

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง  
แรงดันกระแสเพื่อมแรงสูงความถี่สูง

OZONE GENERATOR USING DC HIGH VOLTAGE WITH HIGH  
FREQUENCY RIPPLE VOLTAGE



โดย

นายพงษ์ศักดิ์ พงษ์ป่วน  
นางสาววราภรณ์ จันท์สุวรรณ  
นายสุรศักดิ์ สุพรรณนนท์  
นายอัคราวุฒิ สุคนธ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 42601  
วัน, เดือน, ปี- 4 ส.ย. 2545

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

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง  
แรงดันกระเพื่อมแรงสูง ความถี่สูง

**OZONE GENERATOR USING DC HIGH VOLTAGE WITH HIGH  
FREQUENCY RIPPLE VOLTAGE**



โดย

นายพงษ์ศักดิ์ พงษ์ปวน  
นางสาววราภรณ์ จันทร์สุวรรณ  
นายสุรศักดิ์ สุพรรณนนท์  
นายอัศวิน สุคนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

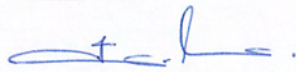
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องผลิตก๊าซ โอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แรงดันกระแสเพื่่อมแรงสูง  
ความถี่สูง

ผู้จัดทำ

1. นายพงษ์ศักดิ์ พงษ์ป่วน
2. นางสาวราภรณ์ จันทร์สุวรรณ
3. นายสุรศักดิ์ สุพรรณนันท
4. นายอัคราวุฒิ สุกนธ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องผลิตก๊าซไอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แรงดันกระเพื่อมแรงสูงความถี่สูง

นายพงษ์ศักดิ์ พงษ์ป่วน  
นางสาววรารภรณ์ จันท์สุวรรณ  
นายสุรศักดิ์ สุพรรณนนท์  
นายอัศวิน สุคนธ์  
รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกระบวนการออกแบบและพัฒนาแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิดไอโซน เนื่องจากในปัจจุบันก๊าซไอโซนเริ่มเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมในการบำบัดน้ำเสียและอากาศ แหล่งกำเนิดนี้มุ่งศึกษาตัวแปรทางไฟฟ้าอันได้แก่ ลักษณะแรงดันไฟฟ้าและคุณสมบัติของรูปสัญญาณ โดยในงานวิจัยนี้เลือกเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อมุ่งศึกษาและเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการสร้างไอโซน โดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เนื่องจากแต่เดิมการศึกษาโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงพบว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่ามาก โดยตัวแปรที่มุ่งศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ความถี่ และขนาดของแรงดันกระเพื่อมว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอโซนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยนี้ต้องการออกแบบให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูงนี้สามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 0-20 kV ปรับขนาดของแรงดันกระเพื่อมได้ 0-12kV<sub>pp</sub> และสามารถปรับความถี่ได้ 30-100 kHz

## OZONE GENERATOR USING DC HIGH VOLTAGE WITH HIGH FREQUENCY RIPPLE VOLTAGE

Pongsak Pongpuan

Waraporn Junsuwan

Surasak Supannon

Akkarawut Sukont

Asso.Prof.Siriwat Pothivejkul Advisor

Semester 2000

### Abstract

This thesis presents a design and construction of a DC high voltage-high frequency supply . The supply ,then, is used as a source for ozone generator . Ozone ,the most powerful oxidant, is used in an industrial application to improve the quality of the waste water and the air . Electrical parameters under the consideration are the electrical potential and signal characteristics.

Results obtained using such a supply proposed are compared with those from the DC high voltage supply . The DC high voltage – high frequency source implemented in this thesis , is able to supply the voltage output with can be adjusted from 0 to 20kV . The voltage ripple is 0 to 12 kV<sub>peak to peak</sub> and the ripple frequency is 30 to 100 kHz

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและแนวคิด .....	1
1.2 โครงงานวิจัยทดลอง .....	2
1.2.1 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ .....	2
1.2.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง – แรงดันกระแสเพื่อ และความถี่สูง .....	3
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	3
1.4 สรุปและวิเคราะห์ผล .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้งาน	
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโอโซนและระบบบำบัดน้ำ .....	4
2.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโอโซน .....	4
2.1.2 ผลของโอโซนต่อสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ .....	5
2.1.2.1 สิ่งมีชีวิตเล็กๆ (Micro organisms) .....	5
2.1.2.2 ตัวออกซิไดส์ (Oxidizer) .....	6
2.1.3 การใช้งานของก๊าซโอโซน .....	8
2.1.3.1 ผลิตน้ำดื่ม .....	8
2.1.3.2 ระบายน้ำ .....	8
2.1.3.3 การบำบัดน้ำเสีย .....	8
2.1.3.4 ผลิตน้ำโซดา .....	8
2.1.3.5 บ่อเลี้ยงปลา .....	9
2.1.3.6 กรองอากาศ .....	9
2.1.3.7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน .....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีของวงจรที่ใช้งาน .....	12
2.2.1 บูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost converter) .....	12
2.2.2 อินเวอร์เตอร์ ( Inverter) .....	15
2.2.3 หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback transformer) .....	17
2.2.4 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter) .....	17
2.3 วิธีการวัดปริมาณ โอ โชน .....	17
<b>บทที่ 3 วงจรพื้นฐาน</b>	
3.1 ลักษณะเบื้องต้นของชุดแหล่งกำเนิด .....	21
3.2 การออกแบบชุดแหล่งกำเนิด .....	22
3.2.1 บูสต์คอนเวอร์เตอร์ .....	22
3.2.1.1 การออกแบบวงจรบูสต์ .....	23
3.2.1.2 การทดสอบวงจรด้วยโปรแกรม Pspice .....	24
3.2.2 ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ .....	25
3.2.2.1 การออกแบบวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ .....	25
3.2.2.2 การทดสอบวงจรด้วย โปรแกรม Pspice .....	28
3.2.3 หม้อแปลงฟลายแบค .....	29
3.2.4 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ .....	29
3.2.5 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแรงสูง .....	30
<b>บทที่ 4 การทดลองชุดแหล่งกำเนิด ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง</b>	
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลแรงดันเอาต์พุตของวงจรบูสต์ .....	31
4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของแรงดันเอาต์พุต ของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆ .....	32
4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แรงดันกระแสเพื่องสูง ความถี่สูง .....	33
4.3.1 การทดลองที่ 3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแรงดันสูง .....	34
4.3.2 การทดลองที่ 3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแรงดันสูง แรงดันกระแสเพื่องสูง ความถี่สูง .....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1 การศึกษาเรื่องความดี .....	35
4.3.2.2 การศึกษาเรื่องแรงดันกระเพื่อม .....	39

บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงงานวิจัยเครื่องผลิตไอโซนโดยใช้ High voltage-High frequency Power supply .....	2
2.1 การทำงานของออกซิเจนในการออกซิไดส์ (oxidation) สารปนเปื้อน .....	6
2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์อย่างง่าย .....	16
2.3 (a) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ก่อนทำปฏิกิริยากับไอโซน (b) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์หลังทำปฏิกิริยา .....	18
3.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง ..	21
3.2 วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Boost Converter) .....	23
3.3 วงจรบูสต์ที่ทำการสร้างจริง .....	24
3.4 สัญญาณขั้วขาเกตควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรบูสต์ ที่ความถี่ 40 kHz duty cycle 50% .....	24
3.5 ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Pspice ที่ duty cycle 50% ...	25
3.6 วงจรขั้วขาเกตของอินเวอร์เตอร์ .....	26
3.7 วงจรขั้วขาเกตที่ทำการสร้างจริง .....	27
3.8 วงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์อย่างง่าย .....	27
3.9 ผลการจำลองการทำงานของวงจรขั้วขาเกตของอินเวอร์เตอร์ ที่ duty cycle 50% dead time 5% ด้วยโปรแกรม Pspice .....	28
3.10 ผลการจำลองการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ .....	28
3.11 หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback Transformer) .....	29
3.12 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) .....	30
3.13 โพรบที่ใช้ในการวัดไฟฟ้าแรงดันสูง .....	30
4.1 ผลการทำงานของวงจรบูสต์ .....	31
4.2 สัญญาณขั้วขาเกตของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ .....	32
4.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30-100 kHz ...	33
4.4 ผลการทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง .....	34
4.5 ผลการทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ความถี่ต่างๆ .....	35

4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ โอ โชนที่เกิดขึ้นกับความถี่ต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 13 kV และแรงดันกระเพื่อม 5.2 kV <sub>pp</sub> .....	37
4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ โอ โวนที่เกิดขึ้นกับความถี่ต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 20 kV และแรงดันกระเพื่อม 5.2 kV <sub>pp</sub> .....	38
4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ โอ โชนที่เกิดขึ้นที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 13 kV และ 20 kV .....	38
4.9 ผลการทดสอบแหล่งกำเนิดที่แรงดันกระเพื่อมขนาดต่างๆ .....	39
4.10 กราฟแสดงปริมาณ โอ โชนที่เกิดขึ้นที่แรงดันกระเพื่อมขนาดต่างๆ .....	41
5.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง ...	45



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลเฉพาะของโอโซน .....	4
2.2 ความสามารถในการฆ่าเชื้อ(99%)ที่เป็นอันตรายของสารประกอบคลอรีน เทียบกับโอโซนที่ pH 6-7 .....	6
2.3 ข้อมูลแสดงผลของโอโซนต่อสารต่างๆ .....	7
2.4 ข้อมูลการใช้โอโซนในลักษณะต่างๆ .....	9
2.5 ข้อมูลระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น .....	9
(ข้อมูลจากIOA:International Ozone Association)	
2.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน .....	10
4.1 ตารางแสดงผลที่แรงดันกระแสตรงขนาดต่างๆ .....	34
4.2 แสดงผลการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ .....	36
4.3 แสดงผลการทดสอบที่แรงดันกระแสเพิ่มต่างๆ .....	40

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและแนวคิด

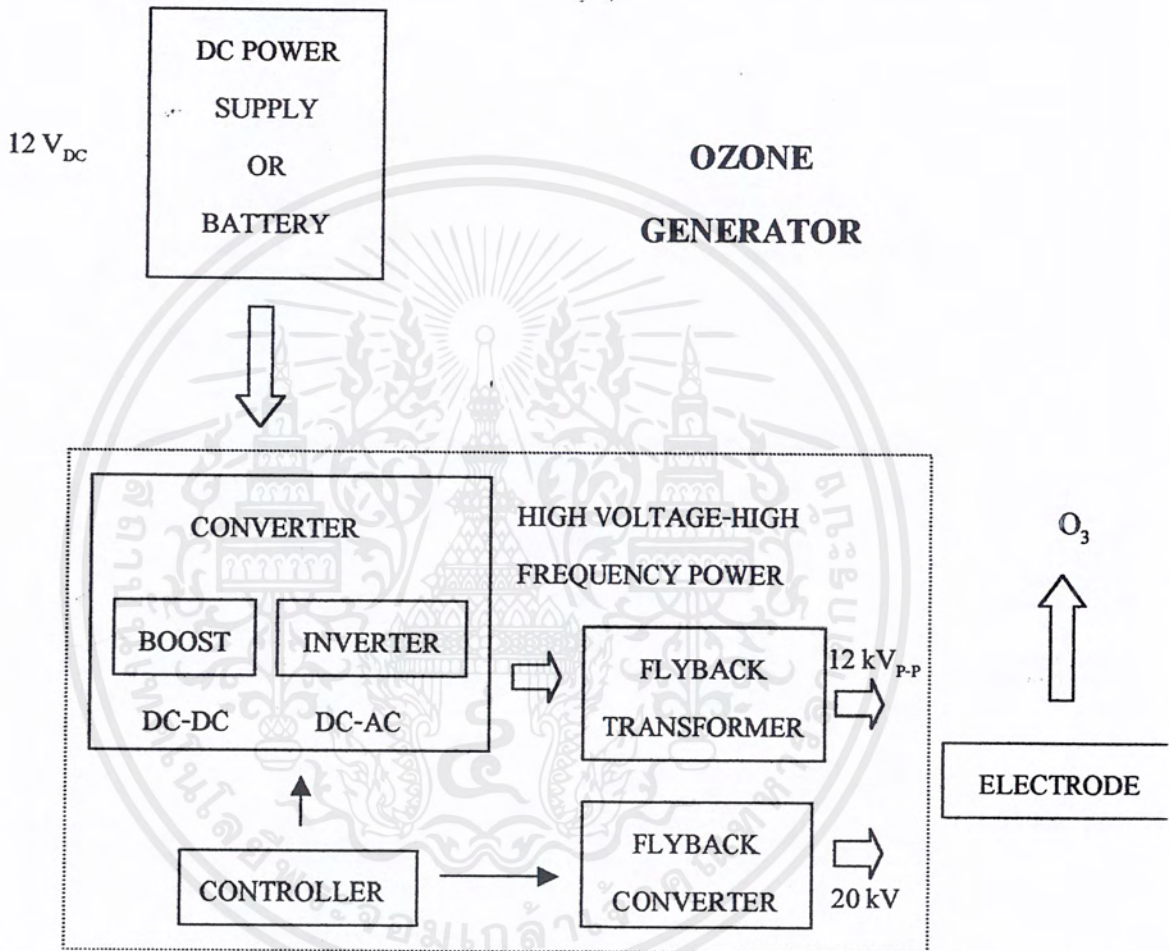
เนื่องจากในปัจจุบันนี้ โอโซนเข้ามามีบทบาทอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมในการบำบัดน้ำเสียและอากาศจึงมีแนวความคิดที่จะสร้างชุดเครื่องกำเนิดโอโซน โดยใช้ทฤษฎีทางไฟฟ้าแรงสูงเข้ามาช่วย จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีแรงดันกระเพื่อมและความถี่สูงจะช่วยให้เกิดการแตกตัวของอากาศได้ดีขึ้น ไฟฟ้าแรงดันสูงจะทำให้เกิดบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจนทำให้อากาศสามารถแตกตัวได้ ส่วนความถี่สูงจะช่วยให้ความสามารถในการรักษาสภาพของอากาศลดลง ดังนั้นในงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาเพื่อทำการสร้างชุดเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ความถี่สูงขึ้นมา ซึ่งในการศึกษาได้มีการศึกษาในเรื่องการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงด้วย แต่พบว่าจะต้องใช้ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสูงกว่ากระแสสลับมากจาก [4] จึงทำให้มีการตั้งสมมติฐานว่า ถ้าสามารถทำให้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมีรูปสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับได้ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงน่าจะดีขึ้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะสร้างชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งมีแรงดันกระเพื่อมและความถี่สูง โดยจะทำการออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งจะทำให้การศึกษาตัวแปรทางไฟฟ้าได้ 3 ตัว คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และ ความถี่ เพื่อให้แหล่งกำเนิดที่สร้างขึ้นนี้สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้มีรูปสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณของไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ดังนั้น งานวิจัยซึ่งจะนำเสนอต่อไปนี้จะมุ่งวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาและประยุกต์ใช้งานทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูงในการสร้างปรากฏการณ์โคโรนาเพื่อผลิตก๊าซโอโซนจากการแตกตัวของอากาศภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูง
2. ศึกษาและทำการออกแบบชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สามารถปรับค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง , ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ เพื่อนำไปใช้กระบวนการเกิดโอโซนในสนามไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพจากชุดเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ความถี่ต่ำ

## 1.2 โครงการวิจัยทดลอง

การออกแบบสร้างเครื่องผลิต โอโซนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ โครงสร้างของระบบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงการวิจัยเครื่องผลิตโอโซนโดยใช้ High Voltage – High Frequency Ripple Voltage Power Supply

### 1.2.1 ชุดอิเล็กโทรด ( Electrode )

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ไม่ได้ทำการออกแบบสร้างชุดอิเล็กโทรด จะใช้ชุดอิเล็กโทรดที่ได้ทำการศึกษาไว้แล้วจากโครงการชุดสร้างโคโรนาสำหรับเครื่องกำเนิด โอโซน [6]

### 1.2.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง – แรงดันกระเพื่อมและความถี่สูง

จะต้องทำการออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สามารถปรับค่าขนาดแรงดัน ค่าแรงดันกระเพื่อม และความถี่ได้ โดยต้องทำการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือ

#### 1. ส่วนที่สร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

จะเป็นส่วนที่สร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ที่สามารถปรับค่าขนาดของแรงดันได้

#### 2. ส่วนที่สร้างแรงดันกระเพื่อมและความถี่สูง

จะเป็นส่วนที่สามารถปรับค่าแรงดันกระเพื่อมและความถี่ได้ ใช้ในการศึกษาในเรื่องขนาดแรงดันกระเพื่อม และความถี่ที่มีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น

### 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- การศึกษาความเป็นไปได้ และวางแผนหาแนวทางในการออกแบบชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ที่สามารถปรับค่าขนาดแรงดัน ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ได้
- การทดสอบเงื่อนไขต่างๆ ทางไฟฟ้าเพื่อหาแนว โน้มการออกแบบ
- การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิด ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สามารถปรับค่าขนาดของแรงดัน ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ได้
- การทดสอบแหล่งกำเนิดกับชุดเครื่องผลิตโอโซน

### 1.4 สรุปและวิเคราะห์ผล

จากข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบเงื่อนไขต่างๆ แล้วจะสามารถออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูงได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องกำเนิด โอโซนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดต่อไป

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้งาน

### 2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโอโซนและระบบบำบัดน้ำ

#### 2.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโอโซน

โอโซน ( Ozone :  $O_3$  ) เป็นก๊าซที่เกิดจากก๊าซออกซิเจนแตกเป็นอะตอมของออกซิเจน แล้วอะตอมของออกซิเจนจะไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนกลายเป็นโอโซน มีจุดเดือด  $-115^{\circ}C$  จุดหลอมเหลว  $-192^{\circ}C$  เป็นก๊าซที่มีสีน้ำเงิน

- โอโซนมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก คือ โอเซอิน ( Ozein ) แปลว่ากลิ่นฉุน ( Smelling )
- โอโซนเป็นก๊าซที่ต้องใช้งานทันที จะไม่มีการเก็บไว้ใช้งาน เนื่องจากสลายตัวได้ง่าย ซึ่งปัจจัยการสลายตัวขึ้นอยู่กับ
  - 1.ความหนาแน่น ( Concentration )
  - 2.อุณหภูมิ ( Temperature )
  - 3.ความบริสุทธิ์ของอากาศ ( Purity of air ) จากฝุ่นและความชื้น ( Humidity )
- โอโซนเป็นหนึ่งในสารที่มีความสามารถในการออกซิไดส์สูงสุด จะเป็นรองเพียง  $F_2$  และอนุมูลอิสระบางตัว โอโซนมีค่าความสามารถในการออกซิไดส์ ( Oxidation potential )  $E_0 = 2.7 V$  โดย  $F_2$  มีค่า  $E_0 = 3.3 V$  ,  $HCL = 1.49 V$  ,  $Cl_2 = 1.36 V$
- โอโซนมีความสามารถในการละลายน้ำดีกว่าออกซิเจน 20 เท่า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเฉพาะของโอโซนจาก [2]

Section	Detail	
1. Product Identification	Product Name	Ozone
	Synonyms	Activated Oxygen , Triatomic Oxygen
	Chemical Family	Oxidizer
	Molecular Formula	$O_3$
	Molecular Weight	48
2. Hazardous Ingredients	Component	Ozone Gas
	Concentration	0-4% by weight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>3.Health Hazard Data</b>	Permissible Exposure	0.1 ppm. ( in air )
	Symptoms	Irritation for sensitive tissues as eyes, nose and throat, Pungent smell, notice at 0.04 ppm. High concentration of OZONE destroyed lung.
	Toxicological Property	High concentration of OZONE endanger human respiratory organs. Effect on chromosomes structure. Destroyed the exposed tissues

- โอโซนสามารถเกิดได้จาก

1. จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ( Ultraviolet ) โอโซนจะพบอยู่รอบชั้นบรรยากาศห่างจากพื้นโลก 15 -30 km เกิดจากการสลายตัวของออกซิเจนโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. จากปฏิกิริยาเคมี เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นสารประกอบ
3. จากสนามไฟฟ้า ทั้งจากธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า และจากเครื่องกำเนิดโอโซน

- ประวัติความเป็นมาและการใช้งานของโอโซน

ปี 1840 Schonbein ค้นพบก๊าซและเรียกว่าโอโซน

ปี 1857 Werner von Siemens สร้างเครื่องกำเนิด โอโซนเครื่องแรกขึ้น

ปี 1893 โรงงานผลิตน้ำดื่มที่ใช้โอโซนแห่งแรกถูกสร้างขึ้นที่ ออคซอร์น

( Oudshorn ) , เนเธอร์แลนด์

## 2.1.2 ผลของโอโซนต่อสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ [6]

### 2.1.2.1 สิ่งมีชีวิตเล็กๆ (Micro organism)

โอโซนสามารถฆ่าสิ่งมีชีวิตเล็กๆและยับยั้งไวรัส ซึ่งคลอรีนไม่สามารถฆ่าได้หรือต้องใช้สารในปริมาณมาก ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการฆ่าเชื้อ (99 %) ที่เป็นอันตรายของสารประกอบคลอรีน เทียบกับ โอโซน ที่ pH 6-7 [3]

Microorganism	Disinfectant ( mg*min/L )			
	Free Chlorine	Performed Chloramine	Chlorine Dioxide	Ozone
<i>E.Coli</i>	0.034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
<i>Polio I</i>	1.1-2.5	770-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
<i>Rotavirus</i>	0.01-0.05	3810-6480	0.2-2.1	0.006-0.06
<i>Pliage f2</i>	0.08-0.18	-	-	-
<i>G. Lanibia cysts</i>	47-150	-	-	-
<i>G. Muris cysts</i>	30-630	1400	7.2-18.5	1.8-2.0

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับ : อมีบา (Amoeba) , คอคคัส (Cocus) , ฟังกัซ (Fungus) และสาหร่าย (Algea)

### 2.1.2.2 ตัวออกซิไดส์ (Oxidizer) [3]

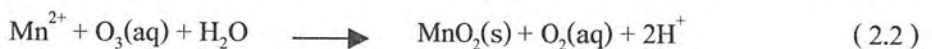
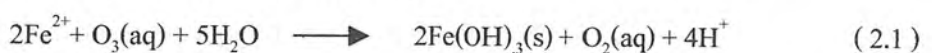
หน้าที่หลักที่สำคัญและเป็นลักษณะเด่นของ โอโซนคือทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของโอโซนในการออกซิไดส์ (Oxidation) สารปนเปื้อน

#### 1) เหล็กและแมงกานีส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือการทำให้ไอออนของเหล็กและแมงกานีสกลายเป็นของแข็ง และตกตะกอน ดังแสดงในสมการที่ 2.1-2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณโอโซนที่ใช้คือ 0.43 mgO<sub>3</sub>/mgFe และ 0.88 mgO<sub>3</sub>/mgMn แต่ถ้าเป็นสารเคมีชนิดอื่น ๆ เช่นคลอรีน (ClO<sub>2</sub>) ต้องใช้ 1.20 mg/mgFe และ 2.45 mg/mgMn เป็นต้น

2) สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและรส (Taste and odor control)

กลิ่นและรสในน้ำเกิดเนื่องจากสารประกอบอินทรีย์และการเผาผลาญอาหารของสารอินทรีย์เป็นต้น ถ้าสารประกอบเหล่านี้ไม่เป็นสารประกอบอิมคว โอโซนจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารเหล่านี้ได้อย่างดี

3) กำจัดสี (Color Abatement)

สีที่พบในน้ำแบ่งออกเป็น สีจริง (True color) กับสีปรากฏ (Apparent color) ซึ่งแล้วแต่สารประกอบที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงออกมาสู่สายตามนุษย์ โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเหล่านี้และกำจัดให้หมดไปได้

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลแสดงผลของโอโซนต่อสารต่างๆ [6]

Tested Substance	Application Of mg/L	Before O <sub>3</sub> Treatment	After O <sub>3</sub> treatment	O <sub>3</sub> destroyed
Methanol	2,000	175	14	92%
Ethanol	1,000	620	56	91%
Isoamyl acetate	1,000	200	16	92%
Acetic ether	1,000	90	78	of no consequence
Acetic acid	2,000	2,000	1,800	Do
Sugar	2,000	2,000	1,900	Negligible
Matter colouring	Black	Black	Light yellow	Brightening
Hydrazine	100	300	4	Completely
Carbon bisulphide	100	Odour	No odour	Destroyed
H <sub>2</sub> S	10	10	0	Transf. to SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>
Phenole	100	900	11	Destroyed
Gasoline	1,000	900	130	Destroyed
Chloroform	500	490	400	Hardly destroyed
Xylene	500	Do	Do	Do
Toluole	500	Do	do	Do

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.3 การใช้งานก๊าซโอโซน ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่การใช้งานในระบบใหญ่

### 2.1.3.1 ผลิตน้ำดื่ม

จุดมุ่งหมายเพื่อ :

- ให้โลหะหนักตกตะกอน
- กำจัดสี , กลิ่น , รส
- กำจัดสารประกอบอินทรีย์
- จับตัวให้สารต่างๆให้เป็นคอลลอยด์

### 2.1.3.2 ระบายน้ำ

จุดมุ่งหมายเพื่อ :

- กำจัดกลิ่นของระบายน้ำในร่ม
- ยับยั้งการเติบโตของไวรัส
- สลายหรือทำให้สารอินทรีย์ในน้ำจับตัวกัน
- สลายยูเรียเพื่อให้อยู่ในรูปสารประกอบของคลอรีนกับไนโตรเจน
- ทำให้น้ำใสขึ้น
- ก่อให้เกิดการระคายเคืองกับผิวหนังและเนื้อเยื่อต่างๆน้อย ถ้าใช้ปริมาณที่เหมาะสม

### 2.1.3.3 การบำบัดน้ำเสีย

จุดมุ่งหมายเพื่อ :

- กำจัดกลิ่น , สี และความเป็นพิษ
- กำจัดสารประกอบอินทรีย์
- เปลี่ยนรูปของไอออนไนตราย (Nitride,  $NO_2$ ) และซัลเฟต (Sulfide,  $SO_2$ ) ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษ
- ลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ (Cyanide)

### 2.1.3.4 ผลิตน้ำโซดา

จุดมุ่งหมายเพื่อ :

- กำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยใช้ชั้นกรองคาร์บอนหรือชั้นกรองสองชั้น
- กำจัดเชื้อโรคโดยไม่มีสารตกค้าง

### 2.1.3.5 บ่อเลี้ยงปลา

- กำจัดเชื้อโรค , สารประกอบอินทรีย์ และเพิ่มออกซิเจน โดยปราศจากสารตกค้าง

### 2.1.3.6 กรองอากาศ

- กำจัดกลิ่นและกำจัดเชื้อโรคจากอากาศ ในสถานที่เช่น โรงบำบัดน้ำเสีย , โรงฟอกหนัง หรือ โรงฆ่าสัตว์

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลปริมาณการใช้โอโซนในลักษณะต่างๆ [6]

ลักษณะและพื้นที่ของการใช้งาน	ปริมาณที่ใช้(มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)
1. ในรถยนต์	10-15
2. ในห้อง 10 ตารางเมตร	20
20 "	40
33 "	70
55 "	100
3. ทำน้ำดื่ม 10-30 ลิตร	100-125
4. – ฆ่าเชื้อในผักผลไม้ เนื้อสัตว์ - ทำความสะอาดภาชนะ - ซักล้างสารที่ตกค้างบนเสื้อผ้า - เสริมความงาม	100
5. ในอ่างอาบน้ำ 150 ลิตร	200
6. ฆ่าเชื้อในน้ำ ทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและกลิ่นอันไม่พึงประสงค์	250

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น(ข้อมูลจากIOA : international Ozone Association)

Ozone Level ( ppm.partpermillion )	Effect
0.001-0.125	ระดับที่พบในบรรยากาศ ค่านี้แปรผันตามตำแหน่งสภาพบรรยากาศแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.005	ระดับสูงสุดที่ผลิตจาก Electronic air cleaner และ อุปกรณ์ในบ้าน
0.1	ระดับสูงสุดที่ยอมรับให้มีในบรรยากาศ บริเวณอุตสาหกรรม และที่สาธารณะ
0.3	เริ่มปรากฏผลต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสโดยตรง ในพืชเกิดจุดสีดำ สีซีด มีใบตาย ในสัตว์เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ
0.5	เกิดอาการปวดศีรษะ ปวดถูกทำลาย ดิเคเซียทางเดินหายใจ
1.00-2.00	ในการทดสอบ การสูดดมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเกิดอาการป่วย คือ ปวดศีรษะ ปวดหน้าอก และทางเดินหายใจแห้งผาก
1.4-5.6	การทดสอบกับต้นถั่วพบว่าใน 70 วินาที ใบถั่วเกิดอาการป่วยอย่างรวดเร็ว
25 up	เป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิต ในการทดสอบกับสัตว์พบอาการป่วย ซึ่งน่าจะเป็นขั้นสุดท้ายแล้ว

สารเคมีหลายชนิดมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค โดยเฉพาะสารประกอบคลอรีน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ โอโซนแล้วจะเห็นข้อแตกต่างทางความสามารถที่ชัดเจนดังแสดงในตารางที่ 2.3

#### 2.1.3.7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ โอโซนกับคลอรีน

ตัวอย่างระบบบำบัดที่มีปัญหาจากสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบันที่ชัดเจนคือ สระว่ายน้ำ เนื่องจากการสัมผัสโดยตรงของน้ำกับร่างกายของผู้ใช้บริการทำให้ความรุนแรงของการทำปฏิกิริยาของคลอรีนส่งผลกระทบต่อร่างกายของผู้ใช้สระโดยตรง โอโซนมีการทำปฏิกิริยาที่รุนแรงกว่าคลอรีน แต่มีช่วงเวลาสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาเนื่องจาก โอโซนสามารถสลายตัวง่าย ดังนั้นต่างประเทศจึงมีการนำ โอโซนมาใช้ในงานในสระว่ายน้ำอย่างกว้างขวางเนื่องจากไม่มีโทษต่อผู้ใช้และยังมีประโยชน์ต่อการรักษาโรคผิวหนังบางชนิดด้วย แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้การตรวจสอบและดูแลอย่างดี เนื่องจากในสระว่ายน้ำต้องไม่มีโอโซนหลงเหลืออยู่แล้ว นอกจากนี้ อันตรายที่พบจากการใช้งานคลอรีนในระบบที่น้ำสัมผัส โดยตรงกับเนื้อเยื่อที่อ่อนบางของมนุษย์ โดยเฉพาะสาร ไครเดน (chlodane) ซึ่งเป็นสารจำพวก THM : Trihalomethane ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโทษต่อร่างกายมนุษย์

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน [4]

Chlorine	Ozone
1. มีความเป็นพิษสูง	1. ระดับความเป็นพิษอยู่ที่ 1 mg/l (ระบุโดย EPA สหรัฐอเมริกา) มีกลิ่นฉุนเริ่มสังเกตได้ที่ระดับ 0.01 mg/l ที่ระดับสูงกว่านี้มีการระคายเคืองสูงมาก
2. คลอรีนจะถูกเก็บที่ภาชนะบรรจุความดันสูงและสามารถเป็นอันตรายได้เมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น	2. โอโซนต้องทำการผลิต ณ ตำแหน่งที่ใช้งาน ไม่สามารถเก็บได้
3. คลอรีนเมื่อผสมกับยูรีนและเหงื่อจะทำให้เกิดสารประกอบโครเดน ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองตาและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต	3. โอโซนมีวงจรชีวิตสั้น หลังทำปฏิกิริยาสลายตัวเป็นออกซิเจน
4. ราคาคลอรีนสูง	4. ราคาโอโซนต่ำลงเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและการใช้พลังงานน้อยลงในการผลิตในปัจจุบัน
5. คลอรีนมีค่าความรุนแรงในการทำปฏิกิริยา (Oxidation potential) 1.36 V	5. โอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่ทำปฏิกิริยาสูงสุดเนื่องจากค่า Oxidation potential 2.07 V
6. คลอรีนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้	6. โอโซนที่ค่าความเข้มข้นเดียวกับคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ดีกว่าคลอรีน 600-3000 เท่า
7. คลอรีนมีกลิ่นรุนแรงตกค้างหลังการบำบัด	7. โอโซนไม่มีกลิ่นตกค้าง แต่สามารถกำจัดกลิ่นของยูรีน, ควัน, อาหาร และสีได้
8. คลอรีนทำงานกับตะไคร่น้ำได้ดีผลมาก กำจัดตะไคร่น้ำได้ดี	8. โอโซนพบการเติบโตของตะไคร่น้ำ ต้องใช้คลอรีนช่วยโดยการทำ Shock treatment
9. คลอรีนทำงานได้ดีต้องควบคุม pH ให้อยู่ในย่าน 7.0 - 7.4	9. โอโซนไม่ต้องการการควบคุมค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีที่ใช้งาน

### 2.2.1 บูลต์คอนเวอเตอร์ (Boost Converter) [1]

วงจรบูลต์คอนเวอเตอร์แสดงดังในรูปที่ 2.1 วงจรนี้เป็นวงจรที่สวิตช์เปิดและปิดเป็นช่วงคาบเวลา เราเรียกวงจรนี้ว่าบูลต์คอนเวอเตอร์เพราะ โวลต์เดจทางด้านเอาต์พุทมีขนาดมากกว่าทางด้านอินพุท

การวิเคราะห์วงจรทำโดยทำการทดสอบ  $v_L$  และ  $i_L$  สำหรับคอนสวิตช์เปิดและสวิตช์ปิด

#### การวิเคราะห์ในสภาวะที่สวิตช์ปิด

เมื่อสวิตช์ปิด ไดโอดจะถูกริเวอร์สไบอัสจากกฎของเคอร์ชอฟ เราจะได้ว่า

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{หรือ} \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.1)$$

เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $i_L$  มีค่าคงที่ ดังนั้นในขณะสวิตช์ปิด กระแสจะเพิ่มขึ้นแบบลิเนียร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1a การเปลี่ยนแปลงของกระแส  $i_L$  สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

จะได้ว่า

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.2)$$

#### การวิเคราะห์ในสภาวะที่สวิตช์เปิด

เมื่อสวิตช์เปิด กระแส  $i_L$  ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันที ดังนั้นไดโอดจะต้องอยู่ในสภาวะฟอร์เวิร์สไบอัสเพื่อให้  $i_L$  ไหลผ่าน สมมติว่า  $V_o$  มีค่าคงที่  $V_L$  จะมีค่าเท่ากับ

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $i_L$  มีค่าคงที่ ดังนั้นในขณะสวิตช์เปิดกระแสจะเพิ่มขึ้นแบบลิเนียร์ การเปลี่ยนแปลงของกระแส  $i_L$  สามารถคำนวณได้จาก

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

จะได้ว่า

$$(\Delta i_L)_{\text{open}} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.3)$$

สำหรับการทำงานในสภาวะอยู่ตัว (Stead-State) ผลการเปลี่ยนแปลงกระแส  $i_L$  ต้องเป็นศูนย์ ดังนั้น

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} + (\Delta i_L)_{\text{open}} = 0$$

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

จะได้ว่า

$$V_s = (D + 1 - D)V_s - V_o(1-D) = 0$$

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

(2.4)

ดังนั้น ค่า  $V_L$  เฉลี่ยจะต้องเป็นศูนย์สำหรับการทำงานเป็นคาบ ค่า  $V_L$  เฉลี่ยในหนึ่งคาบการทำงานของสวิตช์ จะมีค่า

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

สามารถหาค่าของ  $V_L$  เช่นเดียวกับสมการ (2.4)

สมการ (2.4) แสดงว่า ถ้าสวิตช์เปิดตลอดเวลาและ  $D$  เป็นศูนย์ เอาท์พุทจะมีขนาดเท่ากับอินพุท เมื่อ  $D$  มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวหารในสมการ (2.4) จะมีค่าน้อยลง และเอาท์พุทก็จะมีขนาดใหญ่กว่าอินพุท (บูสต์คอนเวอร์เตอร์จะสร้างเอาท์พุท โวลต์เตจที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ โวลต์เตจทางอินพุท) อย่างไรก็ตาม เอาท์พุทจะไม่น้อยกว่าอินพุทดังเช่นในกรณีของบัคคอนเวอร์เตอร์

ถ้าค่า  $D$  เข้าใกล้ 1 เอาท์พุทจะเข้าใกล้อนันต์ (Infinity) สมการ (2.4) เป็นสมการสำหรับในอุดมคติ รูปที่ 2.2 แสดงกราฟของโวลต์เตจและกระแสของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กระแส  $i_L$  เฉลี่ยหาได้โดยให้พลังงานที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิดมีค่าเท่ากับพลังงานที่โหลด  $R$  ต้องการ พลังงานทางเอาท์พุทมีค่า

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

และพลังงานทางอินพุต  $V_s I_s = V_L I_L$  ให้พลังงานทางอินพุตเท่ากับทางเอาต์พุต และใช้สมการที่ (2.4)

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

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.5)$$

กระแส  $i_{L,max}$  และ  $i_{L,min}$  สามารถหาได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าการเปลี่ยนแปลงของ  $i_L$  จากสมการ(2.2)

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.6)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.7)$$

สมการ (2.4) พัฒนามาจากสมมติฐานที่ว่ากระแส  $i_L$  คงที่ เปลี่ยนแปลงทันทีไม่ได้ จึงเสมือนเป็นบวกตลอดเวลา สภาวะที่จำเป็นสำหรับกระแส  $i_L$  ที่ต่อเนื่องคือ  $I_{min}$  ต้องเป็นบวก ดังนั้น ขอบเขตระหว่าง  $i_L$  ที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง พิจารณาที่

$$I_{min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L}$$

หรือ

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s D T}{2L} = \frac{V_s D}{2Lf}$$

ค่า  $L$  และ  $f$  ที่มีค่าน้อยสุดสำหรับ  $i_L$  ในบัสต์คอนเวอเตอร์จะเป็น

$$(Lf)_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2} \quad (2.8)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [1]

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.2a เป็นวงจรอย่างง่ายที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านเอาต์พุตถูกสร้างขึ้นมาจากอินพุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยกรเปิด - ปิดสวิตช์อย่างเป็นลำดับ โวลต์เดจทางด้านเอาต์พุต ( $V_o$ ) เป็นได้ทั้ง  $+V_{dc}$ ,  $-V_{dc}$ , หรือ 0 ขึ้นอยู่กับสวิตช์ที่ทำงาน รูปที่ 2.2b-2.2e แสดงวงจรสมมูลของการทำงานร่วมกันของสวิตช์

ให้  $S_1$  ทำงานพร้อมกับ  $S_4$  และ  $S_2$  ทำงานพร้อมกับ  $S_3$  ถ้าเกิดการลัดวงจรจะเกิดการลัดวงจรที่แล่งกำเนิด สวิตช์ที่ใช้งานอยู่จริงจะไม่ปิดหรือเปิดอย่างทันทีทันใด ดังนั้น ช่วงเวลาการเปลี่ยนของ สวิตช์จะต้องควบคุมให้เหมาะสม ช่วงเวลาที่สวิตช์ทำงานซ้อนทับกัน (ในช่วง  $on$ ) จะมีผลทำให้เกิดการลัดวงจร ซึ่งบางครั้งเราเรียกว่า “shoot-through” คร่อมแหล่งกำเนิดเวลาที่ยอมให้สวิตช์ทำงานเรียกว่า “blanking”

#### 2.2.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Square-Wave Inverter) [1]

การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง (dc) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (ac) หรืออินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแรงดันอินพุต dc เป็นแรงดันเอาต์พุต ac ที่มีขนาดและความถี่ตามต้องการ นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตอาจคงที่หรือแปรค่าได้ที่มีความถี่คงที่ หรือความถี่แปรค่าได้

อินพุตของอินเวอร์เตอร์ อาจเป็นได้ทั้งแบตเตอรี่, เซลเชื้อเพลิง, โซลาร์เซลล์หรือแหล่งจ่าย dc อื่นๆ โดยในโครงงานนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายเป็น เอาต์พุตของวงจรบูสต์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 100 โวลต์

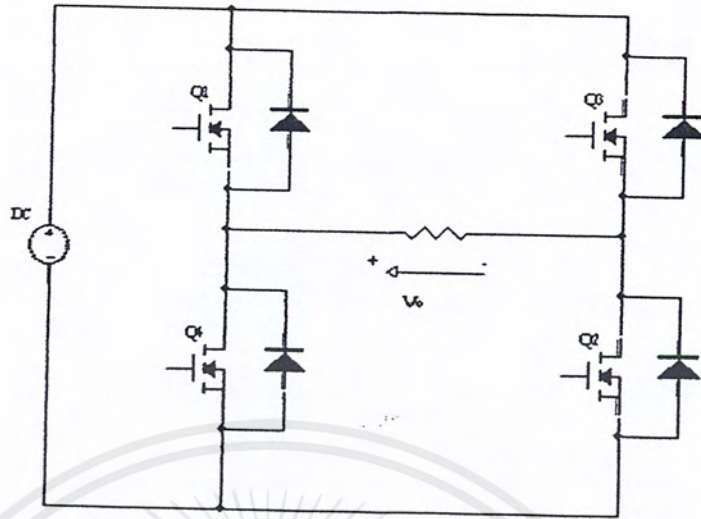
รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ในอุดมคติจะเป็นรูปไซน์แต่ในทางปฏิบัติรูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์มักประกอบด้วยฮาร์โมนิกจึงไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ การลดฮาร์โมนิก หรือทำให้มีค่าต่ำสุด ทำได้โดยใช้เทคนิคในการสวิตช์ และวงจรฟิลเตอร์ที่เหมาะสม

#### 2.2.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มเฟสเดียว (Single Phase Full-Bridge Inverter) [1]

##### หลักการทำงาน

เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ได้ง่ายขึ้น ในที่นี้จึงใช้มอสเฟตกำลังทำหน้าที่เป็นสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ ทั้งนี้เพราะการหยุดการนำกระแส หรือการปิดมอสเฟต ทำได้โดยหยุดจ่ายกระแสที่ขั้วเบสเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องมีวงจรในการหยุดกระแสเหมือนกับเอสซีอาร์

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดียว ประกอบด้วย ซอปเปอร์ 4 ตัว ดังรูปที่ 2.2a



รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์อย่างง่าย

เมื่อทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  เปิดในเวลาเดียวกัน จะเกิดแรงดันอินพุท ( $V_s$ ) ตกคร่อมโหลด ถ้าทรานซิสเตอร์  $Q_3$  และ  $Q_4$  เปิดในเวลาเดียวกัน แรงดันตกคร่อมโหลดจะกลับขั้วเป็น  $-V_s$  จากรูปที่ 1a ขณะทรานซิสเตอร์แต่ละคู่ ปิด จะเกิดแรงดันย้อนกลับมีค่าเป็น  $V_s$  เราจึงเรียกอินเวอร์เตอร์นี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม (Full Bridge Inverter) และหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_o = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s$$

### 2.2.2.3 อินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์เฟสเดียว (Single Phase Full-Bridge Inverter) [1]

#### หลักการทำงาน

ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ครึ่งรูปสามารถใช้เป็นอินเวอร์เตอร์ได้ ในกรณีของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะใช้สวิตช์เพียง 2 ตัวโดยการแบ่งแรงดันออกเป็น 2 ส่วนด้วยตัวเก็บประจุ ซึ่งทั้ง 2 ตัวจะมีขนาดเท่ากันและมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{dc}/2$  เมื่อสวิตช์  $S_1$  ทำงาน แรงดันตกคร่อมโหลดจะเท่ากับ  $-V_{dc}/2$  เมื่อสวิตช์  $S_2$  ทำงาน แรงดันตกคร่อมโหลดจะเท่ากับ  $+V_{dc}/2$

แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ที่ไม่ทำงานจะเป็น 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมโหลด หรือ  $V_{dc}$  เช่นเดียวกับในกรณีของฟลูบรีดจ์อินเวอร์เตอร์ จะต้องมีความที่เป็นช่องว่าง (dead time) ของสวิตช์แต่ละตัวเพื่อป้องกันการลัดวงจรจากแหล่งกำเนิด และไดโอดเป็นตัวป้องกันกระแสต่อเนื่องจากโหลด(inductive:L)

### 2.2.3 หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback Transformer) [5]

หม้อแปลงฟลายแบคชนิดไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ในการขยายแรงดันอินพุทจากอินเวอร์เตอร์ให้มีเอาต์พุทเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงและความถี่สูงซึ่งในโครงการนี้จะใช้เป็นตัวสร้างแรงดันกระเพื่อมแรงสูงและความถี่สูงโดยหม้อแปลงที่นำมาใช้งานนี้ ประยุกต์การใช้งานมาจากหม้อแปลงของวงจรทรานส์ฟอร์มเมอร์หรือจอภาพของคอมพิวเตอร์รุ่นเก่าโดยอาศัยหม้อแปลงที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป

### 2.2.4 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) [5]

เป็นวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ยกระดับแรงดันจากไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง โดยใช้สวิตช์เป็นเพาเวอร์มอสเฟตมีวงจรควบคุม ควบคุมความถี่สวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงๆ วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์นี้ใช้หม้อแปลงฟลายแบคชนิดไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือมีวงจรเรียงกระแสอยู่ภายในทำหน้าที่ในการแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หม้อแปลงฟลายแบคที่ใช้ในวงจรประยุกต์มาจากหม้อแปลงของวงจรทรานส์ฟอร์มเมอร์หรือจอภาพของคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่

## 2.3 วิธีการวัดปริมาณไอโอดีน [6]

การวัดปริมาณ ไอ โอดีนที่ใช้ในโครงการนี้ใช้วิธีที่เรียกว่า Iodometric Method มีหลักการคร่าวๆคือ ใช้สารโปแตสเซียมไอโอไดด์(Potassium iodide,KI) ทำหน้าที่เก็บก๊าซไอโอดีนและนำสารที่ได้มาทำการไทเทรต(Titrate) กับ โซเดียมไทโอซัลเฟต(Sodium thiosulfate,  $Na_2S_2O_3$ ) จะได้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ไปแทนค่าในสูตรเพื่อหาปริมาณ ไอ โอดีนต่อไป



(a)



(b)

- รูปที่ 2.3 (a) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ก่อนทำปฏิกิริยากับก๊าซไอโชนเป็นสารละลายใส  
(b) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์หลังทำปฏิกิริยากับก๊าซไอโชนได้สารละลายสีเหลืองอ่อนก่อนนำไปไทเทรตวัดหาปริมาณไอโชนด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตต่อไป

### 2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |   |         |                          |
|---|---------|--------------------------|
| 1. ขวดรูปชมพู่ (Flask) 250 mL                       | 3       | ใบ                       |
| 2. บีกเกอร์ 50, 100, 150, 250, 1000, 2000 mL        | อย่างละ | 1 ใบ                     |
| 3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL                         | 4       | ใบ, 250 mL 1 ใบ, 1000 mL |
| 4. กระบอกตวง 50 mL                                  | 2       | ใบ, 100 mL               |
| 5. ปิเปต 2 mL, ลูกยาง, กระบอกน้ำกลั่น, บิวเรต 50 mL | อย่างละ | 1 อัน                    |

### 2.3.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI)

นำสารโปแตสเซียมไอโอไดด์ ปริมาณ 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 L (น้ำกลั่นต้องต้มให้เดือดแล้วทิ้งให้เย็นก่อนจึงนำมาใช้ได้) เก็บในขวดสีชาอย่างน้อย 1 คืนจึงนำมาใช้งานได้

2. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid,  $H_2SO_4$ ) เข้มข้น 1 M
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน (Standard sodium thiosulfate titrant,  $Na_2S_2O_3$ ), 0.1M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสาร โซเดียมไทโอซัลเฟต( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) ปริมาณ 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 L (น้ำกลั่นเตรียมดังข้อ 1.) ถ้าจะให้ได้มาตรฐานต้องทำสแตนดาร์ด ไคส์(Standardize) กับ โปตัสเซียมไบโอไอโอเดต (Potassium bi-iodate) หรือ โปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium dicromate)

4. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน 0.005 M

นำสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน 0.1 M ที่เตรียมไว้ปริมาณ 50 mL มาเจือจางให้เป็น 1000 mL สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงต้องทำสแตนดาร์ด ไคส์สารละลายวันต่อวันกับ โปตัสเซียมไบโอไอโอเดตหรือ โปตัสเซียมไดโครเมต 0.005 M

5. น้ำแป้ง (Starch indicator solution)

ต้มน้ำให้เดือดแล้วใส่แป้งมันปริมาณ 5 กรัม ลงไป คนไปเรื่อยๆจนเป็นเนื้อเดียวกันจึงทิ้งไว้ให้เย็น ทิ้งไว้อย่างน้อยหนึ่งคืนจึงนำไปใช้งานได้

### 2.3.3 กระบวนการทดสอบหาปริมาณไอโชน

1. นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไคด์แบ่งมาปริมาณ 100 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้วนำไปผ่าน ไอโชนจากเครื่องกำเนิด ไอโชนเป็นเวลา 5-10 นาที ดังรูปที่ 2.3
2. นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไคด์ที่ผ่านไอโชนมาแล้วใส่กรดซัลฟูริกปริมาณ 5 mL เพื่อปรับค่าพีเอช (pH) ให้ต่ำลง
3. ทำการไทเทรตสารละลายจากข้อ 2 ด้วย สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน 0.005 M จนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีฟางข้าวจึงใส่น้ำแป้งลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์บอกจุดยุติที่แน่นอน
4. ไทเทรตสารละลายต่อจนกลายเป็นสารละลายใสจึงหยุด แล้วทำการบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้
5. นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไคด์ที่ยังไม่ผ่าน ไอโชนมาปริมาณ 100 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้วทำกระบวนการไทเทรตดัง ข้อ 2.-4. ทำการบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

## 6. แทนค่าในสูตร

$$\text{mgO}_3 / \text{L} = \frac{(A-B) * M * 24000}{\text{mLsample}}$$

A = mL ของไทเทรนต์(Titrant)สำหรับสารตัวอย่าง(Sample) (ค่าที่บันทึกจากข้อ 4)

B = mL ของไทเทรนต์สำหรับแบลนค์ (Blank) (ค่าที่บันทึกจากข้อ 5)

7. แปลงค่าเวลาที่ได้จากต่อหน่วยเวลาที่วัด (5-10 นาที) เป็นหน่วยมิลลิกรัมโอโซนต่อชั่วโมง ( $\text{mgO}_3/\text{hr}$ )
8. ทำการบันทึกผลการทดลองและทำการวิเคราะห์ผล

หมายเหตุ - ค่าต่ำสุดที่วิธีนี้วัดได้คือ  $30 \mu\text{gO}_3/\text{L}$

- ค่าความแม่นยำจะเป็น  $\pm 1\%$  สำหรับค่าความเข้มข้นที่  $3 \text{ mgO}_3/\text{L}$  หรือมากกว่า
- การวัดค่าโดยวิธีนี้ต้องรีบทำโดยทันทีหลังจากครบเวลาที่ใช้วัดเพื่อป้องกันค่าผิดพลาดจากการสลายตัวของโอโซนและควรจะวัดที่อุณหภูมิห้องและสารอยู่ในสถานะที่มีค่าพีเอชต่ำ

### บทที่ 3

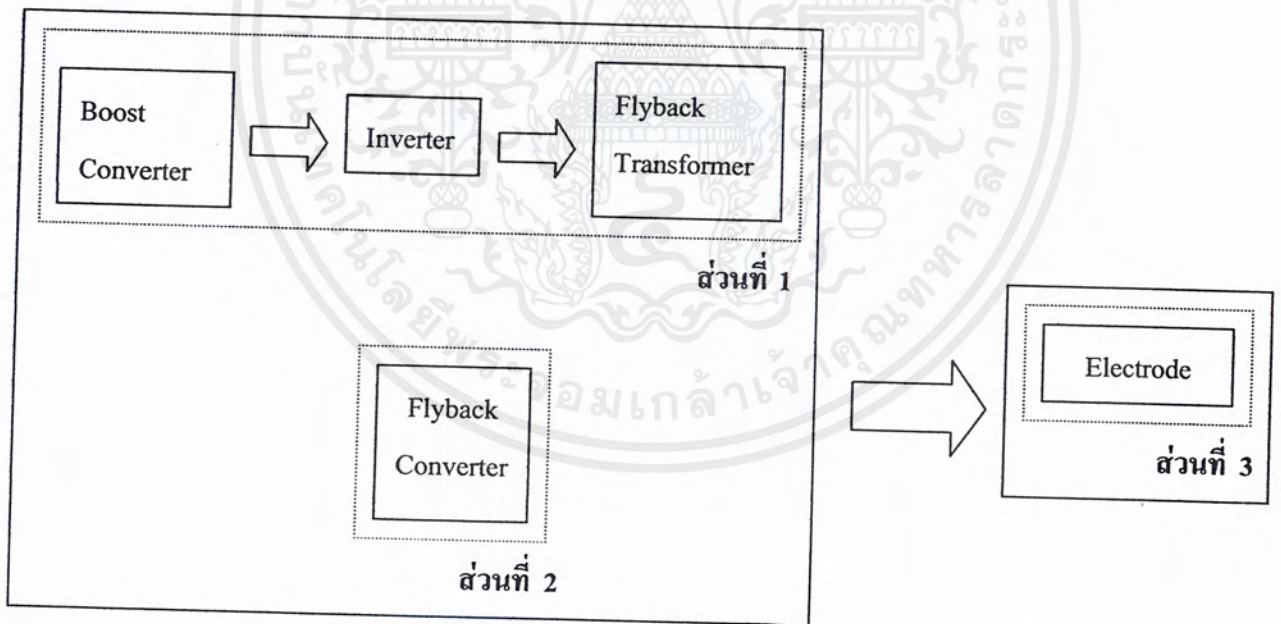
## การออกแบบชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

### 3.1 ลักษณะเบื้องต้นของชุดแหล่งกำเนิด

ชุดแหล่งกำเนิดที่จะทำการออกแบบนั้น ต้องการจะออกแบบให้สามารถศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไอโซนได้ 3 ค่า คือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง, ขนาดของแรงดันกระแสเพื่อม และความถี่ ดังนั้น เราจึงต้องทำการออกแบบวงจรย่อยต่างๆ ทั้งหมด 4 วงจร คือ

1. บูสค์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)
2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
3. หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback Transformer)
4. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

ซึ่งวงจรที่จะทำการออกแบบเราสามารถแสดงได้เป็น Block diagram ของชุดแหล่งกำเนิดได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ศึกษาเรื่องขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มและความถี่ เพราะสามารถปรับแรงดันกระแสเพิ่มและความถี่ได้ โดยปรับขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มได้จากการปรับ Duty cycle ของซุกบวสต์คอนเวอเตอร์ และปรับความถี่ได้จากซุกอินเวอเตอร์ และ หม้อแปลงฟลายแบคเป็นตัวขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้ในการศึกษาเรื่องขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยสามารถปรับขนาดแรงดันได้จากการปรับขนาดของอินพุตที่ป้อนให้กับฟลายแบคคอนเวอเตอร์ (Flyback Converter)

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างโอโซนโดยใช้ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในส่วนนี้ แต่จะใช้ชุดที่ได้ทำการศึกษาไว้แล้ว

### 3.2 การออกแบบชุดแหล่งกำเนิด

การออกแบบจะต้องทำการออกแบบเป็นส่วนต่าง ๆ ตาม Block diagram ที่แสดงไว้

#### 3.2.1 บวสต์คอนเวอเตอร์ ( Boost Converter )

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V จะถูกยกระดับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 100 V ก่อนในลำดับแรก วงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้นคือ วงจรบวสต์ ซึ่งวงจรที่จะทำการออกแบบนั้นต้องการให้สามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำไปป้อนให้กับซุกอินเวอเตอร์ ได้จากการปรับ duty cycle ของซุกวงจรสร้างสัญญาณขับขาเกต ซึ่งการปรับ duty cycle นี้จะนำไปใช้ศึกษาในส่วนของขนาดของแรงดันกระแสเพิ่ม ดังนั้น วงจรที่จะทำการออกแบบต้องการให้ปรับ duty cycle ได้ 0-100 % วงจรที่ต้องการออกแบบ แรงดันป้อนเข้า 12 V , Duty Cycle ปรับได้ 0-90 %(ซุกสร้างสัญญาณขับขาเกตจาก TL494 สามารถปรับ duty cycle ได้สูงสุด 90%) , ความถี่ 40 kHz

$$\text{จากสมการ (2.4) ; } V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

$$\text{ถ้า } D = 0\% ; \quad V_o = \frac{12}{1-0} = 12V$$

$$D = 90\% ; \quad V_o = \frac{12}{1-0.9} = 120V$$

$$\text{จากสมการ (2.9) ; } L = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$$

$$\text{ถ้า } D = 0\% ; \quad = \frac{0.1(1-0.1)^2 * 3k}{2 * 40k}$$

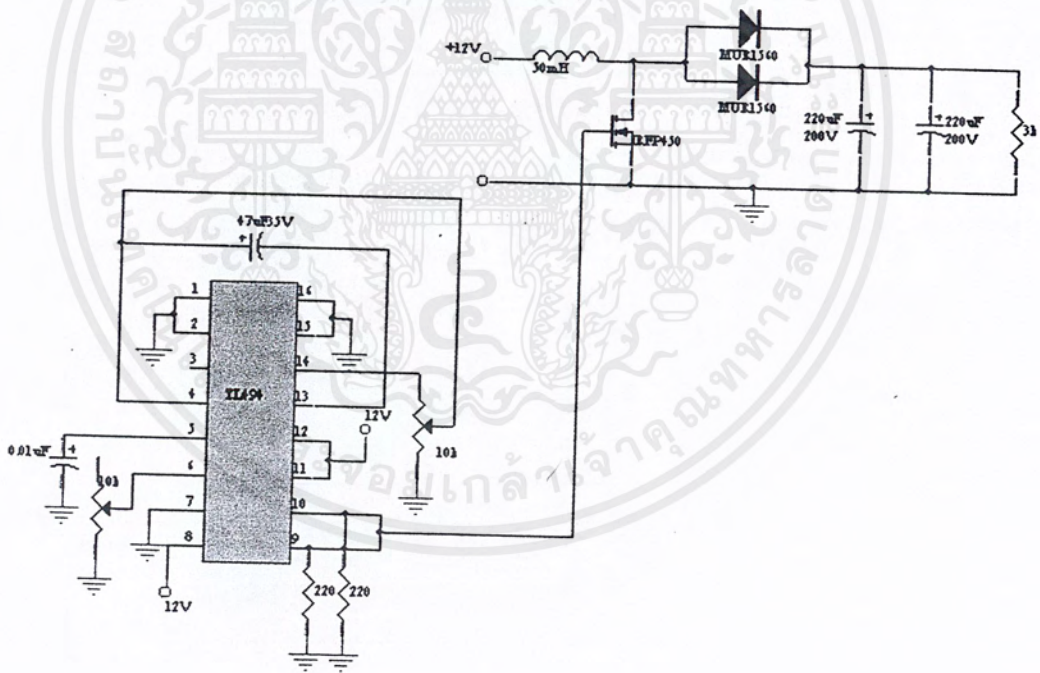
= 3mH

$$D = 90\% ; \quad = \frac{0.9(1-0.9)^2 * 3k}{2 * 40k} = 0.33mH$$

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรบัสต์มีดังต่อไปนี้

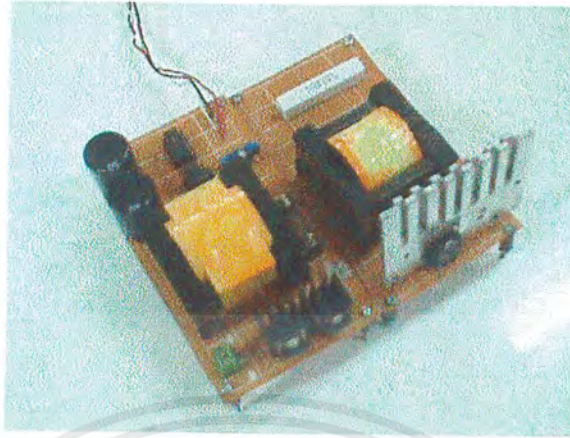
3.2.1.1 การออกแบบวงจรบัสต์ (Boost Converter)

- อุปกรณ์ 1. IC TL494
- 2. ไดโอด
- 3. C อิเล็กโทรไลต์ 220  $\mu$ F
- 4. มอสเฟต IRFP450
- 5. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1k $\Omega$ , 10k $\Omega$
- 6. ตัวต้านทาน R 10 k $\Omega$



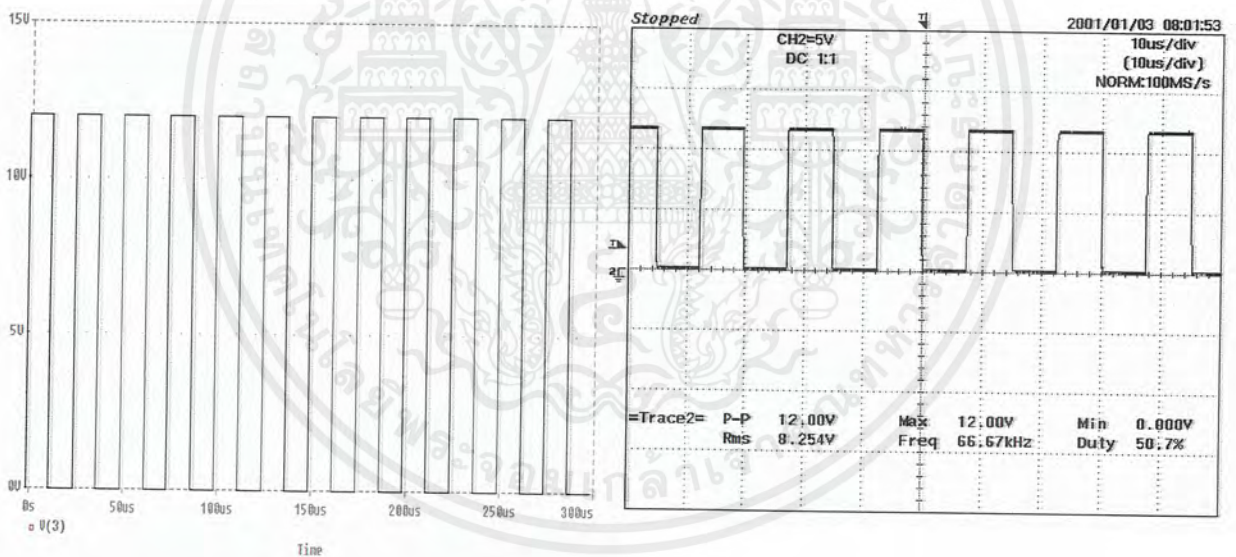
รูปที่ 3.2 วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ( Boost Converter )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรบูสต์ที่ทำการสร้างจริง

## 3.2.1.2 การทดสอบวงจรที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Pspice



(a)

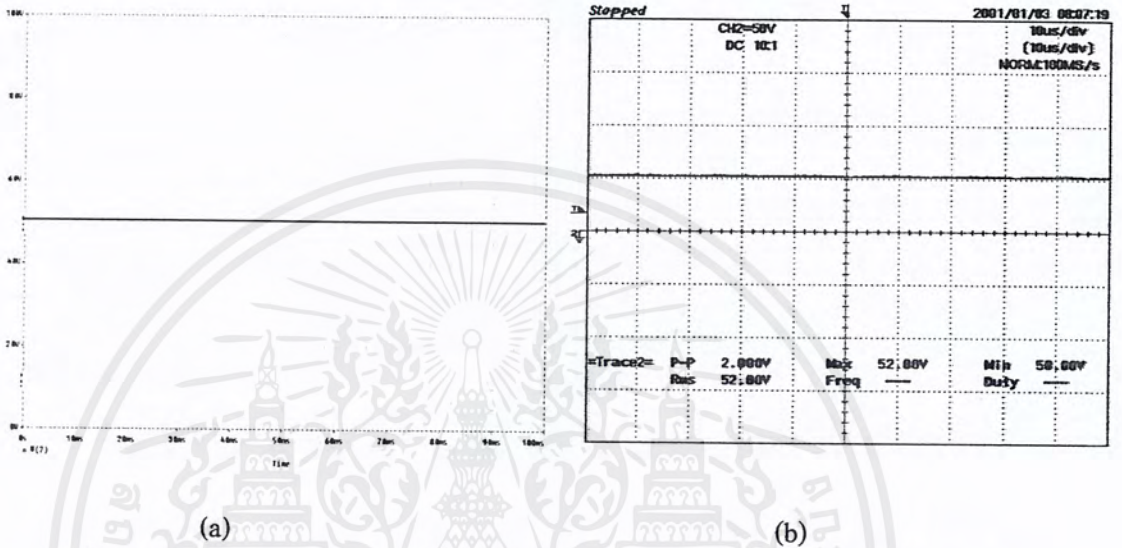
(b)

รูปที่ 3.4(a) สัญญาณขับขาเกตควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรบูสต์ ที่ความถี่ 40 kHz , duty cycle 50 % และใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลต์

(b) สัญญาณขับขาเกตที่สภาวะการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน 12 VDC จะถูกยกระดับเป็น 150 VDC ด้วยวงจรบูสต์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สัญญาณจาก TL 494 ที่ถูกส่งมาขับเคลื่อนขาเกตของมอสเฟตให้ทำงาน ความถี่ในการสวิตช์ประมาณ 40 kHz ดังแสดงในรูปที่ 3.4 วงจรนี้ได้ถูกนำไปจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรม Pspice ก่อนทดสอบในงานจริง ผลการจำลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าประมาณ 50 V (ทำการทดสอบที่ duty cycle 50%) แสดงผลดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5(a) ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Pspice ที่ duty cycle 50%  
 (b) ผลการทำงานของวงจรจริง

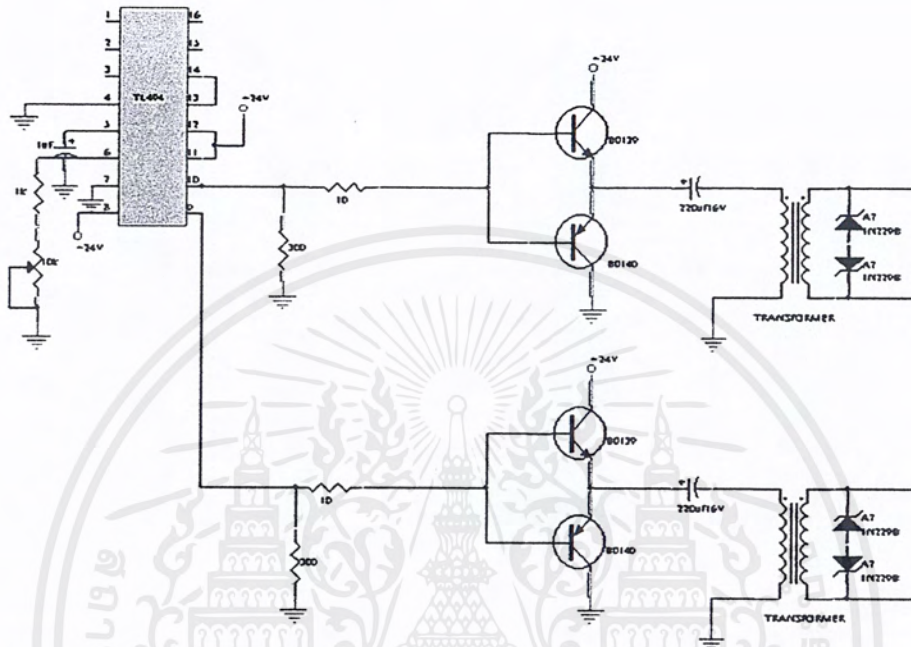
### 3.2.2 ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Half Bridge Inverter)

หลังจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V ถูกยกระดับให้เป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 150V สัญญาณนี้จะถูกแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 150 V ขนาดของค่าแรงดันนี้สามารถปรับได้จากชุดวงจรบูสต์ ซึ่งสัญญาณในส่วนนี้เป็นส่วนที่สร้างจากชุดอินเวอร์เตอร์นี้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการศึกษาในส่วนของความถี่ โดยการออกแบบจะต้องออกแบบให้สามารถปรับค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 0-100 kHz

#### 3.2.2.1 การออกแบบวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ( Full Bridge Inverter )

จากทฤษฎีของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่กล่าวถึงในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจร เนื่องจากสวิตช์ทั้ง 2 ตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ ดังนั้น ในการออกแบบวงจรที่จะนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณที่จะส่งมาขับเคลื่อนขาเกตของสวิตช์จะต้องทำการแยกกราวด์ของวงจรออกจากกัน ในการออกแบบจึงต้องใช้หม้อแปลงจำนวน 2 ตัว มาช่วยในการแยกสัญญาณขับ

ขาเกท โดยหม้อแปลงที่ทำการออกแบบนี้มี turn ratio เท่ากับ 1:1 มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ด้านละ 1 ขด และสัญญาณที่นำมาใช้ขับขาเกทนี้จะต้องมีช่วงเวลา dead time ด้วย เพื่อป้องกัน ไม่ให้เกิดการลัดวงจรกันของสวิทซ์ทั้ง 2 ตัว



รูปที่ 3.6 วงจรขับขาเกทอินเวอเตอร์  
รายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้มีดังต่อไปนี้

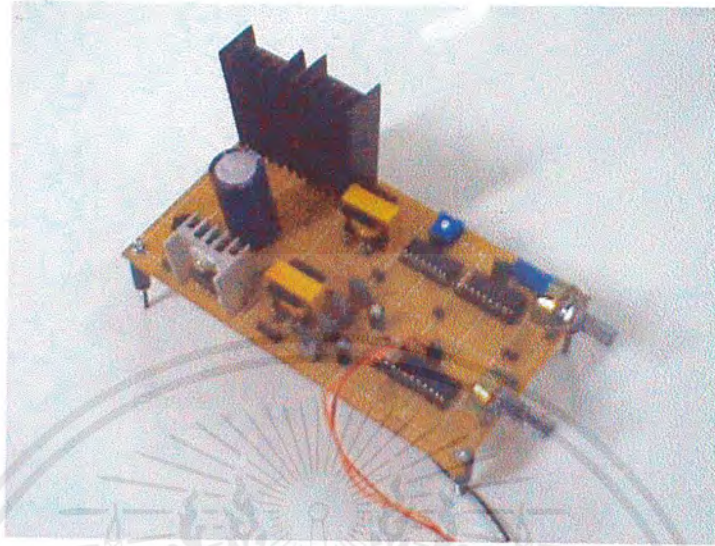
DC-AC Inverter ( The Half - Bridge Inverter )

รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุม

1.	IC TL494	1	ตัว
2.	ตัวเก็บประจุ ไมลาร์ 0.01 uF	1	ตัว
	ตัวต้านทาน 1 kΩ	1	ตัว
	ตัวต้านทาน 10 Ω	2	ตัว
	ตัวต้านทาน 300 Ω	2	ตัว
	ตัวต้านทานปรับค่า 10 kΩ	1	ตัว
3.	BD 139 , BD 140	2	ตัว
4.	ตัวเก็บประจุ 220 uF 35V	2	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

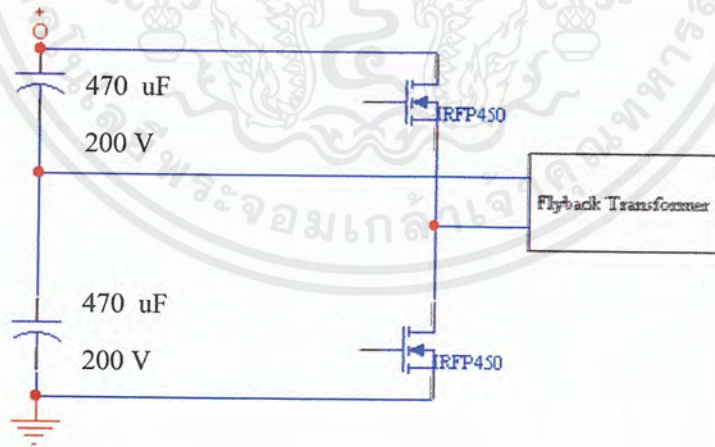
- |                            |   |     |
|----------------------------|---|-----|
| 5. หม้อแปลง Isolate Ground | 2 | ตัว |
| 6. Zener Diode 12 V        | 4 | ตัว |



รูปที่ 3.7 วงจรขับขาคทอินเวอเตอร์ที่สร้างจริง

รายการอุปกรณ์กำลัง

- |                                   |   |     |
|-----------------------------------|---|-----|
| 1. มอสเฟต IRFP450                 | 2 | ตัว |
| 2. ตัวเก็บประจุ 470 $\mu$ F 200 V | 2 | ตัว |

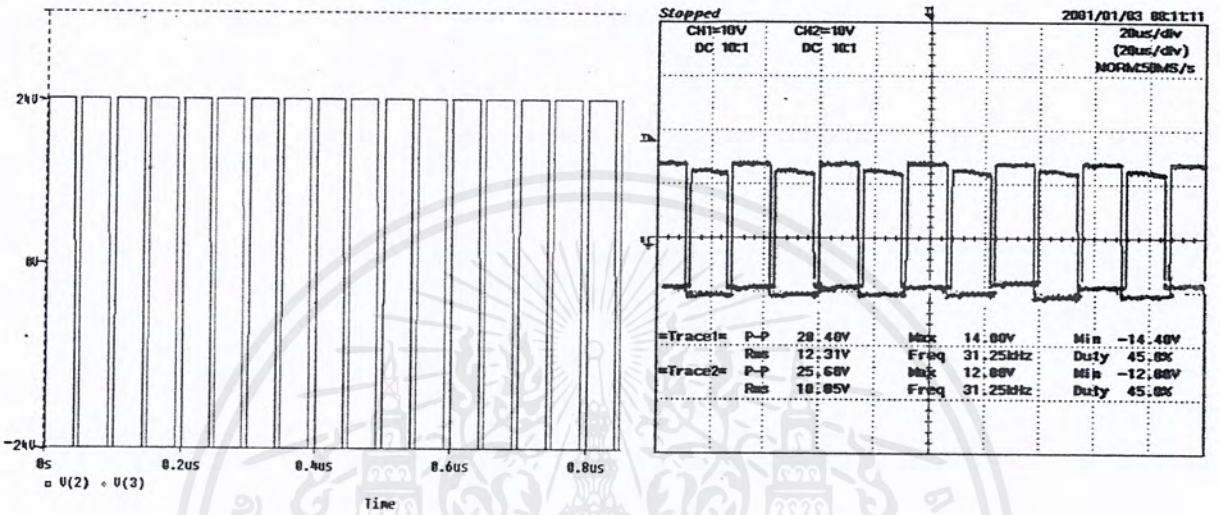


รูปที่ 3.8 วงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอเตอร์อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

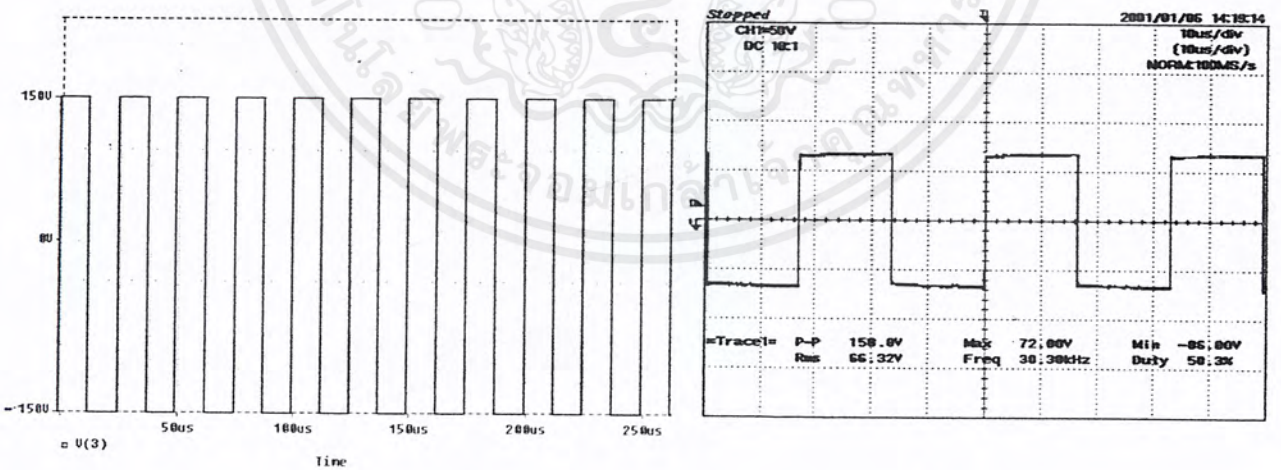
3.2.2.2 การทดสอบวงจรที่ออกแบบ

วงจรดังแสดงในรูปที่ 3.6 สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 0 kHz ถึง 100 kHz ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Pspice ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ ผลของวงจรในรูปที่ 3.8 ส่วนเอาต์พุตของวงจรจะต่อกับหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงซึ่งประยุกต์ใช้มาจากหม้อแปลงฟลายแบคในวงจรโทรทัศน์ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป



(a) (b)

รูปที่ 3.9(a) ผลการจำลองการทำงานของวงจรขับขาคาทอดอินเวอเตอร์  
(b) ผลการทดสอบการทำงานของวงจรขับขาคาทอดที่ออกแบบจริง



(a) (b)

รูปที่ 3.10(a) ผลการจำลองการทำงานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอเตอร์ด้วยโปรแกรม Pspice  
(b) ผลการทำงานของวงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback Transformer)

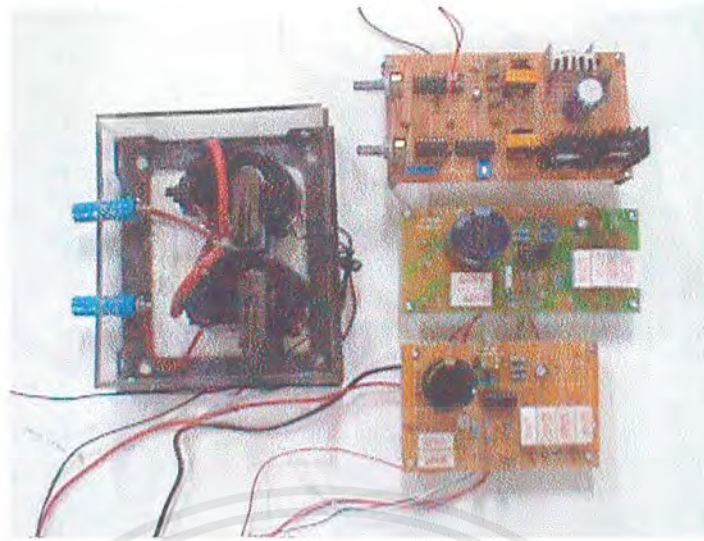
หม้อแปลงฟลายแบค เป็นหม้อแปลงที่ออกแบบเพื่อใช้ในการขยายสัญญาณของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อการศึกษาในเรื่องของขนาดของแรงดันกระแสเพิ่ม ในการออกแบบนี้ ไม่ได้ทำการออกแบบเองจะใช้หม้อแปลงโทร์ที่ศูนย์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป เบอร์ KL-9



รูปที่ 3.11 หม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ KL-9 (Flyback Transformer)

### 3.2.4 ฟลายแบคคอนเวอเตอร์ (Flyback Converter)

ในงานวิจัยนี้เนื่องจากคุณสมบัติแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการคือไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง, ขนาดของแรงดันกระแสเพิ่ม และความถี่ได้ ดังนั้น ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ไม่มีแรงดันกระแสเพิ่มจึงเลือกใช้ฟลายแบคคอนเวอเตอร์มาใช้งาน ซึ่งไม่ต้องทำการออกแบบในส่วนนี้ โครงการนี้เลือกใช้หม้อแปลงฟลายแบคกระแสตรงเบอร์ FCG-2045AL



รูปที่ 3.12 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

หลังจากทำการออกแบบวงจรแล้ว วงจรใน 3.2.1 – 3.2.4 จะถูกประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อทำการสร้างเป็นชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงที่สามารถปรับขนาดของไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง , ขนาดของแรงดันกระเพื่อม (ripple voltage) และความถี่ได้ เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างโอโซน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโอโซนที่เกิดขึ้นกับชุดแหล่งกำเนิดที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

### 3.2.5 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 3.13 โพรบที่ใช้ในการวัดไฟฟ้าแรงดันสูง (PROBE x 1000)

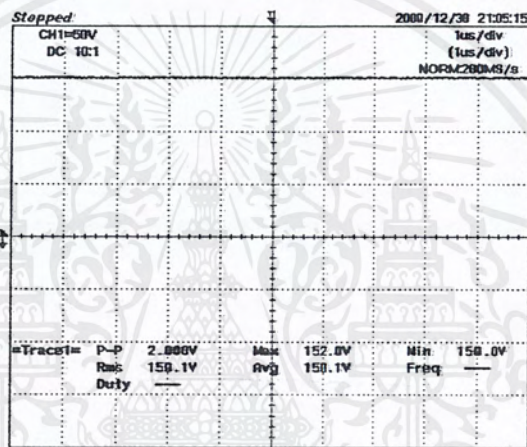
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและการพัฒนาชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง

#### 4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลแรงดันเอาต์พุตของวงจรมุสตั

วงจรมุสตัที่ใช้ในการทดลองนี้ จะเป็นวงจรมุสตัที่ใช้ศึกษาในเรื่องขนาดของแรงดัน กระเพื่อม โดยสามารถปรับค่า duty cycle ได้ตั้งแต่ 0-90% ในการทดสอบวงจรมุสตัจะทำการ ทดสอบแรงดันเอาต์พุตที่ค่า duty cycle 0-90 % ความถี่ 40 kHz โหลดของวงจรมุสตัมีค่า  $3\text{ k}\Omega$  10 w จะได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ผลการทำงานของวงจรมุสตั

#### คุณสมบัติของวงจรมุสตัที่ออกแบบ

พิกัดแรงดัน : 150 VDC

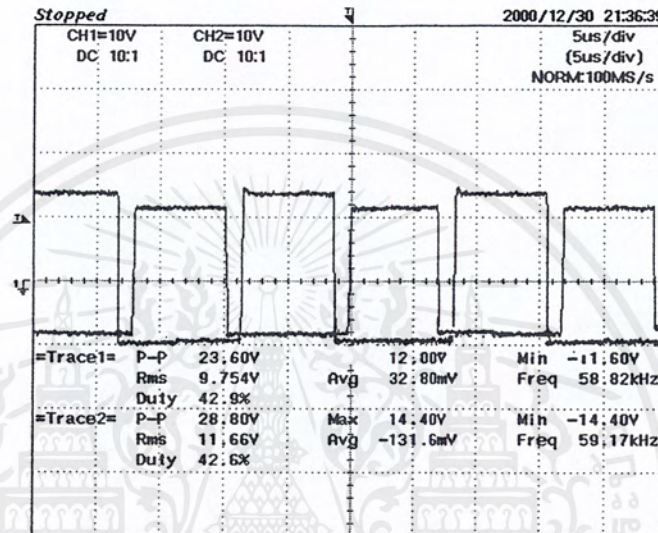
พิกัดกระแส : 50 mA

พิกัดกำลัง : 7.5 Watts

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V ถูกยกระดับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 150 V จากนั้น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะถูกแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยวงจรมุสตั ซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองในหัวข้อต่อไป

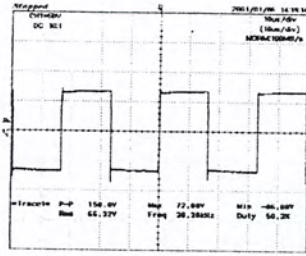
#### 4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลแรงดันเอาต์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่าง ๆ

วงจรที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับในโครงงานนี้เลือกใช้วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ศึกษาเรื่องของความถี่ซึ่งจากการทดสอบวงจรพบว่าสามารถปรับความถี่ได้ 30-100 kHz โดยสัญญาณขับขาเกทที่ใช้ในการควบคุมการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.2 และผลการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 4.3(a)-(h)

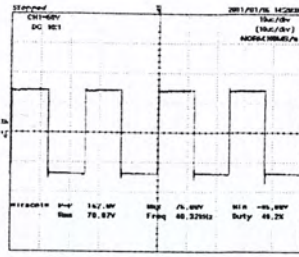


รูปที่ 4.2 สัญญาณขับขาเกทของวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์

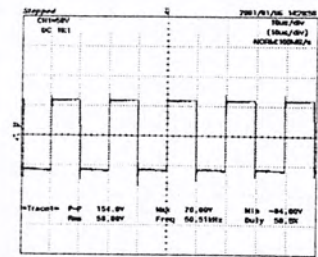
วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ที่ทำการออกแบบนั้นสามารถปรับค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 30 – 100 kHz ผลการทดสอบได้รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุทที่ความถี่ต่างๆดังต่อไปนี้



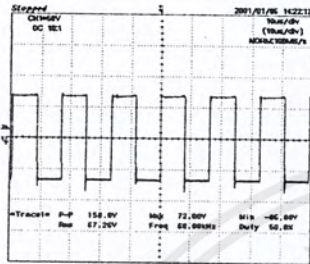
(a) 30 kHz



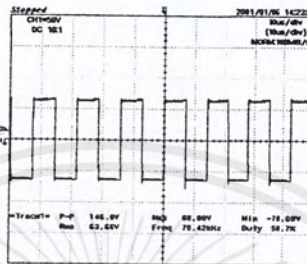
(b) 40 kHz



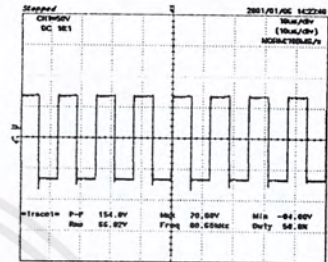
(c) 50 kHz



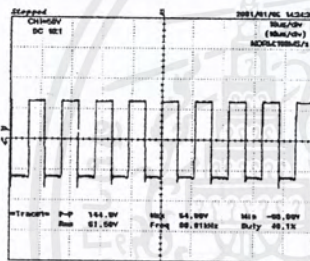
(d) 60 kHz



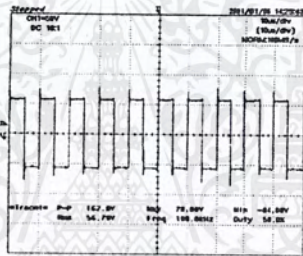
(e) 70 kHz



(f) 80 kHz



(g) 90 kHz



(h) 100 kHz

รูปที่ 4.3 (a)-(h) สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30-100 kHz

**คุณสมบัติของวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบ**

- พิกัดแรงดัน : 60 V
- พิกัดกระแส : 500 mA
- พิกัดกำลัง : 30 VA
- ความถี่ : 30-100 kHz

**4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง**

ในการทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของชุดเครื่องกำเนิดไอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอโซนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และ การทดสอบประสิทธิภาพ

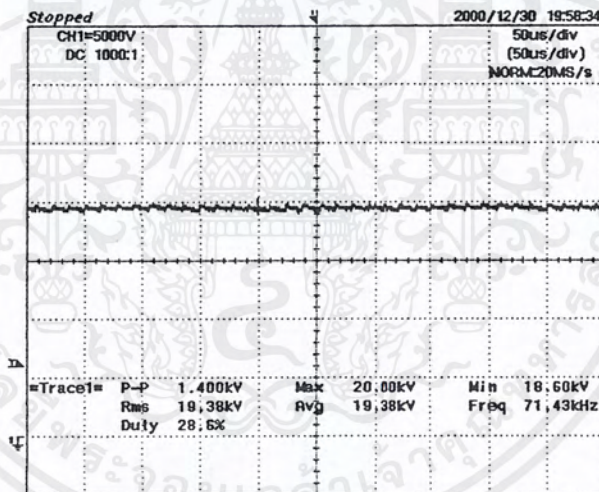
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพของเครื่องผลิตโอโซน โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่แรงดันกระเพื่อมและความถี่สูง เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดทั้ง 2 ชนิด โดยในการทดสอบจะใช้ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเป็นตัววัดประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิด การศึกษาจะพิจารณาถึงตัวแปรทางไฟฟ้า 3 ค่า คือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ทำการออกแบบนั้นสามารถทำการปรับและศึกษาตัวแปร ได้ทั้ง 3 ค่า

สำหรับอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบโดยโปรแกรมไฟไนท์อีลีเมนต์จากโครงการงานชุดสร้างโคโรนาสำหรับเครื่องกำเนิดโอโซน [6]

#### 4.3.1 การทดลองที่ 3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการผลิตโอโซนของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งไม่มีแรงดันกระเพื่อม ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ทำการออกแบบนี้สามารถปรับค่าขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ได้สูงกว่า 20 kV แต่สามารถทำการวัดได้เพียง 20 kV เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบที่แรงดันขนาดต่างๆ

DC High Voltage(kV)	ปริมาณโอโซนที่ได้ออก
4	-
8	-
12	-
16	ปริมาณน้อยมาก
20	ปริมาณน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

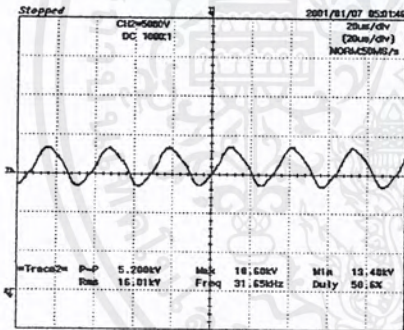
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การผลิตโอโซน โดยใช้แหล่งกำเนิดซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถผลิตโอโซนได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจาก [1] แต่มีแนวโน้มว่าจะสามารถทำการผลิตได้ ถ้าใช้ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงขึ้น

ในการทดสอบในโครงการนี้สามารถทำการทดสอบได้ที่ขนาดแรงดันสูงสุด 20 kV เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือวัด แต่วงจรที่ทำการสร้างขึ้นมาจริงนั้น สามารถปรับค่าแรงดันได้สูงกว่านั้น แต่เราไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากเครื่องมือที่เราใช้ในการวัดนั้นสามารถวัดขนาดแรงดันได้สูงสุดเพียง 20 kV เท่านั้น

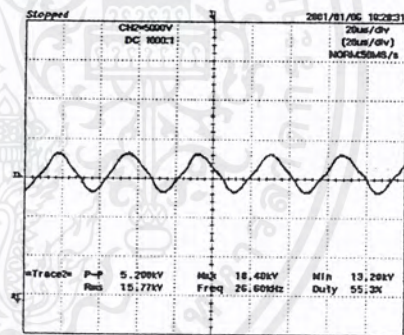
### 4.3.2 การทดลองที่ 3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-แรงดันกระแสเพื่อบำบัดน้ำเสีย

#### 4.3.2.1 การศึกษาเรื่องความถี่

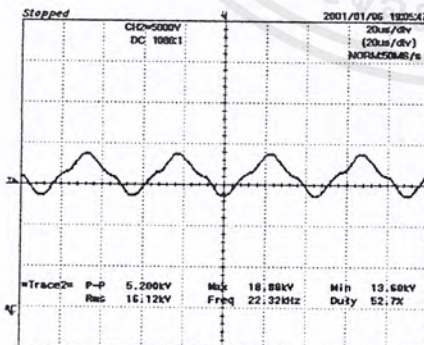
การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาว่า ถ้าใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่แรงดันกระแสเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยคงค่าแรงดันกระแสเพื่อบำบัดน้ำเสียไว้ค่าหนึ่ง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดให้สูงขึ้นได้หรือไม่ โดยการศึกษาในกรณีนี้จะสามารถปรับค่าความถี่ได้ดังรูปที่ 4.5



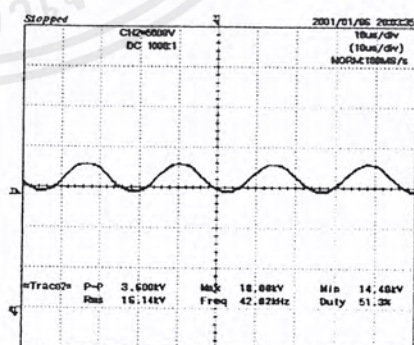
(a) ความถี่ 22 kHz



(b) ความถี่ 27 kHz



(a) ความถี่ 32 kHz



(b) ความถี่ 42 kHz

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดสอบเพื่อศึกษาถึงปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้น จะต้องทำการคงค่าขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และขนาดของแรงดันกระพือมไว้ และจากการทดลองที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นจะส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการทดสอบที่ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 2 ค่า คือ 13 kV และ 20 kV ซึ่งสามารถแสดงผลขณะทำการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4.2

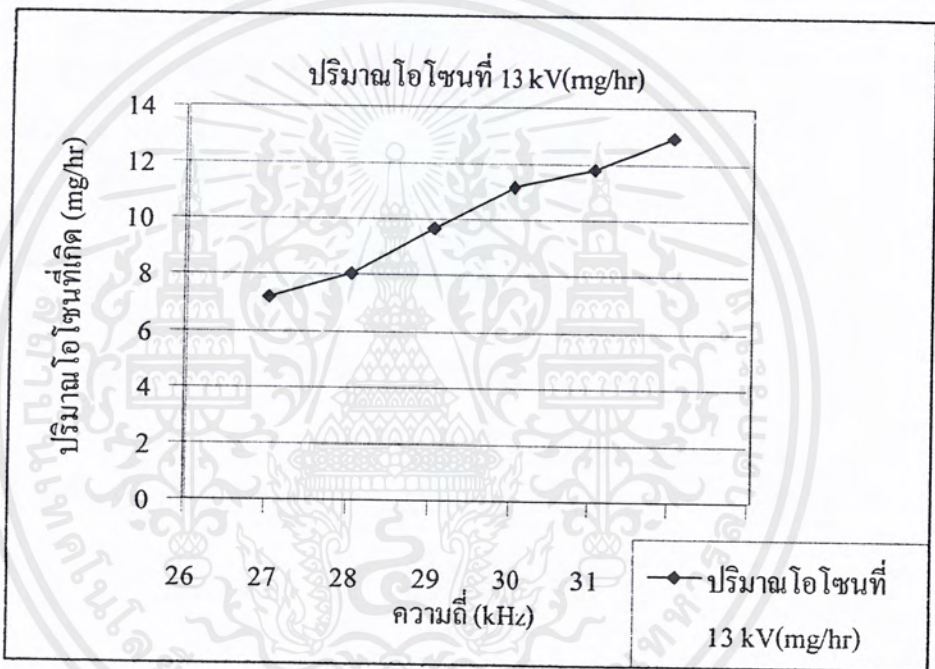
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบที่ค่าความถี่ต่างๆ

DC High Voltage (kV)	Ripple (kV <sub>pp</sub> )	Frequency (kHz)	ปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้น (mg/hr)
13	5.2	27	7.20
		28	8.04
		29	9.66
		30	11.15
		31	11.83
		32	12.96

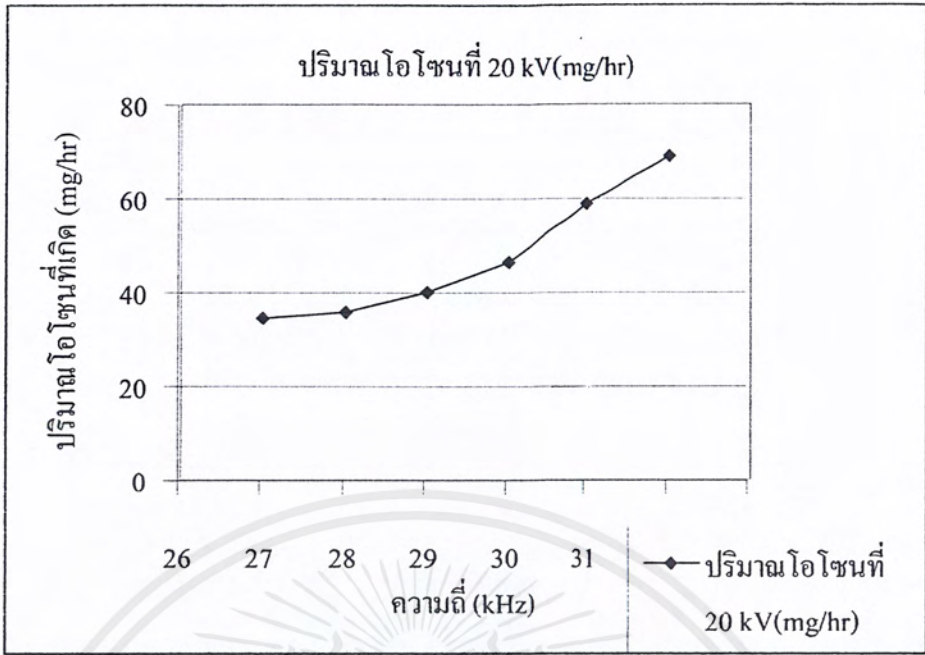
DC high Voltage (kV)	Ripple (kV <sub>pp</sub> )	Frequency (kHz)	ปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้น (mg/hr)
20	5.2	27	34.56
		28	35.85
		29	39.92
		30	46.54
		31	58.78
		32	69.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

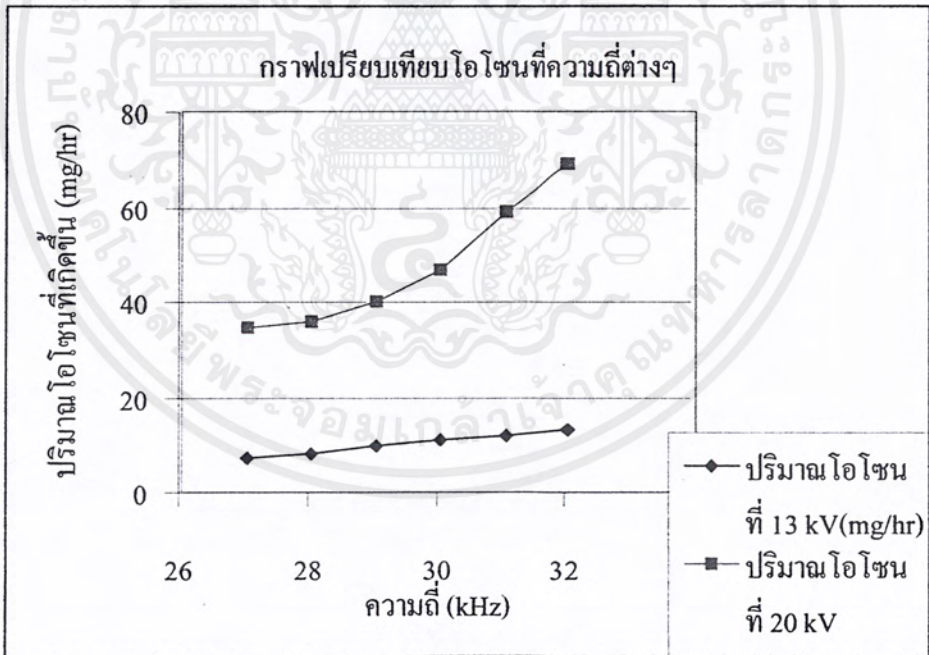
จากผลการทดลองดังตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มขนาดของความถี่จะทำให้สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้เพิ่มขึ้น และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองในการทดลองที่ 3.1 คือ เมื่อขนาดของแรงดันเพิ่มขึ้นปริมาณของโอโซนที่ทำการผลิตได้ก็จะเพิ่มขึ้น และความถี่ก็มีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเช่นกัน โดยความถี่เพิ่มขึ้นปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำการศึกษาในเรื่องปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ที่ความถี่สูงกว่า 32 kHz เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ผลิตเครื่อง คือที่ความถี่สูงจะส่งผลให้แกนเหล็กของหม้อแปลงฟลายแบคเกิดการอิ่มตัว โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นกับความถี่ต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 13 kV และแรงดันกระเพื่อม 5.2 kV<sub>pp</sub>



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นกับความถี่ต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 20 kV และแรงดันกระแสเพิ่อม 5.2 kV<sub>pp</sub>



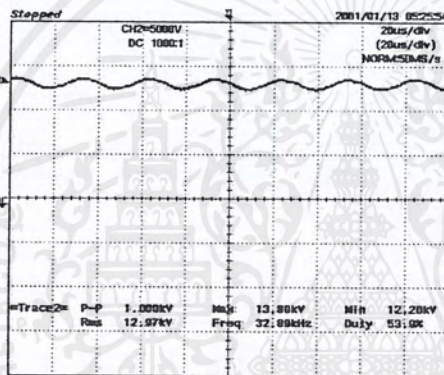
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 13 kV และ 20 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

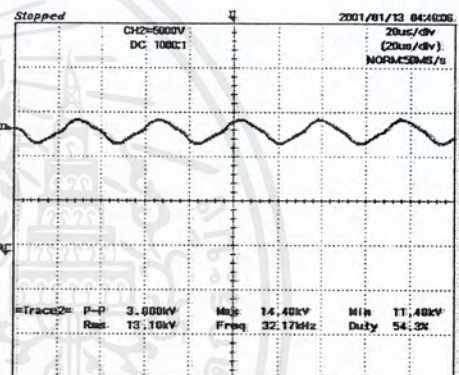
จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น และที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันกระแสเพิ่มขนาดเดียวกัน ปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น จึงสรุปได้ว่าความถี่มีผลต่อปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นทำให้สามารถทำการศึกษาคความถี่สูงสุดได้เพียง 32 kHz เพราะเมื่อทำการทดสอบที่ความถี่ค่าสูงกว่านี้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะลดลงเนื่องจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กของหม้อแปลงฟลายแบค

4.3.2.2 การศึกษาเรื่องแรงดันกระแสเพิ่ม

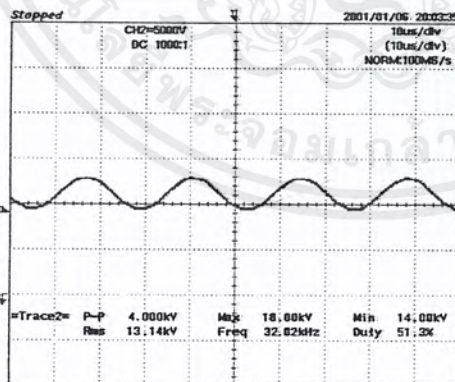
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ทำการสร้างขึ้นมานั้น นอกจากปรับค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ยังสามารถปรับขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มได้ดังแสดงดังรูปที่ 4.9



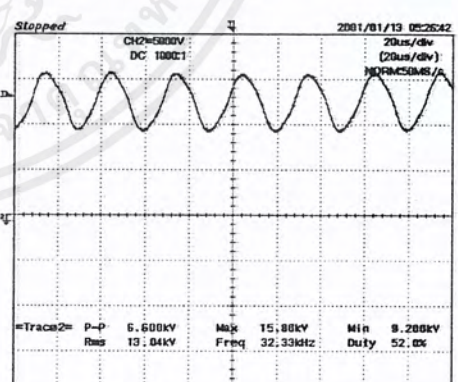
(a) แรงดันกระแสเพิ่ม 1 kV



(b) แรงดันกระแสเพิ่ม 3 kV



(c) แรงดันกระแสเพิ่ม 4 kV



(d) แรงดันกระแสเพิ่ม 6 kV

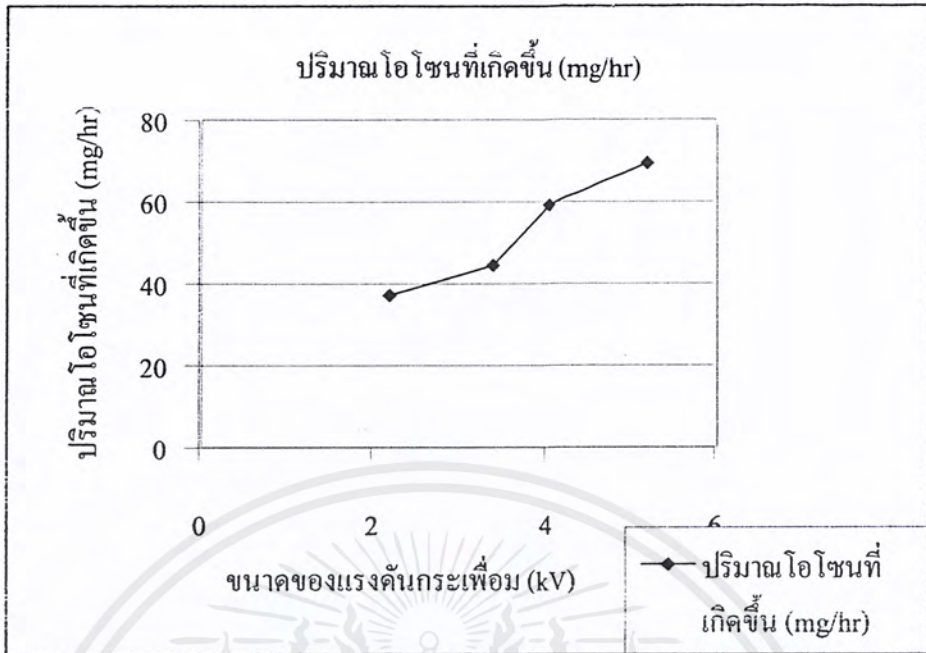
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบแหล่งกำเนิดที่แรงดันกระแสเพิ่มขนาดต่างๆ

จากการทดลองที่ 4.3.2.1 พบว่า ตัวแปรทั้ง 2 ค่า คือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงและความถี่ มีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้จะเป็นการศึกษาว่าขนาดของแรงดันกระเพื่อมจะมีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นหรือไม่ ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยคงค่าตัวแปร 2 ตัว คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และความถี่ไว้ และทำการปรับค่าขนาดแรงดันกระเพื่อมที่ขนาดต่างๆ โดยเลือกใช้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20 kV และความถี่ 32 kHz เนื่องจากที่ค่าของตัวแปรทั้งสองเป็นค่าสูงสุดที่ทำการผลิตได้ และมีปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นสูงสุดจากการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบที่แรงดันกระเพื่อมขนาดต่างๆ

DC High Voltage (kV)	Frequency (kHz)	Ripple (kV <sub>pp</sub> )	ปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้น (mg/hr)
20	32	2.18	37.06
		3.36	44.58
		4.03	58.96
		5.20	69.12

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าขนาดของแรงดันกระเพื่อมมีผลต่อปริมาณก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้น โดยเมื่อขนาดของแรงดันกระเพื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณโอโซนที่ทำการผลิตได้ก็จะมากขึ้นด้วย ดังแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณ ไอโซนที่เกิดขึ้นที่แรงดันกระเพื่อมขนาดต่างๆ

จากการทดสอบในการทดลองนี้ พบว่าขนาดของแรงดันกระเพื่อมที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปนี้มีผลต่อปริมาณ ไอโซนที่เกิดขึ้น โดยก๊าซไอโซนที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองถึงขนาดของแรงดันที่ 5.2 kV เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือวัดที่สามารถทำการวัดได้เท่าที่แสดงในผลการทดลอง แต่เครื่องที่ทำการสร้างขึ้นมาจริงนั้นสามารถปรับค่าแรงดันกระเพื่อมได้สูงกว่าที่แสดงผลไว้

จากการทดลองทั้งหมดพบว่า ตัวแปรทั้ง 3 ค่าที่ต้องการศึกษา คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ มีผลต่อปริมาณก๊าซไอโซนที่สามารถทำการผลิตได้ จากผลการศึกษาจาก [4] และ [6] พบว่าการผลิตก๊าซไอโซนโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงต่างกันคือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงและกระแสตรงแรงดันสูง ปริมาณการผลิตก๊าซไอโซนจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงจะสามารถผลิตก๊าซไอโซนได้มากกว่าการใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่หลังจากการศึกษาพบว่า เมื่อเราทำการสร้างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ที่แรงดันกระเพื่อมสูง ความถี่สูง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซไอโซนจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเดิม โดยจะยังคงต้องใช้ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงอยู่ แต่จากชุดแหล่งกำเนิดที่ทำ

การสร้างชิ้นมานั้นจะสามารถลดขนาดของแรงดันลง และใช้ปัจจัยด้านแรงดันกระเพื่อมและความถี่มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซโอโซนได้ เนื่องจากทั้งขนาดของแรงดันกระเพื่อมและความถี่จะมีผลต่อปริมาณก๊าซโอโซนที่ทำการผลิตได้ แต่โดยรวมแล้วการผลิตก๊าซโอโซน โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ความถี่สูงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์

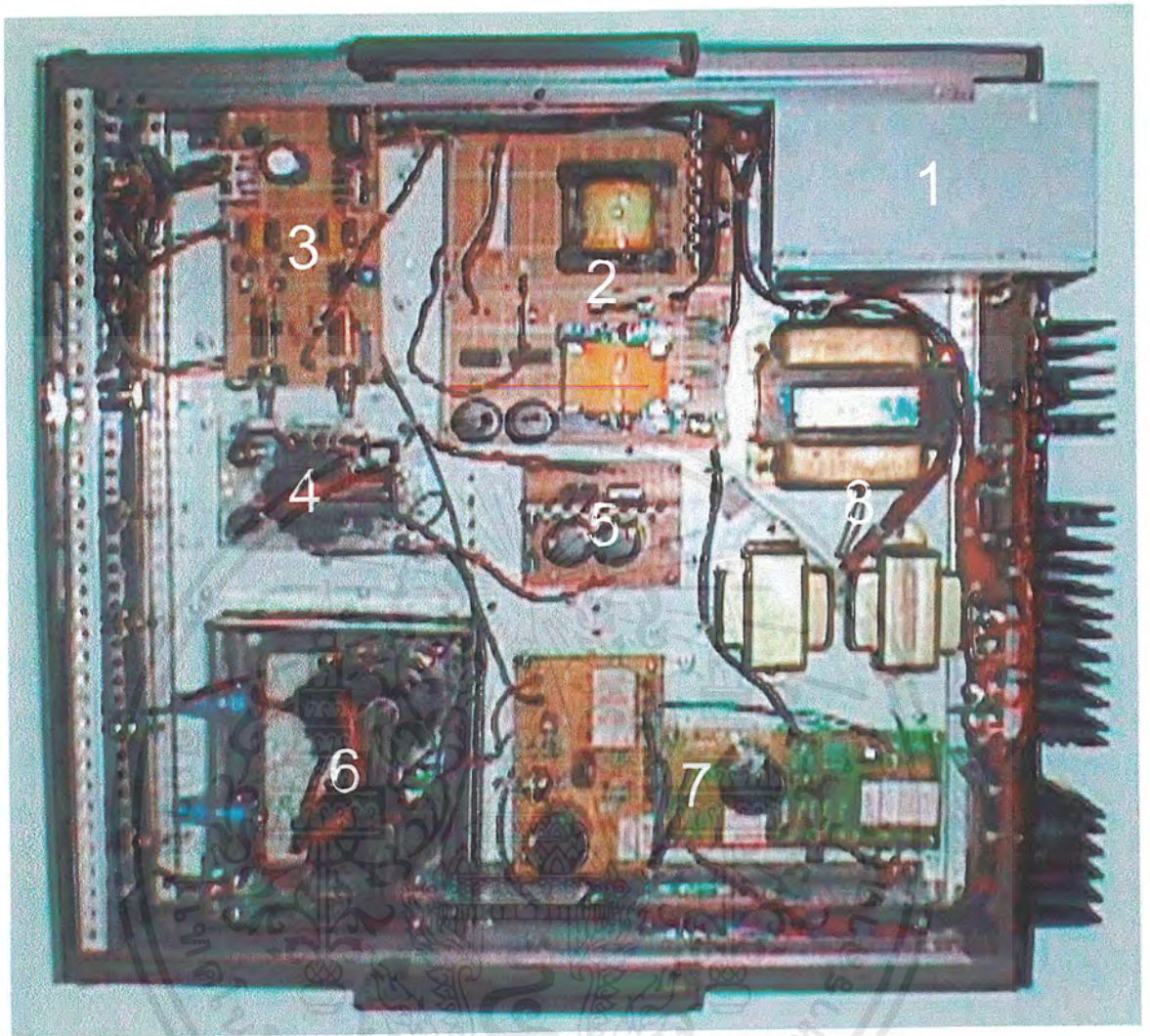
1. จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรระดับแรงดันเพื่อช่วยในการศึกษาเรื่องความถี่และขนาดของแรงดันกระเพื่อม และการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ทำให้สามารถสร้างชุดแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดของแรงดันกระเพื่อม(ripple voltage) และความถี่ได้
2. จากผลการทดลองใน 4.3.1-4.3.2.2 พบว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวที่ต้องการทำการศึกษาคือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ขนาดของแรงดันกระเพื่อม และความถี่ โดยสามารถแจ้งผลการทดสอบได้ดังนี้
  - 2.1 การศึกษาเรื่องขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยจากผลการทดลองเป็นการศึกษาดังแต่ 4 kV ถึง 20 kV แต่ไม่สามารถผลิตก๊าซไอโซนได้เพราะ ขนาดของแรงดันที่ทำการศึกษามีขนาดน้อยเกินไป แต่แหล่งกำเนิดที่ทำการสร้างขึ้นนั้นสามารถปรับได้สูงกว่า แต่มีปัญหาในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ทำการวัดนั้นสามารถวัดค่าแรงดันได้สูงสุดที่ 20 kV ถ้าทำการทดสอบที่แรงดันสูงกว่านั้นจะไม่สามารถทำการวัดได้ ทำให้ไม่ทราบค่าว่าเกิดการแตกตัวของอากาศเป็น ไอโซนที่ค่าความถี่เท่าใด
  - 2.2 การศึกษาเรื่องความถี่ โดยจากผลการทดลองกับชุดอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าสามารถทำการศึกษาความถี่ได้ 20-40 kHz เมื่อทำการทดสอบที่ความถี่สูงกว่า 40 kHz จะมีผลกระทบต่อแรงดันกระเพื่อมคือจะทำให้แรงดันกระเพื่อมตกลง ดังผลการทดลอง ทำการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 16 kV แรงดันกระเพื่อม 5 kV<sub>pp</sub> และความถี่ 20-40 kHz พบว่าที่ความถี่ 42 kHz ขนาดของแรงดันกระเพื่อมลดลงเหลือเพียง 3.6 kV<sub>pp</sub> สาเหตุที่ทำให้ขนาดของแรงดันกระเพื่อมลดลงเนื่องมาจากเกิดการอิมพัลส์ของแกนเหล็กซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแรงดันกระเพื่อมมีขนาดลดลง

จากการศึกษาเรื่องความถี่ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 13 kV และ 20 kV ที่แรงดันกระแสเพิ่ม 5.2 kV<sub>pp</sub> ทำให้ทราบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซโอโซน ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสรุปได้ว่าความถี่มีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซโอโซน

2.3 การศึกษาเรื่องขนาดแรงดันกระแสเพิ่ม จากผลการทดลองพบว่าที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 20 kV แรงดันกระแสเพิ่มค่าต่างๆ ที่ความถี่ 32 kHz ได้ว่าเมื่อทำการปรับเพิ่มแรงดันกระแสเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณก๊าซโอโซนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสรุปได้ว่าขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มมีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซโอโซน

3. จากการศึกษเกี่ยวกับปริมาณ โอโซนที่เกิดขึ้นสามารถทำการผลิตได้น้อยมาก อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แรงดันกระแสเพิ่มแรงสูงความถี่สูงที่สร้างขึ้นสามารถศึกษาตัวแปรทางไฟฟ้าที่มีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซโอโซนได้ตามจุดประสงค์ โดยสามารถแสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดที่สร้างขึ้น ได้ดังต่อไปนี้

- ปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 0-20 kV
- ปรับขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มได้ 0-12 kV<sub>pp</sub>
- ปรับความถี่ได้ 30-100 kHz



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง-ความถี่สูง

ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกำเนิด โอโซน โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง-ความถี่สูง

1. SWITCHING POWER SUPPLY จากเครื่องคอมพิวเตอร์ 12 VDC 10A
2. BOOST CONVERTER
3. CONTROL FLYBACK CONVERTER & CONTROL INVERTER
4. FLYBACK TRANSFORMER (AC)
5. HALF BRIDGE INVERTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. FLYBACK TRANSFORMER (DC)

## 7. DC POWER SUPPLY 0-30 V 5A

## 8. TRANSFORMER

ดังนั้น ถ้าจะมีการศึกษาในเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่มีค่าความถี่สูงและแรงดันกระแสเพื่อบางๆ เพื่อศึกษาตัวแปรทางไฟฟ้าทั้งสามคือ ขนาดของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ความถี่ และ แรงดันกระแสเพื่อบางๆที่มีผลต่อปริมาณการเกิดโอโซนมากนักน้อยเพียงใด การออกแบบเครื่องนั้นต้องสามารถสร้างแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงมากๆ ได้ รวมถึงสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ในช่วงกว้าง และสามารถสร้างไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดที่สูงมากๆ สามารถปรับได้ในช่วงกว้าง อีกทั้งมีประสิทธิภาพที่สูงพอที่จะส่งผ่านพลังงานได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางไฟฟ้าข้างต้น โดยที่ตัวแปรควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือตกลง ที่สำคัญอีกข้อที่จะกล่าวถึงคือฉนวนที่ใช้ในการป้องกันอันตรายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าแรงสูง เพราะโอโซนจะเกิดที่ค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงมากๆ ฉะนั้น ถ้าไม่มีการใช้ฉนวนที่มีค่าความคงทนต่อแรงดันเบรคความถี่มากพออาจทำให้ได้รับอันตรายได้

## กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านที่เอื้อเพื่อเอกสาร คำแนะนำ และ สิ่งอื่นๆที่เป็น  
ประโยชน์ต่อการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงดังต่อไปนี้

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและเอาใจใส่พวกเรา  
เสมอมา

ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ใน  
การวัดปริมาณไอโซน

พี่พรพิมล รัตนวิเชียร ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลประกอบการทำโครงการ  
พี่เบิ้ม พี่แสบ ที่คอยช่วยประสานงานในการขอยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวัดจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณพ่อ, คุณแม่ ที่เคารพ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้  
กำลังใจและช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา พี่น้อง เพื่อนร่วมงานทุกคนที่มีส่วนอย่างมากในการทำ  
ให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือทุกทางที่มีมาถึงคณะผู้จัดทำเอง  
ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่มีคุณค่าอย่างมาก

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณ  
ทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

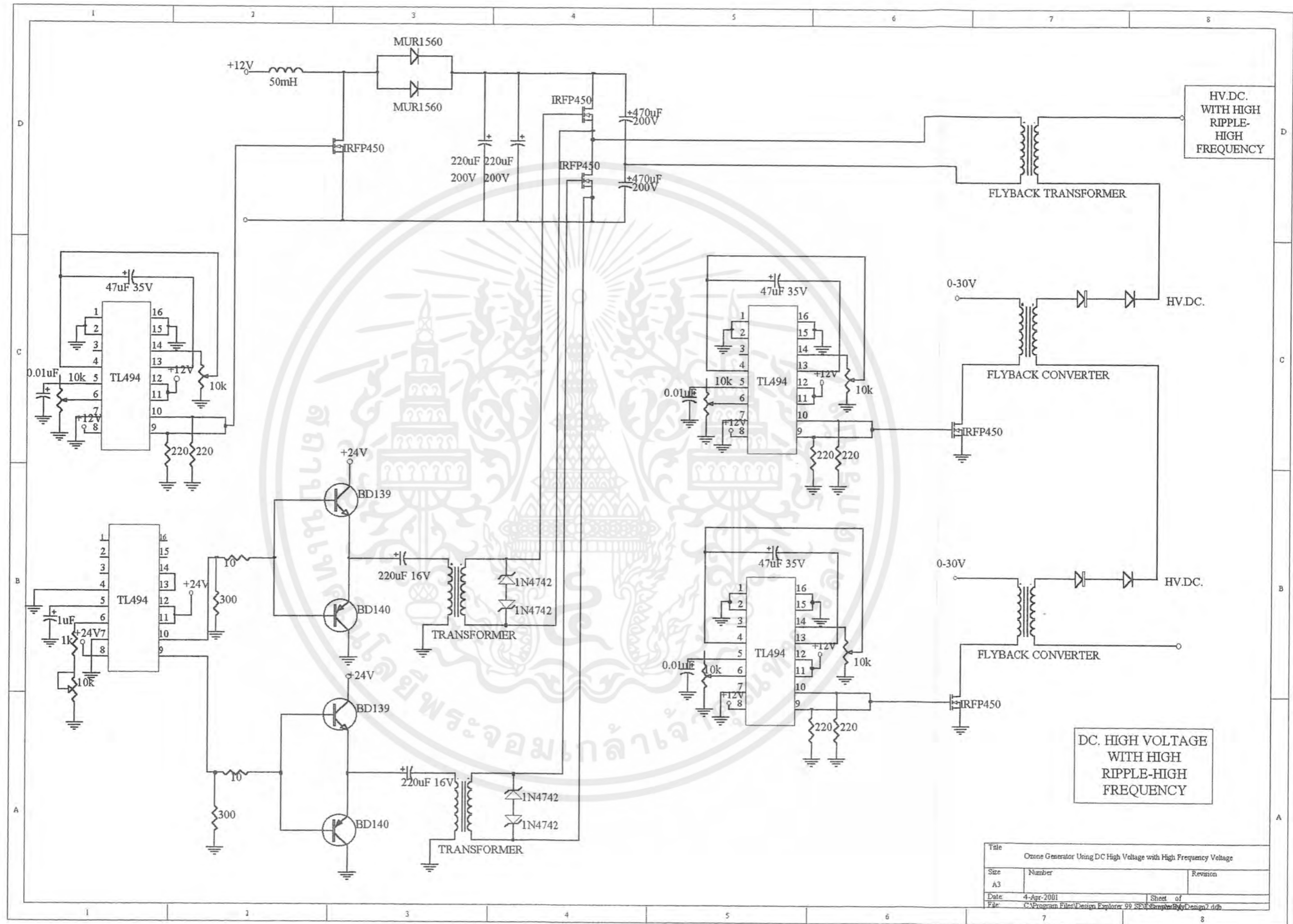
## เอกสารอ้างอิง

- [1] Daniel W.Heart, "Introduction to Power Electronics", Prentice Hall Inc.
- [2] Prominent Fluid Controls(Thailand)Limited, "Production, feature and applications of Ozone".
- [3] Hankin Atlas Ozone System Limited, "Materil Safety Information", [Online]  
Available : <http://www.hankinozone.com/MSDS.Html>.
- [4] พรพิมล รัตนวิเชียร, "เครื่องผลิตก๊าซโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์", วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [5] สุวัฒน์ คั่น, "เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย", ฝ่ายวิจัยและ  
พัฒนา บริษัท เอนเทลไทย จำกัด.
- [6] หิรัญ คงอุไร, อติศักดิ์ หิรัณยานุรักษ์, อัครินทร์ บุญคง, "ชุดสร้างโคโรนาสำหรับ  
เครื่องกำเนิดโอโซน", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

## ภาคผนวก

### ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษาคต่อไป

1. ในด้านการป้องกัน จะต้องศึกษาเรื่องของฉนวนที่จะใช้กับหม้อแปลงฟลายเบคเพิ่มเติม เนื่องจากขนาดของแรงดันที่ทำการศึกษานั้นเป็นขนาดแรงดันที่ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการเบรคความถี่หากันได้ง่าย จึงต้องมีการป้องกันให้ดีขึ้นกว่านี้
2. หม้อแปลงฟลายเบคที่จะนำมาใช้นั้น ต้องเลือกให้สีทั้งขนาดของเอาท์พุทและการอิมิตัวของแกน เพราะถ้าจุดที่เกิดการอิมิตัวต่ำ ก็จะทำให้การศึกษาได้ในช่วงที่แคบกว่าการเลือกที่จุดอิมิตัวที่สูงกว่า
3. ในเรื่องของเครื่องมือวัดต้องพยายามหาเครื่องมือที่สามารถทำการวัดได้ในช่วงที่กว้างกว่าเครื่องมือที่ใช้ในโครงการนี้ เพราะช่วงของแรงดันที่ต้องการศึกษานั้นมีช่วงสูงมาก ถ้าเครื่องมือที่ใช้ไม่สามารถวัดได้ก็จะทำการศึกษาคต่อไปไม่ได้
4. อุปกรณ์ที่จะเลือกใช้ต้องเลือกที่มีความทนทานสูงเพราะเราทำการศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูง ถ้าอุปกรณ์ทนไม่ได้ก็จะทำการศึกษาคไม่ได้ รวมถึงเรื่องการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ต่างๆด้วย



Title		
Ozone Generator Using DC High Voltage with High Frequency Voltage		
Size	Number	Revision
A3		
Date	4-Apr-2001	Sheet of
File	C:\Program Files\Design Explorer 99 SE\3\Sample\Design2.dtb	

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 convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17435.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP450	TO-247	IRFP450

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Features**

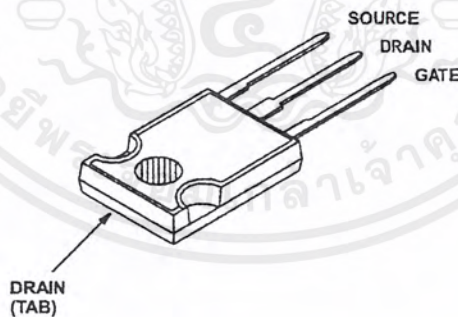
- 14A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.400\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Symbol**



**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247



# IRFP450

## 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 ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (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.....	$V_{GS}$	$\pm 20$ V
Maximum Power Dissipation.....	$P_D$	180 W
Linear Derating Factor.....		1.44 $W/^\circ\text{C}$
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 $^\circ\text{C}$

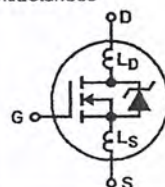
**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

**NOTE:**

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

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	$I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (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	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$	14	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	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	$\Omega$
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)	$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 14\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ $I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ (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	-
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	-	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	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C/W}$



# IRFP450

## 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	-	$\mu\text{C}$

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

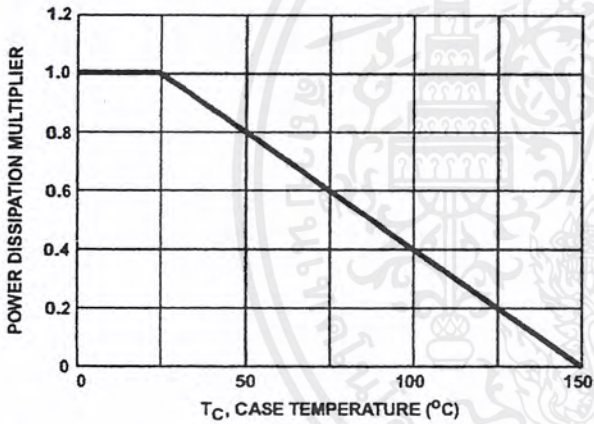


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

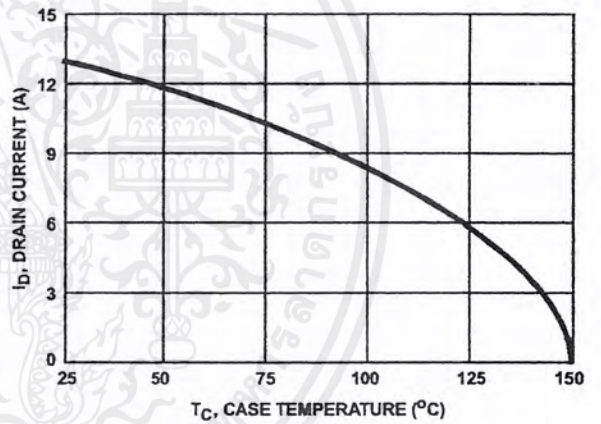


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

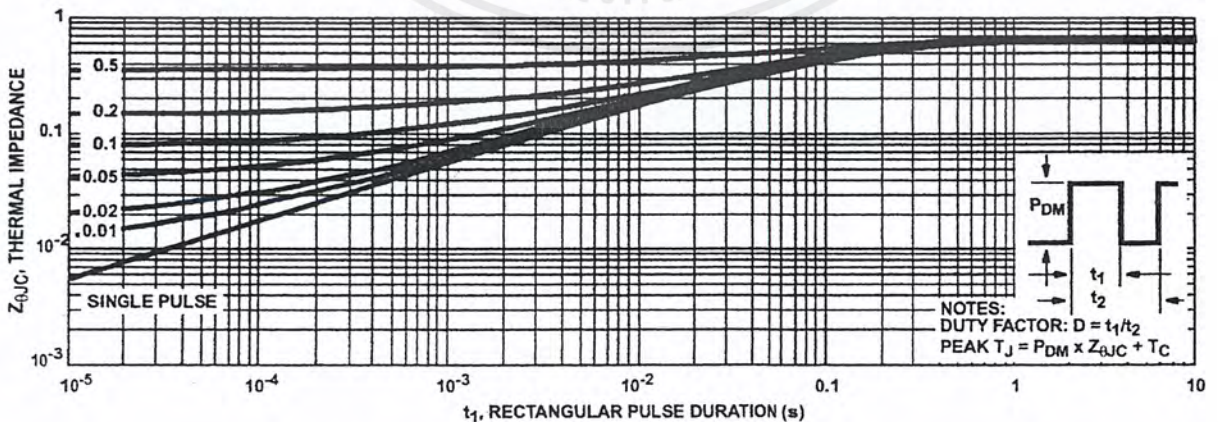


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

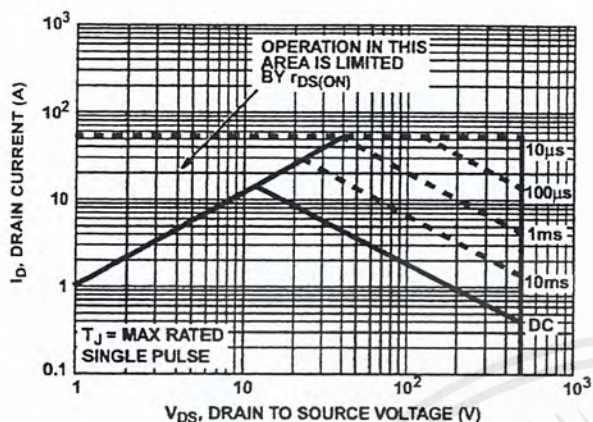


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

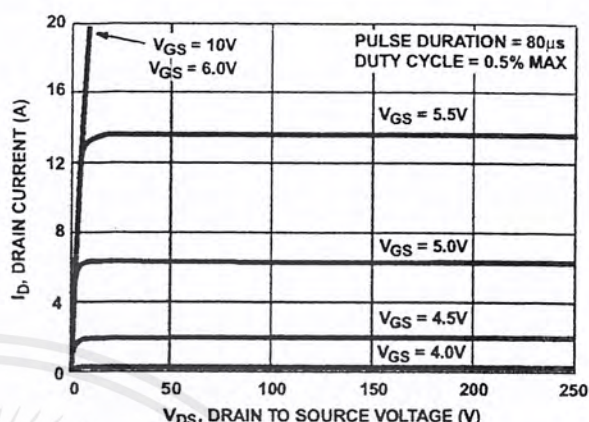


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

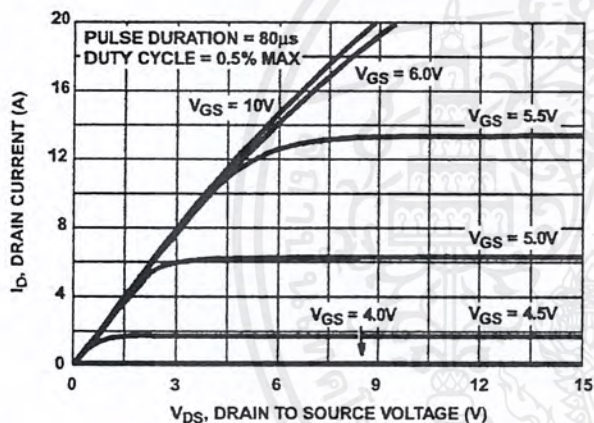


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

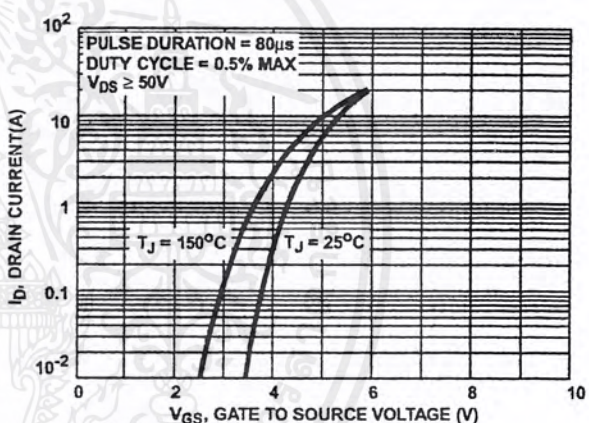
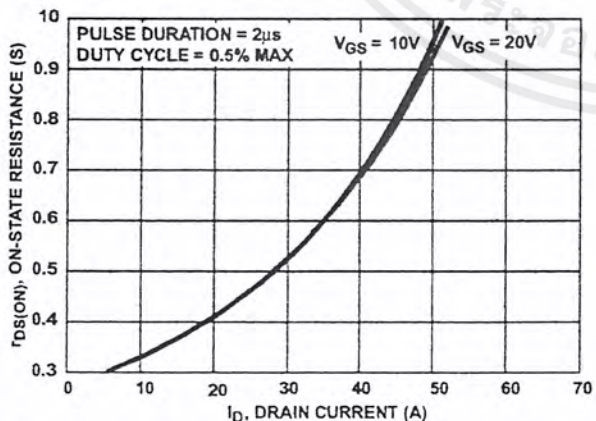


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS



NOTE: Heating effect of 2µs is minimal.

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

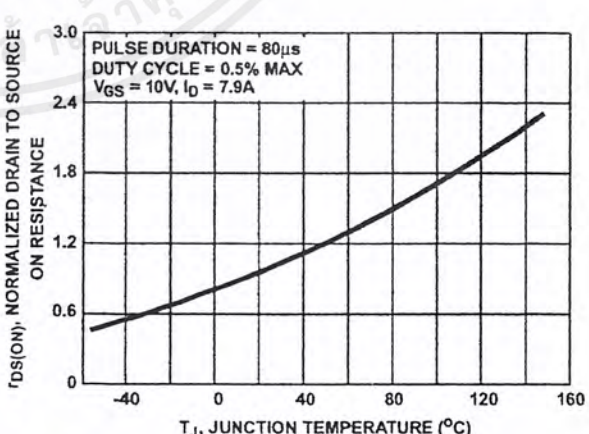


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

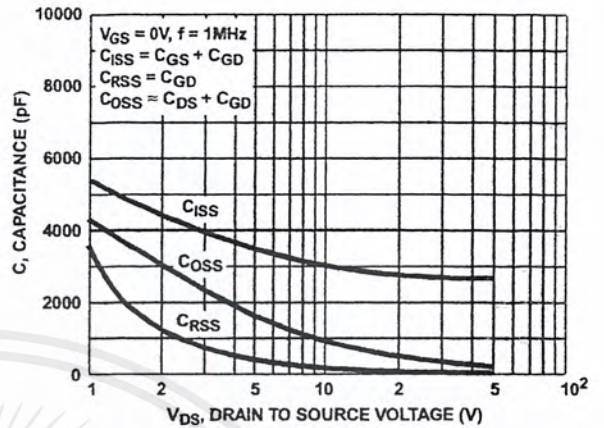
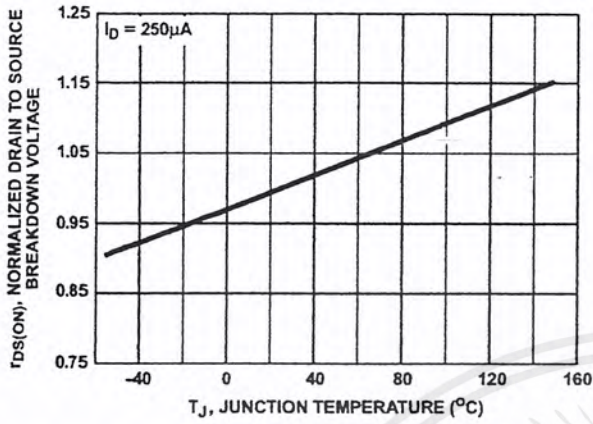


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

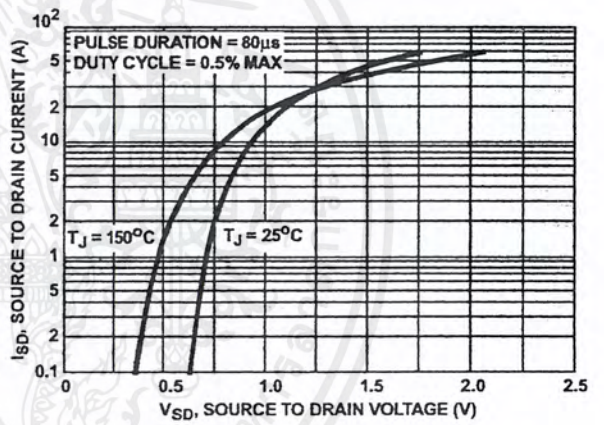
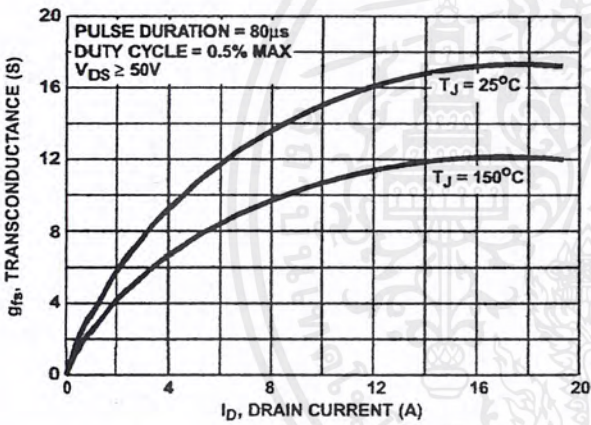


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

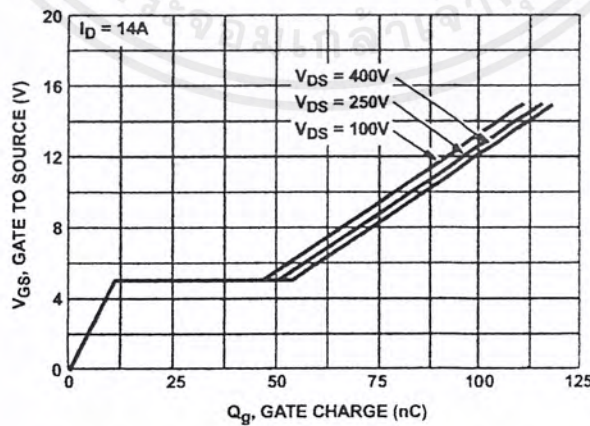


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

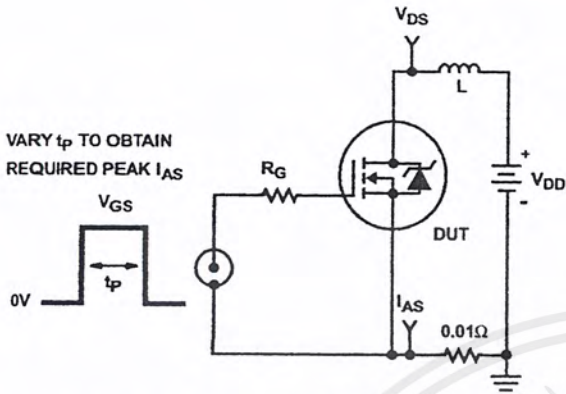


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

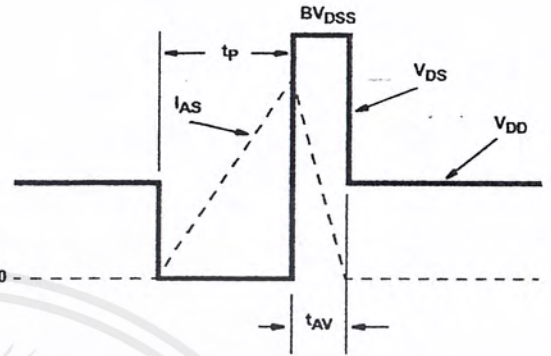


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

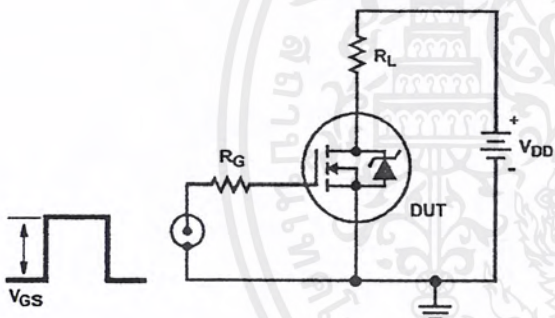


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

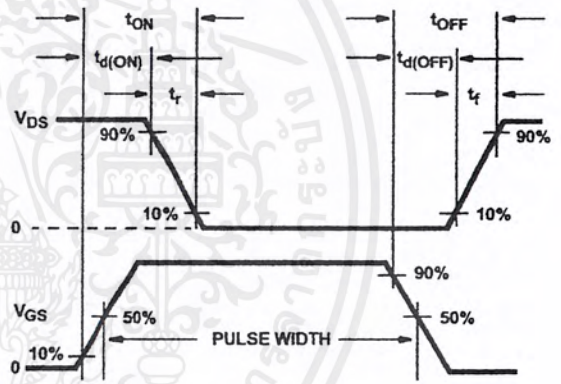


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

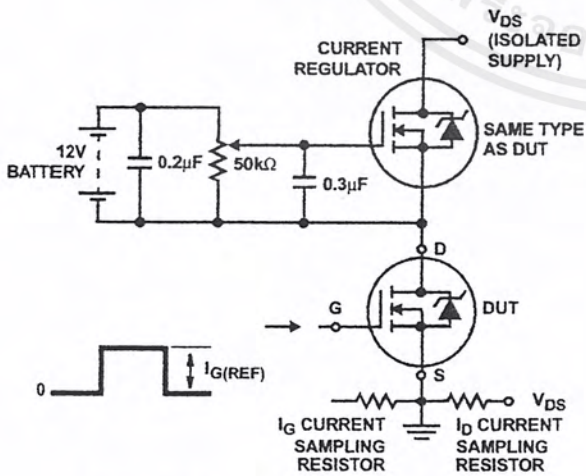


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

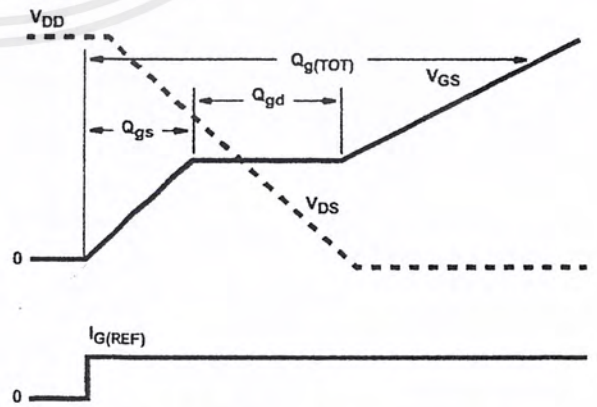


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

# TL494

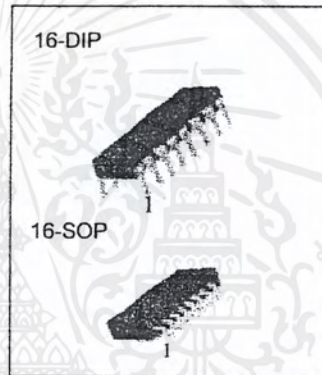
## SMPS Controller

### Features

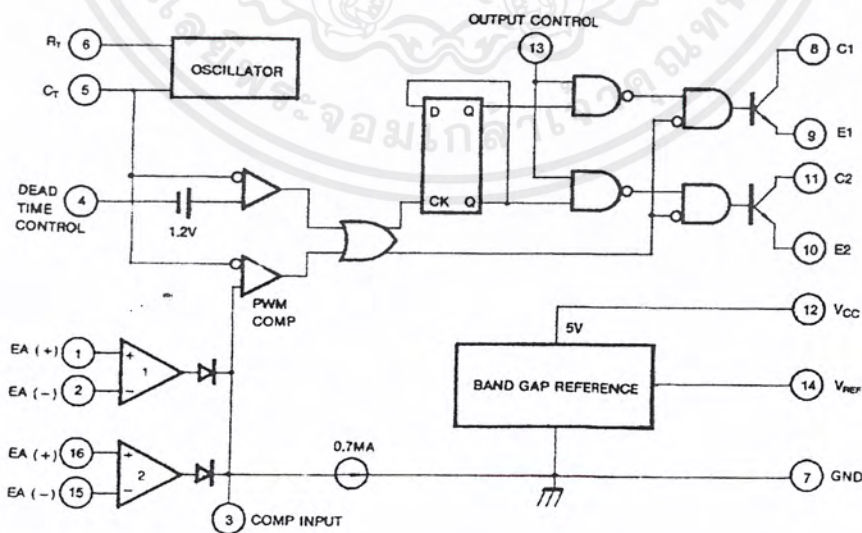
- Internal regulator provides a stable 5V reference supply trimmed to 5%
- Uncommitted output TR for 200mA sink or source current
- Output control for push-pull or single-ended operation
- Variable duty cycle by dead time control (pin 4) Complete PWM control circuit
- On-chip oscillator with master or slave operation
- Internal circuit prohibits double pulse at either output

### Description

The TL494 is used for the control circuit of the PWM switching regulator. The TL494 consists of 5V reference voltage circuit, two error amplifiers, flip flop, an output control circuit, a PWM comparator, a dead time comparator and an oscillator. This device can be operated in the switching frequency of 1 KHz to 300 KHz.



### Internal Block Diagram



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42	V
Collector Supply Voltage	V <sub>C</sub>	42	V
Output Current	I <sub>O</sub>	250	mA
Amplifier Input Voltage	V <sub>IN</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Power Dissipation (T <sub>A</sub> = 25°C)	P <sub>D</sub>	1 (TL494CN) 0.9 (TL494CD)	W
Operating Temperature Range	T <sub>OPR</sub>	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	T <sub>STG</sub>	-65 ~ +150	°C



## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 20V$ ,  $f = 10KHz$ ,  $T_A = 0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
<b>REFERENCE SECTION</b>						
Reference Output Voltage	$V_{REF}$	$I_{REF} = 1mA$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation	$\Delta V_{REF}$	$V_{CC} = 7V$ to $40V$	-	2.0	25	mV
Temperature Coefficient of $V_{REF}$	$\Delta V_{REF}/\Delta T$	$T_A = 0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	-	0.01	0.03	%/ $^{\circ}C$
Load Regulation	$\Delta V_{REF}$	$I_{REF} = 1mA$ to $10mA$	-	1.0	15	mV
Short-Circuit Output Current	$I_{SC}$	$V_{REF} = 0V$	10	35	50	mA
<b>OSCILLATOR SECTION</b>						
Oscillation Frequency	$f$	$C_T = 0.01\mu F$ , $R_T = 12K\Omega$	-	10	-	KHz
Frequency Change with Temperature	$\Delta f/\Delta T$	$C_T = 0.01\mu F$ , $R_T = 12K\Omega$	-	-	2	%
<b>DEAD TIME CONTROL SECTION</b>						
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	$V_{CC} = 15V$ , $0V \leq V_4 \leq 5.25V$	-	-2.0	-10	$\mu A$
Maximum Duty Cycle	$D(MAX)$	$V_{CC} = 15V$ , $V_4 = 0V$ $O.C$ Pin = $V_{REF}$	45	-	-	%
Input Threshold Voltage	$V_{ITH}$	Zero Duty Cycle	-	3.0	3.3	V
		Max. Duty Cycle	0	-	-	
<b>ERROR AMP SECTION</b>						
Input Offset Voltage	$V_{IO}$	$V_3 = 2.5V$	-	2.0	10	mV
Input Offset Current	$I_{IO}$	$V_3 = 2.5V$	-	25	250	mA
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	$V_3 = 2.5V$	-	0.2	1.0	$\mu A$
Common Mode Input Voltage	$V_{CM}$	$7V \leq V_{CC} \leq 40V$	-0.3	-	$V_{CC}$	V
Open-Loop Voltage Gain	$G_{VO}$	$0.5V \leq V_3 \leq 3.5V$	70	95	-	dB
Unit-Gain Bandwidth	$BW$	-	-	650	-	KHz
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b>						
Input Threshold Voltage	$V_{ITH}$	Zero Duty Cycle	-	4	4.5	V
Input Sink Current	$I_{SINK}$	$V_3 = 0.7V$	-0.3	-0.7	-	mA
<b>OUTPUT SECTION</b>						
Output Saturation Voltage Common Emitter	$V_{CE(SAT)}$	$V_E = 0$ , $I_C = 200mA$	-	1.1	1.3	V
	$V_{CC(SAT)}$	$V_C = 15V$ , $I_E = -200mA$	-	1.5	2.5	
Collector Off-State Current	$I_{C(OFF)}$	$V_{CC} = 40V$ , $V_{CE} = 40V$	-	2	100	$\mu A$
Emitter Off-State Current	$I_{E(OFF)}$	$V_{CC} = V_C = 40V$ , $V_E = 0$	-	-	-100	
<b>TOTAL DEVICE</b>						
Supply Current	$I_{CC}$	Pin 6 = $V_{REF}$ , $V_{CC} = 15V$	-	6	10	mA
<b>OUTPUT SWITCHING CHARACTERISTIC</b>						
Rise Time	$t_R$	-	-	-	-	-
Common Emitter	-	-	-	100	200	ns
Common Collector	-	-	-	100	200	
Fall Time	$t_F$	-	-	-	-	-
Common Emitter	-	-	-	25	100	ns
Common Collector	-	-	-	40	100	



# Mechanical Dimensions

## Package

### 16-DIP

