

ปีการศึกษา 2543



เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนความถี่สูง

HIGH FREQUENCY OZONE GENERATOR



โดย

นายณัฐพล ธนอดิโรจน์

นายอาทิตย์ สุขสบาย

นายเอกชัย กุลชุตินัน

เลขที่.....
เลขทะเบียน...42627
วัน, เดือน, ปี... 4 ส.ย. 2545

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

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูง

ผู้จัดทำ

- 
1. นายณัฐพล รัตนศิริโรจน์
 2. นายอาทิตย์ สุขสบาย
 3. นายเอกชัย กุลชุติน



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องกำเนิดก๊าซโอโซนความถี่สูง

นายณัฐพล ธนอดิโรจน์

นายอาทิตย์ สุขสบาย

นายเอกชัย กุลชุตติสิน

รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้อุปกรณ์กำเนิดความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับหม้อแปลงฟลายแบ็คก่อนเข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งในปัจจุบันก๊าซโอโซนได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมหรือแม้กระทั่งในครัวเรือน โดยก๊าซโอโซนสามารถใช้ในการบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในน้ำและในอากาศ ซึ่งก๊าซโอโซนถือว่าเป็นก๊าซสะอาด ในการกำเนิดก๊าซโอโซนจะใช้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ป้อนแรงดันสูงและความถี่สูงเพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติกลายเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งในโครงการนี้จะทำการศึกษาความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อปริมาณโอโซนเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซโอโซนและลดแรงดันไฟฟ้าลงซึ่งจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานเมื่อนำไปใช้ในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรมให้มากยิ่งขึ้น ในการออกแบบวงจรนั้นได้ทำการออกแบบโดยสามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟได้ทั้งแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดแรงดัน 24 โวลต์ โดยมีพิกัดกำลังสูงสุดที่ 120 วัตต์ ทำให้อุปกรณ์นี้สามารถเชื่อมต่อกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ด้วย ด้านเอาต์พุตนั้นมีย่านการทำงานอยู่ที่ความถี่ 20 – 60 กิโลเฮิร์ต แรงดันตั้งแต่ 0 – 4 kV_p โดยที่สามารถรักษาแรงดันที่จ่ายให้แก่หม้อแปลงความถี่สูงให้คงที่ตลอดการใช้งาน ปริมาณก๊าซโอโซนสูงสุดที่สามารถผลิตได้คือ 240 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

HIGH FREQUENCY OZONE GENERATOR

Nattapon Thana-adiroj

Arthit Sooksabye

Ekachai Kunchutisin

Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

2000

ABSTRACT

This thesis is concerned with studying about procedure of ozone generation with was based on corona discharges. This thesis presented the high frequency device for supplied power to the flyback transformer and electrode which used in ozone generation procedure. The most widely used method of ozone generation for air and water treatment in industrial and residence. Ozone could kill the germ, including viruses in air and water. Many parameters have effect on the ozone generation such as thermal, moisture, some gases (hydrocarbon, chlorofluorocarbon etc.) etc, for electrical parameters such as electrical field configurations, electrical potential and signal characteristics (voltage types and frequency). So this thesis have objective to studied about frequency which have effect to ozone yield for developed the ozone generator to high efficiency. This supply is designed to use either the alternating current 220 volt, 50 Hz, rated power is 120 W and the direct current 24 volt to be source of energy which device could connect with solar energy system for safe energy in the ozone generation. Range of output frequency is 20 – 60 kHz and rated output voltage is 4 kV_p. This supply can to keep constant output voltage which it could to help constant output power to load. This supply can yield 240 mgO₃/hr at rated power.

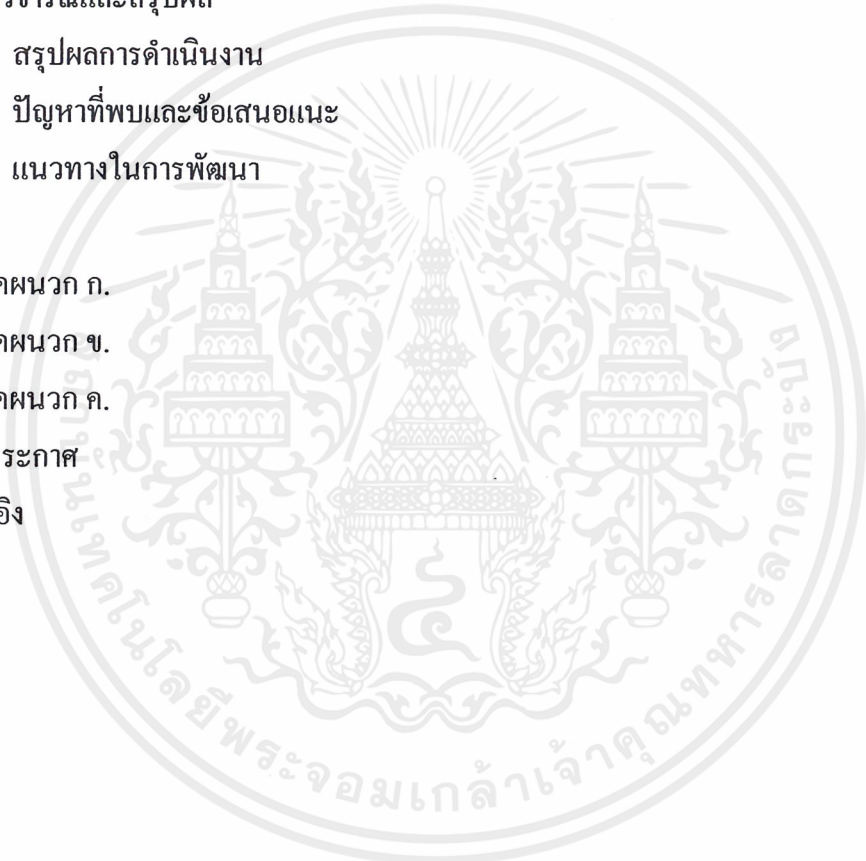
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 โครงการวิจัยทดลอง	2
1.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ข้อมูลทั่วไปของก๊าซไอโซน	4
2.3 กระบวนการการแตกตัวของก๊าซและการผลิตก๊าซไอโซน	6
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า	9
2.5 หลักการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์	13
2.6 หลักการทำงานของวงจรมินเวอร์เตอร์	16
2.7 หลักการทำงานของไอซีเบอร์ TL494 สำหรับโหมคควบคุมแรงดัน	20
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	23
3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน	23
3.1.1 การวิเคราะห์หาการกระจายของสนามไฟฟ้าในหัวอิเล็กโตรดทรง กระบอกแกนร่วมขนาด 2 ชั้น	26
3.2 การออกแบบวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์	27
3.3 การออกแบบวงจรมินเวอร์เตอร์	30
3.4 การออกแบบวงจรมายพาส	31
3.5 การออกแบบวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์	32
3.6 การออกแบบวงจรมินเวอร์เตอร์	34
3.7 หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.1 การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวนแก้วในชุดอิเล็กโตรด	36
4.2 การทดสอบวัดสัญญาณและประสิทธิภาพของชุดกำเนิดความถี่สูง	37
4.3 ทำการทดสอบวัดปริมาณไอโซน	46
4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ ไอโซนที่ความถี่ต่างๆ	49
4.3.2 การหาปริมาณ ไอโซนที่แรงดันต่างๆ	50
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล	52
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	52
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	54
5.3 แนวทางในการพัฒนา	54
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก.	56
ภาคผนวก ข.	59
ภาคผนวก ค.	98
กิตติกรรมประกาศ	100
เอกสารอ้างอิง	101



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างของชุดผลิตก๊าซไอโซน	2
2.1 เส้นโค้งแสดงระดับพลังงานของออกซิเจน	7
2.2 คุณสมบัติสนามไฟฟ้า 3 ชนิดตามรูปร่างอิเล็กทรอนิกส์ต่างกัน	9
2.3 แสดงลักษณะทรงกระบอกซ้อนกัน	10
2.4 แสดงลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันจำนวน 2 ชั้น	11
2.5 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	13
2.6 รูปคลื่นสัญญาณของบูสต์คอนเวอร์เตอร์	14
2.7 พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	17
2.8 แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์	17
2.9 แสดงแรงดันเอาต์พุตแควบและรูปสัญญาณกระแสของโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ	18
2.10 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ ไอซี TL494	20
2.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T, C_T ในการกำหนดความถี่	20
2.12 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494	21
3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูง	23
3.2 ลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิต	25
3.3 แสดงค่าการกระจายของสนามไฟฟ้า	27
3.4 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	28
3.5 แสดงวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้งานจริง	30
3.6 แสดงวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เมื่อต่อโหลดความต้านทาน	30
3.7 แสดงวงจรการใช้งาน ไอซี 555	31
3.8 แสดงคาบเวลาของการทำงาน	32
3.9 แสดงวงจรควบคุมแรงดันของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	33
3.10 แสดงวงจรควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์	34
3.11 แสดงภาพของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนเมื่อต่ออุปกรณ์เสร็จสมบูรณ์	35
4.1 แสดงสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงและที่ได้จากโปรแกรม	38
4.2 แสดงสัญญาณที่ด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงสัญญาณที่ใช้ขับมอเตอร์ของวงจรถูกคั่นอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับระหว่างโปรแกรมกับจากวงจรจริง	40
4.4 แสดงสัญญาณของอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับระหว่างโปรแกรมสร้างแบบจำลองและวงจรจริง	40
4.5 แสดงสัญญาณที่ได้จากชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับระหว่างโปรแกรมสร้างแบบจำลองและวงจรจริง	41
4.6 แสดงสัญญาณแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่าง ๆ	42
4.7 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงฟลายแบ็ค	44
4.8 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการตรวจวัดปริมาณโอโซนด้วยวิธีไอโอโดเมตริก	47
4.9 สีของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับโอโซน	48
4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนกับความถี่	49
4.11 สัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงในขณะที่จ่ายให้แก่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่ 60 kHz	50
4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันและปริมาณก๊าซโอโซน	51
5.1 แสดงชุดของอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก	52
5.2 แสดงลักษณะภายในของชุดอิเล็กทรอนิกส์	52
5.3 แสดงสัญญาณแรงดันและความถี่ที่ให้ปริมาณโอโซนสูงสุด	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับปริมาณ โอโซนในอากาศที่มีผลต่อสุขภาพของคนและพืช	6
4.1 แสดงค่าต่างๆ เมื่อทำการต่อโหลด 200 โอห์มโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์	42
4.2 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทำการต่อโหลด 50 วัตต์ ใช้แหล่งจ่ายกระแสตรง 24 โวลต์	43
4.3 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงฟลายแบ็กแรงดันสูงที่ความถี่ค่าต่างๆ	43
4.4 แสดงปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆ	49
4.5 แสดงปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นที่แรงดันต่างๆ	50



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

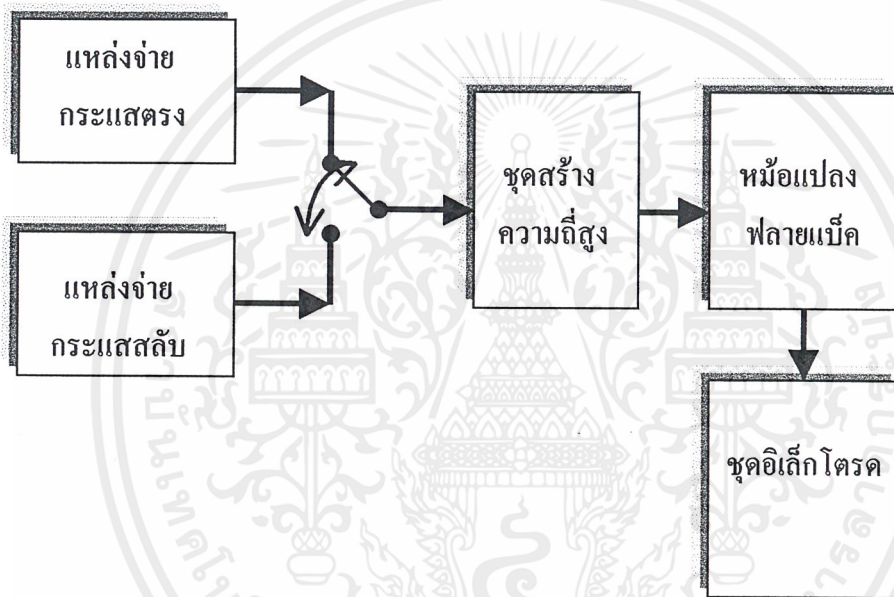
ในปัจจุบันสภาพแวดล้อมของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปมาก การเพิ่มประชากรและอุตสาหกรรมมีผลทำให้เกิดมลภาวะขึ้นตามมาด้วยโดยมลภาวะที่เป็นปัญหาหนักก็คือมลภาวะทางน้ำและอากาศซึ่งถูกปล่อยออกมาจากแหล่งโรงงานอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้มีการพยายามที่จะแก้ไขทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาก็เกี่ยวกับมลภาวะเหล่านี้มีหลายวิธีและกระบวนการทางเคมีวิธีหนึ่งที่ได้เริ่มมีการใช้แพร่หลายมากขึ้นคือการใช้ก๊าซโอโซน สำหรับในต่างประเทศนั้นได้มีการนำเอาก๊าซโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำและอากาศเสียกันอย่างแพร่หลายทั้งในอเมริกาและยุโรป สำหรับในประเทศไทยก็ได้เริ่มมีการนำก๊าซโอโซนมาฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำดื่มและใช้ฟอกอากาศในห้องพักอาศัย

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซนมีด้วยกันหลายวิธีแต่ในกระบวนการเหล่านี้ก็มีหลักการเช่นเดียวกันคือการแยกเอาโมเลกุลของออกซิเจนออกจากกัน ซึ่งการที่จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแยกจากกันได้ก็ต้องการพลังงาน ซึ่งพลังงานที่สามารถทำได้ก็คือพลังงานจากอิเล็กตรอนหรือจากพลังงานฟิโตรอนควอนตัม ซึ่งถ้าเป็นอิเล็กตรอนนั้นสามารถสร้างจากแหล่งกำเนิดแรงดันสูงโคโรนาดีสชาร์จหรือสร้างจากแหล่งกำเนิดเคโมนิวเคลียร์ และจากกระบวนการอิเล็กโตรไลติก ส่วนพลังงานฟิโตรอนควอนตัม จะได้จากแสงอัลตราไวโอเลต ความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตร และได้จากรังสีแกมมา สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้พลังงานอิเล็กตรอนโดยใช้แหล่งกำเนิดแรงดันสูงในโคโรนาดีสชาร์จเป็นตัวผลิตก๊าซโอโซนและจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทดสอบแหล่งจ่ายพลังงานระหว่างกระแสสลับกับกระแสตรงเป็นตัวกำเนิดพลังงานให้ชุดอิเล็กโตรดเพื่อผลิตก๊าซโอโซนพบว่าแหล่งจ่ายกระแสสลับจะใช้พิกัดแรงดันที่ต่ำกว่าในการผลิตก๊าซโอโซนออกมาในปริมาณที่เท่ากันแต่ยังมีข้อเสียในส่วนของชุดกำเนิดความถี่สูงที่ไม่สามารถรักษาแรงดันก่อนเข้าหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงไว้ได้และยังมีประสิทธิภาพต่ำอยู่จาก [1] และ [4] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ

1. ศึกษาขนาดแรงดันสูงในการสร้างโคโรนาเพื่อใช้ผลิตก๊าซโอโซน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น
3. ออกแบบวงจรกำเนิดความถี่ให้มีประสิทธิภาพพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตโอโซน

1.2 โครงงานวิจัยทดลอง

โครงสร้างโดยรวมของชุดผลิตก๊าซไอโซนแสดงดังรูปที่ 1.1 สามารถใช้แหล่งจ่ายได้ทั้ง กระแสตรงและกระแสสลับผ่านชุดจ่ายแรงดันสูงความถี่สูง



รูปที่ 1.1 แสดง โครงสร้างของชุดผลิตก๊าซไอโซน

เครื่องผลิตก๊าซไอโซนนั้นหลังจากรับสัญญาณทั้งกระแสตรงหรือกระแสสลับเข้ามาแล้วจะแปลงให้เป็นกระแสตรงด้วยระดับแรงดันขึ้นก่อนที่จะส่งไปยังส่วนของอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงสัญญาณกระแสตรงให้เป็นสัญญาณกระแสสลับ ซึ่งในส่วนนี้เองจะทำการปรับความถี่ให้มีค่าสูง เพื่อผลลัพธ์ที่เกิดกับปริมาณ ไอโซนเมื่อได้รับสัญญาณกระแสสลับที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แล้วจึงนำมาขยายระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูงระดับแรงดันขึ้นประมาณ 4 กิโลโวลต์ ก่อนที่จะเข้าส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างโคโรนาในการผลิตก๊าซไอโซนต่อไป

1.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของก๊าซไอโซน คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ
2. ศึกษากระบวนการเกิดก๊าซไอโซนในสนามไฟฟ้าแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออกแบบและเลือกหัวอิเล็กทรอนิกส์
4. ศึกษาการทำงานของวงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์จากนั้นทำการจำลองสัญญาณขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
5. สร้างหัวอิเล็กทรอนิกส์
6. ศึกษาการวัดปริมาณโอโซนและทำการวัดปริมาณของก๊าซโอโซนที่ได้
7. ปรับปรุงแก้ไขวงจรต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 บทนำ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของหลักการแตกตัวของก๊าซและการผลิตก๊าซโอโซน, ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบหัวอิเล็กโตรด ในส่วนของชุดกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงก็จะกล่าวถึงหลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์

2.2 ข้อมูลทั่วไปของก๊าซโอโซนจาก[10]

ส่วนที่ 1 ลักษณะบ่งชี้ตัวผลิตภัณฑ์

ชื่อผลิตภัณฑ์ : โอโซน

ชื่อเรียกพ้อง : ไตรโตมิก ออกซิเจน, O_3

ตระกูลทางเคมี : ออกซิไดเซอร์

สูตรโมเลกุล : O_3

น้ำหนักโมเลกุล : 48.0

ส่วนที่ 2 ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย

ส่วนประกอบ : ก๊าซโอโซน

ความเข้มข้น : 0 – 20 % โดยน้ำหนัก

เลขทะเบียนก๊าซ : 10028 – 15 – 6

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทางกายภาพ

จุดเดือด : $-111.9\text{ }^{\circ}\text{C}$

จุดหลอมเหลว : $-192.7\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

ความหนาแน่นของไอ : 1 (เท่ากับอากาศ)

ส่วนที่ 4 การติดไฟและลุกไหม้

โอโซนเป็นก๊าซที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซ์ที่รุนแรง โดยที่การออกซิไดซ์จะเริ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าการออกซิเดชันของออกซิเจน โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัวทำให้เกิดโอโซนไนด์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เสถียรและอาจจะย่อยสลายไปกับการระเบิดที่รุนแรง

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิปกติ โอโซนจะสลายตัวกลายเป็นไบโตมิก ออกซิเจน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นและอยู่ในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น ไฮโดรเจน เหล็ก และโครเมียม การย่อยสลายอาจเป็นผลให้เกิดการระเบิดขึ้น

ส่วนที่ 5 การกระตุ้นปฏิกิริยา

สภาพที่ช่วยให้เกิดความไม่เสถียร : โอโซนนั้นในสภาพปกติมันสามารถย่อยสลายตัวมันเองได้ การย่อยสลายจะเกิดเร็วขึ้นที่พื้นผิวของของแข็ง และสารเคมีบางชนิด

การต่อต้าน : โอโซนเป็นตัวออกซิเดชันที่ดีมาก สามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์

ส่วนที่ 6 ข้อมูลด้านอันตรายต่อสุขภาพ

ปริมาณที่พอเหมาะ : โดยมาตรฐานแล้วให้มีก๊าซโอโซนอยู่ในอากาศประมาณ 0.1 ส่วนต่ออากาศ 1 ล้านส่วน (0.1 ppm.) โดยเฉลี่ยที่ประมาณ 8 ชั่วโมง หรือประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ปริมาณโอโซนในน้ำไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้

ลักษณะอาการเมื่อได้รับก๊าซโอโซน : จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเมื่อสูดดมกลิ่นที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนประมาณ 0.04 ppm. และเมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเพิ่มขี้น กลิ่นของก๊าซโอโซนอาจจะลดลง จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตาและทำให้จมูกและลำคอแห้ง และทำให้ไอ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเพิ่มขี้นมากๆ อาจทำให้เกิดอาการปวดหัว, โรคกระเพาะ, อาเจียน, เหนื่อยหอบ สุดท้ายอาจถึงกับส่งผลอันตรายต่อปอดและถึงแก่เสียชีวิตได้

คุณสมบัติความเป็นพิษ : ก๊าซโอโซนจะทำลายระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเราสามารถได้กลิ่นของก๊าซโอโซนได้ที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 0.02 ppm. ถึง 0.05 ppm. ก๊าซโอโซนจะส่งผลถึงตาและเยื่อจมูกต่างๆ และมีผลต่อปอดที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ในระบบร่างกาย ได้มีมีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบจากการแพร่กระจายของประจุไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้างโครโมโซม ถึงแม้ว่าผลกระทบจากการได้รับก๊าซโอโซนจะมีลักษณะที่เกิดอย่างเฉียบพลันแต่ก็สามารถเกิดอาการเรื้อรังเช่นเกิดกับปอดซึ่งก็ทำให้ร่างกายอ่อนแอลง

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับปริมาณโอโซนในอากาศที่มีผลต่อสุขภาพของคนและพืชจาก[11]

ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ (ppm.)	ลักษณะอาการที่เกิดกับสิ่งมีชีวิต
10.0	มีของเหลวออกมามากในปอด, ความดันเลือดลดลง, ซีพจรเต้นอ่อนลงอย่างรวดเร็ว
1.0	มีอาการไอ, เหนื่อย, ระบบทางเดินหายใจไม่สะดวก
0.5	แน่นหน้าอก, การกระจายตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยลง, การทำงานของปอดลดลง
0.3	ปวดศีรษะ, แน่นหน้าอก, การทำงานของปอดลดลง
0.15	ขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล, มีผลต่อการทำงานของปอด, แน่นหน้าอก, หายใจลำบาก และทำให้บริเวณช่องทางเข้าของอากาศของพืชได้รับความเสียหาย
0.12	ตามมาตรฐานของ United State National Primary and Secondary Air Quality จำนวนวันต่อปีกับความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของก๊าซโอโซนที่สูงกว่า 0.12 ppm. มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 1

ที่มา : Air Quality Criteria for Ozone and Other Photochemical Oxidants, EPA 600/8-78004, U.S. EPA, Research Triangle Park, NC, April, 1978; Revisions to National Ambient Air Quality Standards for Photochemical Oxidants, Federal Register, Part V, Feb. 8, 1979, pp. 8202-8237.

2.3 กระบวนการการแตกตัวของก๊าซและการผลิตก๊าซโอโซน

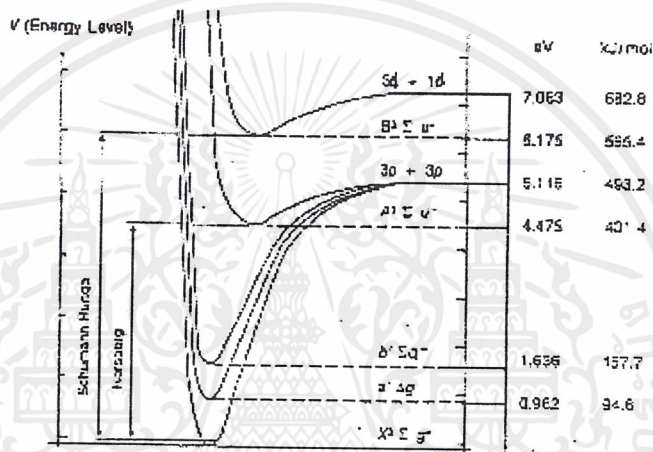
ในอากาศจะประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน(N_2) 79% และก๊าซออกซิเจน(O_2) 21% โดยประมาณ นอกนั้นเป็นก๊าซเฉื่อยและไอน้ำ โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอมจับกันอยู่ในสถานะไม่เสถียรสลายตัวได้ง่ายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขแวดล้อมและความหนาแน่นของปริมาณที่ผลิต

ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการสร้างอะตอมอิสระของออกซิเจนจากโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ การเกิดก๊าซโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรนาซึ่งทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวอันเนื่องมาจากได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าค่าหนึ่ง ที่เพียงพอโดยก๊าซออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซนได้ จากปรากฏการณ์ 2 ชนิดคือกระบวนการไอออไนเซชัน(Ionization)และกระบวนการแยกตัว(Dissociation) ในกระบวนการแตกตัวของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่น ไอออไนเซชันคือการเพิ่มของประจุ แบบทวีคูณ(Electron avalanche) นำไปสู่การเบรกดาวน์ใน
 จำนวนที่พิจารณาทำให้กระแสไฟฟ้าวิ่งทะลุผ่านจนวน สิ่งที่เกิดตามมาคือความร้อนเนื่องมาจาก
 กระแสที่ไหลจากการเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้น ทำให้ไอ โชนซึ่งมีพลังงานพันธะต่ำเกิดสลายตัว ดังนั้นใน
 การผลิตไอ โชนจึงไม่ควรเกิดการเบรกดาวน์เกิดขึ้น

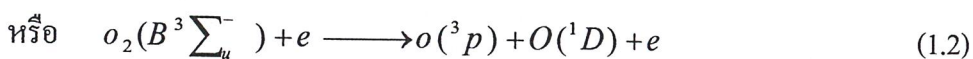
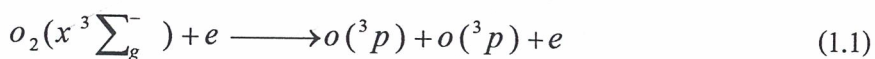
นั่นคือพลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน (W_i)
 แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งแสดงระดับพลังงานของออกซิเจน[5]

จากรูปที่ 2.1 เมื่อพิจารณาจากระดับพลังงานของออกซิเจนจะเห็นว่าออกซิเจนมี ระดับพลังงาน
 ที่ต่างกันหลายระดับซึ่งค่าพลังงานที่สามารถทำให้ออกซิเจนรวมตัวเริ่มเกิดเป็น ไอ โชนได้มี 2 ระดับ
 $O(^3P)$ และ $O(^1D)$ ขั้นตอนการสร้าง ไอ โชนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการแตกโครงสร้างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนออกเป็นอะตอมอิสระ



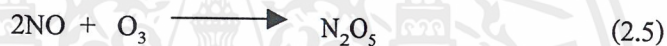
ดังนั้นการที่จะทำให้ ออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ อิเล็กตรอนจะต้องมีพลังงานมากกว่าพลังงาน
 พันธะของโมเลกุลก๊าซออกซิเจนจากรูปที่ 1.1 จะต้องมีพลังงานประมาณ 493.2 kJ/mol ถึง 682.8
 kJ/mol จึงจะทำให้เริ่มมีการเกิดก๊าซไอ โชน

2) ขั้นตอนการรวมตัวระกวางโมเลกุลก๊าซออกซิเจนกับอะตอมอิสระในข้อ 1 เกิดเป็นก๊าซโอโซน

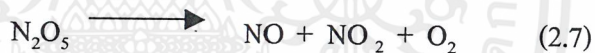


การผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้หลักการโคโรนาดีสชาร์จ

โคโรนาดีสชาร์จเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักๆ คือเครื่องกำเนิดก๊าซ (คอมเพรสเซอร์ หรือ ก๊าซเหลว), ที่กรองฝุ่น, ที่ทำอากาศแห้ง เป็นต้น ซึ่งส่วนที่สำคัญที่สุดคือกระบวนการทำอากาศแห้ง ซึ่งแสดงผลของความชื้นที่มีผลต่อการผลิตโอโซน ต้องจำกัดกรดไนตริกซึ่งสำคัญมากในการป้องกันเครื่องกำเนิดโอโซน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ในสภาพการทำงานที่ดีนั้น จะเกิด N_2O_5 1 โมล เมื่อผลิตโอโซนออกมา 100 โมล ดังแสดงเป็นปฏิกิริยาดังนี้



หรือ



และ



โดยปกติแล้วจะได้กรดไนตริก 3–5 กรัม ต่อก๊าซโอโซน 1 กิโลกรัม ถ้ามีไอน้ำเกิดขึ้นมากอาจนำไปสู่การเกิดการสปาร์ต อากาศนั้นมีความสำคัญต่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนนอกจากนั้น อากาศไนโตรเจนออกไซด์ สามารถทำให้เกิดกรดไนตริก ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการกัดกร่อนควรหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปนจำพวกสารอินทรีย์เจือปนในอากาศที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดโอโซนรวมถึงสิ่งเจือปนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์, การรั่วไหลในระบบระบายความร้อน ปริมาณของก๊าซโอโซนจะลดลงเมื่อก๊าซไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น

คลอโรฟลูออโรคาร์บอนและไฮโดรเจน มีผลต่อการผลิตโอโซนให้ลดน้อยลง แต่ ก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น คาร์บอน โมโนไซด์ หรือ ไนโตรเจน เมื่ออยู่ในสภาพความเข้มข้นต่ำจะช่วยเพิ่มการผลิตโอโซนให้มากขึ้น 3–10 เปอร์เซ็นต์

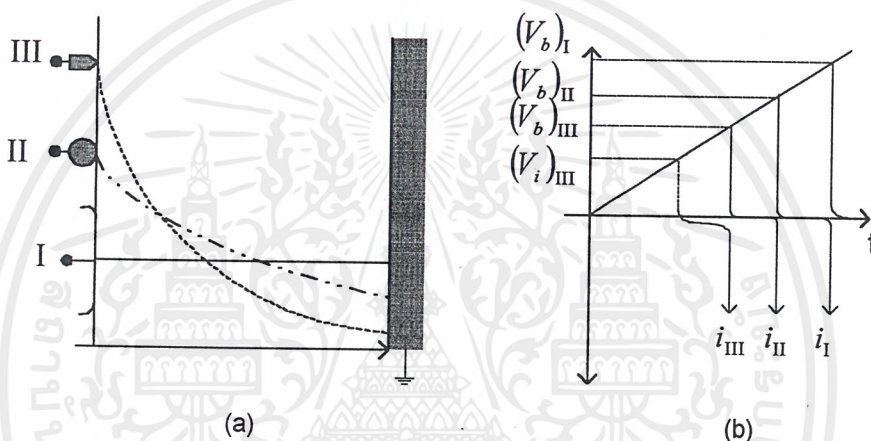
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า (Electric Field)[2]

ในการออกแบบส่วนสร้างก๊าซไอโซนใช้หลักการของสนามไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้ในการสร้างหัวอิเล็กโตรด โดยสนามไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับรูปร่างหัว อิเล็กโตรด ลักษณะทางเลขาคณิตของอิเล็กโตรด ค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า η^* คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta^* = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}$$

เมื่อ E_{\max} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดในช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโตรด

E_{\min} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแก๊สระหว่างอิเล็กโตรด



รูปที่ 2.2 คุณสมบัติสนามไฟฟ้า 3 ชนิดตามรูปร่างอิเล็กโตรดต่างกัน

- I) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ
- II) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย
- III) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง

1) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform field)

คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $\eta^* = 1$ นั่นคือกรณีที่ป้อนแรงดันให้ชุดอิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้าแบบนี้ถ้าค่า E_{\max}

ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับความคงทนของฉนวนต่อสนามไฟฟ้า (E_b) จะเกิดการเบรคดาว์นทันที เนื่องจากสนามไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) ทุกจุดเท่ากัน

2) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform field)

-สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly-Non-Uniform field)

คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $100\% < \eta^* < 40\%$ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอมาก

-สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (High-Non-Uniform field)

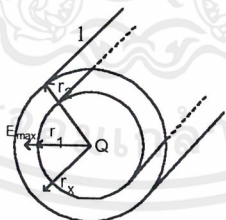
คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $\eta^* \leq 20$ % คุณสมบัติที่โดดเด่นของสนามไฟฟ้าแบบนี้คือมีผลของประจุค้างเกิดขึ้นทำให้สนามไฟฟ้าผิดเพี้ยนไปจากปกติ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ“จะเกิดการเบรคดาว์นนานมากเรียกว่ากระแส โคโรน่า” ดังแสดงในกราฟ i_{III} รูปที่ 2.2(b)และความเครียดสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากอิเล็กโตรดออกไปจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูป2.2(a)

อิเล็กโตรดแบบที่ III เมื่อความเครียดไฟฟ้าสูงสุดถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติของการแตกตัวของอากาศแล้วแต่สนามไฟฟ้าบริเวณอื่นยังต่ำมากจึงไม่เกิดการเบรคดาว์นผ่านตลอดช่องว่างอากาศ แต่ค่าแรงดันที่อากาศเริ่มแตกตัวคือ V_i (Ignition Voltage) ในสนามไฟฟ้าชนิดนี้

การหาค่าสนามไฟฟ้าเบรคดาว์นทำได้ยากเนื่องจากผลของประจุตกค้างทำให้สนามไฟฟ้าไม่เป็นไปตามลักษณะเรขาคณิต

รูปร่างของอิเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตโอโซนจะมีลักษณะสนามไฟฟ้าเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกัน มีจำนวน 2 ชั้นซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงภายในช่องว่างอากาศโดยฉนวนบางที่คั่นจะต้องมีค่าคงทนสนามไฟฟ้าสูงกว่าอากาศ ซึ่งทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าตกคร่อมอากาศมากขึ้นและผลของแผ่นฉนวนบางกั้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงทำให้อากาศทนแรงดันเบรคดาว์นสูงขึ้น โดยฉนวนบางที่ใช้เป็นแก้ว(ซึ่งแก้วเป็นสารอนินทรีย์ที่มีส.ป.ส.การขยายตัวต่ำทนความร้อนได้สูงประกอบด้วย SiO_2 ที่ซับซ้อนค่าคงที่ฉนวนสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 3.5-9 มีค่าพลังสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก 0.005-0.01 จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ)

ดังนั้นรูปร่างของอิเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตโอโซนจะมีลักษณะเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงในลักษณะทรงกระบอกซ้อนกันซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการเรขาคณิตได้



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะทรงกระบอกซ้อนกัน

ทรงกระบอกซ้อนกัน (Coaxial-Cylindrical field).

r_1 = รัศมีวงใน

r_2 = รัศมีวงนอก

L = ความยาว

เส้นฟลักซ์สนามไฟฟ้าคงอยู่ในแนวรัศมีและพื้นผิวของทรงกระบอกคือพื้นผิวศักย์ไฟฟ้าเท่าๆ โดย

อาศัยสมการที่ 4 ของ Maxwell $Q = \int_s \vec{D} \cdot d\vec{A}$ สำหรับทรงกระบอกซ้อนกันยาว L รัศมี r

หาค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะรัศมี r_x ใดๆ ($r_1 \leq r_x \leq r_2$)

$$E_{rx} = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \frac{1}{r} \quad (2.9)$$

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนระหว่างทรงกระบอกทั้ง 2

$$V = \int_{r_1}^{r_2} E_{rx} dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr \quad (2.10)$$

$$r = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.11)$$

จะได้

$$E_{rx} = \frac{V}{r_x \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (r_1 \leq r_x \leq r_2) \quad (2.12)$$

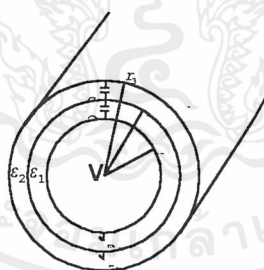
ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดที่ผิวกระบอกวงใน

$$E_{\max} = E_{r1} = \frac{V}{r_x \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.13)$$

Cylindrical Capacitance

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad \text{F} \quad (2.14)$$

-ทรงกระบอกซ้อนกันรวมจำนวน 2 ชั้น



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันรวมจำนวน 2 ชั้น

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่า C จะเหมือน

C_1 ต่ออนุกรมกับ C_2 จาก (2.14)

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวเก็บประจุ ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$C'_1 = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad C'_2 = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2.16)$$

ค่าตัวเก็บประจุ ที่อนุกรมกันต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$C'_{res} = \frac{C'_1 \cdot C'_2}{C'_1 + C'_2} = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 V}{\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.17)$$

ประจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว

$$Q' = C'_{res} V = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 V}{\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.18)$$

เมื่อเป็น C ต่ออนุกรม

$$Q'_1 = Q'_2 = Q' = C'_1 V_1 = C'_2 V_2 = C'_{res} V$$

แรงดันที่กระจายในตำแหน่ง r_x ใดๆ

$$V_{rx} = \frac{C'_{res} V}{C'_{rx}} = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_2 V}{C'_{rx} (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.20)$$

ถ้า E_{rx} : ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวน r_x

$$E_{rx} = \frac{Q'}{2\pi\epsilon_x r_x} \quad (2.21)$$

$$\therefore E_{rx} = \frac{\epsilon_1\epsilon_2 V}{r_x \epsilon_x (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.22)$$

ดังนั้นส่วนผลิตไอโซนจึงออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกันรวมฉนวน 2 ชั้น ซึ่งลักษณะและขนาดของความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดในฉนวนอากาศเป็น

$$E_{max} = \frac{\epsilon_1 V}{r_2 \left(\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right)} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

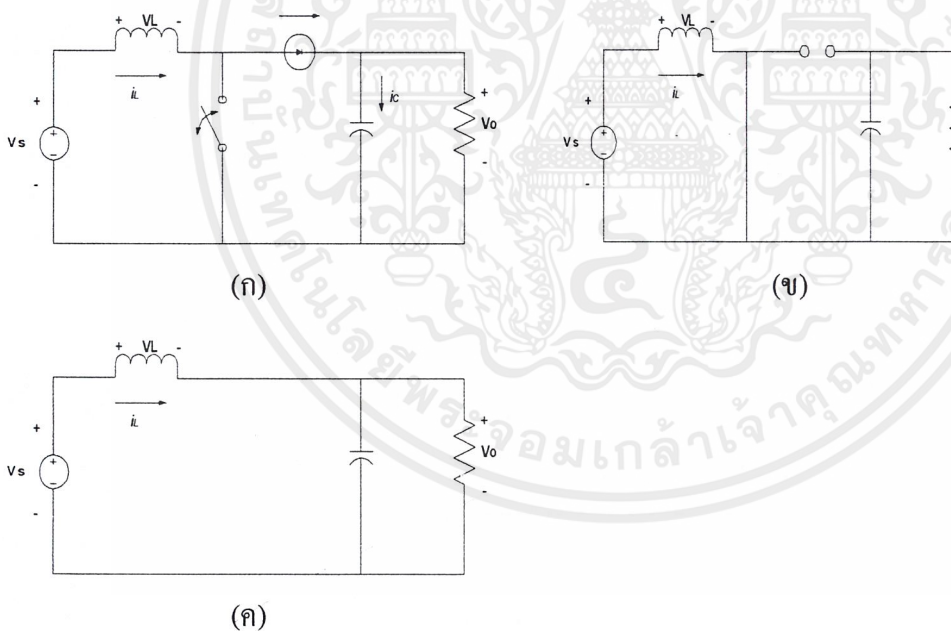
2.5 หลักการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

บัสต์คอนเวอร์เตอร์ที่แสดงดังรูป 2.2 สวิตซ์ซิงคอนเวิรด์เตอร์เหล่านี้จะทำงานโดยอาศัยช่วงเวลาการเปิดปิดของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า บัสต์คอนเวอร์เตอร์ก็เพราะว่าแรงดันขาออกมากกว่าแรงดันขาเข้าจาก[7]

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

การวิเคราะห์วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์จะพิจารณาที่สภาวะ

1. อยู่ในสภาวะ Steady State
2. คาบเวลาของการสวิตซ์ซิง T และช่วงเวลาที่สวิตซ์ปิด DT และช่วงเวลาที่สวิตซ์เปิด $(1-D)T$
3. กระแสเหนี่ยวนำอยู่ในสภาวะต่อเนื่อง(อยู่ชื่อกับวงกลม)
4. ตัวเก็บประจุค่ามากๆ และแรงดันขาออกมีค่าคงที่ V_o
5. อุปกรณ์ต่างๆมีคุณสมบัติเป็นอุดมคติ



รูปที่ 2.5 ก) วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ข) วงจรสมมูลในขณะสวิตซ์ปิด ค) วงจรสมมูลในขณะสวิตซ์เปิด

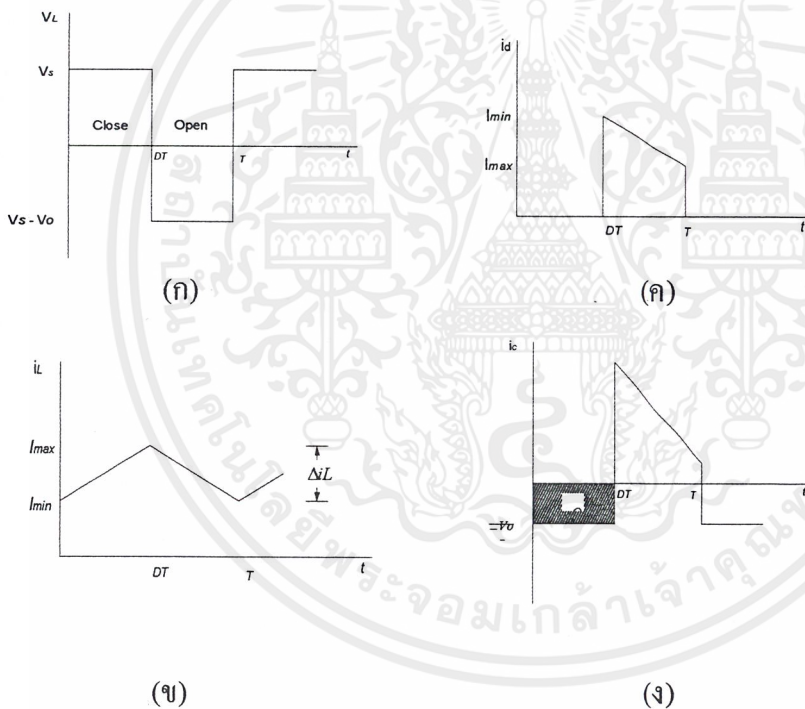
การวิเคราะห์ในขณะสวิตช์ปิด

เมื่อสวิตช์ปิด ไดโอดจะเกิดรีเวอร์ไบอัส ดังรูป 2.5(ข)

$$V_L = V_s = \frac{L di_L}{dt} \quad \text{หรือ} \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.24)$$

พิกัดการเปลี่ยนแปลงแปลงของกระแสมีลักษณะคงที่ ดังนั้นกระแสจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในขณะสวิตช์ปิด แสดงดังรูป 2.6 (ข) การเปลี่ยนแปลงของกระแสเหนี่ยวนำคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad \text{และ} \quad (\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.25)$$



รูป 2.6 รูปคลื่นสัญญาณของบัสต์คอนเวอร์เตอร์ (ก) แรงดันเหนี่ยวนำ (ข) กระแสเหนี่ยวนำ (ค) กระแสผ่านไดโอด (ง) กระแสผ่านตัวเก็บประจุ

การวิเคราะห์ในขณะสวิตช์เปิด

เมื่อสวิตช์เปิดกระแสเหนี่ยวนำยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยทันทีทันใด ดังนั้นไดโอดจะมีลักษณะฟอเวิร์ดไบอัส กำหนดให้แรงดันขาออกมีค่าคงที่ V_o ดังนั้นแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็น

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_l}{dt} \quad (2.26)$$

$$\frac{\Delta i_l}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.27)$$

พิกัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะมีค่าคงที่ ดังนั้นกระแสจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นในขณะสวิตช์เปิด

$$\frac{\Delta i_l}{\Delta t} = \frac{\Delta i_l}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.28)$$

หาค่า Δi_l ได้

$$(\Delta i_l)_{open} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.29)$$

สำหรับในขณะทำงานในสภาวะ Steady State ผลรวมของกระแสเหนี่ยวนำต้องเท่ากับ 0

$$(\Delta i_l)_{close} - (\Delta i_l)_{open} = 0 \quad (2.30)$$

$$\frac{V_s D T}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.31)$$

หาค่า V_o ได้

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.32)$$

ดังนั้นแรงดันเหนี่ยวนำเฉลี่ยจะเท่ากับศูนย์ในช่วงของคาบเวลา ดังแสดงเป็น สมการ

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0 \quad (2.33)$$

จากสมการ 2.18 แสดงว่าถ้าสวิตช์เปิดอยู่เสมอ และ D มีค่าเป็นศูนย์ แรงดันขาเข้าจะเท่ากับแรงดันขาออก และเมื่อ Duty (D) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าแรงดันขาเข้า เมื่อพิกัด Duty มีค่าเท่ากับ 1 แรงดันขาออกจะมีค่าอินฟินิตี้ ใน รูป 2.6 แสดงแรงดันและรูปสัญญาณของบัสต์คอนเวอร์เตอร์

$$\text{กำลังด้านขาออกมีค่า } P_o = \frac{V_o^2}{R}$$

$$\text{กำลังด้านขาเข้ามีค่า } V_s I_s = V_s I_l \quad \text{กำลังด้านขาเข้าและขาออกหาได้จาก}$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2 R} \quad (2.34)$$

กระแสเหนี่ยวนำสูงสุดแลต่ำสุด หาได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงในกระแสจาก

สมการ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{\max} = I_l + \frac{\Delta i_l}{Z} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s DT}{ZL} \quad (2.35)$$

$$I_{\min} = I_l - \frac{\Delta i_l}{Z} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{ZL} \quad (2.36)$$

เมื่อพิจารณาในสภาวะต่อเนื่องแล้วกระแสเหนี่ยวนำต่ำสุดต้องอยู่ในช่วงบวก ดังนั้นเราจึงสามารถนำค่ากระแสเหนี่ยวนำต่ำสุดมาพิจารณาขอบเขตของช่วงต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องได้ดังนี้

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{ZL} \quad (2.37)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s DT}{ZL} = \frac{V_s D}{ZLf} \quad (2.38)$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังทำให้อยู่ในช่วงต่อเนื่องได้จาก

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.39)$$

ค่ารีปเปลของแรงดันขาออก

ค่ารีปเปลของแรงดันขาออกนั้นสามารถที่จะคำนวณได้จากกระแสผ่านตัวเก็บประจุแสดงดังรูป 2.6(ง) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการเก็บประจุจาก

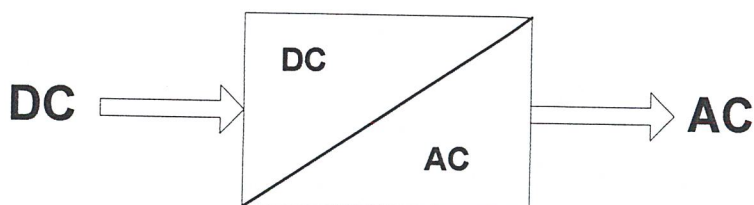
$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R}\right) DT = C \Delta V_o \quad (2.40)$$

ค่ารีปเปลหาได้จาก

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf} \quad (2.41)$$

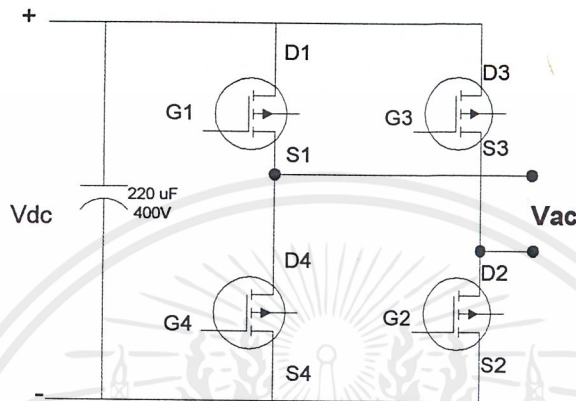
2.6 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับไฟกระแสตรงเข้ามาแล้วเปลี่ยนให้เป็นกระแสสลับ โดยสามารถปรับความถี่ของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตได้ตามต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการเป็นแบบ สแควเวอินเวอร์เตอร์ (Squarewave inverter) โดยแรงดันกระแสตรงด้านเข้าจะไปควบคุมขนาดของแรงดันกระแสสลับด้านออก ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จะมีการควบคุมความถี่ของแรงดันด้านออกเท่านั้น โดยแรงดันด้านออกจะมีรูปสัญญาณเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม

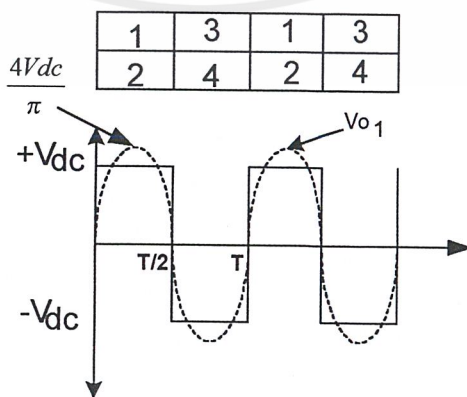


รูปที่ 2.7 ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Full-bridge converter)

จากรูปเป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะสร้างแรงดันเอาต์พุตเป็นรูปสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม โดยแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ +Vdc เมื่อ S₁ และ S₂ ปิดหรือเป็น -Vdc เมื่อ S₃ และ S₄ ปิด ดังนั้น การเปิด-ปิด ของสวิตช์เหล่านั้น ระหว่าง +Vdc และ -Vdc ทำให้เกิดแรงดันแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ขึ้น แรงดันขาออก

$$V_{out} = \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad (2.42)$$

$$V_{out(rms)} = 0.707 \frac{4}{\pi} V_{dc} = 0.9 V_{dc} \quad (2.43)$$



รูปที่ 2.8 แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นของกระแสของอินเวอร์เตอร์จะแบ่งตามชนิดของ โหลด โดยถ้าเป็น โหลดความต้านทาน(resistive load)รูปคลื่นของกระแสจะเป็นลักษณะเดียวกับรูปสัญญาณของแรงดันด้านออก ถ้าเป็น โหลดตัวเหนี่ยวนำ(inductive load)รูปคลื่นของกระแสจะมีลักษณะเป็นรูปไซน์สวยงามมากกว่าแรงดันเอาต์พุตเพราะเกิดจากคุณสมบัติการฟิวดอร์ของตัวเหนี่ยวนำ สำหรับโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำโดยแรงดันด้านออกจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม พิจารณา มอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในรูปที่ 2 ปิดเมื่อเวลา $t=0$ แรงดันคร่อมโหลดเป็น $+V_{dc}$ โดยกระแสเริ่มต้นจะค่อยเพิ่มขึ้นที่โหลดและมอสเฟต(mosfet)ตัวที่ 1 กับ 2 ซึ่งกระแสจะแสดงออกมาในรูปของผลบวกของ forced และ natural responses

$$i_o(t) = i_f(t) + i_n(t) \quad (2.44)$$

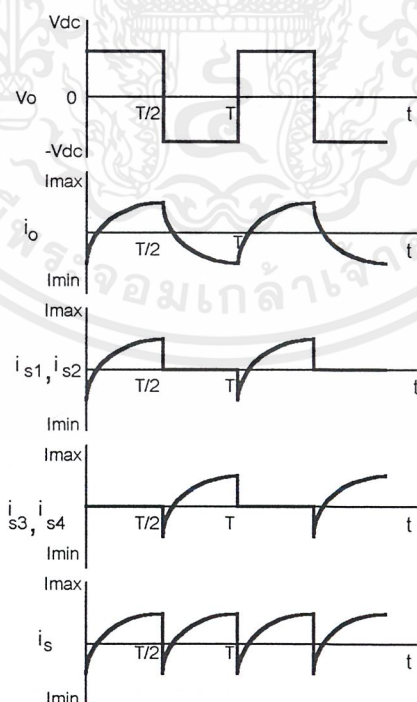
$$= \frac{V_{dc}}{R} + Ae^{-\frac{t}{\tau}} \quad 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \quad (2.45)$$

โดย A เป็นค่าคงที่ และ $\tau = L / R$

ที่เวลา $t=T/2$ S_1 และ S_2 ปิด, S_3 และ S_4 ปิด แรงดันคร่อมโหลดกลายเป็น $-V_{dc}$ จะได้

$$i_o(t) = \frac{-V_{dc}}{R} + Be^{-(t-T/2)/\tau} \quad \frac{T}{2} \leq t \leq T \quad (2.46)$$

โดย B เป็นค่าคงที่



รูปที่ 2.9 แสดงแรงดันเอาต์พุตแควมและรูปสัญญาณกระแสของ โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา $t = 0$

$$i_o(0) = \frac{-V_{dc}}{R} + Ae^0 = I_{\min} \quad (2.47)$$

$$A = I_{\min} - \frac{V_{dc}}{R} \quad (2.48)$$

ที่เวลา $t = \left(\frac{T}{2}\right)$

$$i_o(T/2) = \frac{-V_{dc}}{R} + Be^0 = I_{\max} \quad (2.49)$$

$$B = I_{\min} + \frac{V_{dc}}{R} \quad (2.50)$$

$$i_o(t) = \frac{V_{dc}}{R} + \left(I_{\min} - \frac{V_{dc}}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.51)$$

$$i_o(t) = -\frac{V_{dc}}{R} + \left(I_{\max} + \frac{V_{dc}}{R} \right) e^{-\frac{(1-T/2)}{\tau}} \quad (2.52)$$

$$i_o(T/2) = I_{\max} = \frac{V_{dc}}{R} + \left(I_{\min} - \frac{V_{dc}}{R} \right) e^{-\frac{T}{2\tau}} \quad (2.53)$$

$$I_{\max} = -I_{\min} \quad (2.56)$$

$$I_{\max} = -I_{\min} = \frac{V_{dc}}{R} \left[\frac{1 - e^{-T/2\tau}}{1 + e^{-T/2\tau}} \right] \quad (2.57)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{2 \left/ T \int_0^{\frac{T}{2}} \left[\frac{V_{dc}}{r} + \left(I_{\min} - V_{dc} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \right]^2 dt} \quad (2.58)$$

กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง $P_{dc} = V_{dc} I_s$

แรงดันขาออก

$$V_{out} = \frac{4}{\pi} V_{dc}$$

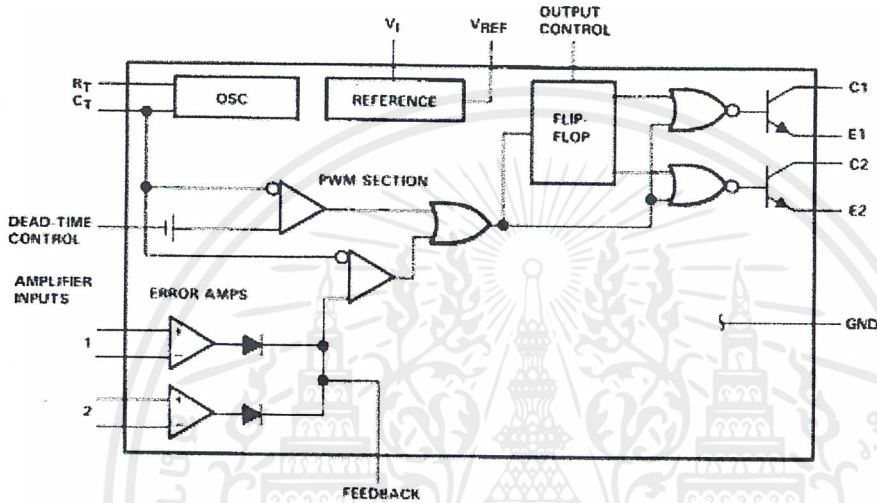
$$V_{out(rms)} = 0.707 V_{dc} \frac{4}{\pi}$$

Switch (Close)	Output Voltage
s_1 และ s_2	$+V_{dc}$
s_3 และ s_4	$-V_{dc}$
s_1 และ s_3	0
s_2 และ s_4	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการทำงานของไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมคควบคุมแรงดัน

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมคควบคุมแรงดันจาก[3] ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดการขาของ TL494 แสดงในรูปที่ 2.10 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

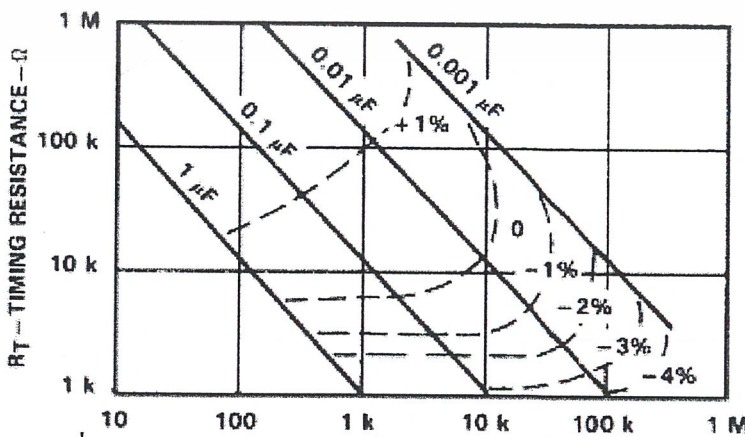


รูปที่ 2.10 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดการขาของไอซี TL494

การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL494 เป็นวงจรพีคดับทิวเอ็ม ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 7 ของ ไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1}$$



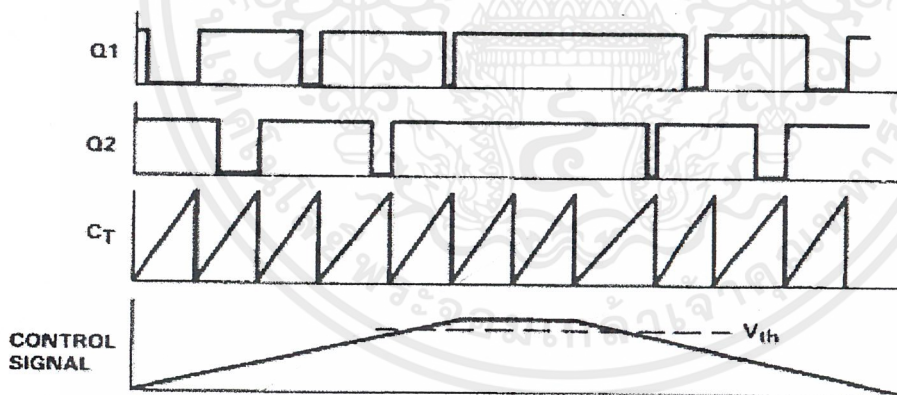
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะ ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก่อกำเนิดเมื่อขา C_k ของฟลิปฟล็อป (Flip-Flop) อยู่ในสถานะ “LOW” ได้ก่อกำเนิดเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจากวงจรขยายความแตกต่าง ทั้งสองตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี้อาจกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์ ถึง 3.5 โวลต์ ส่วนวงจรขยายความแตกต่าง ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 โวลต์ ถึง $(V_{cc}-2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ วงจรขยายความแตกต่าง ทั้งสองตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ “High” (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ วงจรขยายความแตกต่าง ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี



รูปที่ 2.12 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

การกำหนดค่าเวลาเมื่อ T_D

TL 494 สามารถให้ผู้ใช้งานกำหนดค่าเวลาเมื่อ t_d ของวงจรเองได้ ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 โวลต์ ถึง 3.3 โวลต์ ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตาม หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเมื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต

120 มิลลิโวลต์ ต่อยู่ภายใน ช่วงเวลา t_{on} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (output control) เข้ากับขา 14 (+5 V_{ref}) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

การเลือกใช้ Q₁ และ Q₂ ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q₁ และ Q₂ ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (output control) โดยขณะที่ C_T ดิซชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_K จะมีสถานะเป็น “High” โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 V_{ref}) Q₁ และ Q₂ จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ ฟลิปฟลอป เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์แบบ พุช-พูล ในกรณีนี้คาบการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น “Low” โดยการต่อลงกราวด์ (ขกเล็กฟลิปฟลอป) Q₁ และ Q₂ จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q₁ และ Q₂ เข้าด้วยกันได้ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี(ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลา)

TL 494 ต้องการ ไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{CC} \leq 40 \text{ V}$ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5 \text{ V}$ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 mA เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm 1.5\%$ ความคราดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์ เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70 °C

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูงนั้นได้แยกส่วนของการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดก๊าซไอโซนกับส่วนของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนซึ่งในส่วนของตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยโครงสร้างต่างๆ ดังนี้คือ ส่วนของแหล่งจ่ายกระแสตรง, วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์, วงจรอินเวอร์เตอร์, หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงและส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูง

3.1 การหาค่าพลังงานและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซน

จากรูปที่ 2.1 แสดงเส้นโค้งระดับพลังงานของออกซิเจนแสดงให้เห็นว่าในการผลิตไอโซนจำเป็นต้องใช้พลังงาน $493.2 \text{ kJ/mol} - 682.8 \text{ kJ/mol}$ ขึ้นไปจึงจะทำให้เริ่มเกิดก๊าซไอโซน เพื่อที่จะแปลงหน่วยโมลเป็นปริมาตรต้องอ้างอิงถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมี โดยจะเขียนความสัมพันธ์ของก๊าซในอุดมคติ (Ideal Gas) ได้เป็น

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

และก๊าซจริง (Real Gas) พบว่าโมเลกุลของก๊าซมีขนาดและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเป็นแรง Vander Walls ซึ่งขนาดโมเลกุลและแรงกระทำนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของก๊าซแต่ละชนิดและสามารถเขียนสมการโดยประมาณของก๊าซจริงคือ สมการแวนเดอร์วาลส์ (Vander Walls)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{K}$)

n คือ จำนวนโมล

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

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

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

แทนค่า a และ b ลงในสมการ 3.2

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

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

ใช้วิธีลองผิดลองถูก(Trial and error) เพื่อแปลงหน่วย mol เป็นปริมาตร

ทดลองแทนค่า $V = 24.57$ ใน(2.6); $2,494,290 < (101,728.96)(24.5382) = 2,496,246$

ทดลองแทนค่า $V = 24.5$ ใน(2.6); $2,494,290 > (101,730)(24.4682) = 2,489,149$

ทดลองแทนค่า $V = 24.6$ ใน(2.6); $2,494,290 < (101,728)(24.5682) = 2,499,273$

ทดลองแทนค่า $V = 24.55$ ใน(2.6); $2,494,290 \cong (101,729)(24.5182) = 2,494,212$

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

จะได้ $V = 24.55 \text{ m}^3/\text{kmol}$ นั่นคือ $1 \text{ mol} = 0.02455 \text{ m}^3$ โดยประมาณ

ดังนั้น $493.2 \text{ kJ/mol} = 20089.61 \text{ kJ/m}^3$ และ $682.8 \text{ kJ/mol} = 27812.63 \text{ kJ/m}^3$

จาก $3.6 \times 10^6 \text{ J} = 1 \text{ Wh} \rightarrow 1 \text{ J} = 2.78 \times 10^{-4} \text{ Wh}$

ดังนั้นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้คือ 5.58 kWh/m^3 ถึง 7.73 kWh/m^3 ขึ้นไปแต่ในอากาศนั้นมีออกซิเจน

อยู่ 21% โดยประมาณ ดังนั้นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการสลายพันธะออกซิเจนคือ 1.172

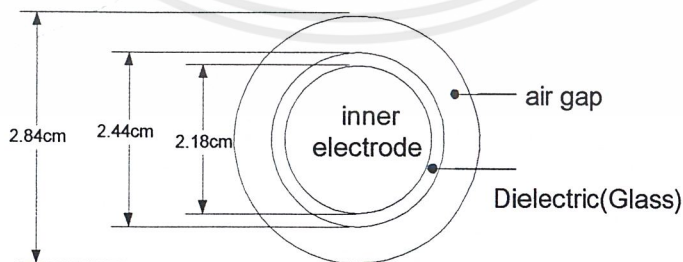
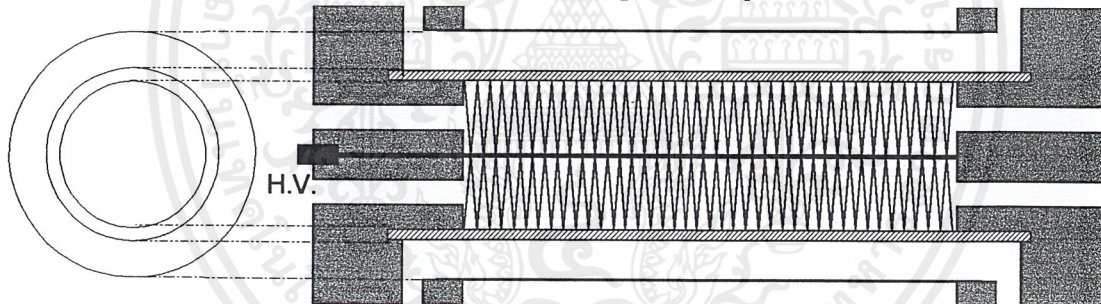
kWh/m^3 ถึง 1.62 kWh/m^3 ขึ้นไปจึงเพียงพอต่อการเกิดโอโซนในแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบส่วนสร้างก๊าซไอโซนจะใช้หลักการของสนามไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการสร้างหัวอิเล็กโทรด โดยจะออกแบบให้หัวอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันมีจำนวน 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงภายในช่องอากาศโดยฉนวนบางที่คั่นจะต้องมีค่าคงทนสนามไฟฟ้าสูงมากกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าตกร้อมอากาศมากขึ้นและผลของแผ่นฉนวนบางกั้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงทำให้อากาศทนแรงดันเบรกควาน์สูงขึ้นโดยฉนวนบางที่ใช้เป็นแก้วซึ่งแก้วเป็นสารอนินทรีย์เทอร์โมพลาสติกที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ทนความร้อนได้สูงประกอบออกไซด์ SiO_2 ที่ซับซ้อนค่าคงที่ฉนวนสัมพัทธ์ (ϵ_r) อยู่ในช่วง 3.5-9 มีค่าพลังงานสูญเสียต่อไดอิเล็กตริก 0.005-0.01 จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ

ดังนั้นส่วนผลิตก๊าซไอโซนจึงจะออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกันแบบมีจำนวน 2 ชั้น ซึ่งลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการผลิตไอโซนแสดงดังรูป 3.2 จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนอากาศเป็น

$$E_{Max} = \frac{\epsilon_1 V}{r_2 \left(\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right)} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.2 ลักษณะและขนาดของหัวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการผลิตไอโซน

ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแก้ว ($\epsilon_r = \epsilon_1 = 8$) $r_1 = 1.09$ cm. $r_2 = 1.22$ cm $r_3 = 1.42$ cm ยาว 12 cm
 ปริมาตรอากาศภายในแคปคือ $\pi(r_3^2 - r_2^2) = \pi(0.0142^2 - 0.0122^2) \times 0.12$
 $= 1.99 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 1.99 \text{ cm}^3$

ที่พลังงาน $1.172 \times 10^3 \times 1.99 \times 10^{-5} = 0.023$ wh และ $1.62 \times 10^3 \times 1.99 \times 10^{-5} = 0.032$ wh โดยประมาณ

จาก
$$w = \frac{1}{2} \int \epsilon E^2 dV \quad (3.5)$$

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

$$E = \sqrt{\frac{2 \times 0.023}{8.854 \times 10^{-12} \times 19.9}} = 16.158 \text{ kV/cm}$$

และ
$$E = \sqrt{\frac{2 \times 0.032}{8.854 \times 10^{-12} \times 19.9}} = 19.058 \text{ kV/cm}$$

จากสมการ 3.4 จะได้แรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดโอโซน

$$V = \frac{E_{\text{Max}} r_2 (\epsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})}{\epsilon_1} \quad (3.6)$$

ถ้า $E_{\text{Max}} = 16.158 \text{ kV/cm}$

$$V = \frac{(16.158 \times 10^3)(1.22)(8 \ln \frac{1.42}{1.22} + \ln \frac{1.22}{1.09})}{8}$$

$$= 3.27 \text{ kV}$$

ถ้า $E_{\text{Max}} = 19.058 \text{ kV/cm}$

$$V = \frac{(19.058 \times 10^3)(1.22)(8 \ln \frac{1.42}{1.22} + \ln \frac{1.22}{1.09})}{8}$$

$$= 3.85 \text{ kV}$$

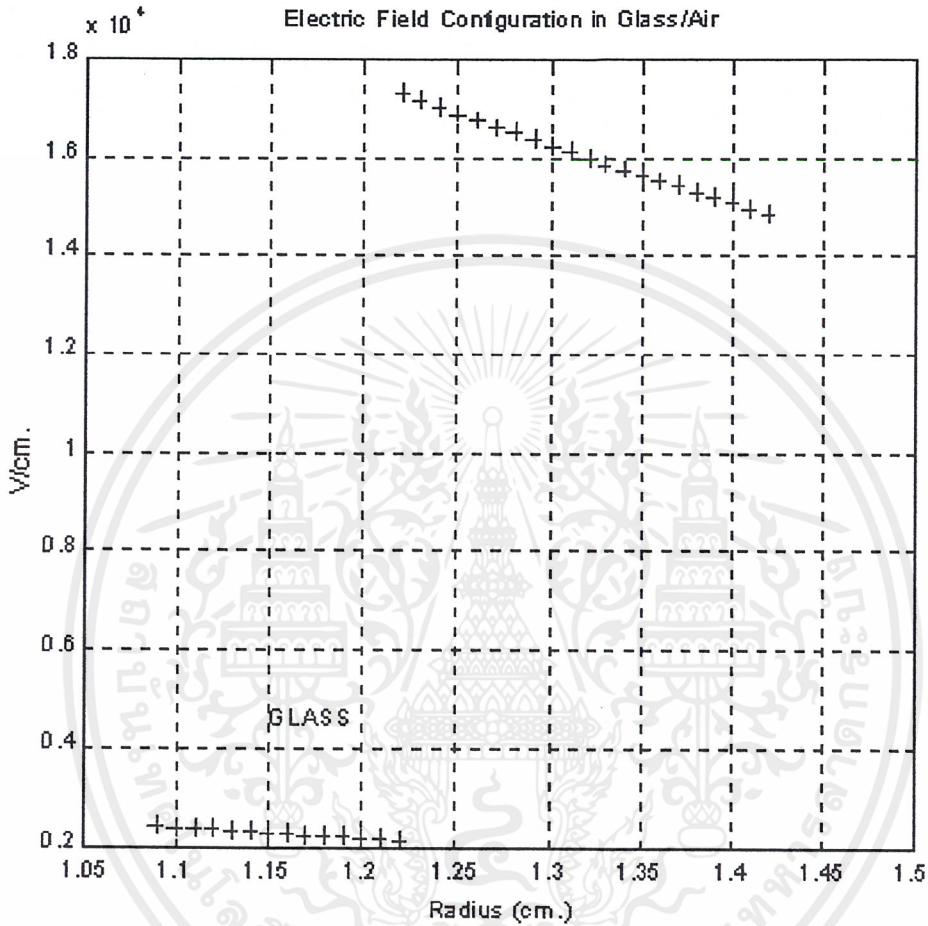
ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดโอโซนจากหัวอิเล็กโตรดนี้เท่ากับ 3.27 – 3.85 kV ขึ้นไป ในการออกแบบวงจรที่ใช้สร้างแรงดันเพื่อผลิตโอโซนจึงออกแบบให้วงจรสามารถสร้างแรงดันได้ตั้งแต่ 0-4 kV_p โดยประมาณและสามารถปรับความถี่ของแรงดันไฟสลับตั้งแต่ 20-100 kHz เพื่อศึกษาปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น

3.1.1 การวิเคราะห์หาการกระจายของสนามไฟฟ้าในหัวอิเล็กโตรดทรงกระบอกแกนร่วม ฉนวน 2 ชั้น

ลักษณะของหัวอิเล็กโตรด ($r_1 = 1.09$, $r_2 = 1.22$ และ $r_3 = 1.42$ cm.) แรงดันที่ใช้ทดสอบมีค่า 3.5 kV_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

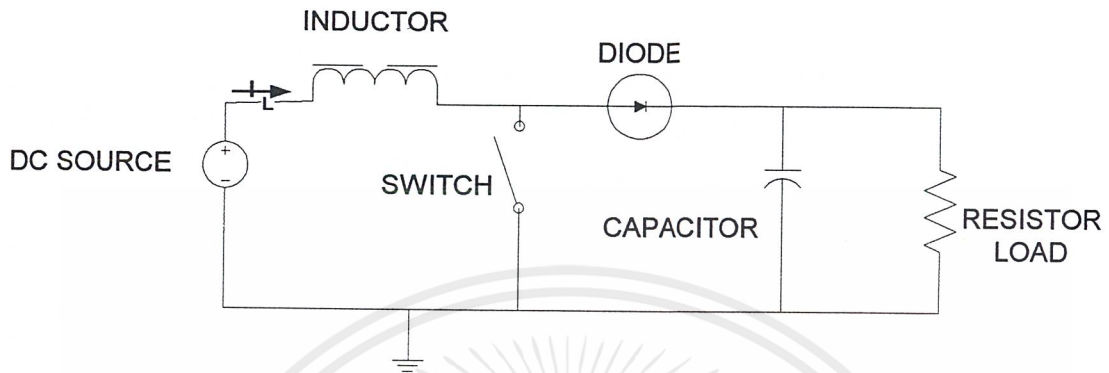
ค่าไดอิเล็กตริกของแก้วมีค่าเท่ากับ 8 และค่าไดอิเล็กตริกของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งค่าของสนามไฟฟ้าที่ระยะจากแก้วจนถึงอากาศมีค่าแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงค่าการกระจายของสนามไฟฟ้า

3.2 การออกแบบวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์

วงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้ยกระดับแรงดันกระแสตรงให้มีค่าสูงชันกว่าแหล่งจ่ายซึ่งโหมคการทำงานนั้นมีทั้งแบบกระแสต่อเนื่องและแบบกระแสไม่ต่อเนื่องรูปวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์แสดงได้ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบนั้นจะต้องทราบค่าองค์ประกอบต่างๆ ของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งได้แก่ ค่าความเหนี่ยวนำ, ค่าความเก็บประจุ, ค่าโวลต์ความต้านทานต่ำสุด, ค่าความถี่ในการเปิดปิดสวิทช์และค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านวงจร

ขั้นตอนการออกแบบ

ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบ แหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 24 โวลต์ กำหนดให้กระแสต้านอินพุทมีค่าไม่เกิน 3 แอมแปร์ โดยต้องการแรงดันด้านเอาต์พุทมีค่า 200 โวลต์ (V_o) ที่ความถี่ในการสวิทช์ 50 กิโลเฮิร์ต (f_s) และแรงดันคลื่นระลอกด้านเอาต์พุทมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

เริ่มทำการออกแบบ

จากสมการที่ 2.32

$$V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

แทนค่า

$$200 = \frac{24}{1-D}$$

$$D = 0.88$$

จากสมการ 2.34 แปลงเป็น

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R}$$

แทนค่า

$$5 = \frac{24}{(1-0.88)^2 R}$$

$$R = 333.33 \Omega$$

หาค่าความเหนี่ยวนำน้อยที่สุดที่สามารถใช้ได้จากสมการ 2.39

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$$

แทนค่า

$$L_{\min} = \frac{0.88(1-0.88)^2 333.33}{2 \times 50 \times 10^3}$$

$$L_{\min} = 42.24 \mu H$$

จากสมการ

$$\frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_S D T}{2L}$$

แทนค่า

$$\frac{\Delta I_L}{2} = \frac{24 \times 0.88}{2 \times 42.24 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^3}$$

$$= 5 \text{ A.}$$

$$I_{\max} = 5 + 5 = 10 \text{ A}$$

$$I_{\min} = 5 - 5 = 0 \text{ A.}$$

ค่าแรงดันคลื่นระลอกมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

จากสมการ 2.41

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} = 1\%$$

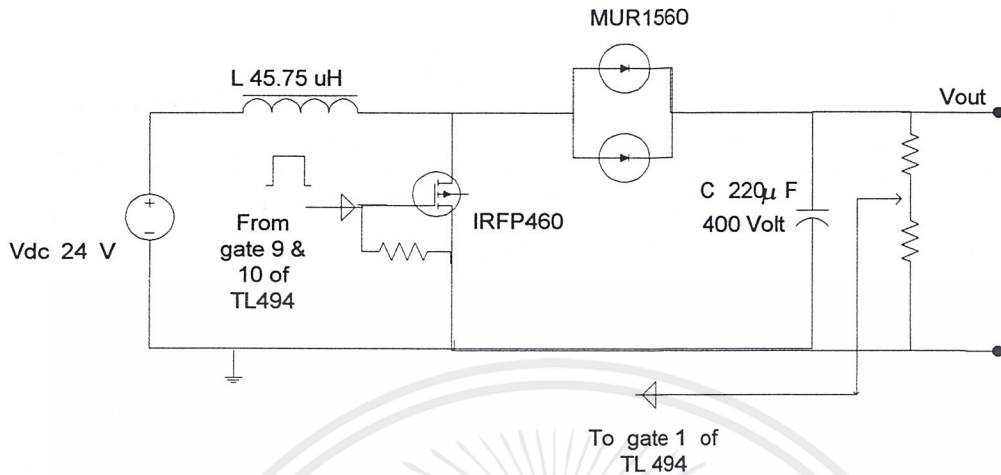
แทนค่า

$$C = \frac{DV_o}{Rf\Delta V_o} = \frac{0.88}{333.33 \times 50 \times 10^3 \times 0.01}$$

$$C = 5.28 \mu F$$

ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ต้องมีค่ามากกว่า $5.28 \mu F$ จึงจะทำให้แรงดันคลื่นระลอกน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

จากที่ได้ทำการออกแบบเรียบร้อยแล้วสามารถแสดงรูปวงจรพร้อมค่าต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.5

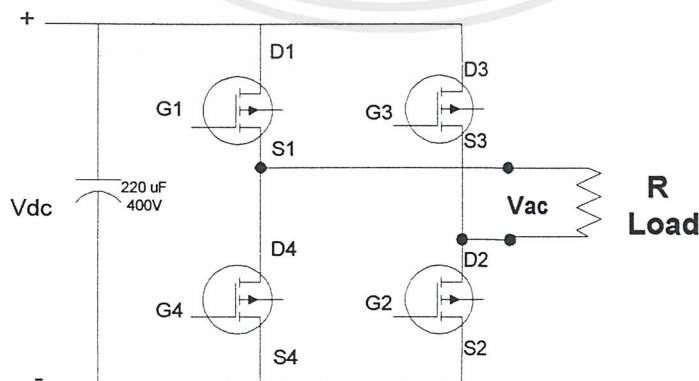


รูปที่ 5.3 แสดงวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้จริง

3.3 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้นั้นเป็นแบบสแควเวฟฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานโดยสวิทช์จะทำการปิด - เปิดพร้อมกันทีละ 2 ตัว สัญญาณที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจึงเรียกอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ว่าสแควเวฟอินเวอร์เตอร์

ตัวแปรต่างๆในการออกแบบ โดยกำหนดให้แรงดันกระแสตรงที่เข้าอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 200 โวลต์ (Vdc) ความถี่ของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์เป็น 50 กิโลเฮิรท์ (f) โดยจากวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์นั้นจ่ายกำลังได้สูงสุด 120 VA ที่ด้านเอาต์พุตมีแรงดัน 200 โวลต์ จะได้กระแส (Io) มีค่าเท่ากับ 0.6 แอมแปร์ ดังนั้นกระแสสูงสุดที่ไหลเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์จึงมีค่า 0.6 แอมแปร์ จากรูปที่ 2.7 เมื่อทำการต่อโหลดความต้านทานลงปดังรูป 5.4



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เมื่อต่อโหลดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.8 แล้วสามารถหาค่า V_{O_1} ได้จากสมการฟูเรียร์

$$V_{O_1} = a_1 \cos \omega \tau + b_1 \sin \omega \tau$$

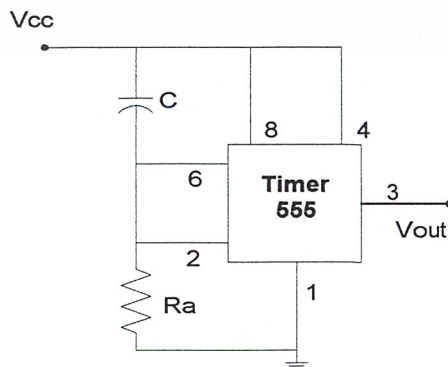
หาค่าของ a_1 และ b_1

$$\begin{aligned} a_1 &= 0 \\ b_1 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V(\omega \tau) \sin \omega \tau d\omega \tau \\ &= \frac{V_{dc}}{\pi} \left[-\cos \omega \tau \Big|_0^{\pi} + \cos \omega \tau \Big|_{\pi}^{2\pi} \right] \\ &= \frac{4V_{dc}}{\pi} \\ V_{O_1} &= \frac{4V_{dc} \sin \omega \tau}{\pi} \end{aligned}$$

เมื่อทำการวิเคราะห์การสวิตช์พร้อมกันที่ละ 2 ตัวของอุปกรณ์เปิดเปิดแล้วจะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดความต้านทานก็คือกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ด้วยจึงมีค่าเท่ากับกระแส I_O เมื่อทำการต่อโหลดความต้านทานโดยในที่นี้จะไม่คิดค่าความสูญเสียที่เกิดในตัวอินเวอร์เตอร์

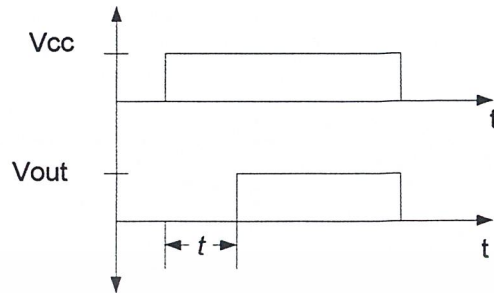
3.4 การออกแบบวงจรขยายพาส

วงจรมัลติเพลกซ์เป็นวงจรที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ลดกระแสกระชากขณะเริ่มสตาร์ทก่อนที่จะเข้าวงจรมัลติเพลกซ์โดยกำหนดให้ช่วงแรกกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานก่อนเพื่อจำกัดกระแสหลังจกนั้นจึงตัดตัวต้านทานทิ้งกระแสก็จะไหลตามพิกัด ซึ่งในครั้งนี้ได้ใช้วงจรมอนอสเตเบิล ซึ่งเป็นวงจรมัลติไพลีเบอร์เตอร์ คือ ให้เอาท์พุตที่มีสถานะตรงข้ามกัน แต่เอาท์พุตที่ได้จะเสถียร (คงที่) เพียงสถานะเดียว สำหรับในชุดกำเนิดความถี่สูงนี้เราต้องการให้วงจรมัลติเพลกซ์หน่วงเวลาประมาณ 3 วินาทีก่อนที่จะให้กระแสไหลได้เต็มพิกัด ดังนั้นในการออกแบบได้เลือกใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณเพื่อไปขับรีเลย์ให้ทำการปิดวงจรโดยทำการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรการใช้งานไอซีไทม์เมอร์ 555 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงคาบเวลาของการทำงาน

การที่จะให้ได้ค่าหน่วงเวลา t ตามต้องการนั้นกำหนดได้จากค่า R_a กับค่า C โดยคำนวณจากสมการ

$$t = 1.1R_aC$$

โดยที่

t = เวลาที่ต้องการหน่วง

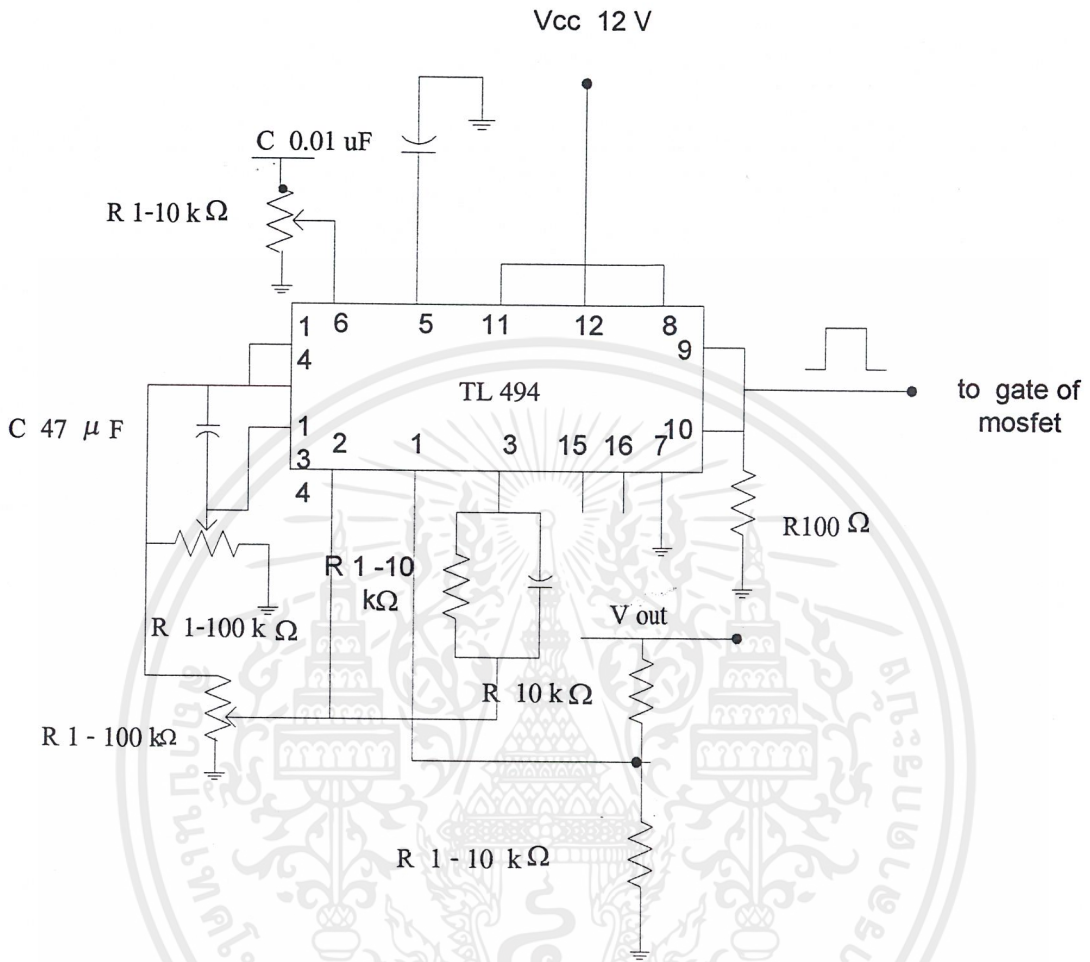
R_a = ค่าความต้านทาน

C = ค่าตัวเก็บประจุ

เมื่อกำหนดค่า $C = 100nF$ ดังนั้นจะได้ค่า R_a มีค่าเท่ากับ $27.27 M\Omega$ ซึ่งในวงจรจริงนั้นใช้ค่า R_a มีค่าเท่ากับ $33 M\Omega$

3.5 การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

สำหรับในโครงการนี้ได้ใช้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมแรงดัน โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นไอซีที่นิยมใช้กันแพร่หลายและหาได้ง่ายซึ่งรายละเอียดและหลักการทำงานได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.6 ในการออกแบบในครั้งนี้ได้ออกแบบในลักษณะเป็นแบบคลอสลูป (Close Loop) โดยมีการป้อนแรงดันย้อนกลับจากด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มาเข้าที่ขา 1 ของไอซี TL494 เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ไว้ได้โดยรูปวงจรที่นำมาใช้งานนั้นแสดงดังรูปที่ 3.8



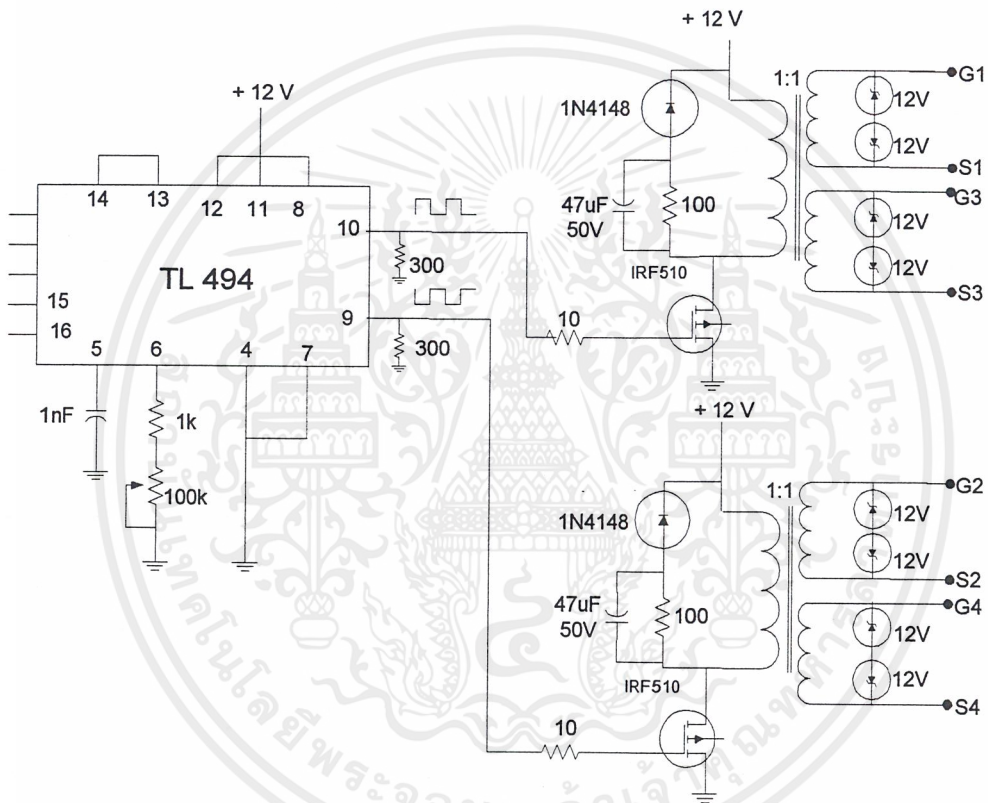
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรควบคุมแรงดันของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

ไอซี TL494 นั้นจำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงกระแสตรงซึ่งในครั้งนี้นำไฟกระแสตรงขนาด 15 โวลต์ โดยไอซี TL494 นั้นจะสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 9 และ 10 ซึ่งเมื่อทำการช็อตถึงกันแล้วสามารถปรับดิวตี้ไซเคิลได้ถึงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับโครงการนี้เลือกให้ทำงานในลักษณะอัตโนมัติคือเมื่อโหลดกระแสเพิ่มขึ้นจะสามารถปรับดิวตี้เพิ่มขึ้นได้เองเพื่อที่จะรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตเอาไว้โดยอาศัยการรับสัญญาณแรงดันจากเอาต์พุตผ่านการดีไวเดอร์ให้มีแรงดันลดลงส่งมาที่ขา 1 แล้วทำการเปรียบเทียบแรงดันกับขาที่ 2 ซึ่งกำหนดให้มีแรงดันประมาณ 2.6 โวลต์ เมื่อแรงดันที่ขา 1 ลดลงแต่ยังมากกว่าแรงดันที่ขา 2 ค่าดิวตี้จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าแรงดันที่ขา 1 ลดลงน้อยกว่าค่าแรงดันที่ขา 2 แล้วแสดงว่าเกินขอบเขตที่จะทำการรักษาระดับแรงดันไว้ได้หรือค่าดิวตี้ได้เพิ่มขึ้นเต็มที่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์

สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นแบบฟูลบริดจ์มีการสวิตช์พร้อมกันทีละ 2 ตัว ดังนั้นสัญญาณที่จะนำมาขับมอสเฟตของอินเวอร์เตอร์ต้องมีลักษณะการทำงานที่สลับกันเพื่อให้การเปิด-ปิดพร้อมกันในแต่ละคู่ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไอซี TL494 มาใช้ในการควบคุมแต่เลือกให้ทำงานในลักษณะโอเพินลูป (Open Loop) คือไม่มีการป้อนแรงดันย้อนกลับซึ่งจะแตกต่างจากวงจรควบคุมบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรที่นำมาใช้งานมีลักษณะแสดงดังรูป 3.9



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์

จะเห็นว่าวงจรนี้จะใช้สัญญาณพัลส์ออกทั้งขา 9 และ 10 โดยสัญญาณจะมีลักษณะตรงข้ามกันเพื่อให้มีการทำงานคนละครึ่งสัญญาณที่ได้นั้นยังต้องนำมาแยกโดยใช้หม้อแปลงเพื่อให้มีสัญญาณที่เหมือนกัน 2 ชุด จึงจะเพียงพอในการนำไปขับมอสเฟตทั้ง 4 ตัวของอินเวอร์เตอร์

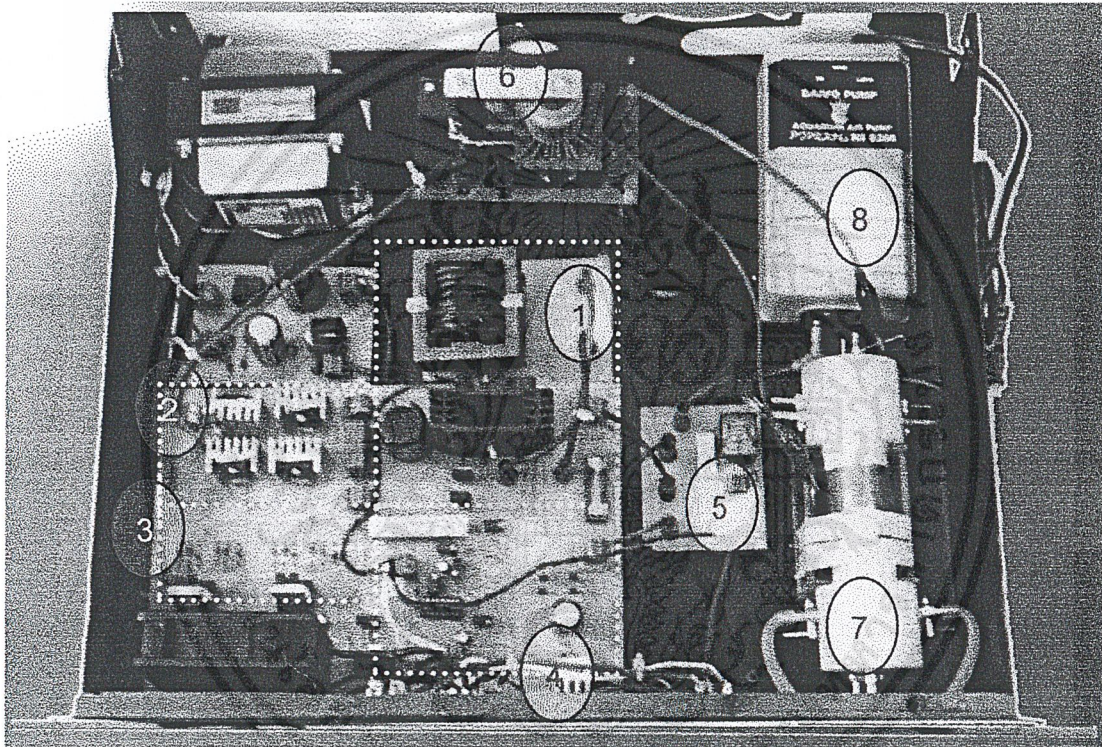
3.1 หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

เป็นส่วนที่ใช้ยกระดับแรงดันที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้นเพียงพอที่จะทำให้ออกซิเจนในอากาศเกิดการแตกตัวนั่นก็คือค่าที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น โดยหม้อแปลงที่เลือกใช้เป็นหม้อแปลงฟลายแบ็คซึ่งมักใช้กับวงจรในโทรทัศนส์เป็นส่วนใหญ่แต่เนื่องจากหม้อแปลงฟลายแบ็ค

นั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะมาประยุกต์ใช้ในชุดกำเนิดก๊าซไอโซน สำหรับในโครงการนี้ได้ใช้หม้อแปลงพลาสมาเบ็ครุ่น HR1610 ซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้จากภาคผนวก

เมื่อทำการออกแบบส่วนต่างๆ เรียบร้อยแล้วจึงทำการต่อวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกัน ชุดกำเนิดความถี่สูงนี้จะจ่ายกำลังให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อยกระดับแรงดันขึ้นไปจนเพียงพอที่จะทำให้ไอออกซิเจนในอากาศแตกตัวกลายเป็นก๊าซไอโซน ภาพวงจรจริงแสดงได้ดังรูปที่

3.10



รูปที่ 3.10 แสดงภาพของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนเมื่อต่ออุปกรณ์เสร็จสมบูรณ์จากรูปที่ 3.10 นั้นสามารถแยกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
2. วงจรอินเวอร์เตอร์
3. วงจรควบคุมแรงดันอินเวอร์เตอร์
4. วงจรควบคุมแรงดันของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
5. วงจรลดกระแสกระชาก
6. หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง
7. ชุดอิเล็กทรอนิกส์
8. ป้อนลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

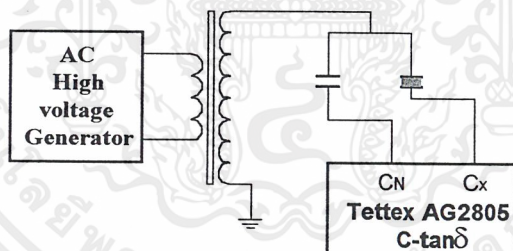
4.1 การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวนแก้วในชุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด

การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric permittivity : ϵ) ของฉนวนแก้วที่ใช้ในชุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด โดย C-tan δ meter (Tettex AG 2805) ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจากสมการ

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

วิธีและขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบไฟเลี้ยงเครื่องมือวัดค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียของ Tettex รุ่น 2805 ว่ามีหรือไม่โดยปรับไปที่สวิตช์ ปรับค่าความแม่นยำการวัด (Sensitivity switch) โดยหมุนไปที่ตำแหน่งเซ็คแบบเตอร์ ถ้ามีไฟเลี้ยงเพียงพอ เข็มบนหน้าปัดคนูลินดิกเคเตอร์จะเคลื่อนไปที่ค่า 100
2. ต่อดวงจรดังรูป



3. ปรับสวิตช์ค่าแฟลคเตอร์ผลคูณของค่าคาปาซิแตนซ์ของวัตถุทดสอบให้อยู่ที่ค่า $I_{\max} = 50$ A (ค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องมือวัดสามารถทนได้โดยไม่ทำความเสียหายแก่เครื่องมือวัด)
4. ปรับสวิตช์ปรับค่าความแม่นยำการวัดให้มาอยู่ที่เสต็ปแรกซึ่งมีระดับความแม่นยำต่ำสุด (สวิตช์ปรับค่าความแม่นยำมี 7 เสต็ป)
5. ป้อนโวลต์เตจเข้าวงจรทดสอบที่ค่า 0.5 kV
6. ปรับสวิตช์แฟลคเตอร์ตัวคูณค่าคาปาซิแตนซ์ของวัตถุทดสอบและสวิตช์ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ของวัตถุทดสอบ รวมทั้งปรับสวิตช์แฟลคเตอร์ตัวคูณของแฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกโดยปรับปรับให้เข็มบนนูลอินดิกเคเตอร์ชี้ที่ 0
7. เพิ่มระดับค่าความแม่นยำในการวัด ไปยังเสต็ปที่ 2 และปรับสวิตช์แฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกตามข้อ 6 จนถึงระดับค่าความแม่นยำในการวัดเสต็ปสุดท้าย (เสต็ปที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

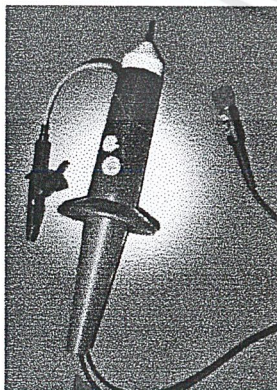
8. บันทึกค่าคาปาซิแตนซ์และค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียค่าไดอิเล็กทริกที่อ่านได้จากผลการปรับจากข้อ 7 ไปคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียค่าไดอิเล็กทริกของวัตถุทดสอบ
9. ป้อนแรงดันเข้าวงจรทดลองที่ค่า 1,2,3 kV แล้วทำตามขั้นตอนที่ 6-8

ผลการวัดค่า C ของฉนวนแก้ว

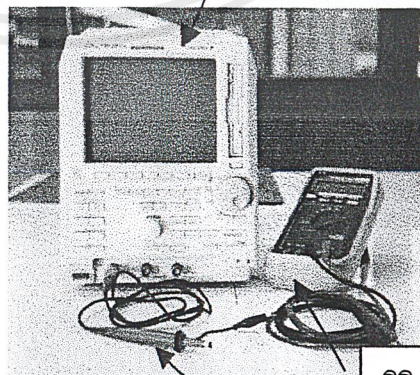
ฉนวนแก้ว pyrex	
r1 = 1.09 cm , r2 = 1.22 cm , L = 0.03 m	
KV	C _x
1	1.25
2	1.26
3	1.16
$\epsilon_r = 8$	

4.2 การทดสอบวัสดุฉนวนและประสิทธิภาพของชุดแหล่งกำเนิดความถี่สูง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ออสซิลโลสโคป
2. โพรบ $\times 10$ และ $\times 1000$
3. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. เครื่องกำเนิดความถี่สูง



โพรบ $\times 1000$



ออสซิลโลสโคป

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

โพรบ $\times 10$

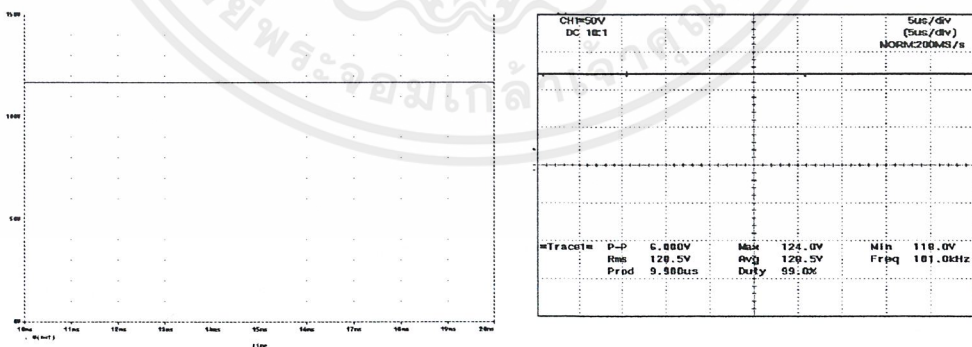
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการทดสอบ

1. ทำการทดสอบวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบไว้โดยเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้กับสัญญาณที่ได้จากการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง (Pspice)
2. ทำการปรับระดับแรงดันอินพุตของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ค่า 80, 100, 120, 150, 180 และ 200 โวลต์ โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 24 โวลต์
3. วัดสัญญาณของชุดควบคุมแรงดันของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง
4. ทำการทดสอบสัญญาณที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบไว้เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง
5. ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากชุดควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง
6. ทำการปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์โดยรักษาแรงดันไว้ที่ 100 V_p วัดสัญญาณที่ได้ที่ความถี่ 20, 40, 50, 70, 80 และ 100 กิโลเฮิร์ต
7. ทำการวัดค่าต่างที่ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อโหลดขนาด 200 โอห์มที่ความถี่ 20 – 100 กิโลเฮิร์ต
8. ทำการทดสอบหม้อแปลงฟลายแบ็คที่แรงดันและความถี่ต่างๆ

ผลการทดสอบ

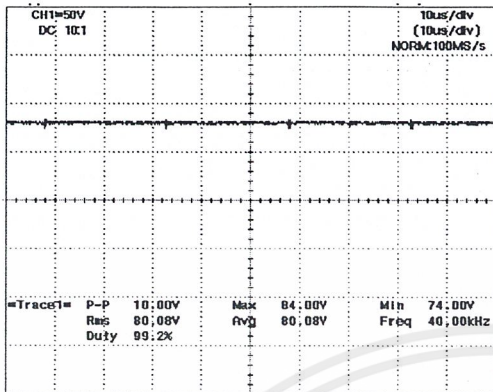
1. เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากสร้างแบบจำลองกับที่ได้จากวงจรจริง



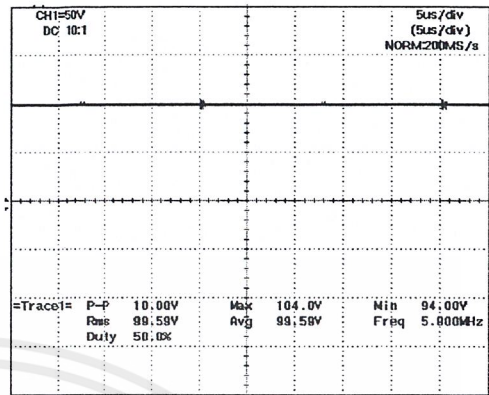
- (ก) รูปสัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ข) รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
- รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างวงจรจริงและที่ได้จากโปรแกรม

2. ทำการปรับระดับแรงดันที่ขั้วระดับจาก 24 โวลต์เป็นค่าแรงดันที่สูงขึ้นซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

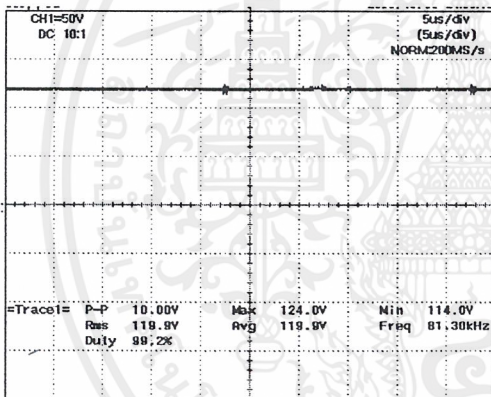
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



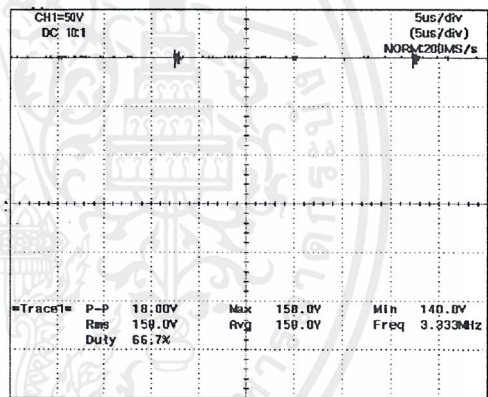
(ก) ระดับแรงดัน 80 โวลต์



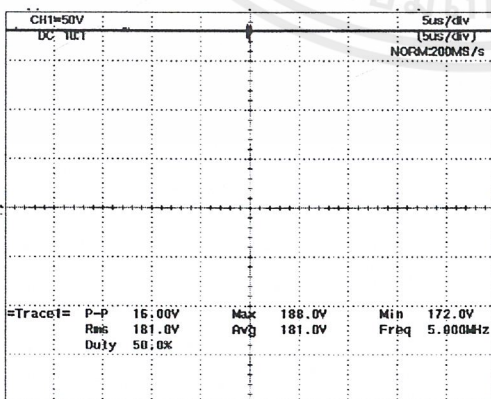
(ข) ระดับแรงดัน 100 โวลต์



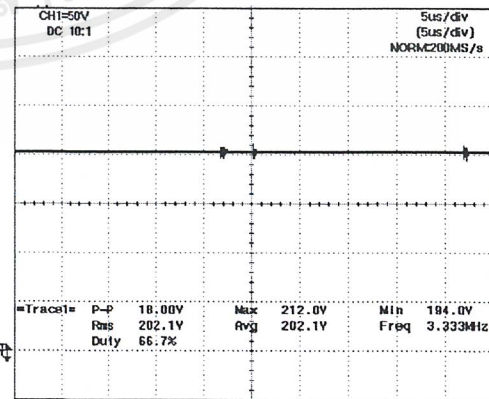
(ค) ระดับแรงดัน 120 โวลต์



(ง) ระดับแรงดัน 150 โวลต์



(จ) ระดับแรงดัน 180 โวลต์

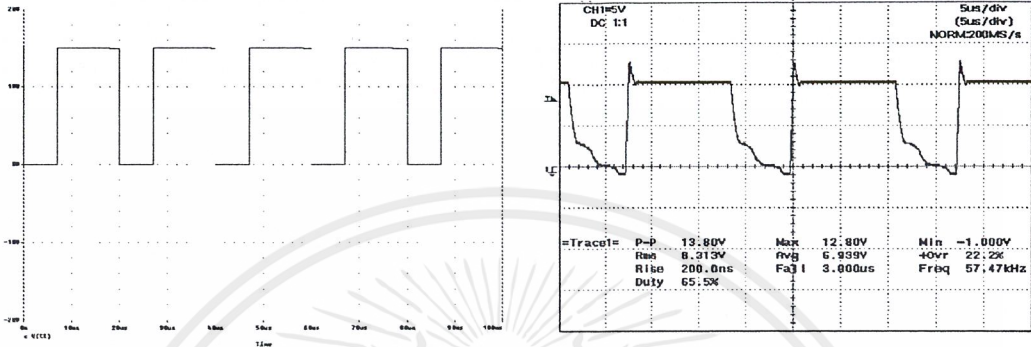


(ฉ) ระดับแรงดัน 200 โวลต์

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

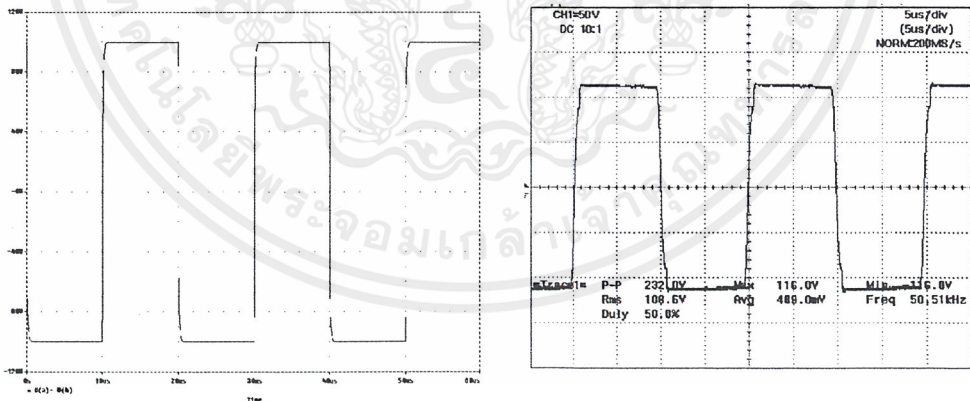
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการวัดสัญญาณขับมอเตอร์ที่ได้หาค่าจรรยาควบคุมแรงดันของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เปรียบเทียบกับการสร้างสัญญาณจำลองจากโปรแกรม



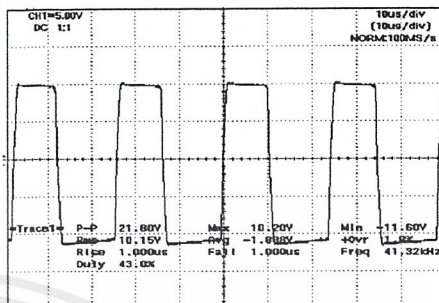
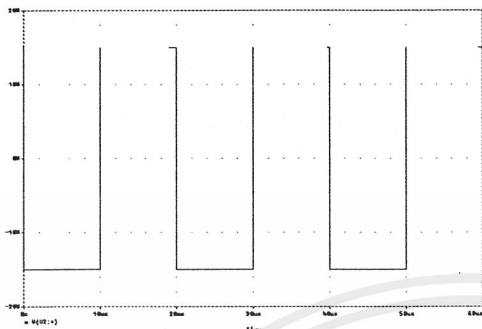
(ก) สัญญาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ใช้ขับมอเตอร์ของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมกับจากวงจรจริง

4. ผลการทดสอบสัญญาณแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมสร้างแบบจำลอง



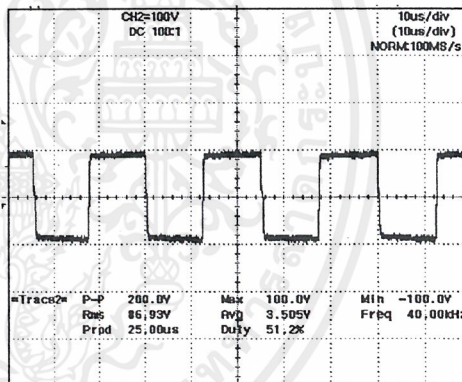
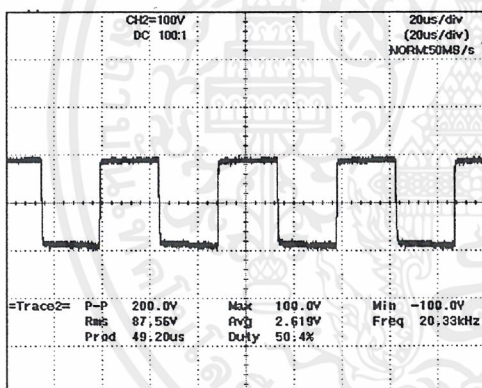
(ก) สัญญาณที่ได้จากโปรแกรมสร้างแบบจำลอง (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณของอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมสร้างแบบจำลองและวงจรจริง

5. สัญญาณที่ได้จากชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมสร้างแบบจำลอง



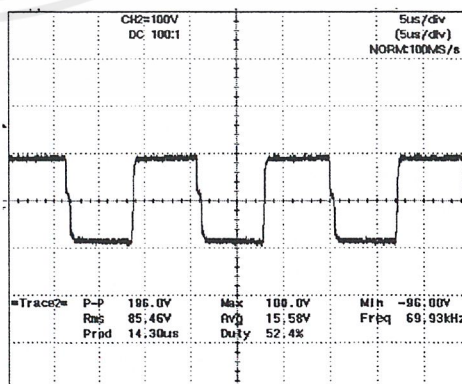
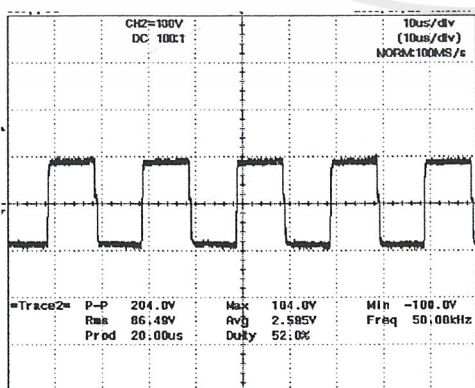
(ก) สัญญาณที่ได้จากโปรแกรมสร้างแบบจำลอง (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่ได้จากชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับโปรแกรมสร้างแบบจำลองและวงจรจริง

6. สัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อรักษาแรงดันไว้ที่ 100 V_p



(ก) ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์

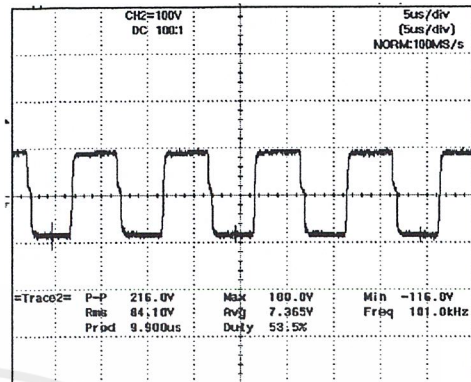
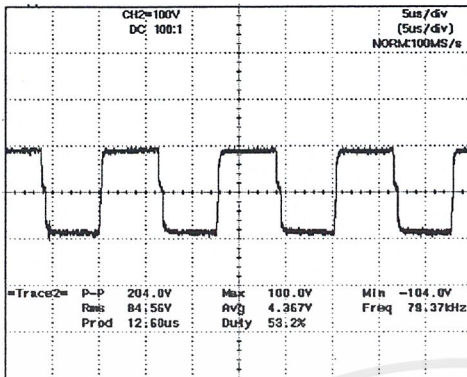
(ข) ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์



(ค) ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์

(ง) ความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ความถี่ 80 กิโลเฮิร์ต

(ฉ) ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ต

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆ

7. ค่าต่างๆ ที่สามารถวิเคราะห์ได้นั้นสามารถเขียนลงเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆ เมื่อทำการต่อโหลด 200 โอห์ม โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต

Freq (kHz)	Input			Output						%Eff ของ วงจร	%Eff Total
	V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (VI)	V _{out} T.F.	I _{out} T.F. (A)	P _{out} T.F. (VI)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (VI)		
20	220	0.21	46.2	23.1	1.62	37.42	82.20	0.411	33.78	90.3	73.1
30	220	0.215	47.3	22.8	1.70	38.76	83.67	0.418	35.00	90.3	74.0
40	220	0.22	48.4	23.4	1.74	40.72	84.00	0.420	35.28	86.6	72.8
50	220	0.22	48.4	23.1	1.78	41.12	84.00	0.420	35.28	85.1	72.8
60	220	0.22	48.4	23.1	1.82	42.04	84.26	0.421	35.64	84.77	73.6
70	220	0.23	50.6	23.1	1.92	44.35	84.46	0.422	35.67	80.4	70.5
80	220	0.27	59.4	22.6	2.20	49.72	83.00	0.415	34.50	69.4	56.8
90	220	0.31	68.2	22.8	2.60	59.28	83.00	0.415	34.50	58.2	50.6
100	220	0.37	81.4	22.3	3.20	71.36	82.00	0.410	33.62	47.1	41.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทำการต่อโหลด 50 วัตต์ ใช้แหล่งจ่ายกระแสตรง 24 โวลต์

Freq (kHz)	Input			Output			%Eff Total
	V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (VI)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (VI)	
20	25.2	1.990	50.14	100.1	0.500	50.05	99.80
30	25.2	2.014	50.75	100.1	0.503	50.35	99.21
40	25.2	2.013	50.73	100.2	0.501	50.20	98.96
50	25.2	2.040	51.40	100.5	0.502	50.25	97.76
60	25.2	2.210	55.69	101.5	0.507	51.40	92.3
70	25.2	2.180	54.94	101.8	0.501	51.80	94.28
80	25.2	2.270	52.40	100.4	0.512	51.40	98.1
90	25.2	2.275	57.33	102.3	0.511	52.27	91.20
100	25.2	2.276	57.36	100.1	0.500	50.10	87.40

8. ค่าแรงดันของหม้อแปลงฟลายแบ็คที่สภาวะแรงดันและความถี่ต่างๆ

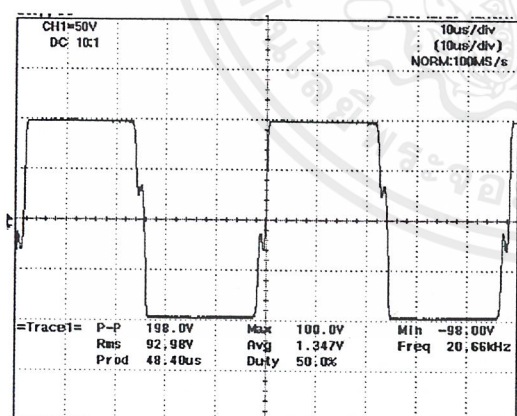
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงฟลายแบ็คแรงดันสูงที่ความถี่ค่าต่างๆ

ความถี่ของสัญญาณ (Frequency , kHz)	แรงดันที่ออกจากวงจร Boost converter (V)	แรงดันที่ออกจากวงจร อินเวอร์เตอร์ (Vp)	แรงดันสูงที่ออกจาก หม้อแปลงฟลายแบ็ค (Vp)
20	46	50	560
20	92	100	980
20	138	150	1500
20	164	180	1800
40	46	50	800

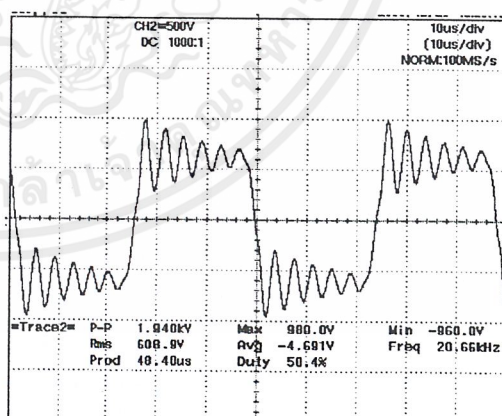
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของสัญญาณ (Frequency , kHz)	แรงดันที่ออกจากวงจร Boost converter (V)	แรงดันที่ออกจากวงจร อินเวอร์เตอร์ (Vp)	แรงดันสูงที่ออกจาก หม้อแปลงฟลายแบค (Vp)
40	92	100	1440
40	136	150	2200
40	164	180	2600
60	46	50	680
60	92	100	1400
60	136	150	2080
60	166	180	2320
80	46	50	940
80	92	100	1900
80	108	130	2240
80	เกิดการดีงกระแสมากจนไม่สามารถเพิ่มแรงดันได้		-

รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงฟลายแบค ที่ความถี่ 20, 40, 60 และ 80 กิโลเฮิร์ต ที่แรงดันด้าน ไพรมารี 100 V_p



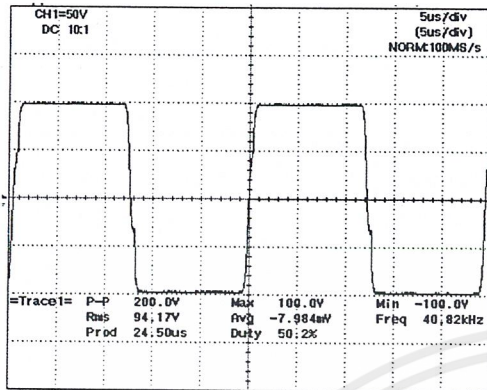
(1) แรงดันด้านเข้าหม้อแปลง



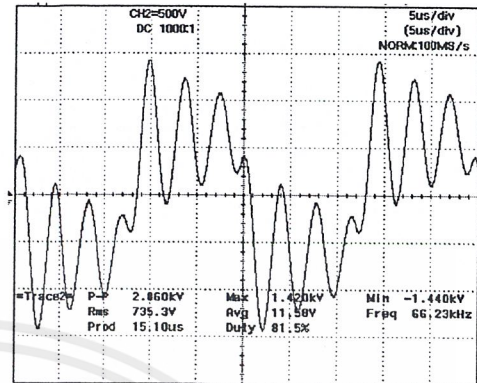
(2) แรงดันด้านออกจากหม้อแปลง

(ก) ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

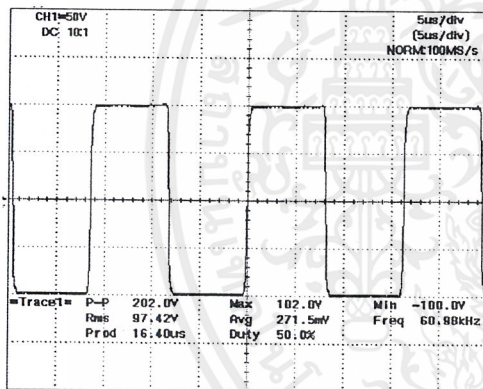


(ก) แรงดันด้านเข้าหม้อแปลง

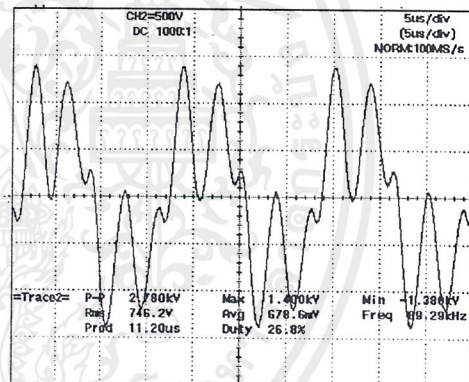


(ข) แรงดันด้านออกจากหม้อแปลง

(2) ความถี่ 40 กิโลเฮิรต์

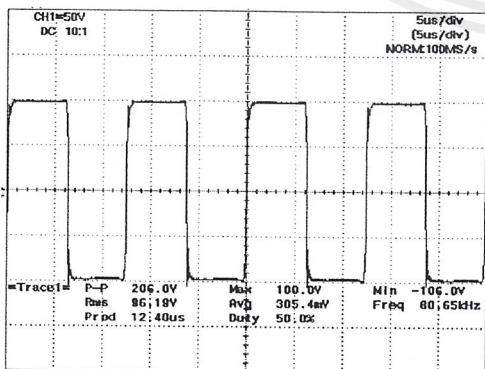


(ก)แรงดันด้านเข้าหม้อแปลง

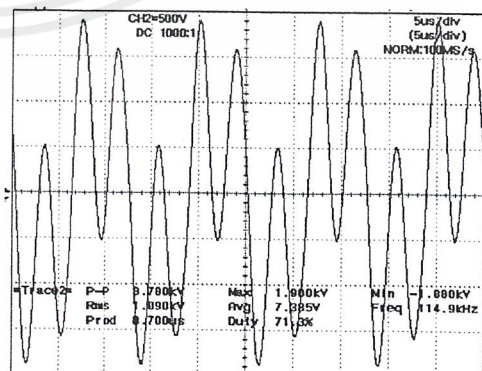


(ข) แรงดันด้านออกจากหม้อแปลง

(3) ความถี่ 60 กิโลเฮิรต์



(ก) แรงดันด้านเข้าหม้อแปลง



(ข) แรงดันด้านออกจากหม้อแปลง

(4) ความถี่ 80 กิโลเฮิรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทำการทดสอบวัดปริมาณไอโชน

การตรวจวัดหาปริมาณไอโชนสามารถทำได้หลายวิธีเช่น วิธีอัตราไอโอเดตสเปคโตรเมทรีหรือการใช้เทคนิคทางอเล็กโตรเคมี โดยในโครงการนี้จะใช้วิธีการทางเคมีซึ่งเรียกว่า วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric methods) โดยมีหลักการคือ ใช้สายละลายที่มีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไอโชนสูง เช่น สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ทำให้ได้สารใหม่เกิดขึ้น จากนั้นสามารถหาปริมาณไอโชนได้โดยการไตเตรตกับสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) หรือ ฟีนิลาซีนออกไซด์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณไอโชน

1. สารเคมี

- 1.1) สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก โดยละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์จำนวน 20 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเก็บไว้ในขวดสีชา 1 คืนก่อนนำมาใช้
- 1.2) สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) 1 นอร์มอล
- 1.3) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 1.4) น้ำเป็งเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก โดยละลายเป็ง 1 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. อุปกรณ์

- 2.1) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร 3 ใบ
- 2.2) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ
- 2.3) บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร 1 ใบ
- 2.4) ปีเปต ขนาด 50 มิลลิลิตร 1 อัน
- 2.5) นาฬิกาจับเวลา
- 2.6) สายยางซิลิโคน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโชน

1. การดูดซึมก๊าซไอโชน (Absorption) โดยผ่านก๊าซจากชุดทดลองลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ บรรจุอยู่ 100 มิลลิลิตร
2. การไตเตรต (Titration) โดยการนำสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ที่ได้จากข้อ 1 (สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองหรือสีส้ม) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 นอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับไอโชน แล้วไตเตรตหาปริมาณไอโชนด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยก่อนการทดสอบ สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เป็นสารใสไม่มีสีดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อผ่านก๊าซจากเครื่องกำเนิดไอโชนลงไปพบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนไป จุดยุติของการไตเตรตคือเมื่อสีของสารละลายกลับมาใสอีกครั้งแล้วทำการบันทึกค่าสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปเพื่อคำนวณหาปริมาณ ไอโชนต่อไป



รูปที่ 4.8 สีของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับไอโชน

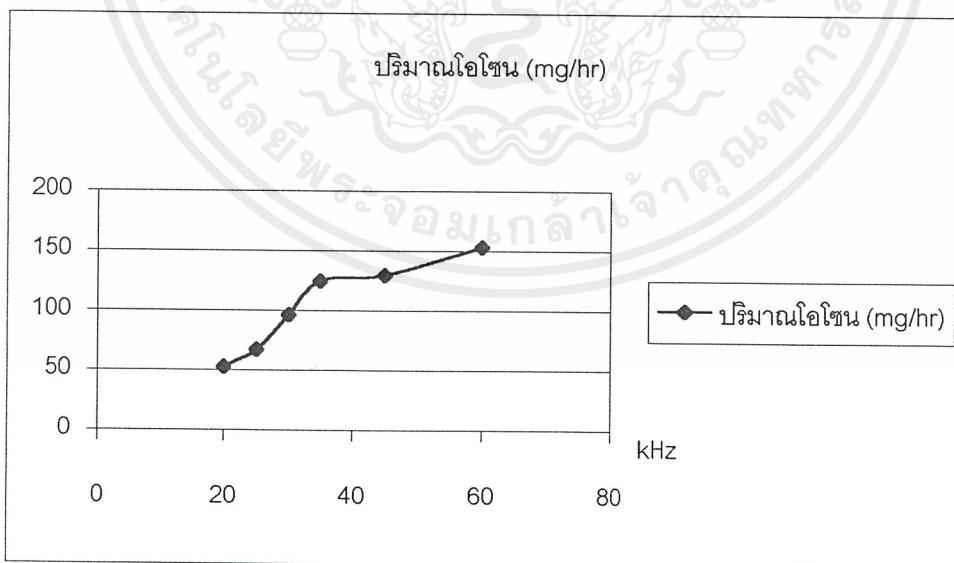
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอโซนที่ความถี่ต่างๆ โดยกำหนดให้แรงดันคงที่ ซึ่งได้ปริมาณไอโซนดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณ ไอโซนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆ

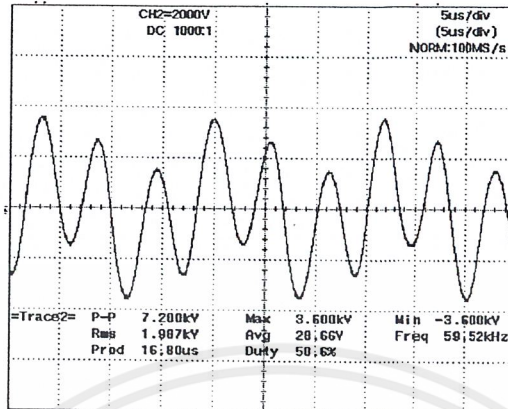
โดยอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากชุดอิเล็กทรอนิกส์ โตรคเท่ากับ 3.6 ลิตรต่อนาที

ความถี่ (Frequency) (kHz)	แรงดันเอาพุทต์ (kVp)	ปริมาณไอโซน (mg/hr)
20	3.5	52.8
25	3.5	67.2
30	3.5	96
35	3.5	124.8
45	3.5	129.6
60	3.5	153.6



รูปที่ 4.9 แสดงการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ไอโซนกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



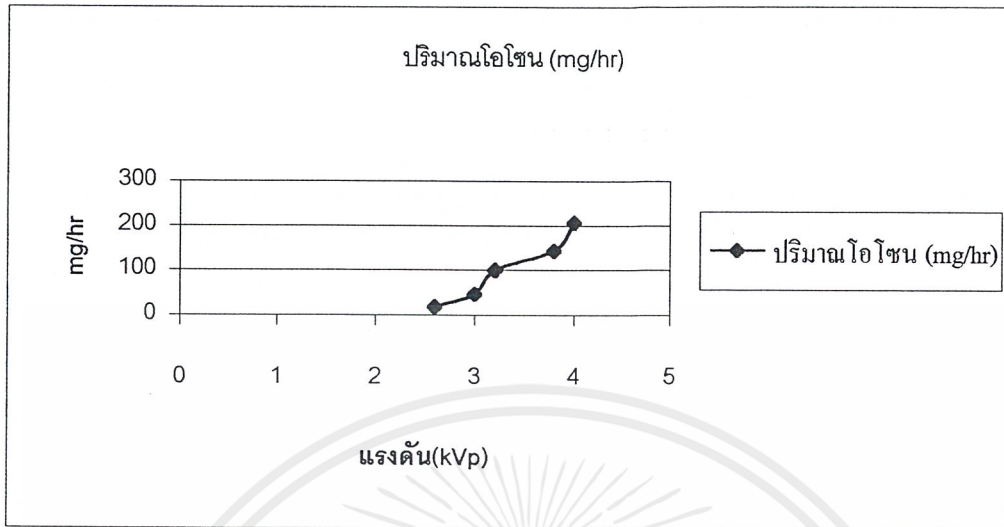
รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงในขณะที่จ่ายให้แก่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ โทรดที่ความถี่ 60 กิโล
เฮิรต์

4.3.2 ทำการหาปริมาณ ไอโซนที่แรงดันต่างๆ โดยกำหนดให้ความถี่ในการทดสอบมีค่า 35 กิโล
เฮิรต์

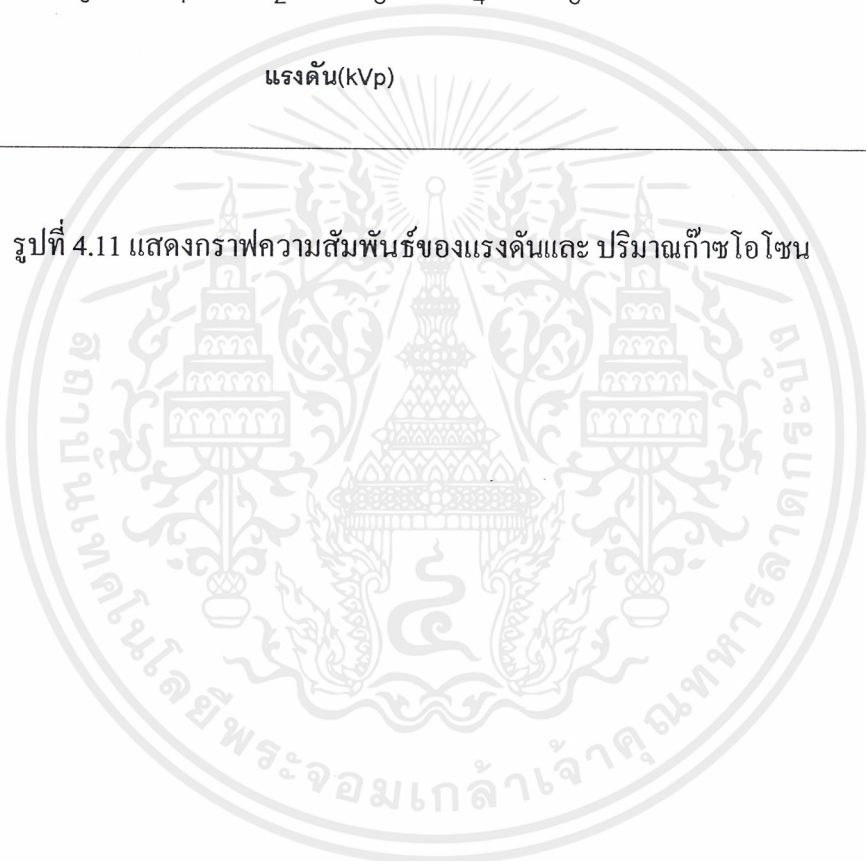
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณ ไอโซนที่เกิดขึ้นที่แรงดันต่างๆ

ความถี่ (Frequency) (kHz)	กระแสอินพุท (A)	แรงดันเอาพุท (kVp)	ปริมาณไอโซน (mg/hr)
35	0.19	2.6	19.2
35	0.26	3.0	48
35	0.29	3.2	100.8
35	0.40	3.8	144
35	0.52	4.0	206.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันและ ปริมาณก๊าซไอโซน



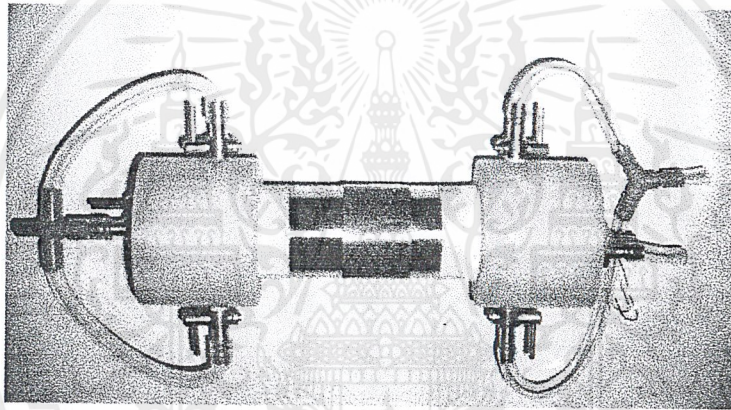
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

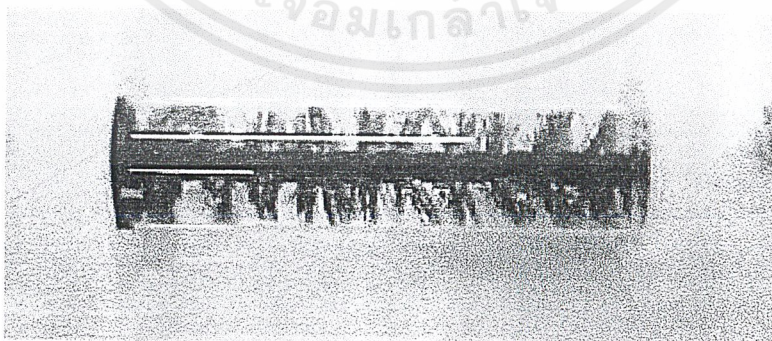
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. จากการที่ได้นำเอาทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงคานสามารถทำให้ผลึกก๊าซไอโซนขึ้นได้ซึ่งออกแบบใช้ลักษณะของชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงคานเป็นแบบกระบอกฉนวน 2 ชั้น ซึ่งจะสามารถให้ความเครียดทางสนามไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบชั้นเดียว ชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงคานที่ออกแบบเสร็จและนำมาใช้งานแสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



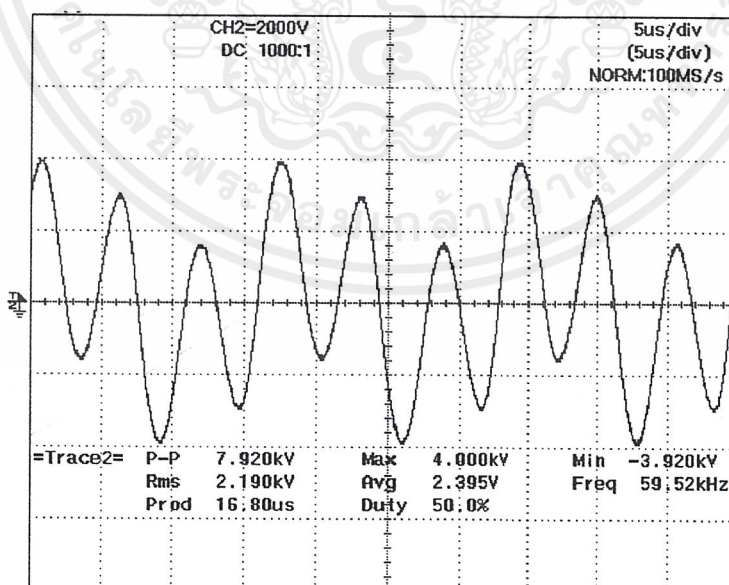
รูปที่ 5.1 แสดงชุดของอิเล็กทรอนิกส์โครงคานภายนอก



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะภายในของชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในส่วนของชุดสร้างความถี่สูงนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ในส่วนของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้ในยกระดับแรงดันกระแสตรงก่อนที่จะส่งต่อไปยังชุดวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมก่อนที่จะส่งไปยังหม้อแปลงพลาซมเบ็คในชุดสร้างความถี่สูงนี้ได้ออกแบบให้มีประสิทธิภาพที่สามารถจ่ายพลังงานได้คงที่และสามารถรักษาแรงดันให้คงที่ไว้ได้ในขณะทำการต่อกับโหลดซึ่งจากการทดสอบในสถานะโหลด 50 วัตต์สามารถที่จะรักษาแรงดันและประสิทธิภาพไว้ได้ดี
3. ในส่วนของหม้อแปลงแรงดันสูงซึ่งในโครงการนี้ได้นำหม้อแปลงพลาซมเบ็คที่ใช้กันในโทรทัศน์มาประยุกต์ใช้ซึ่งก็สามารถที่จะให้แรงดันที่สูงพอที่จะทำให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวเป็นก๊าซไอโซนได้ โดยหม้อแปลงที่ใช้เป็นรุ่น HR1610 ซึ่งจากการทดสอบแล้วพบว่าย่านความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ประมาณ 40 – 55 กิโลเฮิร์ต เมื่อใช้งานที่ความถี่ที่สูงกว่านี้จะเกิดความสูญเสียเกิดขึ้นมากที่หม้อแปลง
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับปริมาณการเกิดก๊าซไอโซนนั้นพบว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของการผลิตก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเมื่อทำการรักษาแรงดันให้คงที่สำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนชุดนี้สามารถผลิตก๊าซไอโซนได้ 240 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงที่แรงดัน 4 kV_p ความถี่สูงสุด 60 กิโลเฮิร์ต พิกัดกำลัง 120 วัตต์อัตราการไหลของอากาศที่เข้าชุดอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 3.5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณแรงดันและความถี่ที่ให้ปริมาณไอโซนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยโครงการนี้พบว่ามีหลายๆ องค์ประกอบที่มีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซโอโซน และเป็นอุปสรรคในการผลิตก๊าซโอโซน

1. ยานในการใช้งานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (ตัวที่ใช้อยู่นี้) ratio ประมาณ 14 และ ยานการใช้งานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 20 - 60 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเราไม่สามารถกำหนดเองได้เนื่องจากเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรที่วิธีรุ่นเก่าและพันเองไม่ได้เพราะฉนวนที่ใช้โดยทั่วไปทนแรงดันได้ไม่สูงนักจึงต้องต้องหาซื้อจากร้านขายอุปกรณ์โทรทัศนส์ซึ่งจะไม่มีสเปคขนาดบอก จึงเป็นผลทำให้ต้องปรับขนาดของวงจรเข้าหาการใช้งานของหม้อแปลง ดังนั้นการเลือกยานที่ใช้งานจึงทำได้ไม่ดัดนัก (และถ้ามีการนำไปศึกษาต่อ ในส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันสูงความถี่สูงจึงควรจะถูกออกแบบและทำการสร้างก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อที่จะได้สามารถออกแบบวงจรภาคปรับความถี่และแรงดันได้อย่างเหมาะสม)
2. เนื่องจากในอากาศมีปริมาณออกซิเจนอยู่เพียง 21% ถ้าเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่เข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ให้มากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณโอโซนมากขึ้น หรือจะช่วยลดแรงดันไฟฟ้าลงซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ถังออกซิเจนป้อนเข้าไปโดยตรง ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้อีกด้วย หรืออาจใช้วิธีการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าทำให้ได้ออกซิเจนออกมา
3. ในการทำวิจัยครั้งนี้สภาพแวดล้อมต่างเราไม่ได้ทำการควบคุมเช่น ความชื้น, อุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเกิดก๊าซโอโซน ซึ่งในการทำวิจัยต่อไปต้องควบคุมสภาพแวดล้อมเหล่านี้ด้วย

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนในส่วนของเครื่องกำเนิดความถี่สูงควรออกแบบให้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้ได้มากขึ้นเพื่อจ่ายกำลังให้แก่หม้อแปลง และในส่วนของหม้อแปลงควรออกแบบให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับชุดกำเนิดความถี่สูงเพื่อจะลดผลกระทบด้านความสูญเสียและฮาร์โมนิก ที่จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

ควรนำหม้อแปลงแรงดันสูงมารวมอยู่ในระบบด้วยเพื่อให้ประสิทธิภาพจริงที่จ่ายให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้นโดยทำการออกแบบการชดเชยความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลง

ในส่วนของชุดอิเล็กทรอนิกส์นั้นควรทำการออกแบบให้ช่องอากาศเล็กลงอีกเพื่อจะได้ใช้พลังงานน้อยลงในการทำให้เกิดก๊าซโอโซน และให้ป้อนอากาศมีอัตราการไหลที่สูงขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซโอโซนให้มากขึ้น ในส่วนของสภาพแวดล้อมก็ควรรวมอยู่ในการควบคุมด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

การนำก๊าซโอโซนไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้ไอโซนในลักษณะต่างๆ

ลักษณะและพื้นที่การใช้งาน	ปริมาณที่ใช้ (mg/hr)
1. ในรถยนต์	10-15
2. ในห้อง 10 ตารางเมตร	20
20 "	40
33 "	70
55 "	100
3. ทำน้ำดื่ม 10-30 ลิตร	100-125
4. - ฆ่ายุงพิษในผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์	100
- ทำความสะอาดภาชนะ	
- ชักล้างสารที่ตกค้างบนเสื้อผ้า	
- เสริมความงาม	
5. ในอ่างอาบน้ำ 150 ลิตร	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโอโซนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค

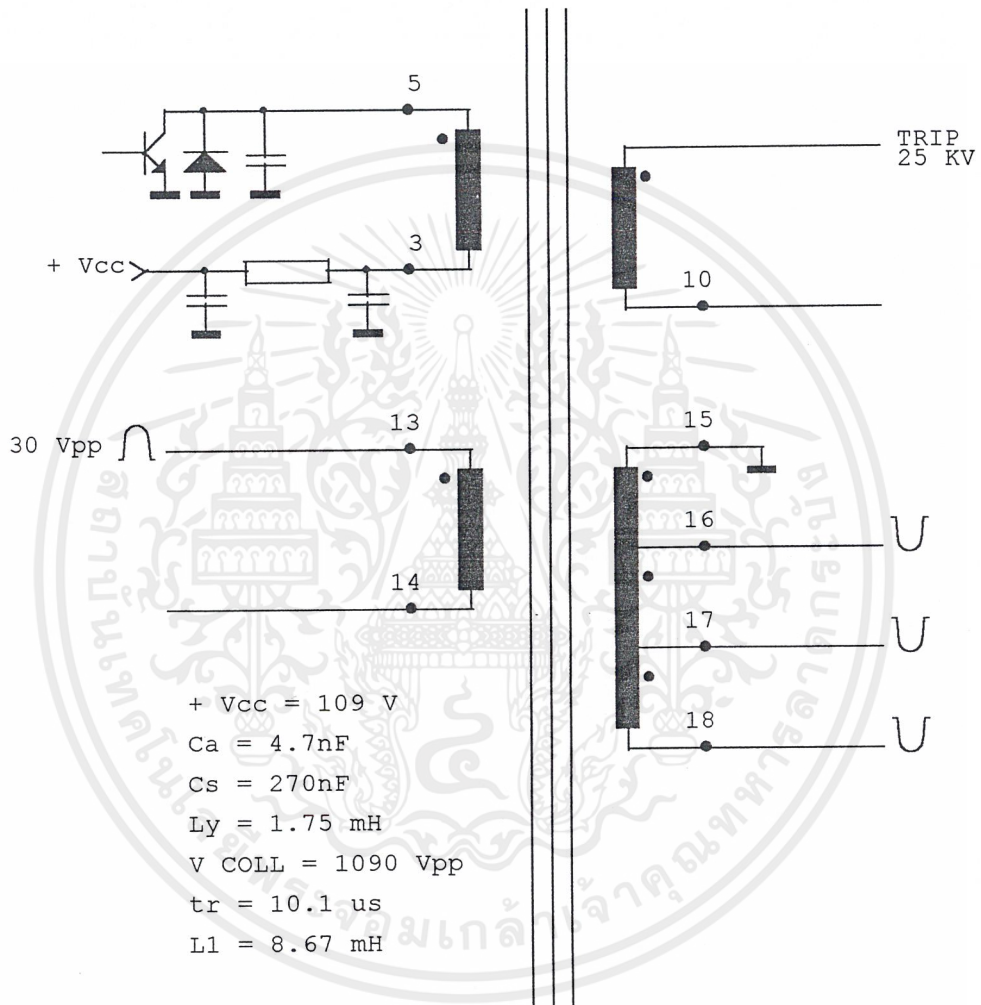
ข้อดี	ข้อเสีย
- มีกำลังในการออกซิไดซ์ที่รุนแรงและใช้	- เป็นก๊าซที่มีพิษ
เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้น	- ราคาของกระบวนการผลิตโอโซนจะสูงกว่าเมื่อใช้
ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคจุลินทรีย์	คลอรีน
และไวรัสได้ภายใน 2-3 วินาที	- การติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก
-โอโซนจะเปลี่ยนเป็นออกซิเจนใน	-อุปกรณ์ในส่วนที่เกิดปฏิกิริยาโอโซนจำเป็นต้องป้องกัน
น้ำหลังจากทำการฆ่าเชื้อโรคแล้ว	ก๊าซพิษและอันตรายจากไฟ
-ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี	-อาจจะเกิดสารจำพวกอัลดีไฮด์และคีโตนเมื่อทำปฏิกิริยา
-ปฏิกิริยาจะเกิดและสลายตัวไปอย่าง	กับสารอินทรีย์
รวดเร็วเมื่อกระทำกับสารพวกอินทรีย์	- จำเป็นต้องเติมสารคลอรีนเนื่องจากปฏิกิริยาไม่ได้อยู่
-โอโซนส่วนมากจะสลายตัวในน้ำอย่าง	ค้างในระบบ
รวดเร็วจึงไม่มีสารตกค้าง	- ละลายในน้ำได้ ยากกว่าคลอรีนจึงจำเป็นต้องใช้
-โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี	อุปกรณ์ในการผสมชนิดพิเศษ



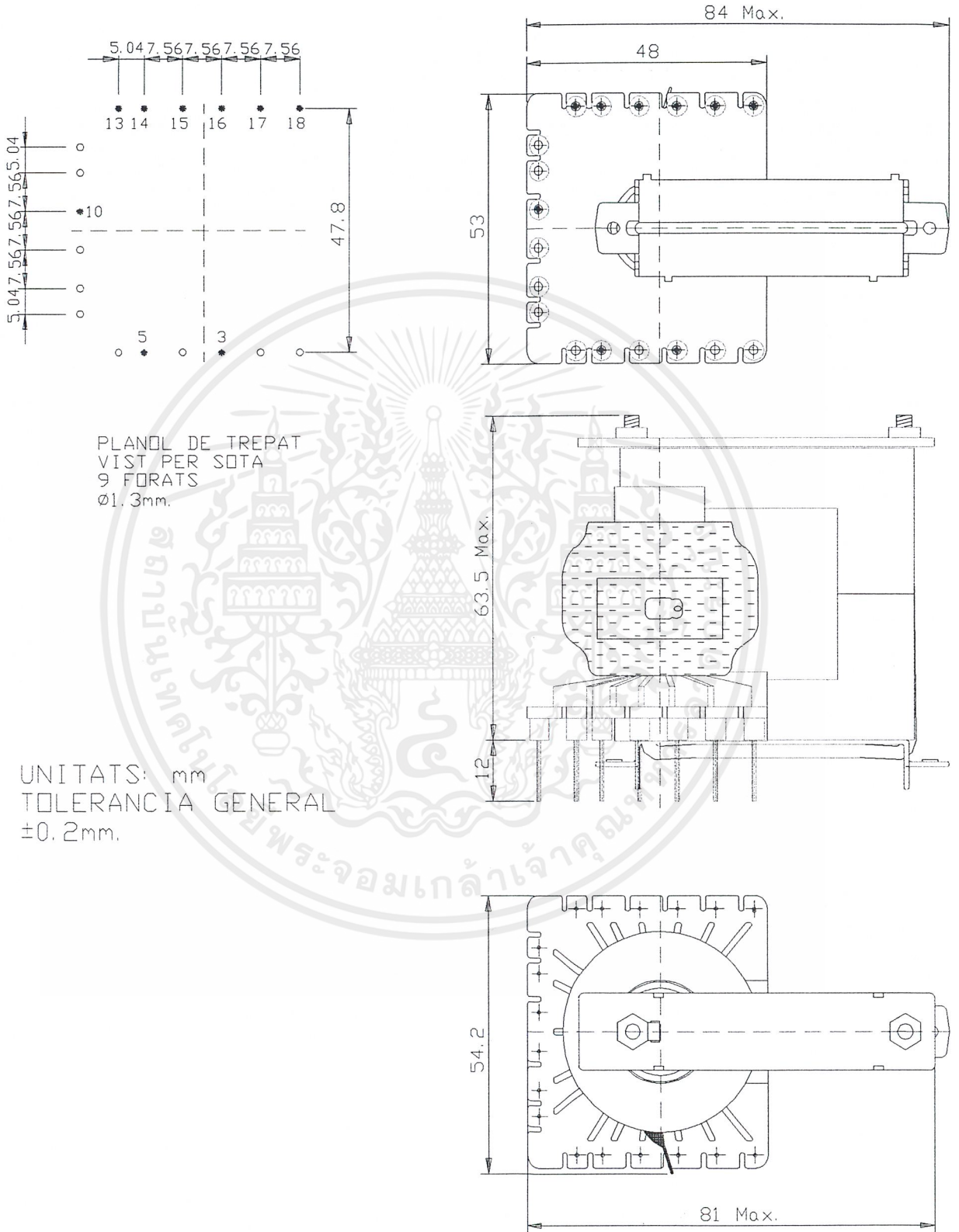
ภาคผนวก ข
ข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในออกแบบ
เครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดเกี่ยวกับหม้อแปลงฟลายแบ็ครุ่น HR 1610

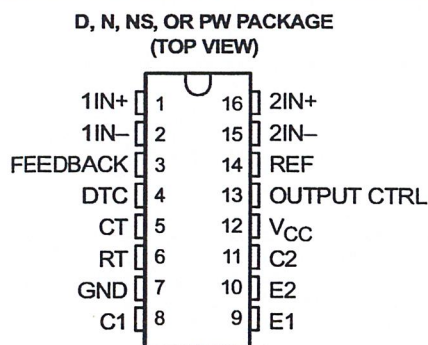


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



description

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

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

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

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

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE

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



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

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

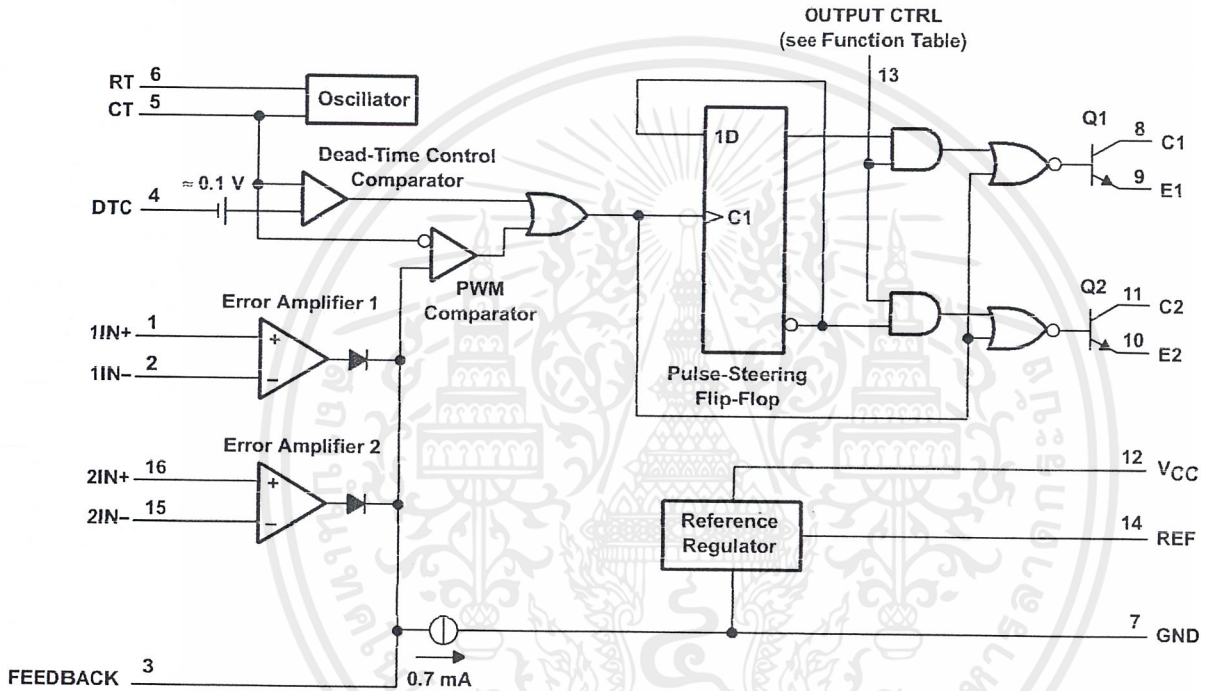
SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

AVAILABLE OPTIONS

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

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

functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

64

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

		TL494	UNIT	
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		41	V	
Amplifier input voltage, V_I		$V_{CC}+0.3$	V	
Collector output voltage, V_O		41	V	
Collector output current, I_O		250	mA	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3)	D package	73	°C	
	N package	88		
	NS package	64		
	PW package	108		
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		D, N, or PW package	260	°C
Storage temperature range, T_{stg}			-65 to 150	°C

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

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

recommended operating conditions

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

reference section

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

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

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

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

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

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

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

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

error-amplifier section (see Figure 2)

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

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



TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

67

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

output section

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

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

dead-time control section (see Figure 1)

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

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

PWM comparator section (see Figure 1)

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

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

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

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

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

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

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

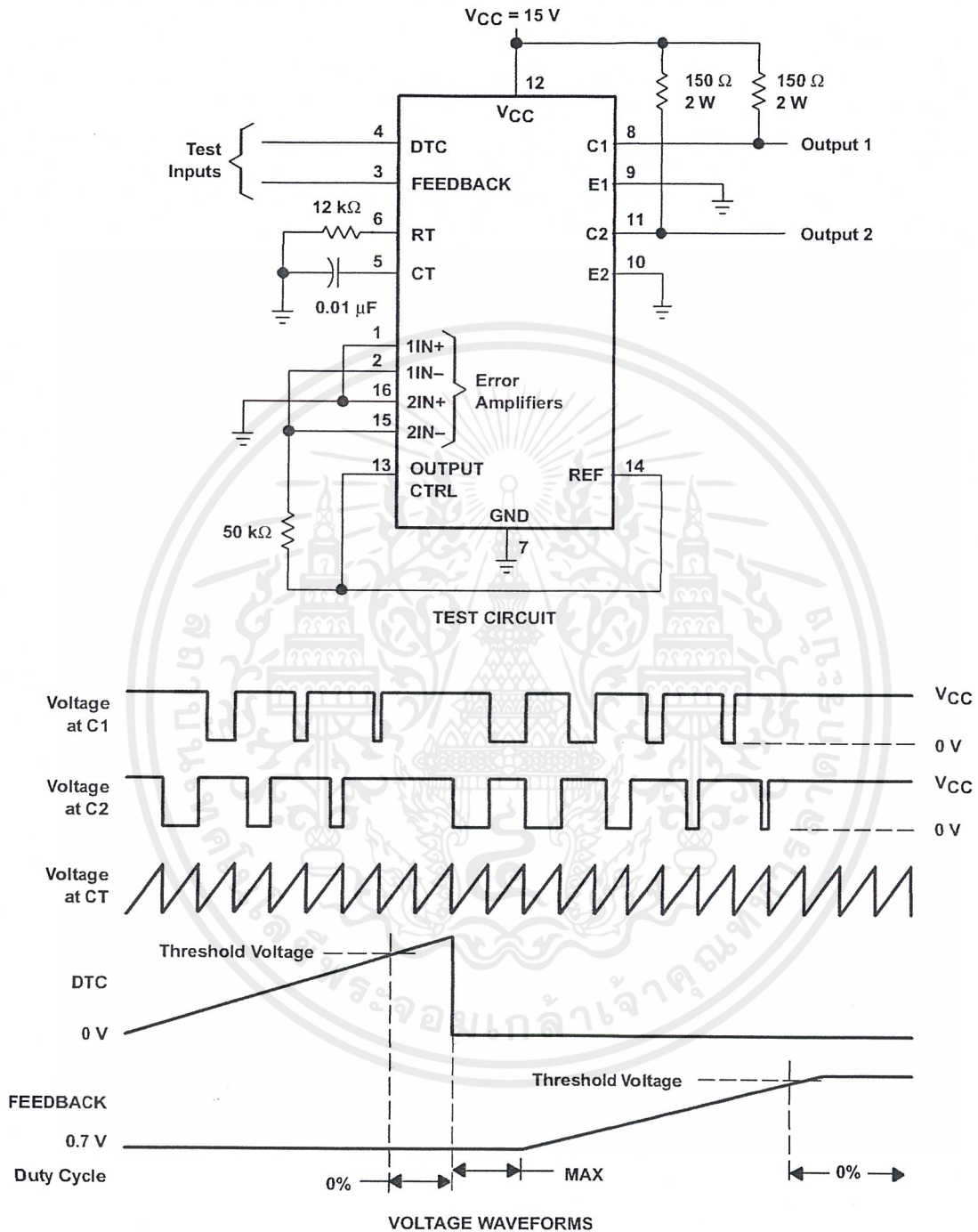


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

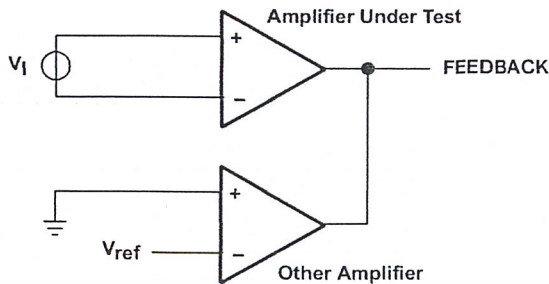
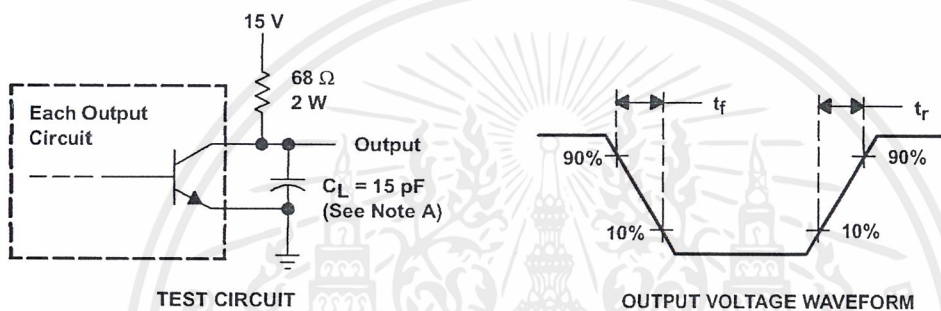
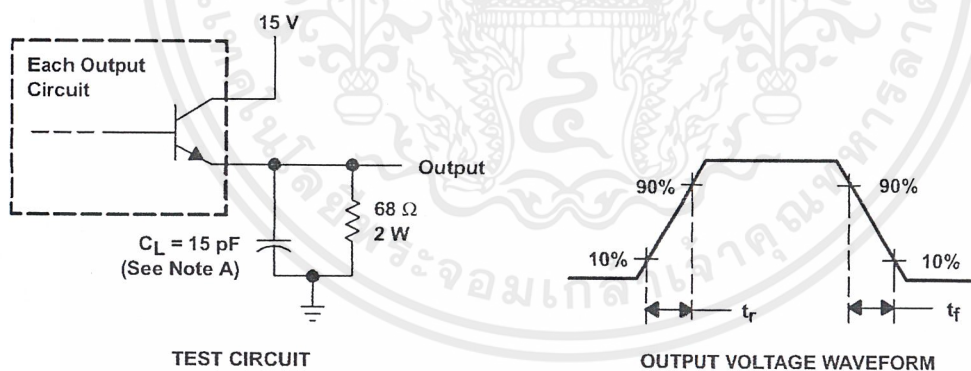


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

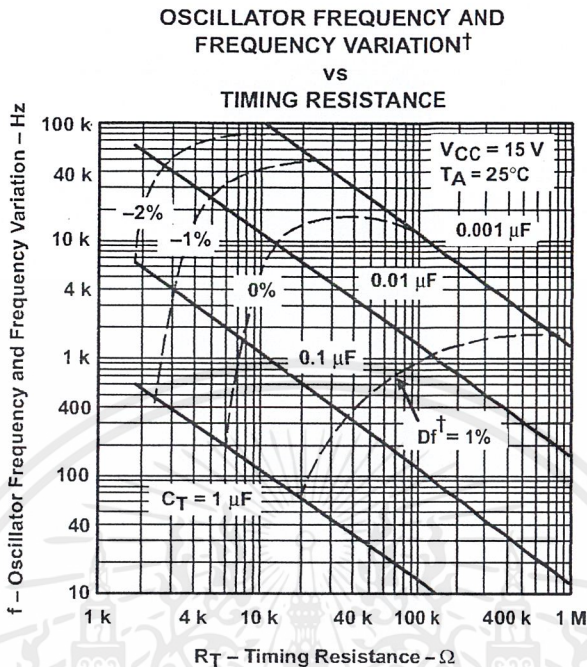
Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration

TYPICAL CHARACTERISTICS



† Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5

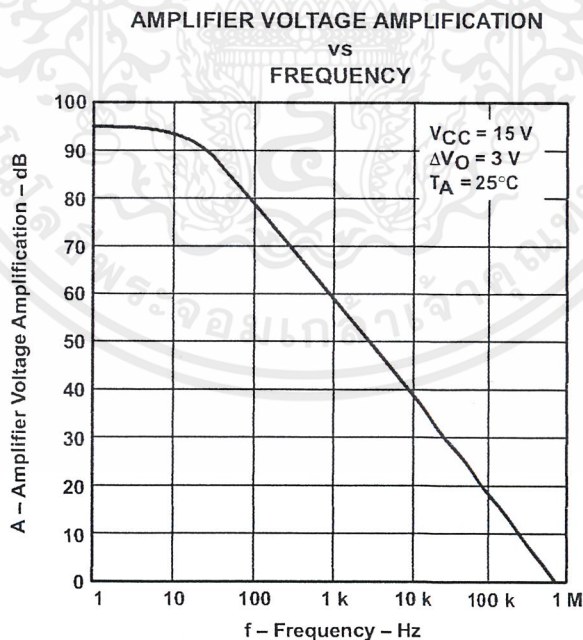


Figure 6



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

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

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

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

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

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

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

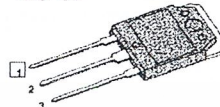
- ◆ Avalanche Rugged Technology
- ◆ Rugged Gate Oxide Technology
- ◆ Lower Input Capacitance
- ◆ Improved Gate Charge
- ◆ Extended Safe Operating Area
- ◆ Lower Leakage Current: 10 μ A (Max.) @ $V_{DS} = 500V$
- ◆ Lower $R_{DS(ON)}$: 0.197 Ω (Typ.)

$$BV_{DSS} = 500 V$$

$$R_{DS(on)} = 0.25\Omega$$

$$I_D = 22 A$$

TO-3P



1.Gate 2. Drain 3. Source

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Characteristic	Value	Units
V_{DSS}	Drain-to-Source Voltage	500	V
I_D	Continuous Drain Current ($T_C=25^\circ C$)	22	A
	Continuous Drain Current ($T_C=100^\circ C$)	13.4	
I_{DM}	Drain Current-Pulsed (1)	88	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (2)	2151	mJ
I_{AR}	Avalanche Current (1)	22	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (1)	27.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)	3.5	V/ns
P_D	Total Power Dissipation ($T_C=25^\circ C$)	278	W
	Linear Derating Factor	2.22	
T_J, T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ C$
T_L	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8. from case for 5-seconds	300	

Thermal Resistance

Symbol	Characteristic	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.45	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

©1999 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics ($T_C=25^\circ\text{C}$ unless ⁷³ otherwise specified)

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	500	–	–	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta BV/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coeff.	–	0.69	–	V/°C	$I_D=250\mu A$ See Fig 7
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	–	4.0	V	$V_{DS}=5V, I_D=250\mu A$
I_{GSS}	Gate-Source Leakage, Forward	–	–	100	nA	$V_{GS}=30V$
	Gate-Source Leakage, Reverse	–	–	-100	nA	$V_{GS}=-30V$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	–	–	10	μA	$V_{DS}=500V$
		–	–	100		$V_{DS}=400V, T_C=125^\circ C$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-State Resistance	–	–	0.25	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=11A$ (4)
g_{fs}	Forward Transconductance	–	17.31	–	\bar{u}	$V_{DS}=50V, I_D=11A$ (4)
C_{iss}	Input Capacitance	–	3940	5120	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=25V, f=1MHz$ See Fig 5
C_{oss}	Output Capacitance	–	465	535		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	–	215	250		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	–	27	65	ns	$V_{DD}=250V, I_D=22A,$ $R_G=5.3\Omega$ See Fig 13 (4) (5)
t_r	Rise Time	–	30	70		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	–	150	310		
t_f	Fall Time	–	43	95		
Q_g	Total Gate Charge	–	182	236	nC	$V_{DS}=400V, V_{GS}=10V,$ $I_D=22A$ See Fig 6 & Fig 12 (4) (5)
Q_{gs}	Gate-Source Charge	–	26	–		
Q_{gd}	Gate-Drain (. Miller.) Charge	–	79.6	–		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
I_S	Continuous Source Current	–	–	22	A	Integral reverse pn-diode in the MOSFET
I_{SM}	Pulsed-Source Current (1)	–	–	88		
V_{SD}	Diode Forward Voltage (4)	–	–	1.4	V	$T_J=25^\circ C, I_S=22A, V_{GS}=0V$
t_{rr}	Reverse Recovery Time	–	528	–	ns	$T_J=25^\circ C, I_F=22A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	–	8.35	–	μC	$di_F/dt=100A/\mu s$ (4)

Notes;

- (1) Repetitive Rating: Pulse Width Limited by Maximum Junction Temperature
- (2) $L=8mH, I_{AS}=22A, V_{DD}=50V, R_G=27\Omega,$ Starting $T_J=25^\circ C$
- (3) $I_{SD} \leq 22A, di/dt \leq 300A/\mu s, V_{DD} \leq BV_{DSS},$ Starting $T_J=25^\circ C$
- (4) Pulse Test: Pulse Width = 250 $\mu s,$ Duty Cycle $\leq 2\%$
- (5) Essentially Independent of Operating Temperature

Fig 1. Output Characteristics

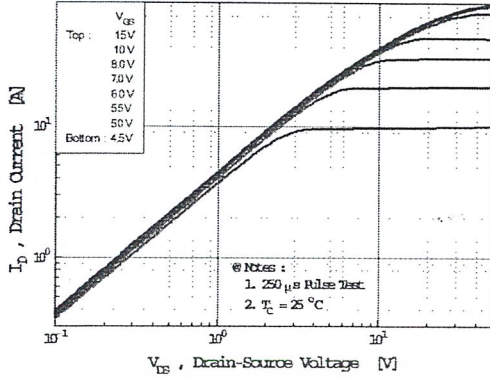


Fig 2. Transfer Characteristics

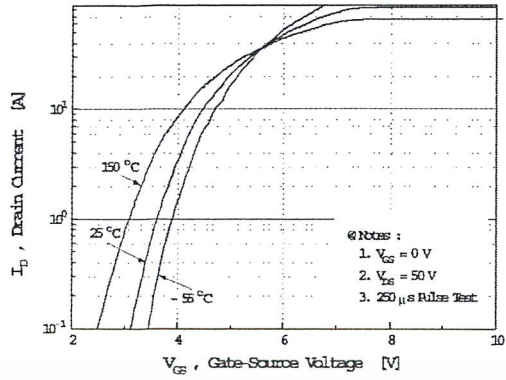


Fig 3. On-Resistance vs. Drain Current

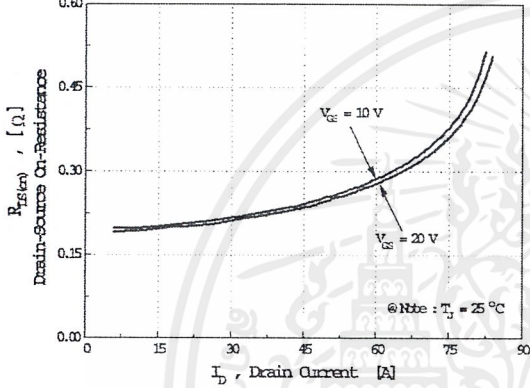


Fig 4. Source-Drain Diode Forward Voltage

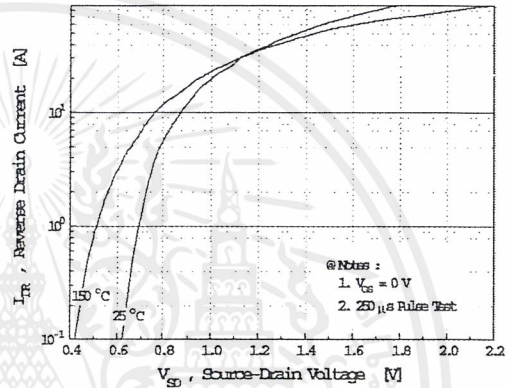


Fig 5. Capacitance vs. Drain-Source Voltage

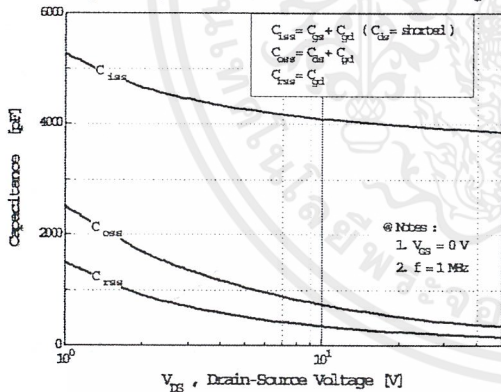


Fig 6. Gate Charge vs. Gate-Source Voltage

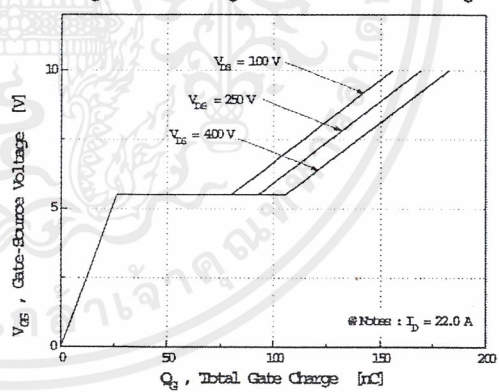


Fig 7. Breakdown Voltage vs. Temperature

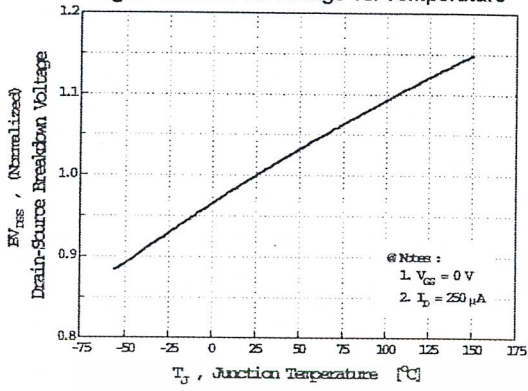


Fig 8. On-Resistance vs. Temperature

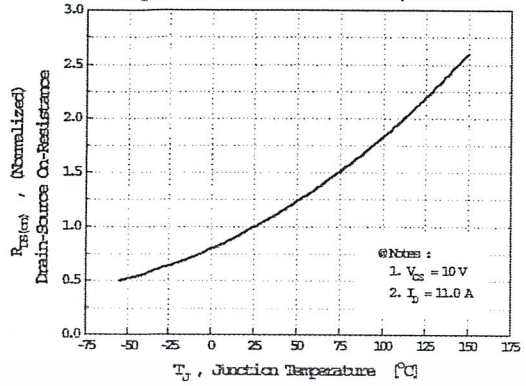


Fig 9. Max. Safe Operating Area

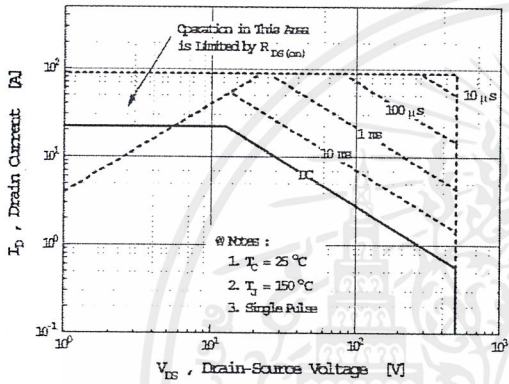


Fig 10. Max. Drain Current vs. Case Temperature

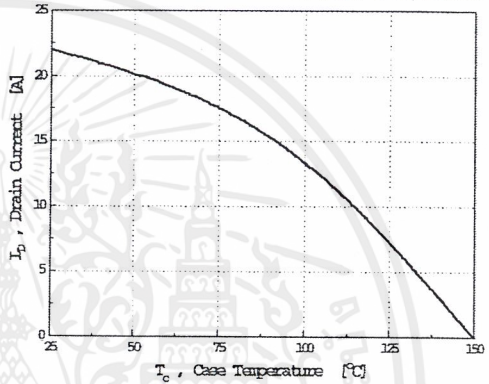


Fig 11. Thermal Response

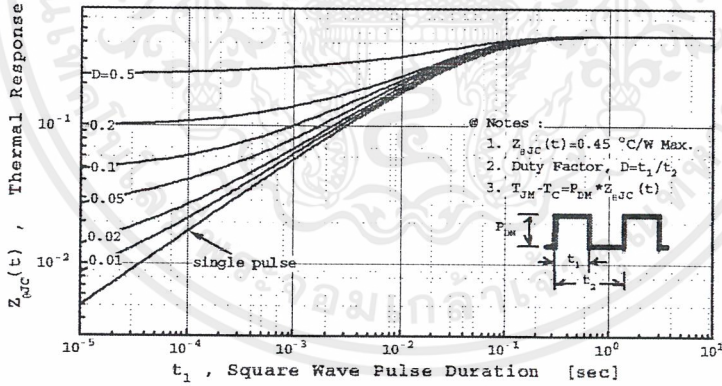


Fig 12. Gate Charge Test Circuit & Waveform

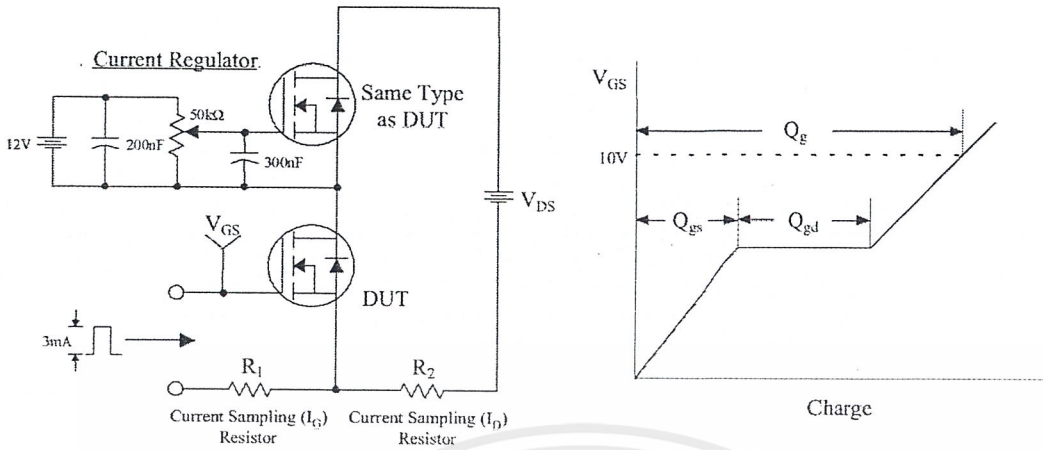


Fig 13. Resistive Switching Test Circuit & Waveforms

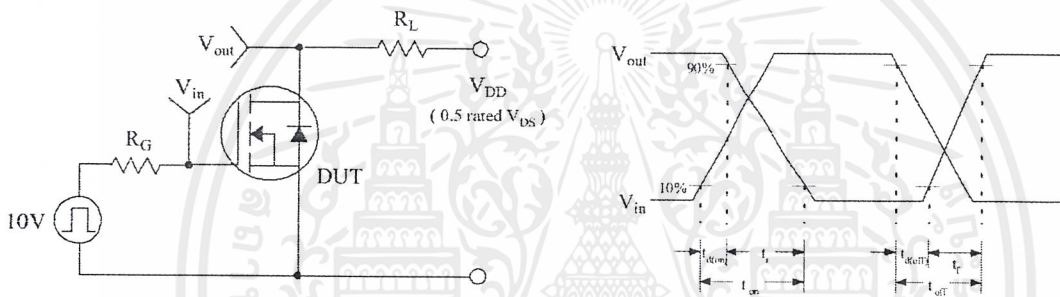
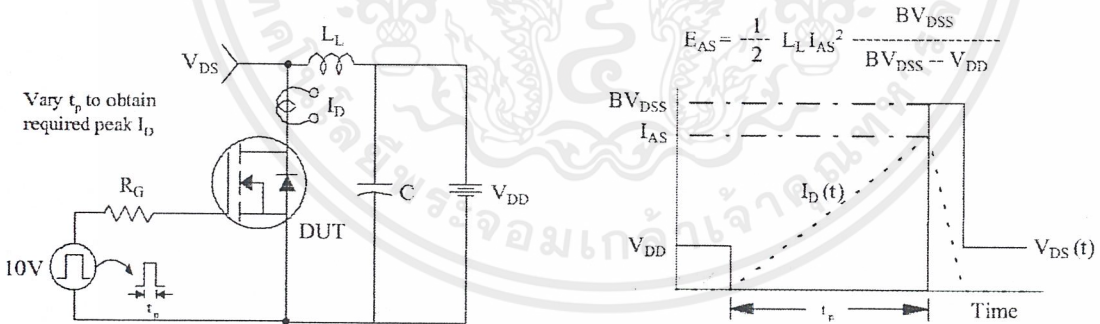


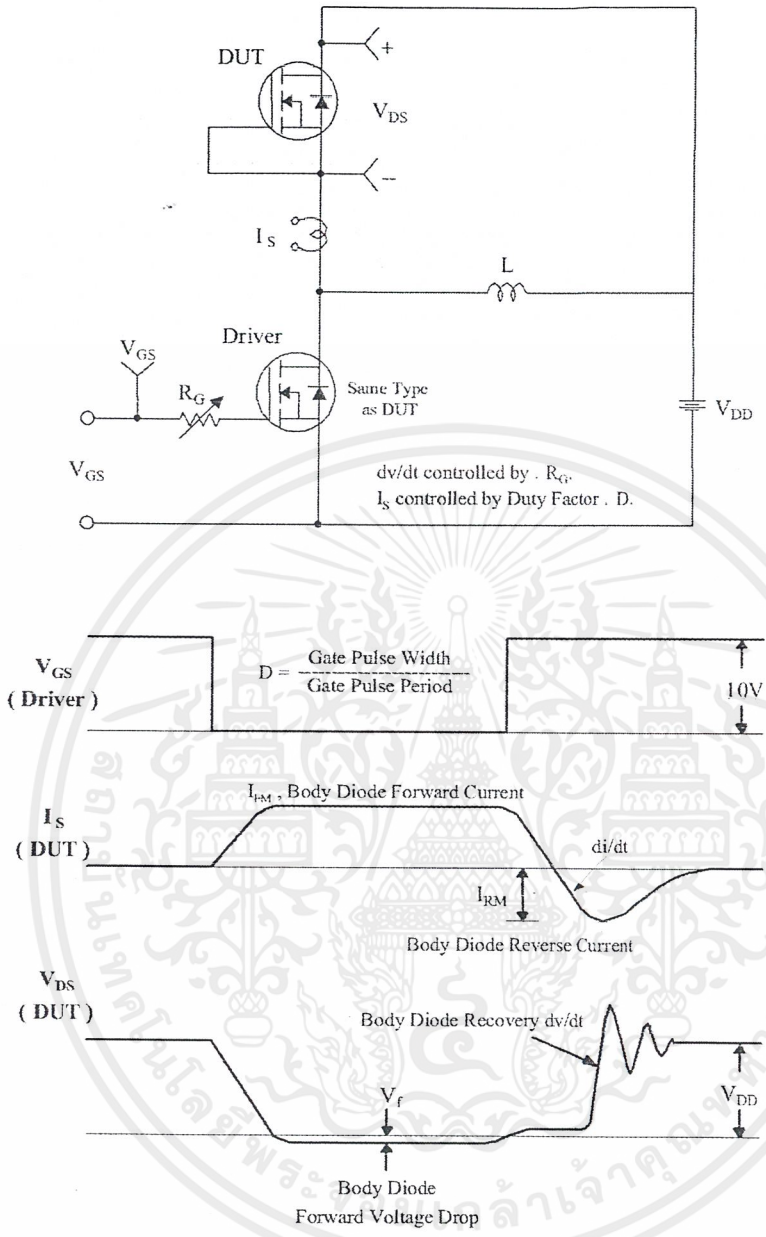
Fig 14. Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveforms



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig 15. Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit & Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

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

ACE ^x ™	ISOPLANAR™
CoolFET™	MICROWIRE™
CROSSVOLT™	POP™
E ² C MOS™	PowerTrench™
FACT™	QS™
FACT Quiet Series™	Quiet Series™
FAST [®]	SuperSOT™-3
FAST ^r ™	SuperSOT™-6
GTO™	SuperSOT™-8
HiSeC™	TinyLogic™

DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

PRODUCT STATUS DEFINITIONS**Definition of Terms**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14A, 500V, 0.400 Ohm, N-Channel Power MOSFET

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

Formerly developmental type TA17435.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP450	TO-247	IRFP450

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Features

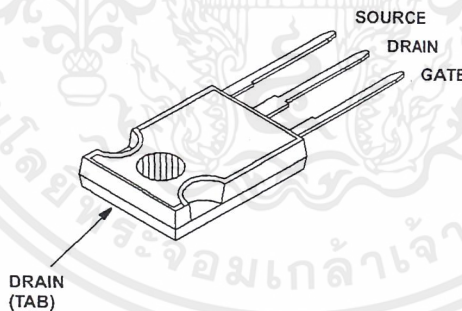
- 14A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.400\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging

JEDEC STYLE TO-247



IRFP450

80

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

	IRFP450	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	500 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	500 V
Continuous Drain Current	I_D	14 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	8.8 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	56 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	180 W
Linear Derating Factor		1.44 $\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	860 mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260 $^\circ\text{C}$

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

NOTE:

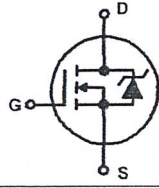
- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C .

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	500	-	-	V	
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V	
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	μA	
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	μA	
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} \geq I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$	14	-	-	A	
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA	
On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 7.9\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.3	0.4	Ω	
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50\text{V}, I_D = 7.9\text{A}$ (Figure 12)	9.3	13.8	-	S	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 250\text{V}, I_D = 14\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}, R_{GS} = 6.1\Omega, R_L = 17.4\Omega$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	16	27	ns	
Rise Time	t_r		-	45	66	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	68	100	ns	
Fall Time	t_f		-	41	60	ns	
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 14\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ $I_{G(\text{REF})} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	82	130	nC	
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	12	-	nC	
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	42	-	nC	
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 11)	-	2000	-	pF	
Output Capacitance	C_{OSS}		-	400	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF	
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Contact Screw on Header Closer to Source and Gate Pins to Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6.0mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad		-	12.5	-	nH
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.70	$^\circ\text{C}/\text{W}$	
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C}/\text{W}$	

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	14	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	56	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 14\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	1.4	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 13\text{A}$, $di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	1300	-	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 13\text{A}$, $di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	7.4	-	μC



NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 7.9\text{mH}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 14\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

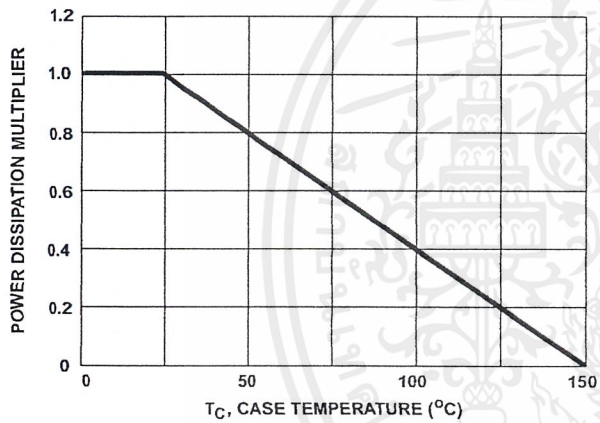


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

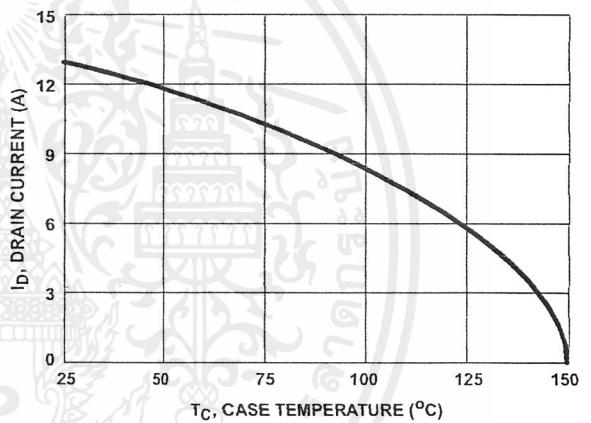


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

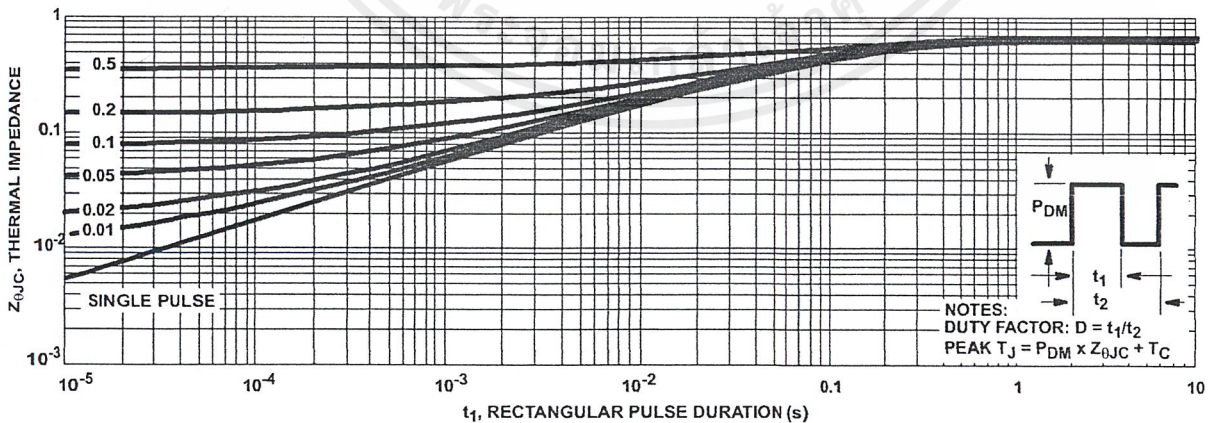


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

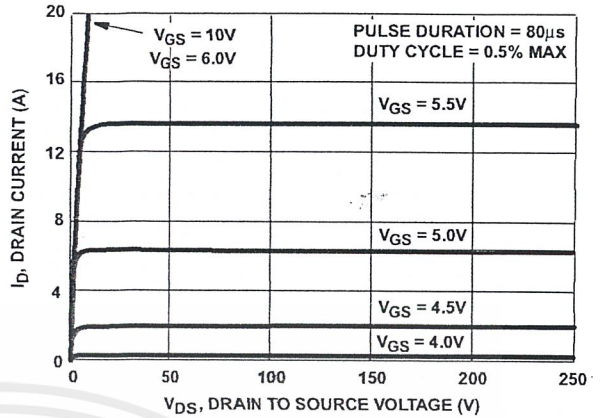
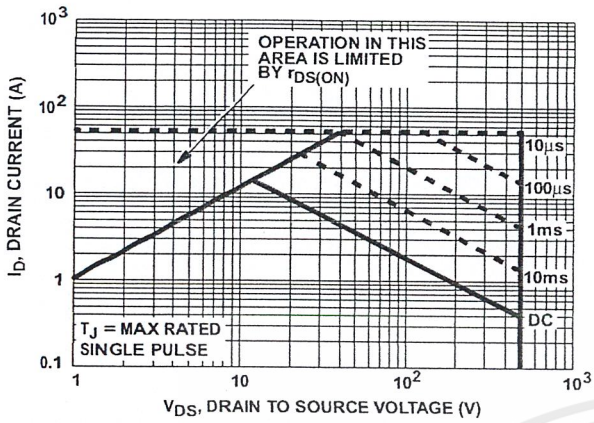


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

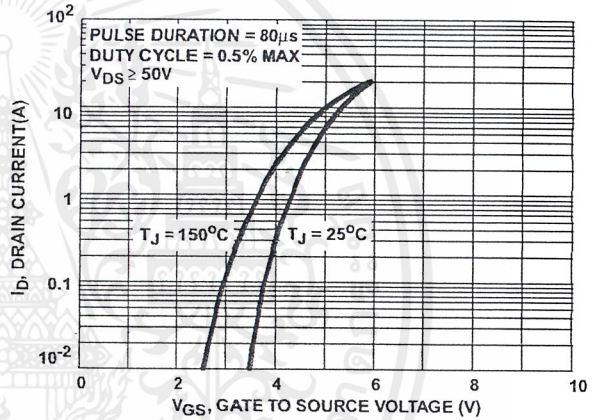
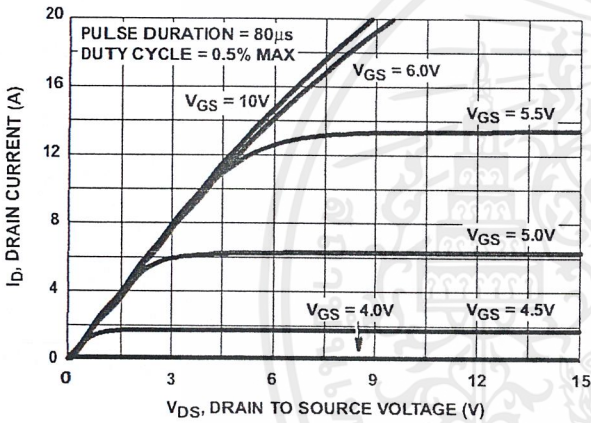
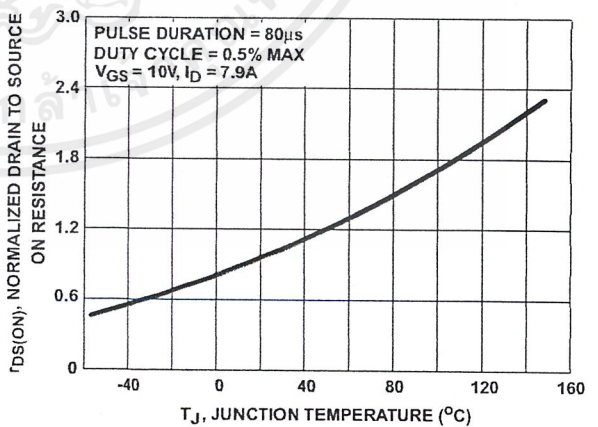
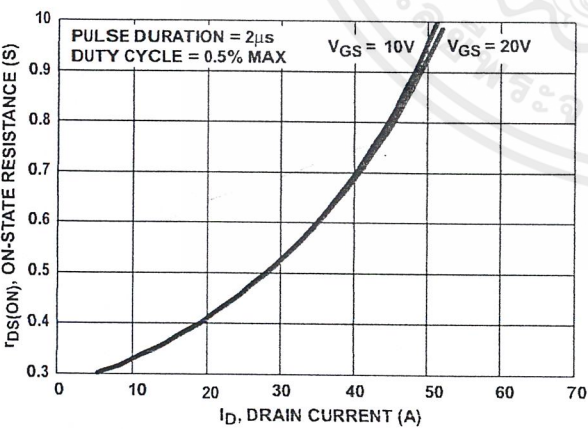


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS



NOTE: Heating effect of 2µs is minimal.

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

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

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

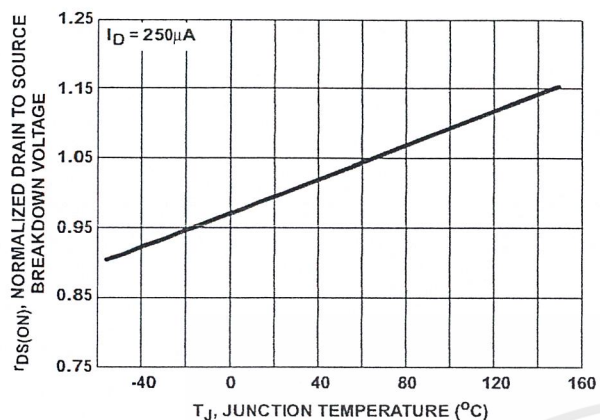


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

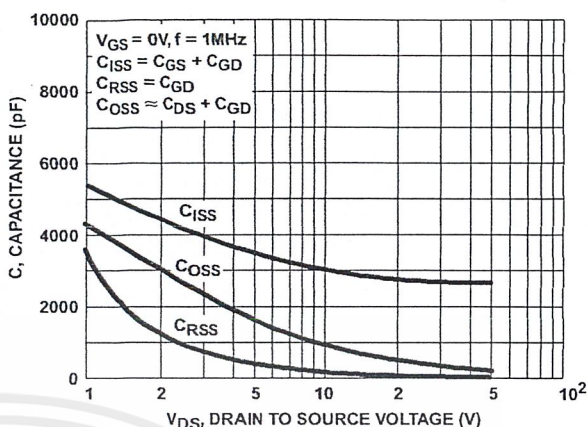


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

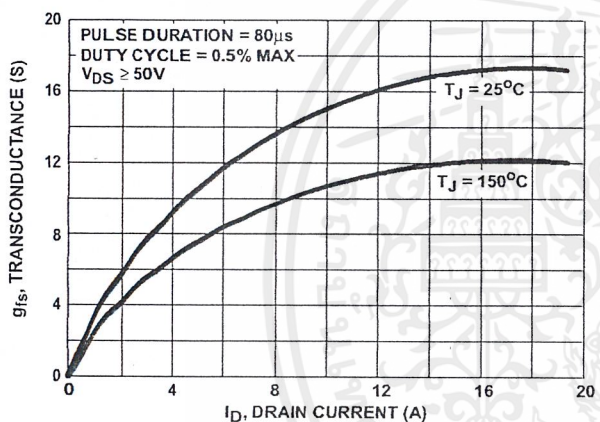


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

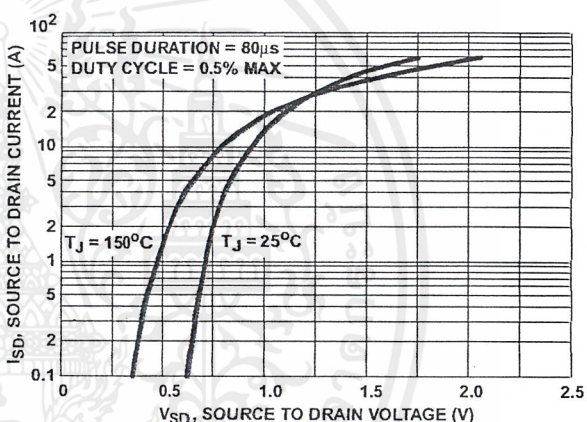


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

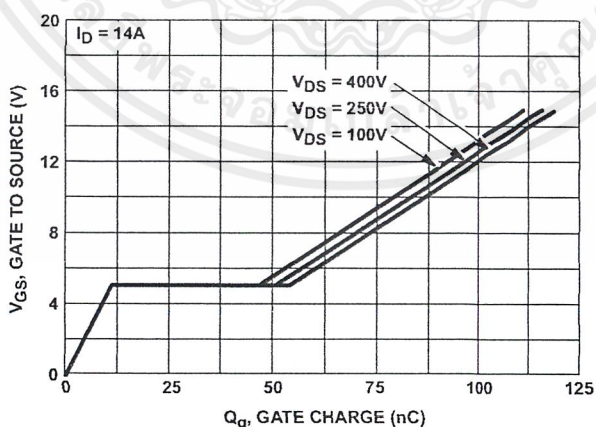


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

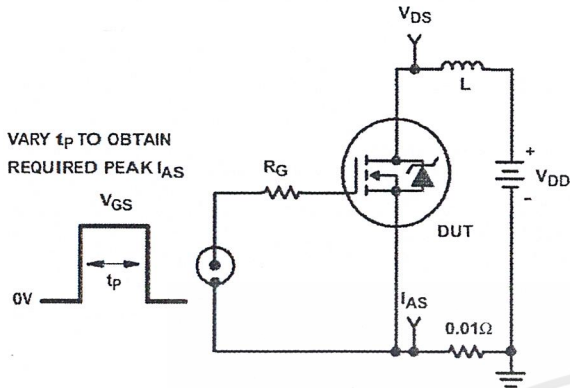


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

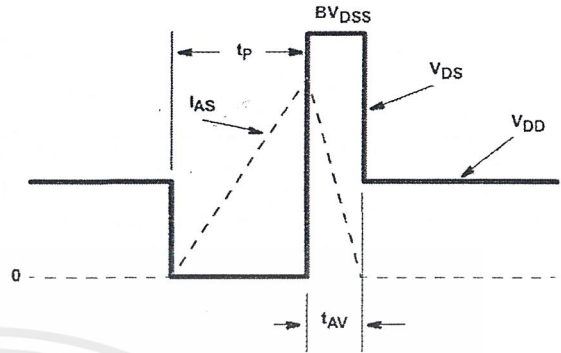


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

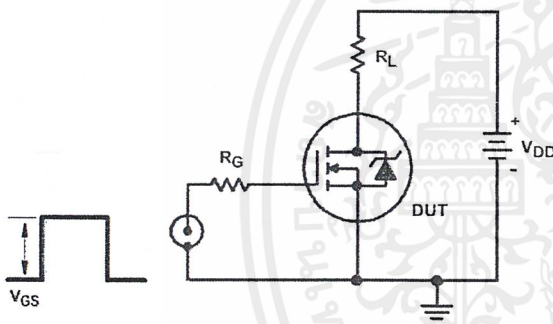


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

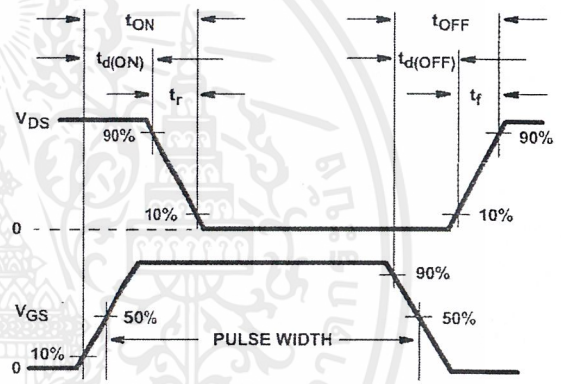


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

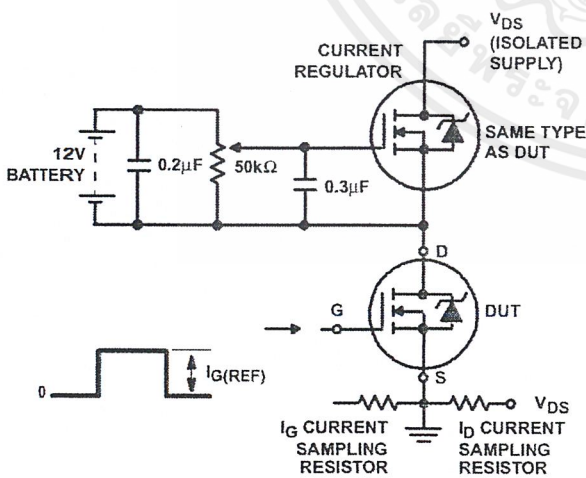


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

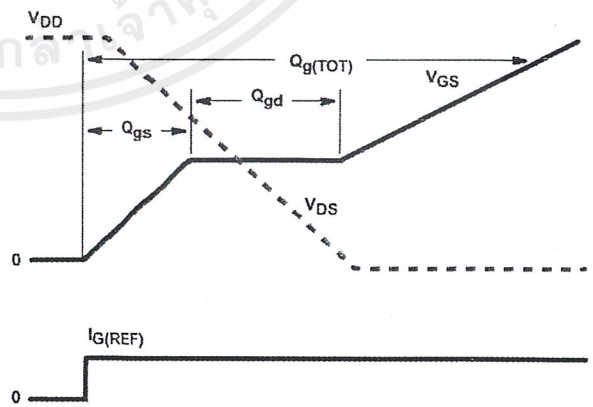


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under **ISO9000** quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA

Intersil Corporation
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204
Melbourne, FL 32902
TEL: (407) 724-7000
FAX: (407) 724-7240

EUROPE

Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA

Intersil (Taiwan) Ltd.
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road
Taipei, Taiwan
Republic of China
TEL: (886) 2 2716 9310
FAX: (886) 2 2715 3029

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

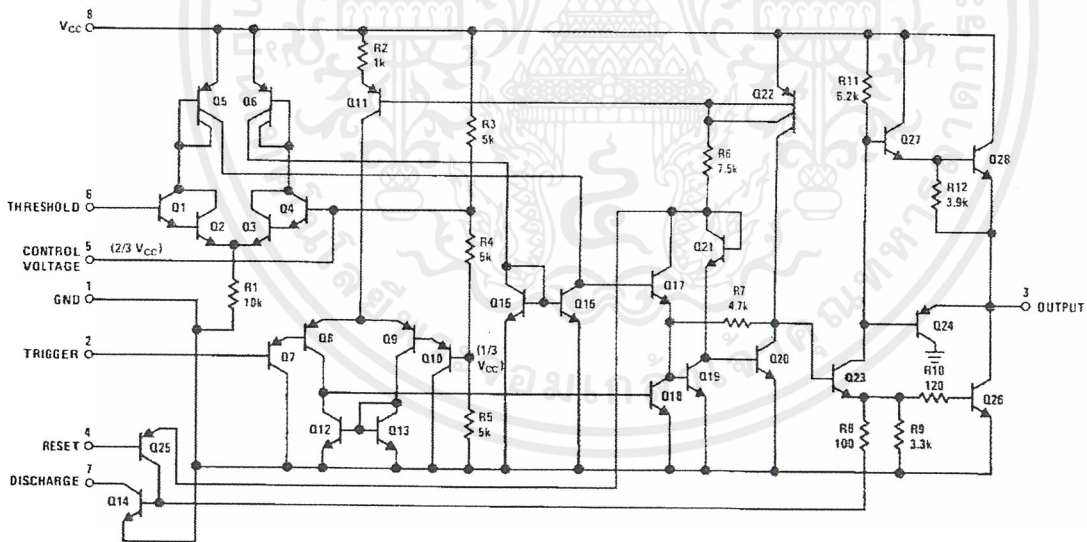
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram

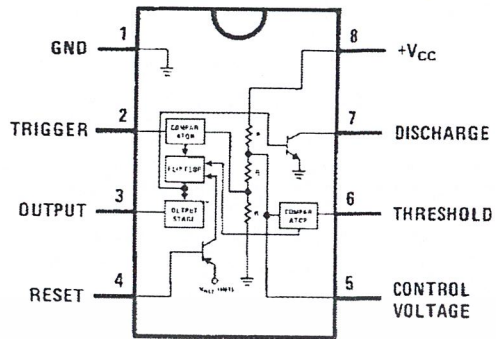


DS007851-1

Connection Diagram

87

Dual-In-Line, Small Outline
and Molded Mini Small Outline Packages



DS007851-3

Top View

Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_7 = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_7 = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$				
	$I_{SINK} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{SINK} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$				
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 8\text{mA}$		0.25	0.35	V
	$I_{SOURCE} = 5\text{mA}$				
Rise Time of Output	$I_{SOURCE} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
Fall Time of Output	$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

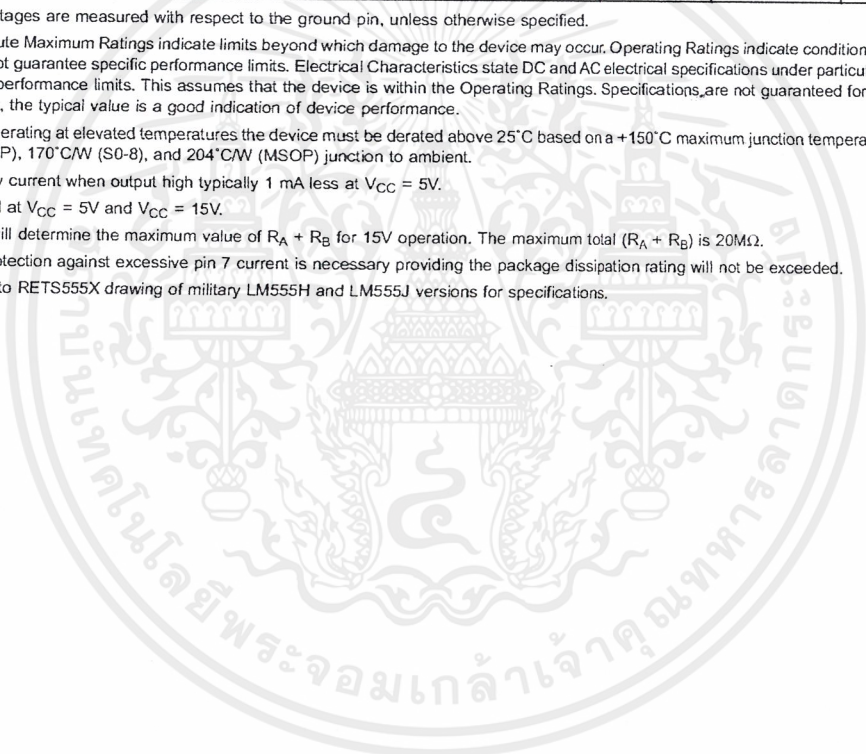
Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

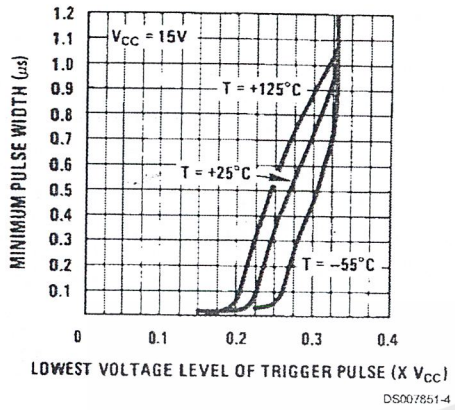
Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 8: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

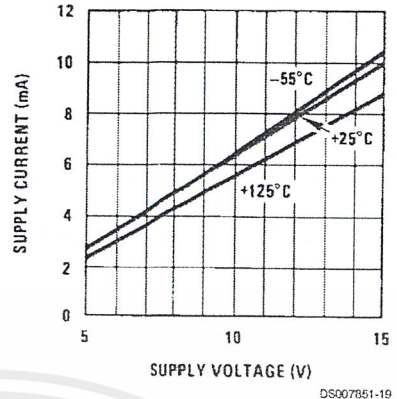


Typical Performance Characteristics

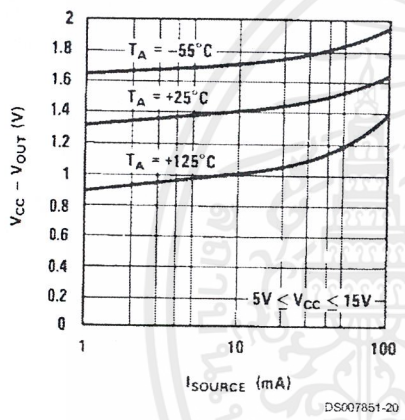
Minimum Pulse Width Required for Triggering



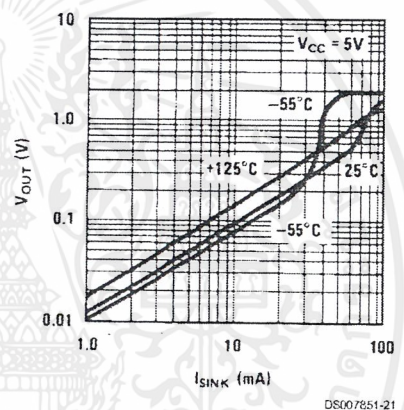
Supply Current vs. Supply Voltage



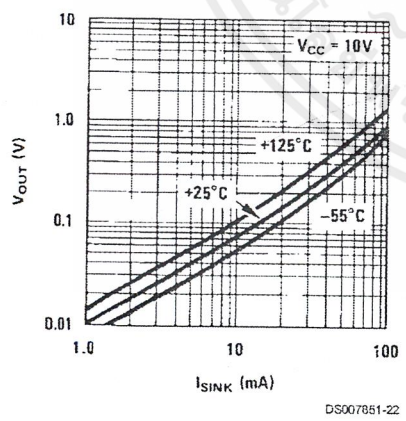
High Output Voltage vs. Output Source Current



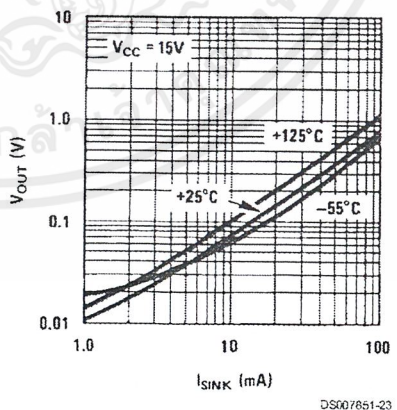
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current



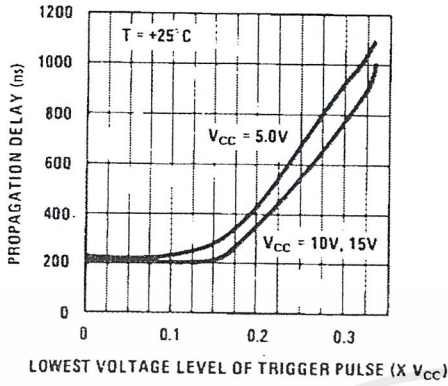
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



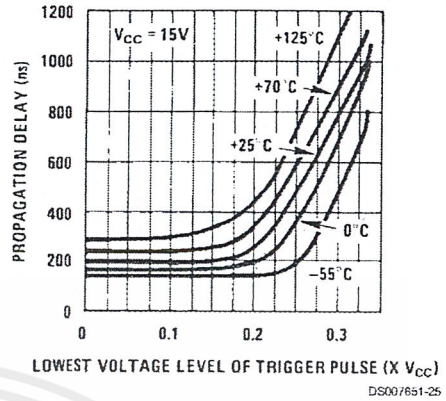
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

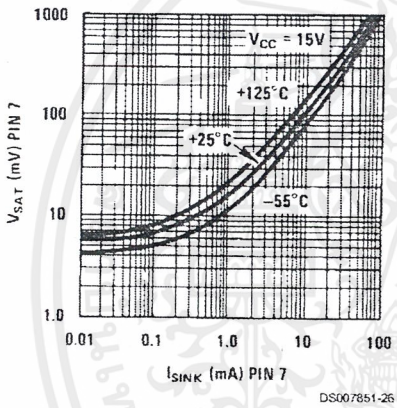
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



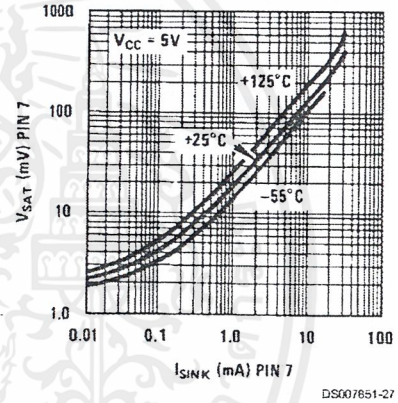
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

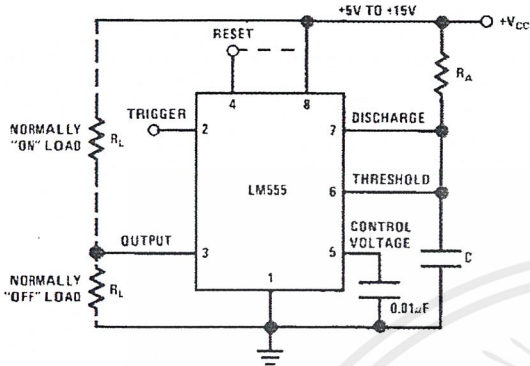
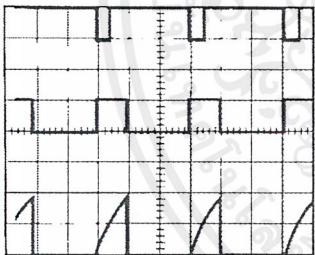


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

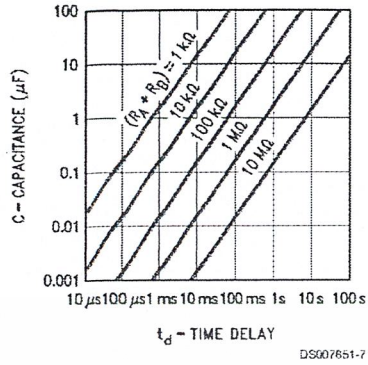


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

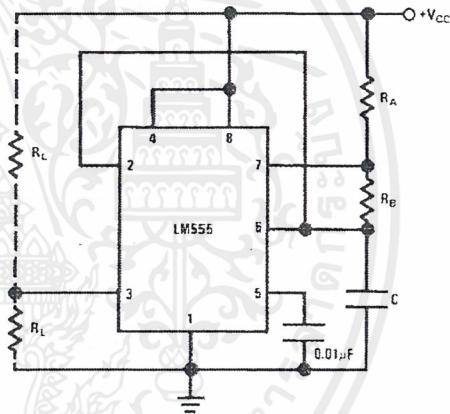


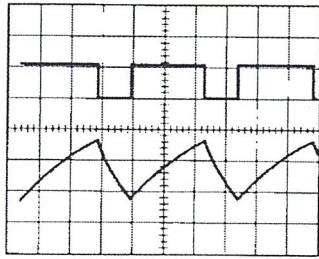
FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



DS007851-9

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μ s/DIV. Top Trace: Output 5V/Div.
 $R_A = 3.9k\Omega$ Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

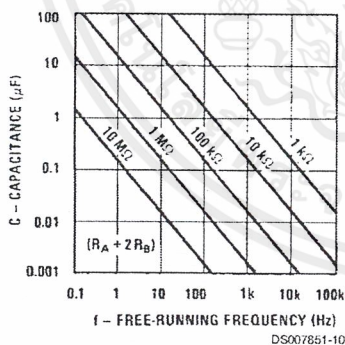
The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

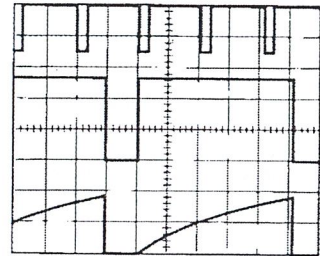


DS007851-10

FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



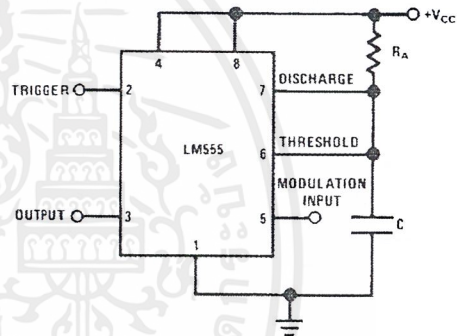
DS007851-11

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μ s/DIV. Top Trace: Input 4V/Div.
 $R_A = 9.1k\Omega$ Middle Trace: Output 2V/Div.
 $C = 0.01\mu F$ Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

FIGURE 7. Frequency Divider

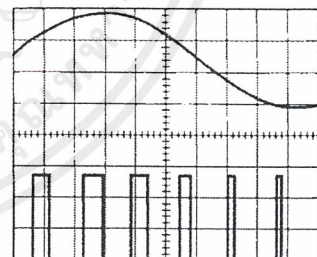
PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



DS007851-12

FIGURE 8. Pulse Width Modulator



DS007851-13

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.2 ms/DIV. Top Trace: Modulation 1V/Div.
 $R_A = 9.1k\Omega$ Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)

95

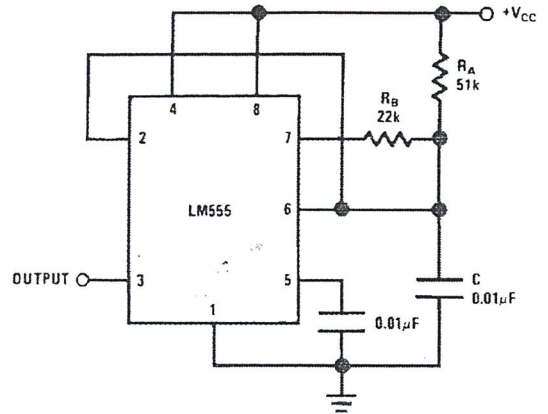
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



DS007851-18

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu\text{F}$ in parallel with $1\mu\text{F}$ electrolytic.

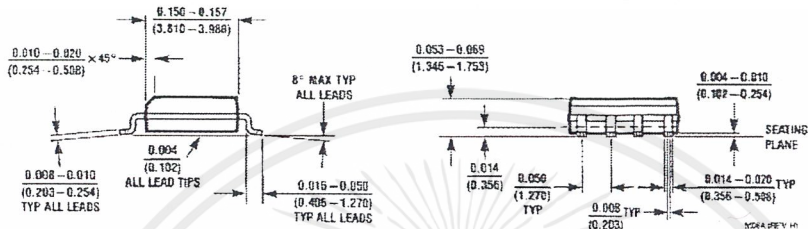
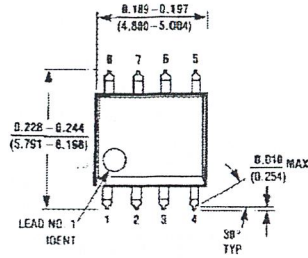
Lower comparator storage time can be as long as $10\mu\text{s}$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10\mu\text{s}$ minimum.

Delay time reset to output is $0.47\mu\text{s}$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3\mu\text{s}$, typical.

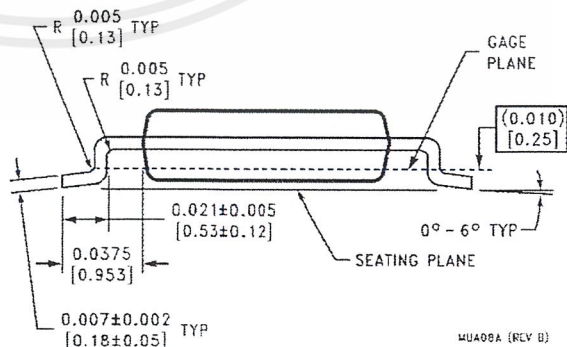
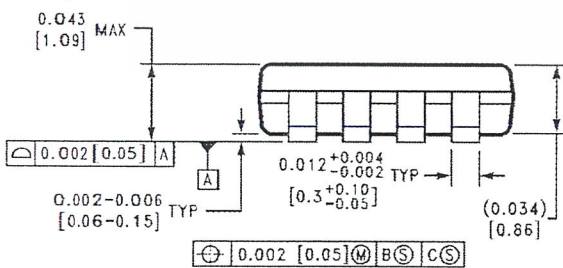
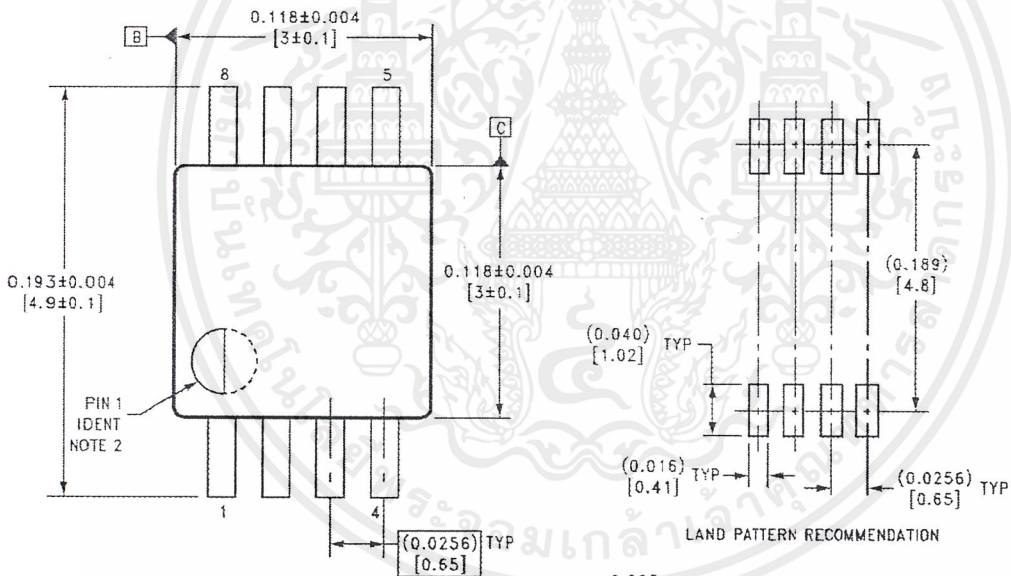
Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

LM555



**Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A**

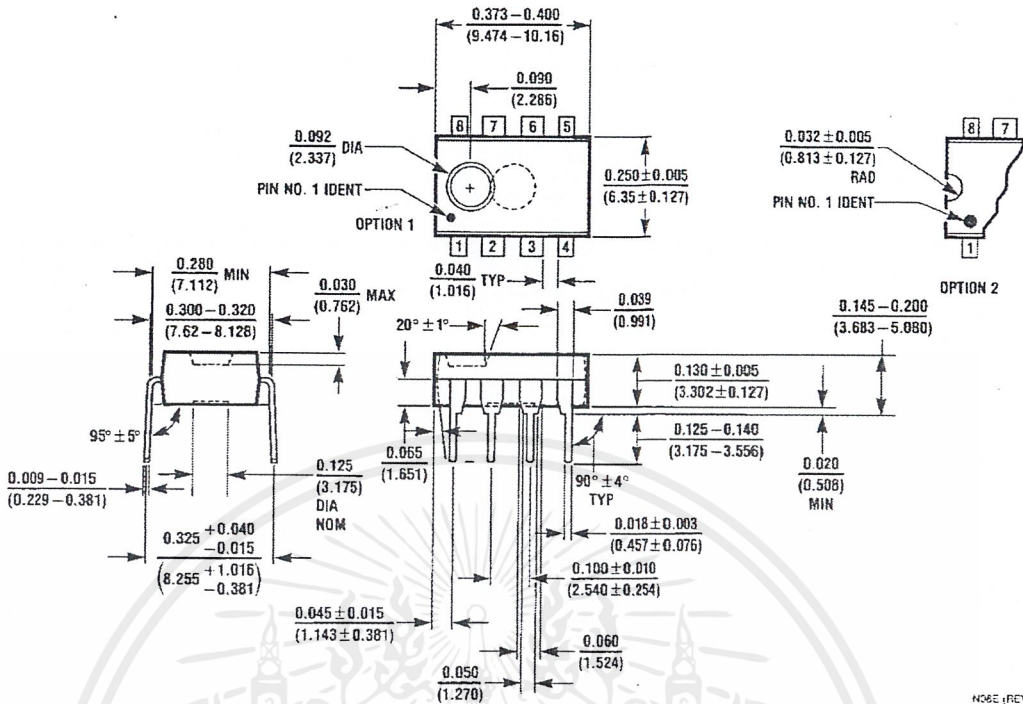


**8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A**

MUA08A (REV B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**Molded Dual-In-Line Package (N)
NS Package Number N08E**

N08E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7500
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่ช่วยเหลือเพื่อเอกสารและคำแนะนำต่างๆ และอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาโทจนสามารถสำเร็จลุล่วงดังต่อไปนี้

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและคอยเอาใจใส่ดูแลพวกเราเสมอมา

ขอบคุณพ่อแม่ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยสนับสนุนในทุกเรื่อง

อาจารย์โจ โกะ เทเรซ่า อีโต้ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณก๊าซโอโซนและอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนการเตรียมสารและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

อาจารย์ชมพู พูนุช ไชยรักษ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณโอโซนและอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยตัดหลอดแก้วให้พี่พรพิมล รัตนวิเชียร ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลประกอบการทำโครงงานตลอดมา

พี่ปริญญาโททุกคนในห้องวิจัยที่คอยให้คำแนะนำ

พี่เบิ้มและพี่แสบ ที่ช่วยหาเครื่องมือวัดมาให้

พี่โต้ง พี่เอ ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดีๆ

พี่โทมัส และพี่ตังที่ ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวงจร

ไอ้ต ที่คอยเป็นธุระเรื่องเตรียมสารเคมีให้

โอม ที่อนุเคราะห์เครื่องปริ้นเตอร์

สโตร์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพิมล รัตนวิเชียร. “เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์”. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2543
- [2] ส้ารวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2528
- [3] สุวัฒน์ คั่น . “เทคนิคและการออกแบบสวิทช์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย” บริษัท เอนเทลไทย จำกัด . พิมพ์ครั้งที่ 2 . 2538
- [4] หิรัญ ดวงอุไร และคณะ “ชุดสร้างโคโรนาสำหรับเครื่องกำเนิดโอโซน” .ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- [5] Bruno Langlias , et. Al. “Ozone in Water Treatment. 2nd Ec. Lewis Publishers. 1991
- [6] Ned Mohan , Tore M. Undeland and William P. Robbins. “Power Electronics”. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Daniel W. Hart. “Introduction to Power Electronics. Prentice – Hall International.Inc.
- [8] Haward M. Berlin. “ 555 Timer Application Sourcebook, With Equipments”, 1st Ed. 1980
- [10] Hankin Atlas Ozone Material Safety Data Sheet.Available: <http://www.hankinozone.com/msds.html>
- [11] Ozone(O₃), Human Health Symptoms and Vegetation Injury Threshold when Ozone exceeds 0.12 ppm EPA standard .Available: <http://www.eg.state.ut/egamc/ozone.html>