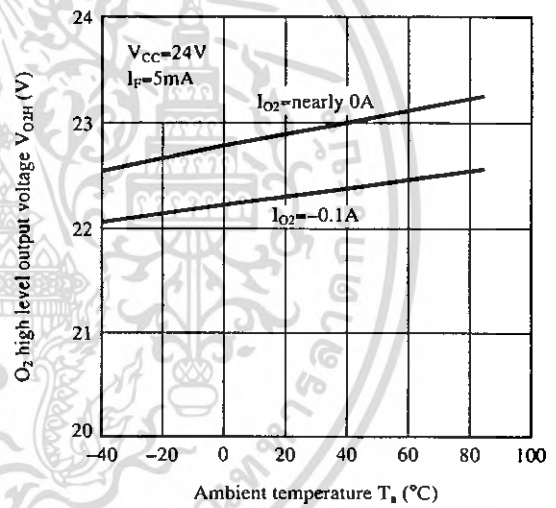


Fig.20 O₂ Low Level Output Voltage vs. O₂ Output Current

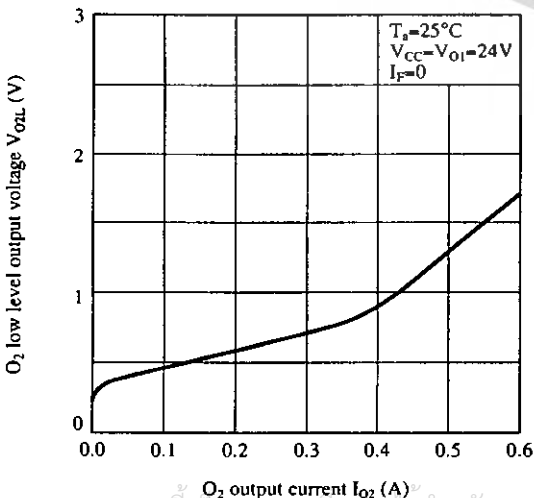
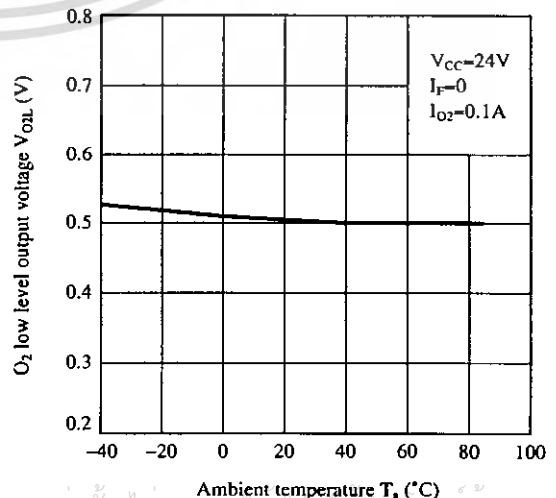


Fig.21 O₂ Low Level Output Voltage vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig.22 High Level Supply Current vs. Supply Voltage

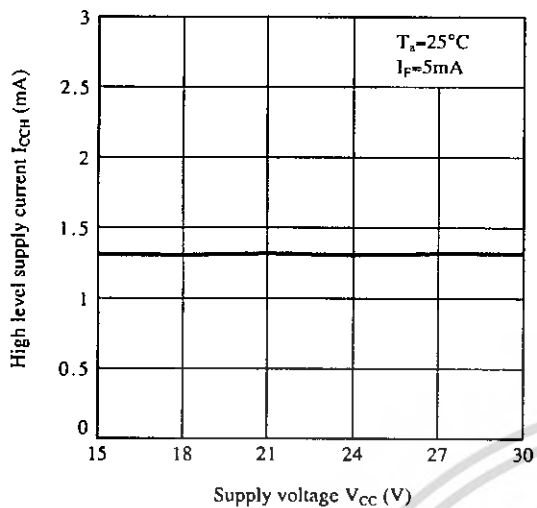


Fig.23 Low Level Supply Current vs. Supply Voltage

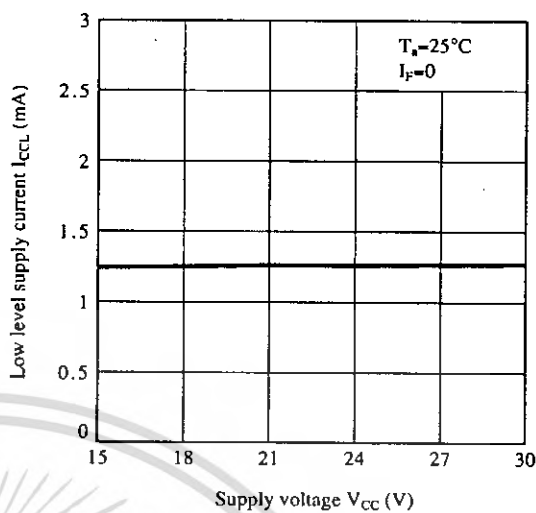


Fig.24 High Level Supply Current vs. Ambient Temperature

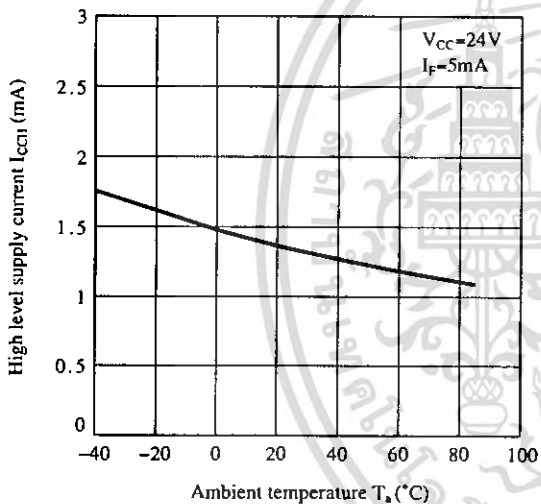


Fig.25 Low Level Supply Current vs. Ambient Temperature

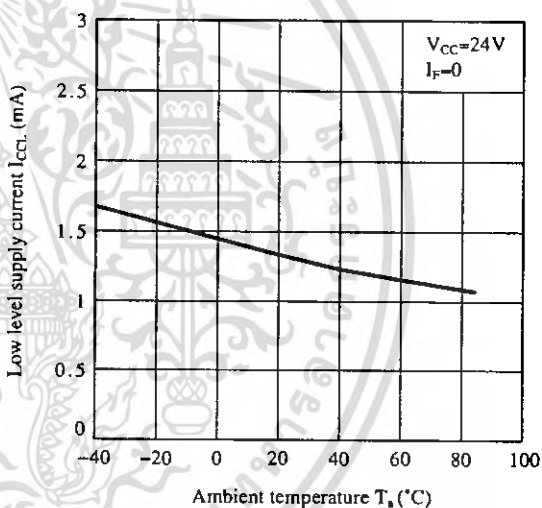


Fig.26 Propagation Delay Time vs. Forward Current

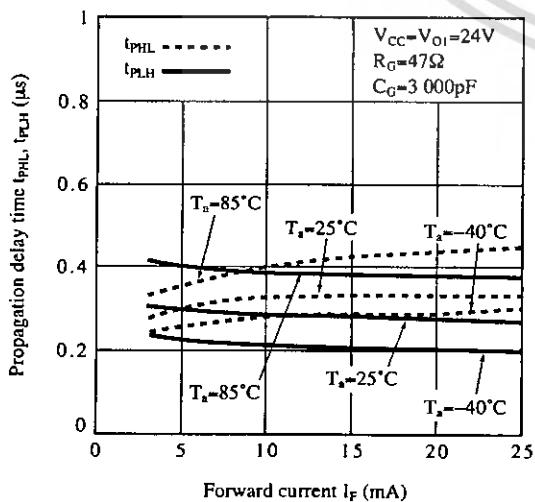
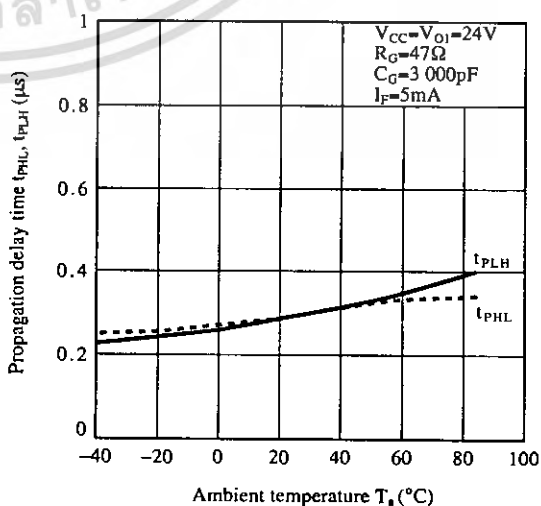


Fig.27 Propagation Delay Time vs. Ambient Temperature



Remarks : Please be aware that all data in the graph are just for reference and not for guarantee.

■ Design Considerations

● Recommended operating conditions

Parameter	Symbol	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Forward current	I_F	10	–	20	mA
Supply voltage	V_{CC}	15	–	30	V
Operating temperature	T_{opr}	–40	–	70	°C

● Notes about static electricity

Transistor of detector side in bipolar configuration may be damaged by static electricity due to its minute design.

When handling these devices, general countermeasure against static electricity should be taken to avoid breakdown of devices or degradation of characteristics.

● Design guide

In order to stabilize power supply line, we should certainly recommend to connect a by-pass capacitor of $0.01\mu\text{F}$ or more between V_{CC} and GND near the device.

In case that some sudden big noise caused by voltage variation is provided between primary and secondary terminals of photocoupler some current caused by it is floating capacitance may be generated and result in false operation since current may go through LED or current may change.

If the photocoupler may be used under the circumstances where noise will be generated we recommend to use the bypass capacitors at the both ends of LED.

The detector which is used in this device, has parasitic diode between each pins and GND.

There are cases that miss operation or destruction possibly may be occurred if electric potential of any pin becomes below GND level even for instant.

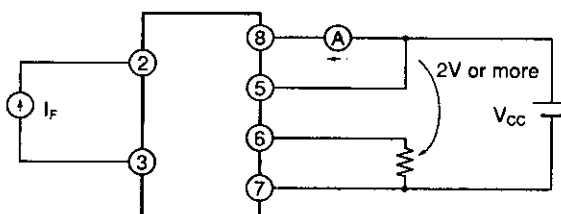
Therefore it shall be recommended to design the circuit that electric potential of any pin does not become below GND level.

This product is not designed against irradiation and incorporates non-coherent LED.

This photocoupler is dedicated to the use for IGBT or MOSFET Gate Drive.

Please do not use this for the other application.

As mentioned below, when the input is on, if DC load (resistor etc.) is connected between O_2 output pin 8 and GND pin 7 and if the electric potential V_{O2} goes approx. 2V below than electric potential V_{CC} pin 8 continuously, supply current I_{CC} may flow more than usually and go beyond power dissipation.



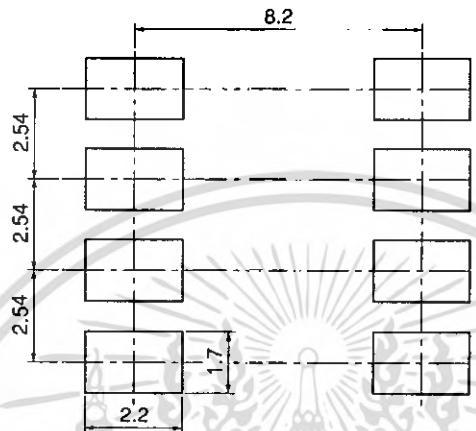
● Degradation

In general, the emission of the LED used in photocouplers will degrade over time.

In the case of long term operation, please take the general LED degradation (50% degradation over 5 years) into the design consideration.

Please decide the input current which become 2 times of MAX. I_{FLH} .

● Recommended Foot Print (reference)



(Unit : mm)

☆ For additional design assistance, please review our corresponding Optoelectronic Application Notes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบ

Sheet No.: D2-A06002EN

■ Manufacturing Guidelines

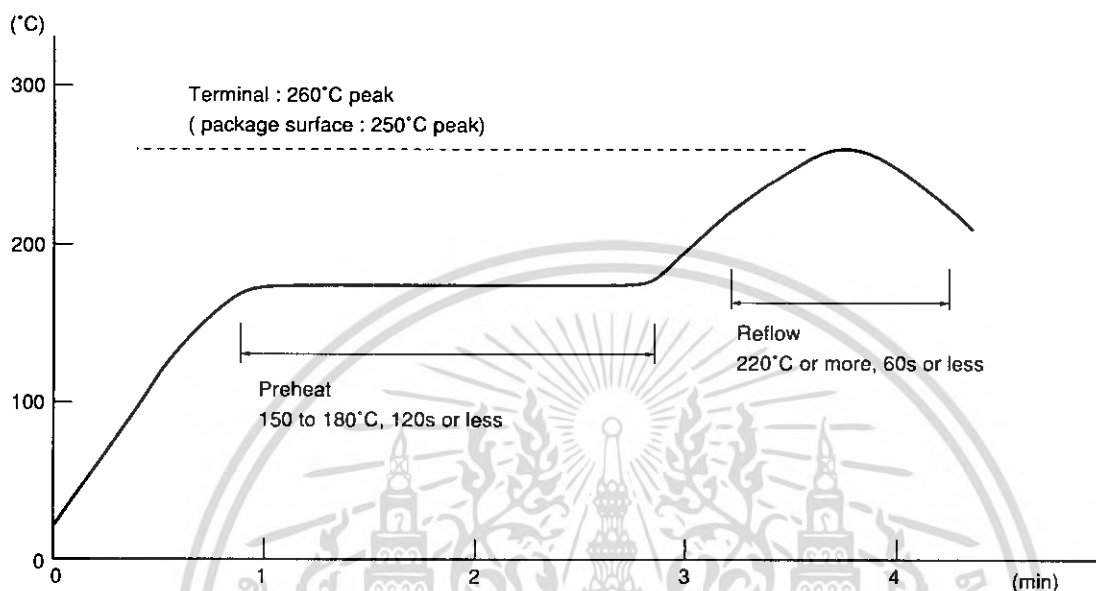
● Soldering Method

Reflow Soldering:

Reflow soldering should follow the temperature profile shown below.

Soldering should not exceed the curve of temperature profile and time.

Please don't solder more than twice.



Flow Soldering :

Due to SHARP's double transfer mold construction submersion in flow solder bath is allowed under the below listed guidelines.

Flow soldering should be completed below 270°C and within 10s.

Preheating is within the bounds of 100 to 150°C and 30 to 80s.

Please don't solder more than twice.

Hand soldering

Hand soldering should be completed within 3s when the point of solder iron is below 400°C.

Please don't solder more than twice.

Other notices

Please test the soldering method in actual condition and make sure the soldering works fine, since the impact on the junction between the device and PCB varies depending on the tooling and soldering conditions.

● Cleaning instructions**Solvent cleaning:**

Solvent temperature should be 45°C or below Immersion time should be 3 minutes or less

Ultrasonic cleaning:

The impact on the device varies depending on the size of the cleaning bath, ultrasonic output, cleaning time, size of PCB and mounting method of the device.

Therefore, please make sure the device withstands the ultrasonic cleaning in actual conditions in advance of mass production.

Recommended solvent materials:

Ethyl alcohol, Methyl alcohol and Isopropyl alcohol

In case the other type of solvent materials are intended to be used, please make sure they work fine in actual using conditions since some materials may erode the packaging resin.

● Presence of ODC

This product shall not contain the following materials.

And they are not used in the production process for this product.

Regulation substances : CFCs, Halon, Carbon tetrachloride, 1.1.1-Trichloroethane (Methylchloroform)

Specific brominated flame retardants such as the PBBOs and PBBs are not used in this product at all.

This product shall not contain the following materials banned in the RoHS Directive (2002/95/EC).

- Lead, Mercury, Cadmium, Hexavalent chromium, Polybrominated biphenyls (PBB), Polybrominated diphenyl ethers (PBDE).

Package specification

● Sleeve package

Package materials

Sleeve : HIPS (with anti-static material)

Stopper : Styrene-Elastomer

Package method

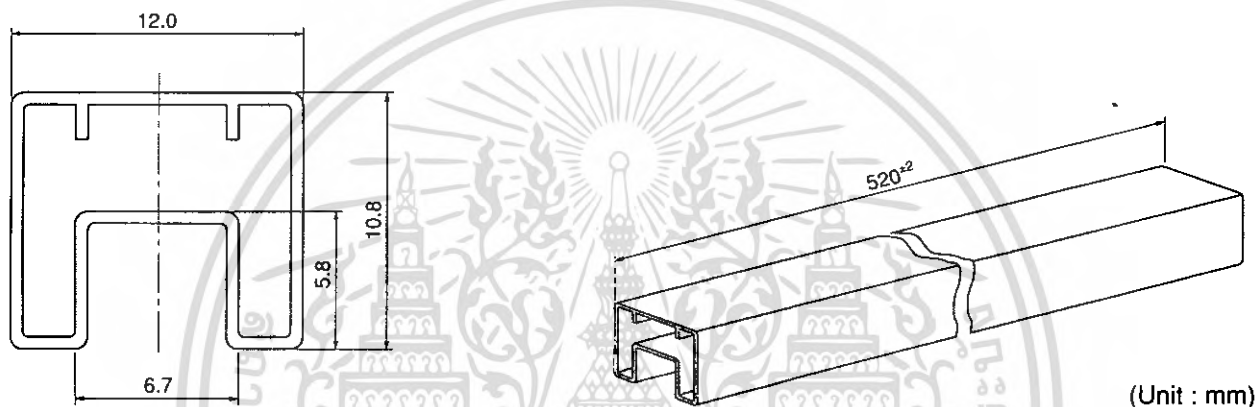
MAX. 50 pcs. of products shall be packaged in a sleeve.

Both ends shall be closed by tabbed and tabless stoppers.

The product shall be arranged in the sleeve with its primary side mark on the tabless stopper side.

MAX. 20 sleeves in one case.

Sleeve outline dimensions



● Tape and Reel package

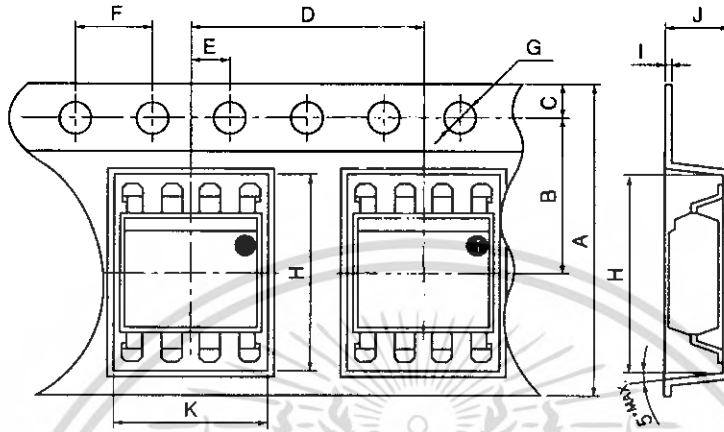
Package materials

Carrier tape : A-PET (with anti-static material)

Cover tape : PET (three layer system)

Reel : PS

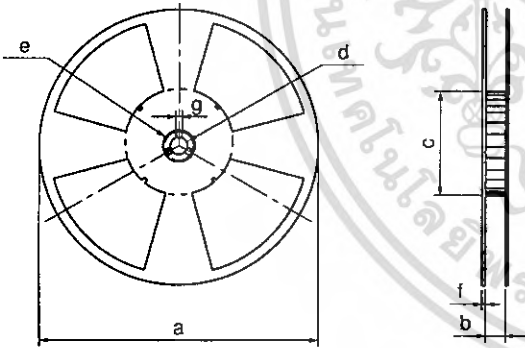
Carrier tape structure and Dimensions



Dimensions List (Unit : mm)

A	B	C	D	E	F	G
16.0 ^{±0.3}	7.5 ^{±0.1}	1.75 ^{±0.1}	12.0 ^{±0.1}	2.0 ^{±0.1}	4.0 ^{±0.1}	φ1.5 ^{±0.1}
H	I	J	K			
10.4 ^{±0.1}	0.4 ^{±0.05}	4.2 ^{±0.1}	10.2 ^{±0.1}			

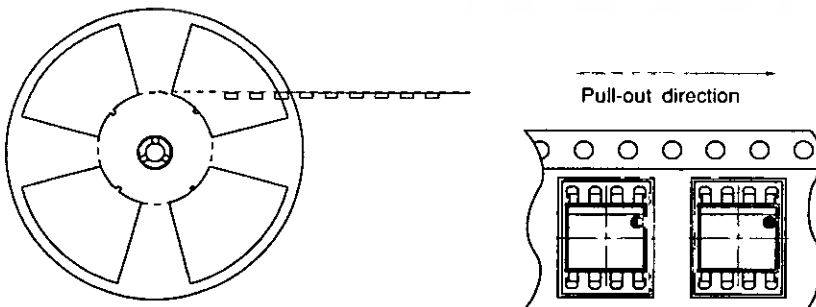
Reel structure and Dimensions



Dimensions List (Unit : mm)

a	b	c	d
330	17.5 ^{±1.5}	100 ^{±1.0}	13 ^{±0.5}
e	f	g	
23 ^{±1.0}	2.0 ^{±0.5}	2.0 ^{±0.5}	

Direction of product insertion



[Packing : 1 000pcs/reel]

■ Important Notices

· The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.

· Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device. SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.

· Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions:

(i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:

- Personal computers
- Office automation equipment
- Telecommunication equipment [terminal]
- Test and measurement equipment
- Industrial control
- Audio visual equipment
- Consumer electronics

(ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection

with equipment that requires higher reliability such as:

- Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
- Traffic signals
- Gas leakage sensor breakers
- Alarm equipment
- Various safety devices, etc.

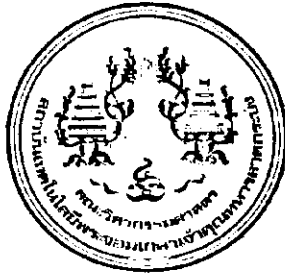
(iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:

- Space applications
- Telecommunication equipment [trunk lines]
- Nuclear power control equipment
- Medical and other life support equipment (e.g., scuba).

· If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.

· This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.

· Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.



ใบรับรองผลการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง..... 14 กุมภาพันธ์ 2550

ผู้ทำการทดลอง..... ศุภพล ศุภวิเศษศิริ, น.หสภ เมฆเนียมทอง, ยุคชัย ดันทวีहित

ผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้า	เวลาที่พ่นโอโซน (นาที)	ปริมาตร KI (ml)	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ml)
4200	20.5	100	0.10
4000	20.5	100	0.05
3800	20.5	100	0.05
3500	20.5	100	0.00

.....
ศุภพล ศุภวิเศษศิริ
(.....)

เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้