

เครื่องบำบัดน้ำด้วยโอโซน  
OZONE SYNTHESIZER FOR WATER TREATMENT



ปฏิญานพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

ปีการศึกษา 2545

เลขทะเบียน..... 50394

วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบำบัดน้ำด้วยโอโซน  
OZONE SYNTHESIZER FOR WATER TREATMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบำบัดน้ำด้วยโอโซน

ผู้จัดทำ

1. นาย มานนท์ ตั้งแสงสุวรรณ

2. นาย เอกลักษณ์ เอกจิตรระกูล



รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องบำบัดน้ำด้วยโอโซน

นาย มานนท์ ตั้งแสงสุวรรณ รหัส 42010268

นาย เอกลักษณ์ เอกจิตรระกุล รหัส 42010453

รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบหลอดกำเนิดโอโซน เพื่อนำก๊าซโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำ ซึ่งหลักการกล่าวได้ดังนี้คือ การนำอากาศที่ได้จากมอเตอร์ ไหลผ่านไปยังหลอดโอโซนที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยให้อากาศไหลผ่านสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวและรวมตัวกันใหม่เกิดเป็นก๊าซโอโซน โดยสามารถควบคุมปริมาณก๊าซโอโซนได้โดยการควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูงนั่นเอง และเมื่อเราได้ก๊าซโอโซนมาแล้ว เราจะนำมันมาผ่านตัวผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ต้องการบำบัด ซึ่งโครงการนี้ได้ทำการออกแบบตัวผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ต้องการบำบัดไว้ด้วย โดยระบบจะประกอบไปด้วย เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการจ่ายน้ำผ่านตัวผสมซึ่งได้ทำการผสมน้ำกับก๊าซโอโซนเพื่อให้ได้น้ำสะอาดที่ผ่านการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OZONE SYNTHESIZER FOR WATER TREATMENT

Mr. Manon Tangsaengsuwan Code 42010268

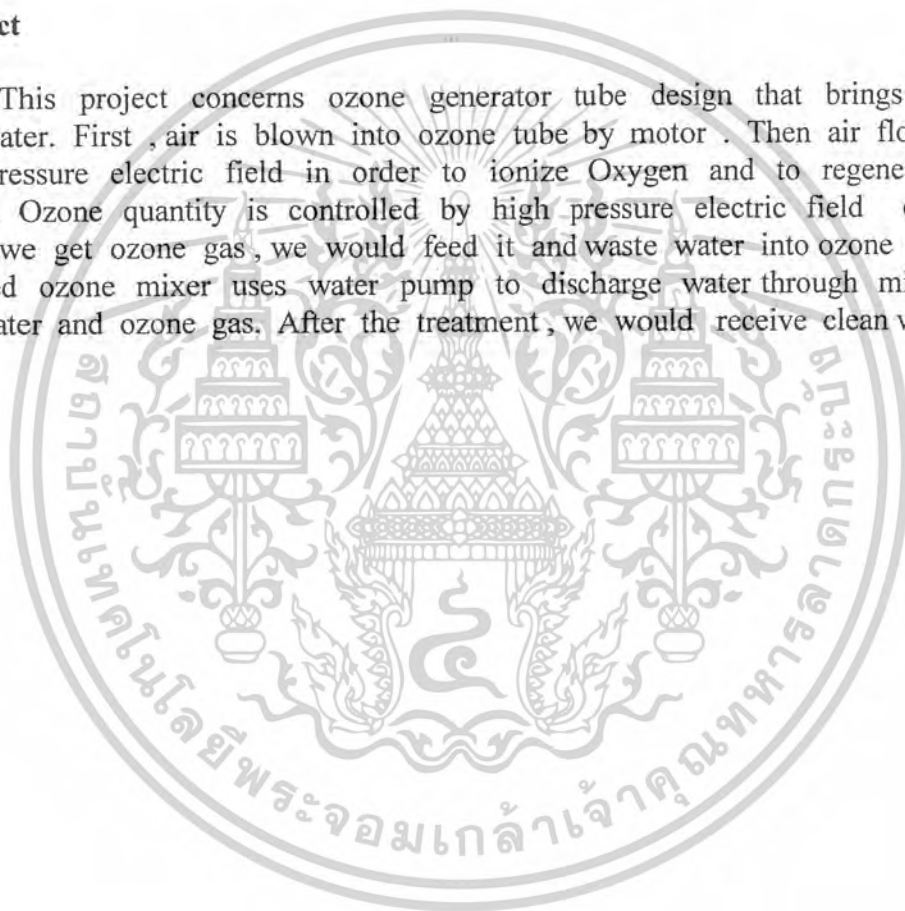
Mr. Akekaluk Akejiratrakul Code 42010453

Prof. Somsak Cheersirikul (Advisor)

Educational year 2002

### Abstract

This project concerns ozone generator tube design that brings ozone to treat water. First, air is blown into ozone tube by motor. Then air flow through high pressure electric field in order to ionize Oxygen and to regeneration into ozone. Ozone quantity is controlled by high pressure electric field controlling. When we get ozone gas, we would feed it and waste water into ozone mixer. The designed ozone mixer uses water pump to discharge water through mixer which mix water and ozone gas. After the treatment, we would receive clean water.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อ	
บทนำ	1
บทที่ 1 วิธีการบำบัดน้ำ	3
1.1 การบำบัดทางฟิสิกเคมี	3
1.2 การบำบัดทางเคมี	5
1.3 การบำบัดทางชีววิทยา	5
บทที่ 2 การกำเนิดโอโซน	6
2.1 แหล่งที่มา	6
2.2 การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน	7
2.3 อุณหภูมิกับการเกิด โอโซน	9
บทที่ 3 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	10
3.1 คุณสมบัติของก๊าซโอโซน	10
3.2 ข้อดีของการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน	11
3.3 ระบบบำบัดน้ำด้วยโอโซน	12
บทที่ 4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิง	15
4.1 หลักการทำงานทั่วไปของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	16
4.2 คอนเวอร์เตอร์	17
4.3 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	25
บทที่ 5 หลักการทำงานและผลการทดลอง	31
5.1 แสดงการทำงานโดยรวมและวิธีการทำงานต่างๆ	31
5.2 การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง	32
5.3 หลักการออกแบบและการอธิบายระบบบำบัดน้ำ	40
5.4 ผลการทดลอง	40
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซ โอโซน โดยใช้หลักการ โคโรน่า	7
รูปที่ 2.2 เครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนแบบออกโตเพลต	9
รูปที่ 3.1 แสดง Corona discharge ozone generation	12
รูปที่ 3.2 Ozone Contact ชนิด turbine	13
รูปที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป	16
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 4.1	17
รูปที่ 4.3 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 4.4 ฟอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 4.5 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 4.6 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	19
รูปที่ 4.7 พูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	19
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 4.9 (ก) ขณะที่ $Q_1$ นำกระแส $Q_2$ จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม $N_p$ เท่ากับ $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$	20
รูปที่ 4.9 (ข) ขณะที่ $Q_2$ นำกระแส $Q_1$ จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ เช่นเดียวกันและแรงดันตกคร่อม $N_p$ เท่ากับ $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$	21
รูปที่ 4.10 (ก) แสดงลักษณะของการไม่สมมาตร ฟลักซ์ เนื่องจาก $Q_1$ ใช้เวลานานกว่า $Q_2$	22
รูปที่ 4.10 (ข) แสดงผลของการต่อตัวเก็บประจุลือกิ่ง $C_b$ เข้ามาในวงจร เพื่อลด ความไม่สมมาตรฟลักซ์	22
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของการเกิดความลาด ( $D_{rop}$ ) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อม ของไพรมารี่เมื่อต่อตัวเก็บประจุลือกิ่ง $C_b$ คั่นเข้ามาในวงจร	23
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดควบคุมจากแรงดัน	26
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจาก การมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณพื้นฐานตามรูปที่ 4.12	26
รูปที่ 4.14 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดควบคุมจากกระแส	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัดวงจรขยายความแตกต่างออกและกำหนด แรงดันอ้างอิง $V_{ref}$ ที่ขาอินเวอร์ตติ้งของวงจรเปรียบเทียบแทน	28
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมในโหมด ควบคุมกระแส	29
รูปที่ 5.1 แสดงภาพโดยรวมของการสร้างเพื่อที่จะผลิตก๊าซไอโซน และการนำไปใช้	31
รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ภาคเอาต์พุต	35
รูปที่ 5.3 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ภาคเอาต์พุตที่สร้างขึ้น	35
รูปที่ 5.4 แสดงหลอดกำเนิดไอโซน	36
รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องกำเนิดไอโซน	36
รูปที่ 5.6 แสดงถึงบำบัดน้ำใบที่ 1	37
รูปที่ 5.7 แสดงถึงบำบัดน้ำใบที่ 2	38
รูปที่ 5.8 แสดงระบบบำบัดน้ำที่สร้างขึ้น	39
รูปที่ 5.9 แสดงตัวผสมก๊าซ ไอโซนกับน้ำที่จะนำมาบำบัด	40
รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณ Saw Tooth ที่ขา 5 ของ TL494	41
รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณที่ขา 8 ของ TL494	42
รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณที่ขา 11 ของ TL494	42
รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณที่ขา 8 และ ขา 11 ของ TL 494	43
รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณก่อนเข้าหม้อแปลง (หม้อแปลงที่ทำหน้าที่ isolate)	43
รูปวงจร Switching Power Supply	ภาคผนวก
รูปวงจรเรโซแนนซ์ภาคเอาต์พุต	ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

โอโซนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ เช่น เหล็ก แมงกานีส รวมทั้งสารประกอบจำพวกซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดสี , กลิ่น , ฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียได้ และยังไม่ก่อให้เกิดสารประกอบอื่นๆตกค้างเหมือนคลอรีน

ก๊าซโอโซนสามารถสร้างขึ้นได้ด้วยการนำอากาศจากปัมอากาศ โดยให้ไหลผ่านไปยังหลอดโอโซน ซึ่งหลอดโอโซนนี้สร้างขึ้นโดยมีขั้วโลหะในที่นี้ใช้ขั้วโลหะทองแดง มีแก้วเป็นสารไดอิเล็กตริก และมีตาข่าย(มุ้งลวด) เป็นขั้วกราวด์ ซึ่งจะป้อนไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้าค่าสูง เพื่อให้ทำให้ออกซิเจนในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโตรด เกิดการไอออนไนเซชันแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และรวมตัวกันใหม่เป็นโอโซน ( $O_3$ )

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโครงการที่สร้างขึ้นมาเพื่อศึกษา และ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการผลิตก๊าซโอโซนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยชุดอิเล็กโตรด(หลอดกำเนิดโอโซน) , แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง และมีปัมอากาศ ซึ่งปัมอากาศจะทำหน้าที่ในการดูดอากาศแล้วให้อากาศไหลผ่านหลอดกำเนิดโอโซน โดยจะต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าสูงให้กับหลอดกำเนิดโอโซนด้วย ซึ่งก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำ

ในการบำบัดน้ำนั้น เราจะต้องทำการออกแบบเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ต้องการจะนำมาบำบัด ซึ่งเราได้จำลองระบบบำบัดน้ำขึ้นมา ดังนี้คือ ทำการสูบน้ำที่จะบำบัดโดยใช้เครื่องสูบน้ำ น้ำที่ได้จะไหลด้วยแรงดันสูงกว่าแรงดันบรรยากาศ เมื่อน้ำไหลผ่านตัวผสมจะทำให้เกิดการดูดก๊าซโอโซนมาผสมกับน้ำที่ต้องการบำบัดทำให้น้ำที่ได้สะอาดขึ้น

### จุดประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

- 1.ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อนำมาประยุกต์ในการกำเนิดโอโซน
- 2.ศึกษาทฤษฎีการกำเนิดโอโซนและปรากฏการณ์โคโรน่า
- 3.ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสีย
- 4.ศึกษาทฤษฎีและทำการออกแบบตัวผสมน้ำที่ต้องการบำบัดและก๊าซโอโซน
- 5.ศึกษาระบบบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพในการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ต้องการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางที่สามารถทำได้ต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ คือการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อระบบ ดังเช่น ปริมาณก๊าซโอโซนที่สามารถสร้างได้จะสามารถควบคุมโดยการควบคุมพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้ คือ การควบคุมปริมาณอากาศจากป้อนอากาศหรือถ้าจะให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นไปอีกเราสามารถนำก๊าซออกซิเจนมาแทนอากาศก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมปริมาณก๊าซโอโซนได้อีกด้วยการควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับหลอดกำเนิดโอโซน ส่วนพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ต้องการจะบำบัดนั้น จะควบคุมจากอัตราการไหลของน้ำ และการปริมาณก๊าซโอโซนที่จะนำไปบำบัด แนวทางนอกเหนือจากนี้คือการเก็บข้อมูลจากการบำบัดน้ำ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ควบคุม เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ วิธีการบำบัดน้ำ

การบำบัดน้ำ หมายถึง การปรับสภาพให้น้ำนั้นมีคุณภาพดีขึ้น (treatment) การบำบัดน้ำนั้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. การบำบัดทางฟิสิกเคมี
2. การบำบัดทางเคมี
3. การบำบัดทางชีววิทยา

### 1.1 การบำบัดทางฟิสิกเคมี

ใช้ในการกำจัดสารมลพิษทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ มีหลายกระบวนการ เช่น การดูดซับด้วยคาร์บอน (Carbon absorption), การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange), แก๊สstripping (Gas stripping) เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การดูดซับด้วยคาร์บอนและการแลกเปลี่ยนไอออน แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำด้วยวิธีฟิสิกเคมีโดยทั่วไปแล้วจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ จึงมักจะใช้การบำบัดขั้นสูง (Advance treatment) เพื่อการกำจัดสารมลพิษบางชนิดที่มีความเข้มข้นต่ำมาก และไม่เหมาะสมที่จะกำจัดด้วยวิธีอื่น ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงวิธีการที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายดังนี้

1.1.1 การดูดซับด้วยคาร์บอน สามารถใช้แยกสิ่งสกปรกทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น COD, BOD, สี, กลิ่น, รส, ยาฆ่าแมลง เป็นต้น

1.1.2 การแลกเปลี่ยนไอออน ใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำและใช้ในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ปราศจากแร่ธาตุ (demineralization)

1.1.3 แอร์stripping (Air stripping) โดยปกติจะถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกจากน้ำเสียแล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนกลับสู่บรรยากาศ วิธีการเช่นนี้ทำได้โดย การกักน้ำให้สัมผัสกับอากาศ อาจจะมีการกวนน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วย ประสิทธิภาพของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ, ความดันไอ, ค่า pH เป็นต้น

1.1.4 การกรอง (Filtration) เป็นวิธีการทางกายภาพที่เป็นการแยกอนุภาคที่อยู่ในของไหลให้ออกจากของไหล โดยใช้แรงกระทำกับของไหลผ่านตัวกลางรูพรุน เช่น การกำจัดพวกของแข็งแขวนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.5 การจับตัวเป็นก้อน (Flocculation/Coagulation) เป็นวิธีการที่อนุภาคขนาดเล็กซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลวถูกทำให้รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อการตกตะกอนในภายหลัง

1.1.6 กระบวนการแผ่นเยื่อ (Membrane Processes)

1.1.7 การตกตะกอน (Precipitation) เป็นวิธีการที่ทำให้สารละลายถูกเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคของแข็งแล้วถูกกำจัดออกภายหลัง

1.1.8 การจับตัวเป็นตะกอน (Sedimentation) เป็นวิธีการที่อนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว อาจจะรวมตัวกันได้โดยแรงโน้มถ่วงหรือแรงเฉื่อย

ตารางที่ 1.1 ข้อดีและข้อเสียของตัวออกซิไดซ์ต่างๆในการบำบัดน้ำ

ตัวออกซิไดซ์	ข้อดี	ข้อเสีย
โอโซน(O <sub>3</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ออกซิไดซ์อย่างรุนแรง</li> <li>2.ไม่เกิดรูป THM และ TOX</li> <li>3.ไม่มีปัญหาเรื่องรส , กลิ่น</li> <li>4.มีผลต่อค่า pH เล็กน้อย</li> <li>5.ช่วยในการตกตะกอน</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ครึ่งชีวิตสั้น</li> <li>2.ต้องสร้าง ณ ที่ใช้งาน</li> <li>3.ใช้พลังงานมากกว่า</li> <li>4.บางส่วนมีผลต่อสิ่งมีชีวิต</li> <li>5.การกำเนิดซัลไฟด์และท่อส่งก๊าซมักเกิดสนิม</li> </ol>
ออกซิเจน(O <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ง่ายต่อการส่งผ่าน</li> <li>2.ไม่มีผลภายหลัง</li> <li>3.ไม่เป็นพิษ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ออกซิไดซ์ไม่ดี</li> <li>2.ทำให้เกิดสนิมได้</li> </ol>
คลอรีน(Cl)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ออกซิไดซ์อย่างรุนแรง</li> <li>2.ง่ายต่อการใช้</li> <li>3.กึ่งเคยกันดี</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ทำให้เกิดผลกระทบตามมาคือ สารประกอบคลอรีน</li> <li>2.มีผลต่อรสและกลิ่น</li> <li>3.ต้องคำนึงถึงค่า pH ด้วย</li> </ol>
โปรตัสเซียมเปอร์มันังกาเนต (KMnO <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ง่ายต่อการใช้</li> <li>2.ไม่ก่อให้เกิด THM</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.การออกซิไดซ์ต่ำ</li> <li>2.ทำให้น้ำมีสีชมพู</li> </ol>
คลอรีนไดออกไซด์ (ClO <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ออกซิไดซ์อย่างรุนแรง</li> <li>2.ไม่ก่อให้เกิด THM</li> <li>3.ไม่มีผลต่อ pH</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.ก่อให้เกิด TOX</li> <li>2.ก่อให้เกิด ClO<sub>3</sub> และ ClO<sub>2</sub></li> <li>3.ต้องสร้าง ณ ที่ใช้งาน</li> <li>4.ก่อให้เกิดกลิ่นไฮโดรคาร์บอน</li> </ol>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 การบำบัดทางเคมี

ส่วนใหญ่จะใช้กำจัดสารที่เป็นสารอินทรีย์ วิธีการที่ใช้บำบัดประเภทนี้มีหลายวิธี เช่น การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) , การทำให้เกิดตะกอน (Precipitation) , การออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) และการคลอรีนชัน (Chlorination) เป็นต้น

1.2.1 การแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) หมายถึง การย่อยสลายหรือทำให้สลายตัวด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นตัวกระทำหลักในการก่อให้เกิดการแยกสลายแต่วิธีในเชิงการค้ำกนิยมเอากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และความดันมาใช้ควบคู่กันเพื่อส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้อย่างขึ้นและยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น กรด , ด่าง และเอนไซม์ เป็นต้น เข้ามาช่วยอีกด้วย

1.2.2 การเติมโอโซน (Ozonation) วิธีการเติมโอโซนอาศัยหลักการของการออกซิไดซ์ จะเกี่ยวข้องกับกำบัดด้วยก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้สูง ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรือเก็บรักษาได้ เพราะมันจะแตกตัวเป็นก๊าซออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผลิตแล้วใช้ทันที ใกล้กับบริเวณที่ต้องการใช้ ด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องมีเครื่องผลิตโอโซนราคาสูง ซึ่งมักจะทำงานโดยการผ่านขดลวดไฟฟ้าที่เป็นตัวปลดปล่อยไปยังก๊าซออกซิเจน นอกจากนี้เพื่อที่จะให้มีกำลังการออกซิไดซ์สูงมากก๊าซโอโซนจึงมีคุณสมบัติในการต่อต้านไวรัสและแบคทีเรีย ด้วยเหตุที่ก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติในการทำลายเชื้อและกำล้างในการออกซิไดซ์ในตัว จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

1.2.3 โฟโตไลซิส (Photolysis) เป็นวิธีการแยกสลายพันธะทางเคมี ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเทคโนโลยีนี้ถูกนำไปใช้ควบคู่กับกระบวนการเติมคลอรีน

## 1.3 การบำบัดทางชีววิทยา

การบำบัดน้ำด้วยวิธีนี้ เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในกำบัดสารอินทรีย์ นอกจากน้ำจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย จะทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเคมี แบบใช้ออกซิเจนอิสระ และแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ดังนั้น การบำบัดน้ำด้วยวิธีชีววิทยาจึงแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีออกได้เป็น

1.3.1 การบำบัดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic treatment) เป็นวิธีบำบัดโดยใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำบัดสารอินทรีย์โดยไม่ใช้ออกซิเจนอิสระในการทำปฏิกิริยาชีวเคมี

1.3.2 การบำบัดแบบแอโรบิก (Aerobic treatment) เป็นวิธีบำบัดโดยใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำบัดสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนอิสระในการทำปฏิกิริยาชีวเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การกำเนิดโอโซน ( Ozone Generation )

#### 2.1 แหล่งที่มา

2.1.1 เกิดตามธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และเมื่ออะตอมของออกซิเจน 1 อะตอมพบกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวคังสมการ



ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วแตกตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจนและรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจน กลายเป็นก๊าซโอโซนได้อีก โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดเช่นนี้ไปได้เรื่อยๆ โดยไม่มีที่สิ้นสุดแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ก๊าซโอโซนยังสามารถเกิดได้เองในอากาศจากพายุฝนฟ้าคะนองหรือจากฟ้าแลบได้อีกด้วย กระบวนการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เรียกว่าขบวนการโฟโตเคมีคอล (Photochemical process) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนและสลายตัวพร้อมกัน และในที่สุดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนก็จะอยู่ในภาวะสมดุลโดยที่อัตราการเกิดและสลายตัวเท่ากัน

2.2.1 เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ก๊าซโอโซนถูกผลิตขึ้นมา เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การกำจัดน้ำเสียและใช้ฆ่าเชื้อ การเตรียมก๊าซโอโซนที่สะดวกที่สุดใช้ไฟฟ้า silent electrical discharge กระทำกับอากาศหรือกับก๊าซออกซิเจนซึ่งก๊าซออกซิเจนบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นโอโซน ถ้าใช้อากาศ เรียกก๊าซผสมนี้ว่า โอโซนไนซ์แอร์ (ozonised air) ถ้าใช้ก๊าซออกซิเจน ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะปนอยู่กับก๊าซออกซิเจนที่เหลือ เรียกว่า ozonised oxygen เครื่องมือที่ใช้เตรียมก๊าซโอโซนด้วยวิธีนี้เรียกว่า โอโซนไนเซอร์ (ozonizer)

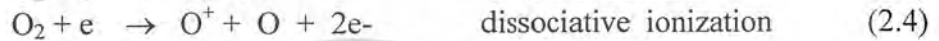
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน

### 2.2.1 การสังเคราะห์ก๊าซโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าของสวดโคโรน่า

ก๊าซโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรน่าของก๊าซออกซิเจน โดยการป้อนก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าแรงสูง ( High Voltage ) ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเนื่องจากความเครียดของสนามไฟฟ้าแรงสูงกลายเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และปล่อยออกซิเจนออกมา ก๊าซออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซนตามขั้นตอนต่อไปนี้ คือ

ขั้นที่ 1 การทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว



ขั้นที่ 2 การรวมตัวของอะตอมของออกซิเจนเป็นโมเลกุลโอโซน



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนที่ใช้ปรากฏการณ์โคโรน่าทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัว และรวมตัวใหม่ได้เป็นโมเลกุลก๊าซโอโซน



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซน โดยใช้หลักการโคโรน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้มีความสำคัญในการสังเคราะห์ไอโซน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะมี ความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโตรด และความดัน ตามสมการ

$$V = k_1 p g \quad (2.8)$$

เมื่อ

$V$  = แรงดันไฟฟ้า

$p$  = ความดันของอากาศที่ผ่านช่องว่างระหว่างอิเล็กโตรดกับไดอิเล็กตริก

$g$  = ระยะระหว่างอิเล็กโตรด กับ ไดอิเล็กตริก

$k_1$  = ค่าคงที่

ในทำนองเดียวกัน ความสามารถในการสังเคราะห์ก๊าซไอโซนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าความถี่ และแรงดันกำลังสอง แต่จะแปรผกผันกับความหนาของไดอิเล็กตริก ดังสมการ

$$\text{Yield} = k_2 (feV)^2 / d \quad (2.9)$$

เมื่อ

$f$  = ค่าความถี่

$e$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

$d$  = ความหนาของไดอิเล็กตริก

$k_2$  = ค่าคงที่

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ปัญหาในการออกแบบเครื่องสังเคราะห์ก๊าซไอโซน คือต้อง พยายามทำให้ผนังไดอิเล็กตริกบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ และต้องสามารถทนแรงดันได้สูง ใน ขณะเดียวกันเพื่อให้ได้ก๊าซไอโซนในปริมาณมาก ๆ จะต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพราะยิ่ง แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงยิ่งทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ก๊าซไอโซนสูงตามไปด้วย แต่ถ้าแรงดันสูง สารไดอิเล็กตริกที่ใช้จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันนิยมเพิ่มปริมาณก๊าซไอโซนที่สังเคราะห์โดยเพิ่ม ความถี่ของกระแสที่ใช้ เพิ่มคุณภาพของสารไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น และให้สามารถระบายความร้อน ออกจากเซลล์สังเคราะห์ได้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณก๊าซไอโซนที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

ในปัจจุบันเครื่องสังเคราะห์ก๊าซไอโซนที่ใช้หลักการนี้มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ แบบออกโตเพลต (Otto Plate) แบบท่อ (Tube) และแบบโลเธอร์เพลต (Lowther Plate)

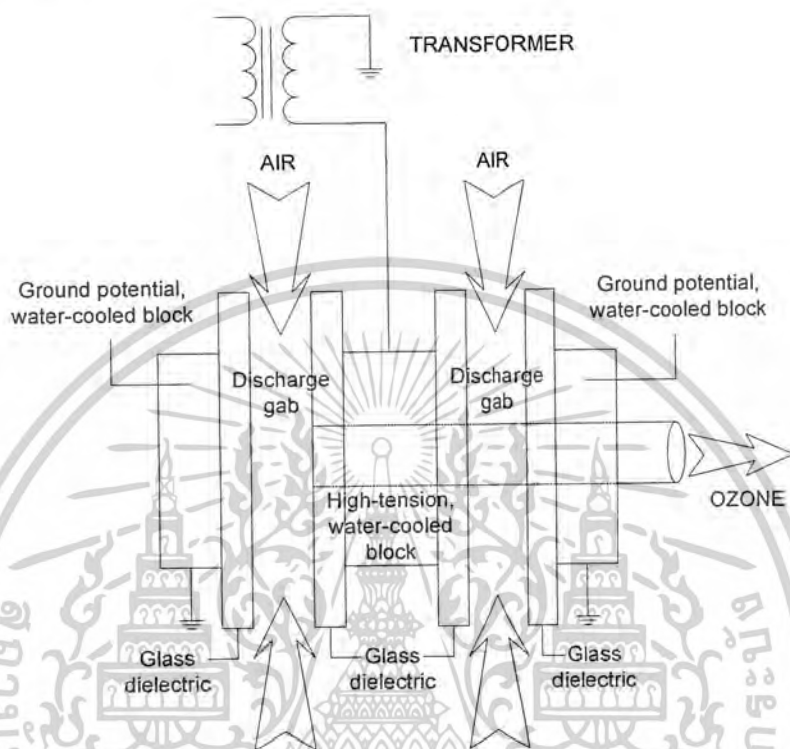
1. แบบออกโตเพลตถูกออกแบบขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1905 แบบนี้มีประสิทธิภาพไม่ดีแต่ยังมีใช้กัน อยู่ในบางส่วนของตะวันตก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

2. แบบท่อจะประกอบไปด้วยหลอดหลายหลอด อิเล็กโตรดข้างนอกจะเป็น ท่อสแตนเลสสตีล

และระบายความร้อนด้วยน้ำที่อยู่รอบ ๆ ท่อ ท่อแก้วที่อยู่ตรงกลางจะมีการเคลือบผิวด้วยตัวนำไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับข้าราชการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าแรงดันสูง จะถูกป้อนเข้าระหว่างตัวนำที่เคลือบอยู่ด้านนอกของหลอดแก้วกับท่อเหล็กด้านนอก อากาศหรือก๊าซออกซิเจนจะถูกส่งผ่านระหว่างช่องว่างนั้น การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน โดยวิธีนี้สามารถ ออกแบบได้หลายรูปแบบ ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 เครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนแบบอดโดเพลต

3. แบบไลเธอร์เพลตเป็นแบบใหม่ที่ปรับปรุงขึ้นมา วิธีนี้จะใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ (สองแบบแรกจะใช้น้ำระบายความร้อน) อิเล็กโตรดเคลือบเซรามิกซ์ หรือยางซิลิโคน โดยเคลือบทั้ง ด้านนอกและด้านในท่อ ซึ่งแบบนี้จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูง เซลล์สังเคราะห์ก๊าซโอโซนของ เครื่องแบบไลเธอร์เพลต

### 2.3 อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน

เมื่อความร้อนในหลอดกำเนิดโอโซนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการแผ่ความร้อนออกมาจากการเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าลดลง ถ้าปริมาณความร้อนมีค่าสูงจนเกินไป ดังนั้นการระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้หลอดกำเนิดโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

ก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) คือ ก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปรับปรุงโครงสร้างให้มีพลังงานมากขึ้นเมื่อถูกอัดให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นจะเป็นก๊าซที่มีสีน้ำเงินสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ก๊าซโอโซนมีแนวโน้มจะสลายตัวเองกลายเป็นออกซิเจนได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนให้มีความหนาแน่นสูง ๆ และเก็บไว้ได้นาน ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการผลิตโอโซน ณ แหล่งที่จะใช้งานนั้นเลย คุณสมบัติประการหนึ่งของโอโซน คือ เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงมากโอโซนจะทำการออกซิไดซ์หรือเติมก๊าซออกซิเจนให้กับสารประกอบทางเคมีได้หลายชนิด ซึ่งคุณสมบัติพิเศษนี้เองที่มีส่วนในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำ โดยสารที่ไม่ต้องการจะถูกออกซิไดซ์และสามารถกำจัดไปได้ ประโยชน์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือสิ่งที่หลงเหลือในน้ำจะมีเพียงก๊าซออกซิเจนเท่านั้น นอกจากนี้โอโซนยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้และช่วยทำให้น้ำที่บำบัดมีรสดี ไม่มีกลิ่นและไม่มีสีหลงเหลืออยู่

#### 3.1 คุณสมบัติของก๊าซโอโซน

- ก๊าซโอโซนบริสุทธิ์จะมีสีน้ำเงินแก่ มีกลิ่นคล้ายคลอรีนจางๆ ถ้าดมเข้าไปมากๆ จะปวดศีรษะ
- โอโซนละลายน้ำได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน
- เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นก๊าซบริสุทธิ์จะเสถียรภาพดีพอสมควร แต่ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่ในน้ำแล้ว โอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจนได้ง่าย ถ้าผสมอยู่กับอากาศจะค่อยๆ กลายเป็นออกซิเจน ถ้าอุณหภูมิถึง 300 องศาเซลเซียส จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว
- ไม่มีสีแต่กลิ่นฉุน
- พบมากในชั้นบรรยากาศ Stratosphere
- มีค่า Oxidation Potential สูงถึง 2.07 V แต่คลอรีนมีค่า Oxidation Potential เพียง 1.36 V
- การสลายของโอโซนเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- สามารถคงตัวได้นาน pH ต่ำ
- สามารถฆ่าไวรัส และแบคทีเรียได้
- สามารถออกซิไดซ์กับสารอื่นได้เป็นอย่างดี
- มีน้ำหนักโมเลกุล 48.00 ความสามารถในการละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ 25 °C คือ 6 mg/l จุดเดือด -112.0 °C จุดหลอมเหลว -251 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ข้อดีของการนำก๊าซโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน

#### 3.2.1 ประหยัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยา Ozonization

โดยทั่วไปก๊าซโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ดังนั้นปฏิกิริยา Ozonization ของก๊าซโอโซนในน้ำเสียจึงเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ระบบจึงไม่ต้องเสียพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิเลย

#### 3.2.2 ง่ายและสะดวกต่อการสลายก๊าซโอโซนที่เหลือจากการใช้งาน

เนื่องจากก๊าซโอโซนมีวงจรชีวิตสั้น จึงทำให้โอโซนสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย

#### 3.2.3 ก๊าซโอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน

เนื่องจากก๊าซโอโซนมีค่า Oxidation Potential สูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่า ดังนั้นก๊าซโอโซนจึงสามารถออกซิไดซ์สารประกอบที่มีพิษ ในน้ำเสียได้ดีกว่าคลอรีน โดยก๊าซโอโซนจะสามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสารประกอบ Organic และ Inorganic

ก๊าซโอโซนสามารถออกซิไดซ์สาร Inorganic ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ โดยก๊าซโอโซนจะออกซิไดซ์ไอออนของโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำให้มีเลขออกซิเดชันเพิ่ม แล้วเกิดเป็นสารประกอบตัวอื่นที่ไม่ละลายน้ำแล้วตกตะกอนแยกออกมาจากสารละลาย

#### 3.2.4 สามารถกำจัดสีได้ดี

ในสารประกอบ Organic Compound ที่เป็น Polycyclic บางตัวมีหมู่โคโมรฟอร์ คือ เป็นหมู่ function group ที่ไม่อิมตัวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วง UV Visible ได้ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์นี้ให้สีได้

เนื่องจากก๊าซโอโซนสามารถออกซิไดซ์หมู่โคโมรฟอร์ได้ คือ ไปทำลายพันธะคู่ของมัน ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์ให้ไม่ได้อีกต่อไป ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้

#### 3.2.5 สามารถกำจัดกลิ่นได้ดี

ในสารประกอบ Inorganic และ Organic บางตัวจะมี Sulphur และ Nitrogen ซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ทำให้สามารถกำจัดกลิ่นในน้ำเสียได้

#### 3.2.6 ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (Algae) ได้

พืชน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียนี้เป็นตัวกำเนิดกลิ่น ขอบอยู่ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 35 - 40 องศาเซลเซียสและอาหารของมันคือ Organic Compound

ก๊าซโอโซนไม่สามารถกำจัดพืชน้ำโดยตรงได้ เนื่องจากพืชน้ำสามารถสร้างภูมิคุ้มกันตัวมันเองตลอดเวลา แต่ก๊าซโอโซนนี้สามารถกำจัดได้โดยทางอ้อมคือ ก๊าซโอโซนสามารถออกซิไดซ์สาร Organic Compound ที่เป็นอาหารของพวกมัน ทำให้พืชน้ำหยุดการเจริญเติบโตและตายไปในที่สุด

เอกสารนี้เสนอเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 สามารถแยกของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) ออกได้

ในน้ำเสียมีอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กเป็นประจุอยู่ตามผิว เมื่อที่ผิวน้ำมีประจุเป็นกลาง อนุภาคพวกนี้จะจับตัวเป็นกลุ่มลอยขึ้นมา ซึ่งโอโซนจะทำหน้าที่เป็นตัว Flocculant ทำให้ผิวของน้ำที่มีประจุเป็นกลาง อนุภาคต่าง ๆ ก็จะลอยขึ้นมารวมกับเป็นกลุ่มและสามารถแยกออกมาโดยการตกตะกอน กรองหรือช้อนออก

3.2.8 มีความปลอดภัยมากกว่าคลอรีน

เนื่องจากเมื่อคลอรีนเข้าไปออกซิไดซ์สาร Organic Compound บางตัวแล้วทำให้เกิดสารประกอบ Chlorinate ที่เป็นพิษขึ้น แต่เมื่อใช้ก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วจะไม่เกิดสารประกอบที่เป็นพิษแบบ Chlorinate ขึ้นเลย

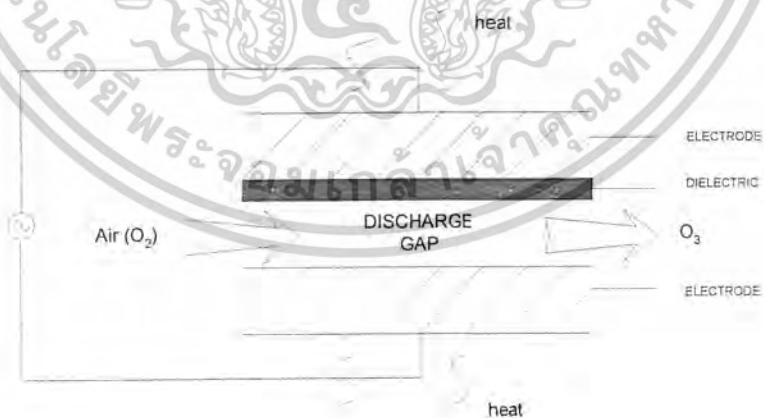
3.3 ระบบบำบัดน้ำด้วยโอโซน

3.3.1 การบำบัดอากาศที่ถูกป้อนเข้าไป

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำการป้อนอากาศไปยังหลอดกำเนิดโอโซน ซึ่งจะมีการกำจัดอนุภาคปลอมปน ในอากาศ ความชื้น ก่อนที่จะส่งไปยังหลอดกำเนิด โอโซน

3.3.2 การกำเนิดก๊าซโอโซน

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำการสร้างก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) จากอากาศที่ป้อนเข้ามา โดยทำการเปลี่ยน ก๊าซออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ในอากาศ ให้เป็นก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) โดยใช้ Corona discharge ozone generator



รูปที่ 3.1 แสดง Corona discharge ozone generation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเป็นการอัดอากาศเข้าไประหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่ค่าความต่างศักย์ของสนามไฟฟ้าค่าสูง เนื่องจากสนามไฟฟ้าค่าสูงจะทำให้อะตอมของก๊าซออกซิเจนแตกตัวจากนั้นออกซิเจนที่แตกตัวออก (O) จะไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจน (O<sub>2</sub>) กลายเป็น ก๊าซโอโซน(O<sub>3</sub>) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเห็นได้ว่ามีพลังงานความร้อนแผ่ออกมา ซึ่งถ้ามีค่าพลังงานความร้อนมากเกินไปความร้อนนั้นจะไปสลายก๊าซโอโซนได้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงควรมีสารหล่อเย็นอยู่ด้วยเพื่อลดปริมาณความร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้

ในขั้นตอนนี้ การสร้างสนามไฟฟ้าค่าสูงจะสร้างจากการป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าสูงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (Switching Power Supply High Voltage)

### 3.3.3 การติดต่อกันระหว่างน้ำที่จะทำการบำบัดกับก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>)

ในขั้นตอนนี้จะเป็ขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยา Ozonization ขึ้นซึ่งก๊าซโอโซนและน้ำจะถูกผสมกันโดยวิธีทางเชิงกลหลายวิธี เช่น การใช้ Turbine , Diffusers , Injection เป็นต้น

วิธีที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือการผสมแบบ Turbine (กึ่งหันน้ำ) เพราะให้ประสิทธิภาพในการส่งก๊าซดีมาก นอกจากนี้การสัมผัสระหว่างก๊าซโอโซนและน้ำเกิดขึ้นได้มาก โดยให้ค่าประสิทธิภาพมากถึง 90% ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 3.2 Ozone Contact ชนิด turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การทำลายโอโซน

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดก๊าซโอโซนที่เหลือจากการบำบัดน้ำ เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถกัดกร่อนโลหะ และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้เมื่อมีความเข้มข้นสูงถึง 100-200 ppm ซึ่งวิธีการทำลายโอโซนมีหลายวิธีดังนี้

1. reinfection (การนำกลับมาใช้ใหม่)
2. การให้ความร้อน (อาจจะเป็น UV ก็ได้) เพื่อทำให้เกิด autodecomposition
3. dilution คือ การทำให้เจือจางกับอากาศ
4. catalytic reduction with metal oxide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิง Switching Power Supply High Voltage

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปไม่ว่าจะเป็นระบบวงจรนาฬิกา หรือดิจิทัลก็ตามย่อมมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจ่ายไฟตรงเป็นภาคจ่ายกำลัง โดยทั่วไปแล้วแหล่งจ่ายไฟตรงที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยที่ยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ไว้ได้

2. มีการแยกกันทางไฟฟ้า (Isolation)
3. สามารถจ่ายแรงดันและกระแสออกมาหลาย ๆ ระดับ
4. ขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา
5. ประสิทธิภาพสูง
6. ราคาถูก

ซึ่งจากที่กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นนั้นถึงแม้จะง่ายต่อการออกแบบ และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพงนัก แต่ก็มีข้อเสียคือถ้าต้องการแหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นขนาดของแหล่งจ่ายต้องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้เป็นหม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่กว่าหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงมาก และข้อเสียอีกข้อคือ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ

แต่ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิง จะมีการเปลี่ยนระดับแรงดันระดับหนึ่งไปเป็นอีกระดับหนึ่งด้วยวงจร dc-to-dc Converter ซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ทรานซิสเตอร์, มอสเฟตและอื่น ๆ) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อโดยอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องใช้งานในย่านแอกทีฟจึงทำให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นต่ำมาก การเพิ่มความเร็วในการสวิตช์จะเป็นการเพิ่มขนาดของแรงดันและกระแส

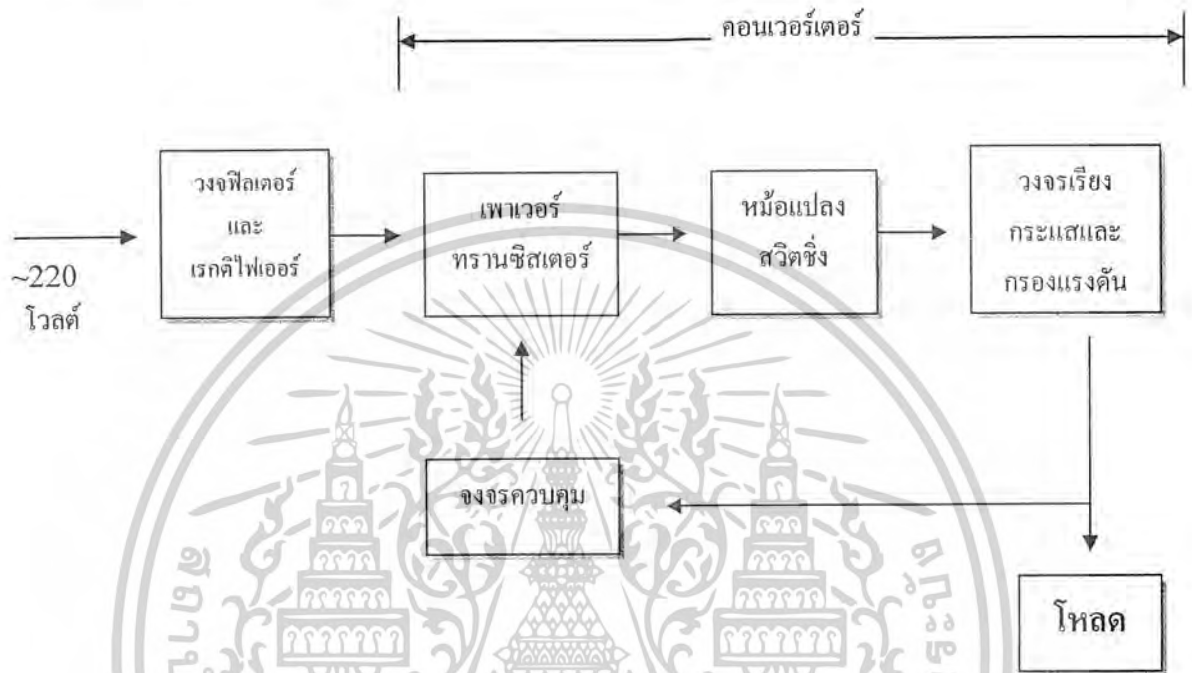
ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และต้องการขนาดที่เล็กกะทัดรัด เช่น คอมพิวเตอร์, โทรทัศน์ แม้กระทั่งในเครื่องมือวัดต่าง ๆ มักจะออกแบบภาคจ่ายไฟเป็นสวิตชิงแต่อย่างไรก็ดีแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงก็ยังมีข้อเสียอีกหลายข้อ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นคือ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีราคาแพง และอุปกรณ์บางชิ้นหายากโดยเฉพาะภายในประเทศ
2. การออกแบบมีความยุ่งยากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 หลักการทำงานโดยทั่วไปของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.1



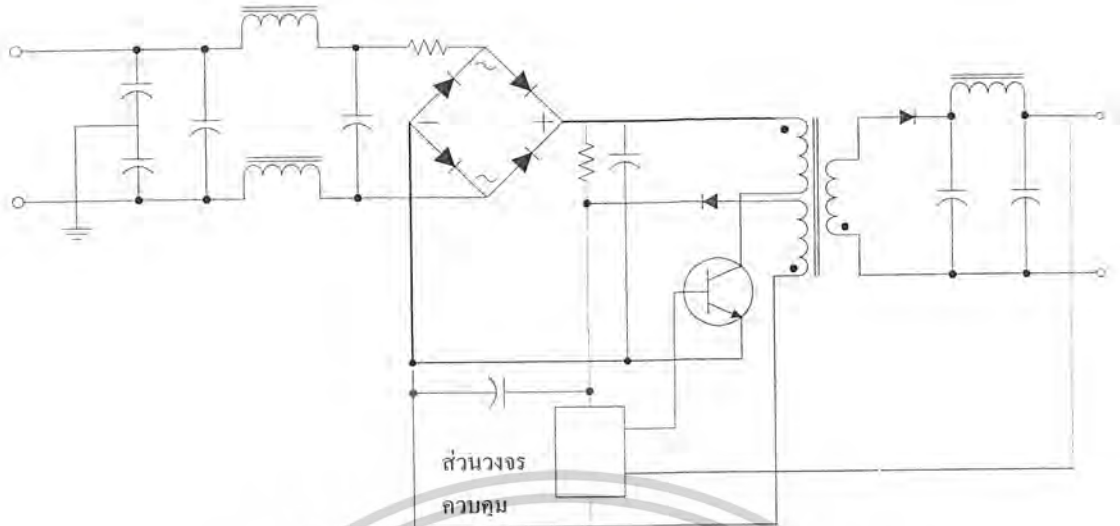
รูปที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป

หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะเป็นทั้งตัวลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตด้วย ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ จะทำงานเป็นลำดับดังนี้

ตอนแรกจะเปลี่ยนแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ไปเป็นแรงดันไฟตรง โดยจะผ่านเข้ามาทางวงจรเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณและถูกเปลี่ยนแรงดันเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูง โดยเพาเวอร์มอสเฟตจะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่าต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสถียรก่อน จึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลให้แรงดันที่เอาต์พุตคงที่ได้

นอกจากนี้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังต้องมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก เช่น วงจรกรอง RFI วงจรป้องกันไฟกระชาก วงจรกำเนิดกระแส วงจรป้องกันแรงดันเอาต์พุตเกิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการจ้วงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 4.1

#### 4.2 คอนเวอร์เตอร์ (Converter)

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตซ์เพาเวอร์ซีฟฟลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจ้วงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป การเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์สำหรับสวิตซ์เพาเวอร์ซีฟฟลายแบบใดนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

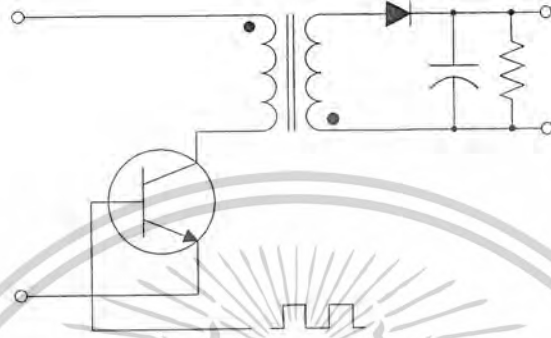
1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของตัวคอนเวอร์เตอร์และประเมินราคาเพื่อตัดสินใจเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมากมาย ดังนี้

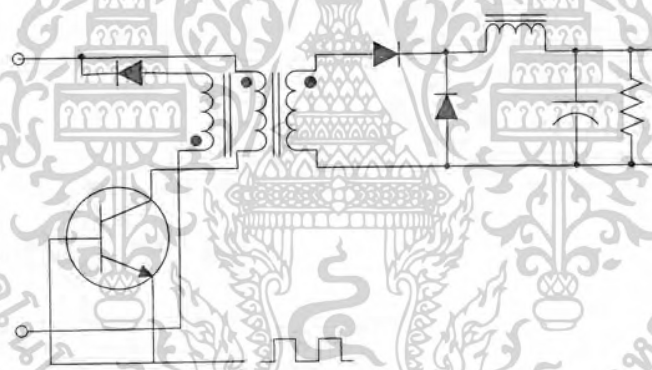
1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

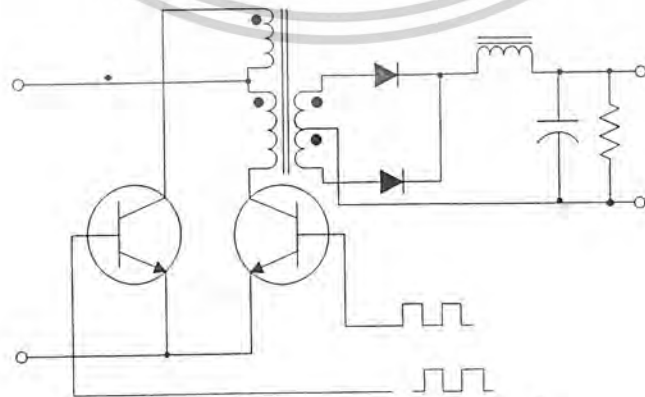
คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 ชนิดนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันมากเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นคอนเวอร์เตอร์อีกหลายประเภทด้วยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์ วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบ แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 – รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.3 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

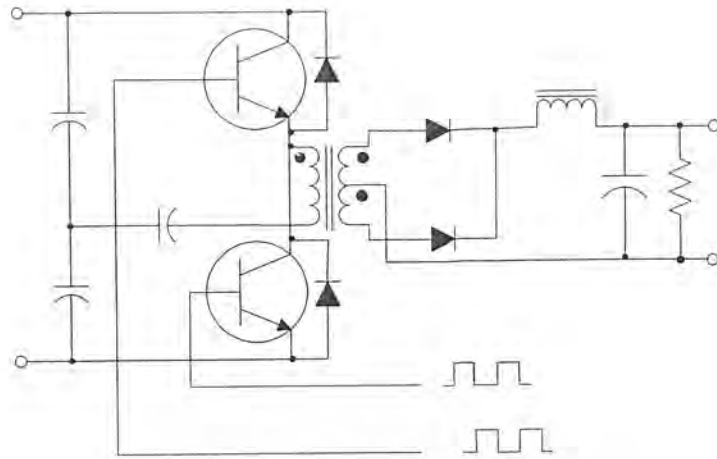


รูปที่ 4.4 ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

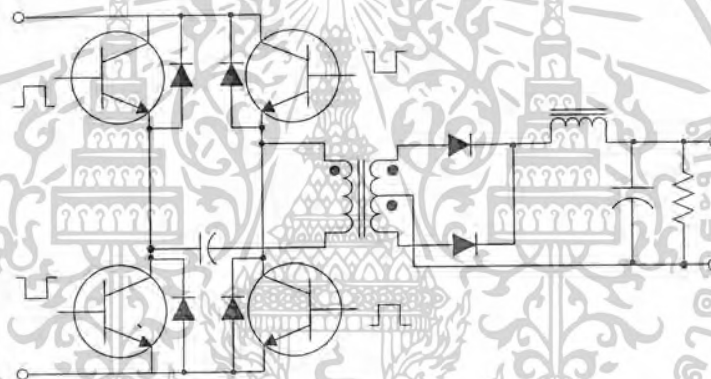


รูปที่ 4.5 พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



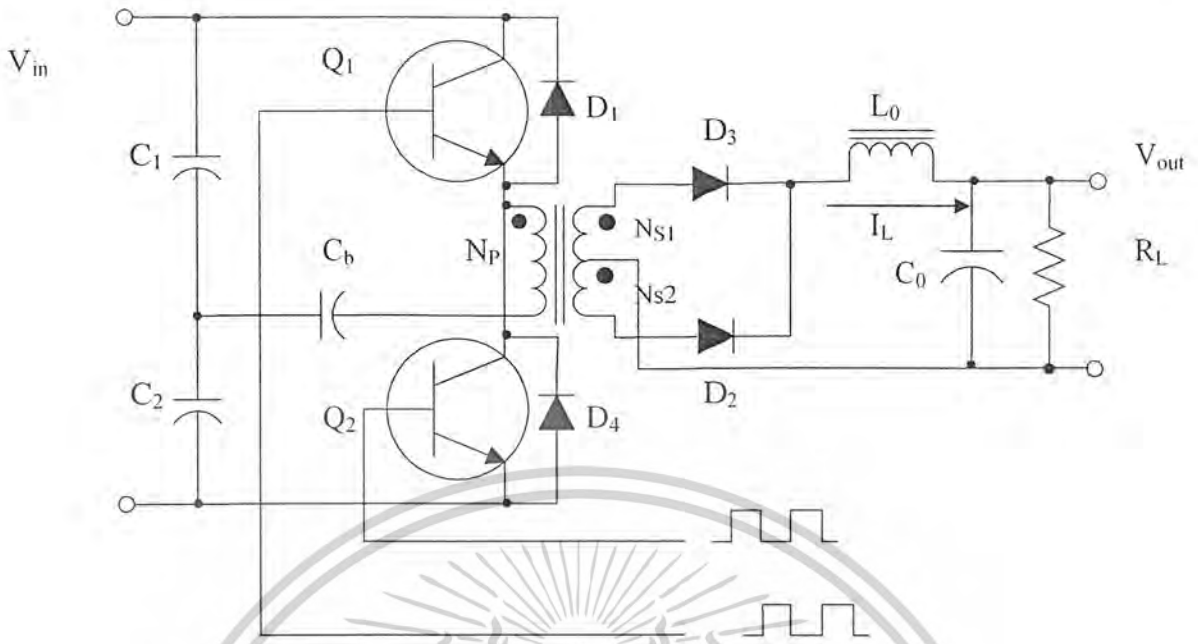
รูปที่ 4.7 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

#### 4.2.1 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับ พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจับวงจรของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกลงและหาได้ง่ายกว่า ซึ่งจะลดข้อจำกัดต่างๆ เมื่อใช้กับแรงดันไฟสูงๆ เช่น ที่แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ลงได้มากรวมทั้งฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้อีกด้วย

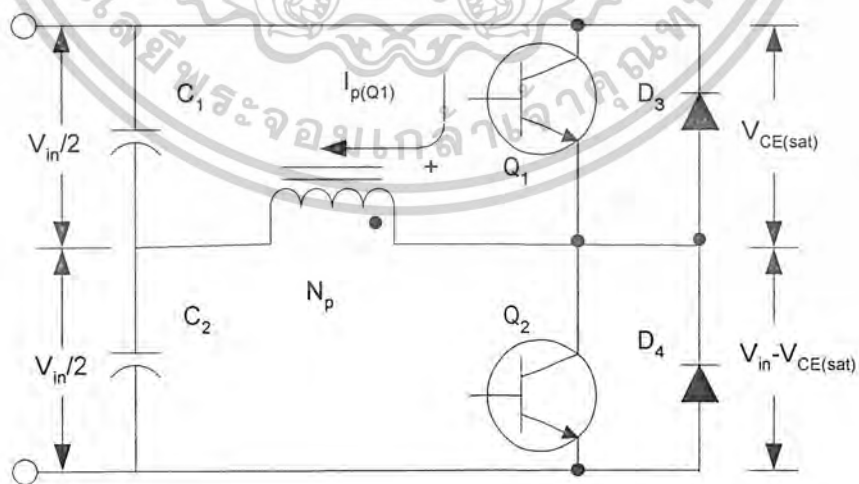
##### 4.2.1.1 พื้นฐานการทำงานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 4.8 การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

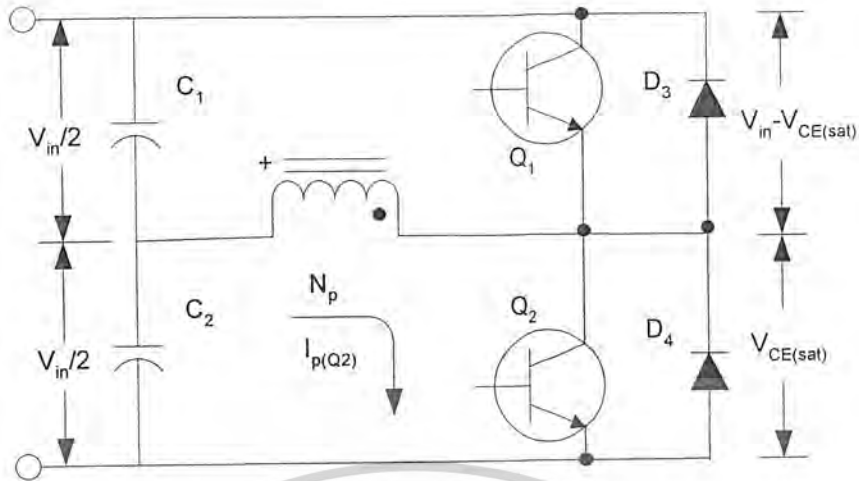
เนื่องจากตัวเก็บประจุ  $C_1$  มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะสลับเวลาการทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ และ  $C_2$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม  $C_1$  และ  $C_2$  จึงและเพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ  $C_b$  ต่ออยู่ในวงจรเสียก่อน โดยให้ปลายของขดไพรมารี  $N_p$  ที่ต่ออยู่กับ  $C_1$  นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  ดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 (ก) ขณะที่  $Q_1$  นำกระแส  $Q_2$  จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$

และแรงดันตกคร่อม  $N_p$  เท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 (ข) ขณะที่  $Q_2$  นำกระแส  $Q_1$  จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  เช่นเดียวกัน และแรงดันตกคร่อม  $N_p$  เท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$

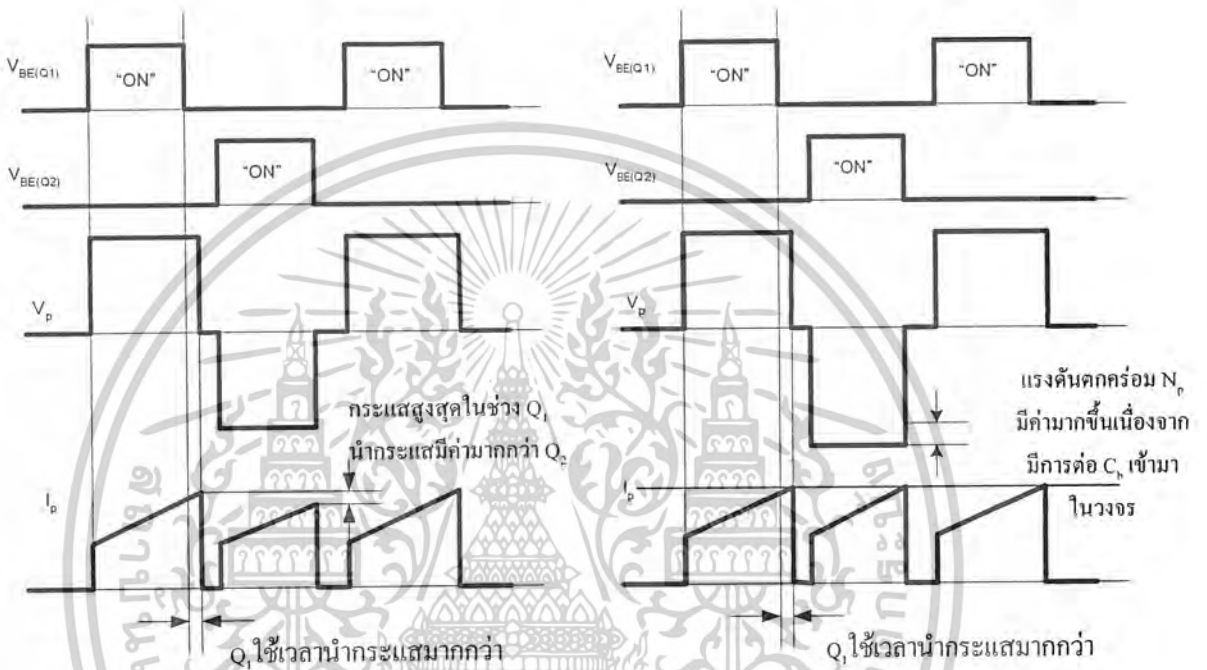
เมื่อ  $Q_1$  เริ่มนำกระแสและ  $Q_2$  ไม่นำกระแสแรงดันตกคร่อม  $Q_2$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{C1} - V_{CE(sat)}$  หรือมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  นั่นเองในทำนองเดียวกัน เมื่อ  $Q_2$  นำกระแสและ  $Q_1$  ไม่นำกระแสแรงดันตกคร่อม  $Q_1$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมของไพรมารี  $N_p$  ก็ยังมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  เนื่องจาก  $V_{CE(sat)}$  มีค่าประมาณ 0.5 – 1.0 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม  $Q_1$  และ  $Q_2$  ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุทเท่านั้น ผลของการทำงานของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  ที่เซกันดารีจะมีลักษณะเดียวกันกับพุ่ม – พูล คอนเวอร์เตอร์

#### 4.2.1.2 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง $C_b$ เพื่อป้องกันการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็ก

ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor)  $C_b$  ที่ต่อเพิ่มเข้ามาในวงจรนั้นมีหน้าที่หลักคือป้องกันการเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอไรต์ขณะวงจรทำงาน เพราะในทางปฏิบัติการต่อตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากันจริง ๆ นั้นทำได้ยาก รวมทั้งการไม่แมตซ์กันของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  อาจก่อให้เกิดปัญหาการไม่สมมาตรกันของฟลักซ์ได้ทั้งสิ้น

การต่อตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง  $C_b$  คั่นเข้ามาในวงจร จะทำให้  $C_b$  มีการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปตามทิศทางของกระแสที่ไหลในขดไพรมารี  $N_p$  ถ้าผลของการเกิดประจุสะสมทำให้  $Q_1$  และ  $Q_2$  มีช่วงเวลาการนำกระแสไม่เท่ากันก็จะทำให้การเก็บประจุและคายประจุของ  $C_b$  ใช้เวลาไม่เท่ากันด้วยเป็นผลทำให้มีประจุเหลือค้างใน  $C_b$  และทำให้เกิดค่าแรงดันตกคร่อมใน  $C_b$  นั่นคือหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดมีช่วงเวลานำกระแสมากกว่า ในกรณีนี้ค่ากระแสสูงสุดจะมีมากขึ้นตามช่วงเวลาที่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามก็จะทำให้มีประจุเหลือค้างใน  $C_b$  ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกตัวเริ่มนำกระแส แรงดันตกค้างใน  $C_b$  จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีให้มีค่ามากขึ้น ค่ากระแสสูงสุดก็จะมีค่าเท่ากันได้ และไม่เกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้น ( ดูรูปที่ 4.10 ประกอบ) ส่วนการทำงานของ  $C_b$  ในกรณีที่แรงดันตกคร่อม  $C_1$  และ  $C_2$  มีค่าไม่เท่ากันนั้นก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกัน



รูปที่ 4.10 (ก) แสดงลักษณะของการไม่สมมาตร ฟลักซ์เนื่องจาก  $Q_1$  ใช้เวลานำกระแสมากกว่า  $Q_2$  (ข) แสดงผลของการต่อตัวเก็บประจุ  $C_b$  เข้ามาในวงจร เพื่อลด ความไม่สมมาตรฟลักซ์

อย่างไรก็ตาม การต่อตัวเก็บประจุลึอกก็  $C_b$  เข้ามาในวงจรจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าลดลงตามเวลาหรือเกิดความลาด ( $D_{roop}$ ) ขึ้นบนแรงดัน เนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งไปตกคร่อม  $C_b$  นั้นเอง (ดูรูปที่ 4.11) และจะมีผลต่อแรงดันทางด้านเซคันดารีทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดค่า  $C_b$  ให้มีค่าเหมาะสม เพื่อให้เกิดความลาดบนแรงดันที่ขดไพรมารีต่ำสุด การกำหนดค่าของ  $C_b$  อาจทำได้ดังนี้คือ

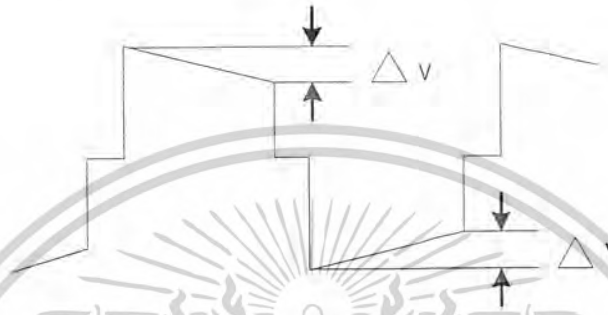
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_b = I_p (PK)(0.4T) / \Delta V \quad (4.1)$$

โดย  $I_p (PK)$  คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี

$\Delta V$  คือ ค่าของความลาดแรงดันสูงที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 20% ของ  $V_{in}/2$ )

$T$  คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของการเกิดความลาด ( $D_{\text{roop}}$ ) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีเมื่อต่อตัวเก็บประจุลึอกกิ่ง  $C_b$  คำนเข้ามาในวงจร

#### 4.2.1.3 คอมมิวเตตติ้งไดโอด $D_3$ และ $D_4$

จากวงจรในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่ามีไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ต่อคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  อยู่ ไดโอดทั้งสองตัวนี้เรียกว่า คอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ 2 ประการ คือ

1. ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้ จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุตด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

2. ในกรณีที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  เริ่มหยุดนำกระแส ขดไพรมารี  $N_p$  จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิดขึ้น ถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด  $D_3$  จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่คอลเลกเตอร์เป็นลบ ในขณะที่  $Q_1$  ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่า  $V_{in}/2$  ในกรณีนี้ ไดโอด  $D_4$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงจากแรงดันของขดไพรมารี และลดค่าแรงดันนี้ลงไป ในทำนองเดียวกันเมื่อ  $Q_2$  เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด  $D_3$  จะทำหน้าที่เช่นเดียวกัน เป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ต้องเป็นชนิดฟาสต์รีคัพเวอร์รี่ และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะหยุดนำกระแส

#### 4.2.1.4 ค่าเวลาเมื่อ $t_D$ สำหรับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  เพื่อจำกัดช่วงเวลานำกระแสสูงสุด  $t_{ON(MAX)}$  ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  เป็นสิ่งสำคัญมากในวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นว่าการต่อกันอยู่ในวงจรของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  นั้น ถ้าหาก  $Q_1$  และ  $Q_2$  นำกระแสพร้อมๆกัน จะเกิดการลัดวงจรของแรงดันอินพุททันที ซึ่งเป็นอันตรายต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรได้ ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะต้องถูกจำกัดด้วย ค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  เช่นเดียวกับพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยอาจกำหนดไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของครึ่งหนึ่งของคาบเวลา ดังนั้น

$$t_{ON(MAX)} = 0.4T \quad (4.2)$$

#### 4.2.1.5 การคำนวณเพื่อการออกแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

##### 1. แรงดันเอาต์พุท

แรงดันเอาต์พุทนั้นหาได้จากสมการพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากวงจรทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่ในกรณีฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แรงดันตกคร่อมขดไฟรมาร์รี่  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  ดังนั้นแรงดันเอาต์พุทจึงเป็น

$$V_{out} = (N_s/N_p)(V_{in}/2 - V_{CE(sat)})(t_{ON} - V_D)/(T/2) \quad (4.3)$$

##### 2. กระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน $Q_1$ และ $Q_2$

การคำนวณค่าสูงสุด  $I_{p(PK)}$  สามารถหาได้ตามสมการของพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดไฟรมาร์รี่มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุท ดังนั้น

$$I_{p(PK)} = \frac{P_{out} T}{2\eta V_{in(min)} t_{ON(MAX)}} + \frac{(V_{in(min)}/2 - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}}{L_p} \quad (4.4)$$

ถ้ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กมีค่าน้อยๆ จะเห็นว่ากระแสสูงสุดที่ขดไฟรมาร์รี่ของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเป็น 2 เท่าของวงจรพุ่ม-พูลคอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน ( แต่ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพียงแรงดันอินพุทซึ่งเป็นข้อได้เปรียบ )

##### 3. อัตราส่วนจำนวนรอบ $N_p/N_s$ และจำนวนรอบ $N_p$ และ $N_s$

ค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ  $N_p/N_s$  หาได้จากสมการที่ (4.3) ดังนี้

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{(V_{in(min)}/2 - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}}{(V_{out} + V_D) (T/2)} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขดไฟโพรมารี  $N_p$  ของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีเพียงขดเดียว ค่าจำนวนรอบของ  $N_p$  จะหาได้จาก

$$N_p = \frac{(V_{in(min)} / 2 - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}}{\Delta B_{max} * A_c} \times 10^5 \quad (4.6)$$

#### 5.4 เอาต์พุต ไรต์ $L_o$ และตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต $C_o$

ค่าของเอาต์พุต ไรต์  $L_o$  และตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต  $C_o$  สามารถทำได้เช่นเดียวกับพหุ - พูลคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากวงจรทางด้านเอาต์พุตเหมือนกัน

### 4.3 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

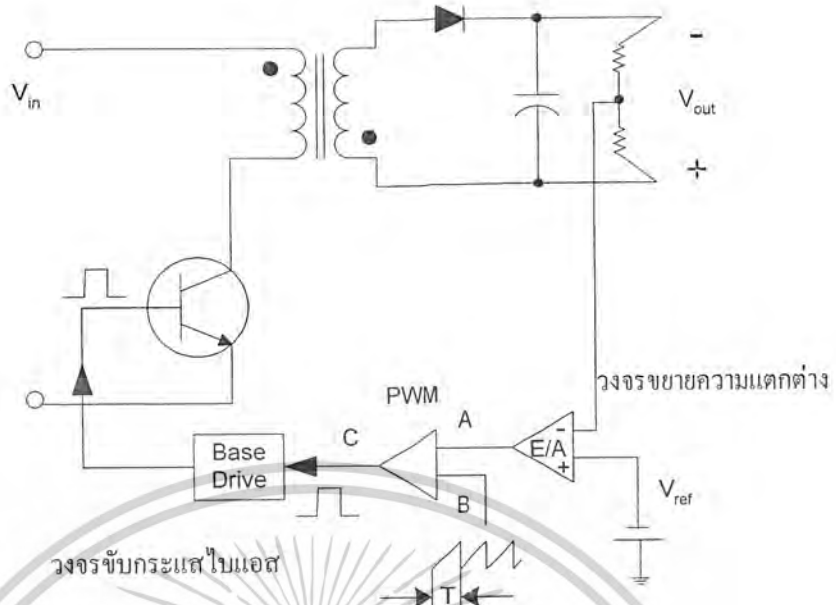
เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะลงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลา นำกระแส ( $t_{on}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไป จึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลา นำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและ โหมดควบคุมจากกระแส

#### 4.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลา นำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังรูปที่ 4.12

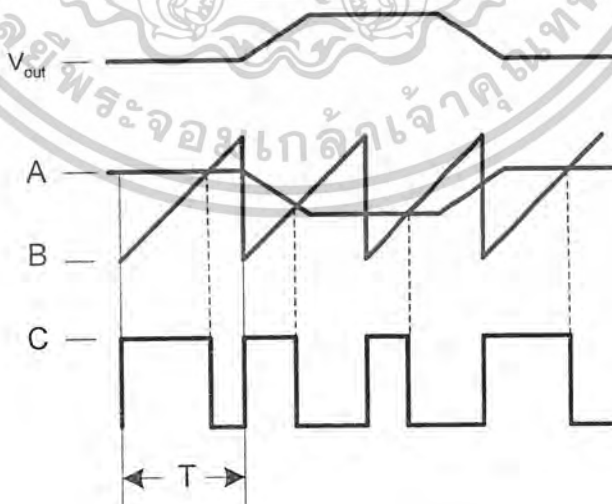
จากรูปวงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุต และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดย วงจรขยายความแตกต่าง  $E/A$  ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง  $E/A$  ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟิงเงอที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่เป็นตัวกำหนดช่วงเวลา นำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ต ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตที่วงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น  $t_{on}$  ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันจะเป็นดังรูปที่ 4.13 ตัวอย่างไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่ เบอร์ MC34060 MC34166 และ TL494 เป็นต้น



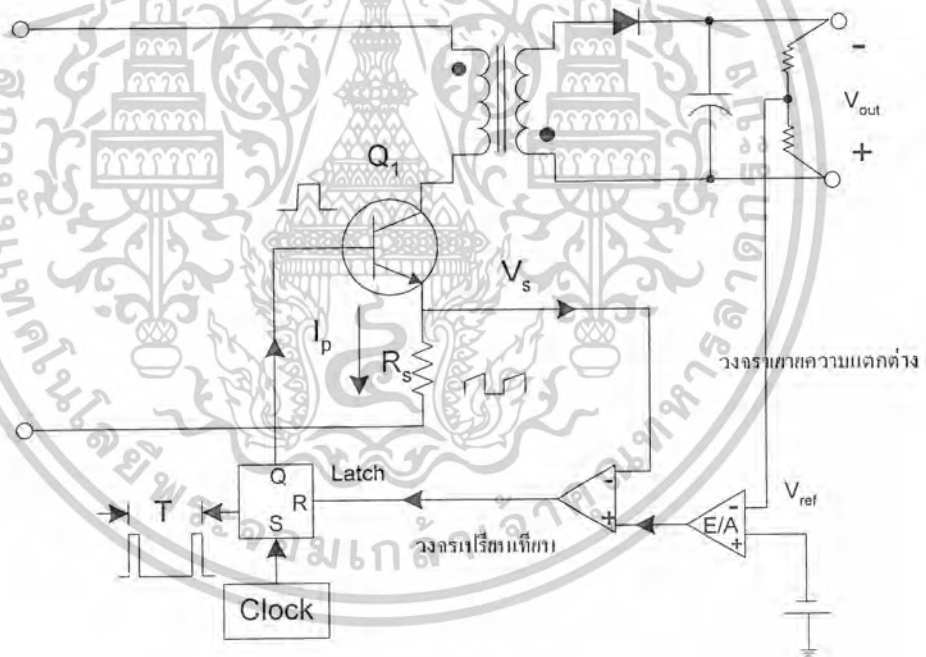
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส(Current Mode Control)

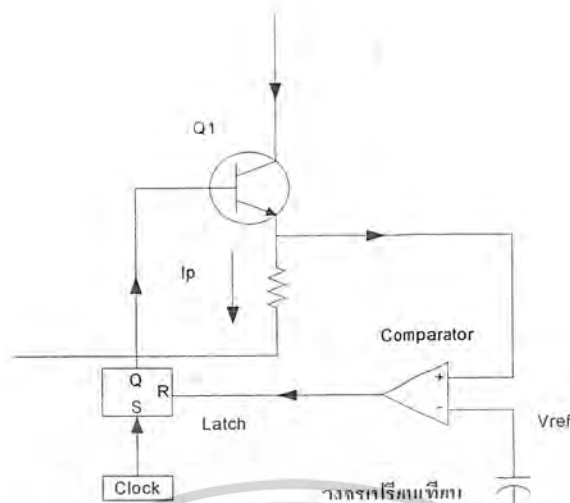
การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมใน โหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก อย่างไรก็ตาม วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสก็ยังต้องใช้เทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชั่นเช่นกัน รูปที่ 4.14 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดอินเวอร์ตติ้งของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ดังรูป 4.15 วงจร Latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร Latch จะมีสถานะเป็น High เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น Low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R



รูปที่ 4.14 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัววงจรขยายความแตกต่างออกและกำหนดแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ที่ขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบ

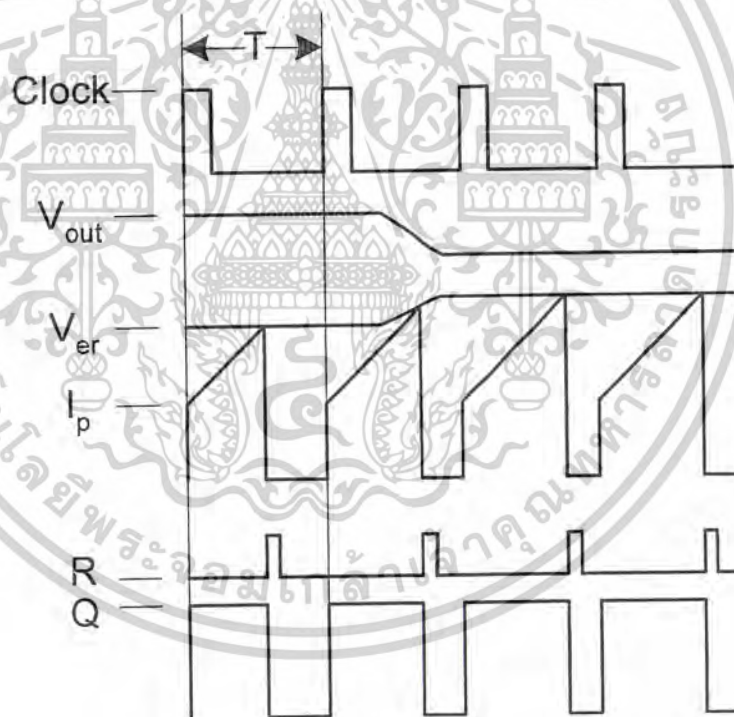
เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของวงจร Latch ขา Q จึงสถานะเป็น High เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ก็จะเริ่มนำกระแสเมื่อ  $Q_1$  นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน  $R_s$  ที่ต่ออนุกรมไว้กับ  $Q_1$  ทำให้เกิดแรงดัน  $V_s$  ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน  $R_s$  ด้วย

แรงดันตกคร่อม  $R_s$  ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  โดยวงจรเปรียบเทียบ ดังนั้นเมื่อค่าของ  $V_s$  เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น High และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร Latch ทำให้ขา Q มีสถานะเป็น Low และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะหยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจร Latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าค่าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ที่ขา Q ของวงจร Latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน  $R_s$  นั่นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน  $V_s$  จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสน้อยลง ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน  $V_s$  จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโหลดคงที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

พิจารณาวงจรควบคุมอีกครั้ง ตามวงจรในรูปที่ 4.15 เมื่อต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มขึ้นในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลานานกระแสมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าของแรงดัน  $V_s$  มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกัน เมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จึงใช้เวลานานกระแสดลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเอาไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด ลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะทำงานจะเป็นดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมใน โหมคควบคุมกระแส

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุม ใน โหมคควบคุมจากกระแสมีข้อดีมากกว่า วงจรควบคุมจากแรงดัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดการรบกวนเชิงเส้นและการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุต

2. สามารถป้องกันกระแสไหลเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขดไฟโพรมารีในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว

1. ให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก

2. โดยการจำกัดกระแสสูงสุดที่ขดไฟโพรมารี ปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของฟิวซ์ – พูลคอนเวอร์เตอร์จะไม่เกิดขึ้น

5. สามารถต่อขนานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

ตัวอย่าง ไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ใน โหมคควบคุมจากกระแส ได้แก่ เบอร์ UC3843/3/4/5 MC34023/5 และ MC34129 เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### หลักการงานและผลการทดลอง

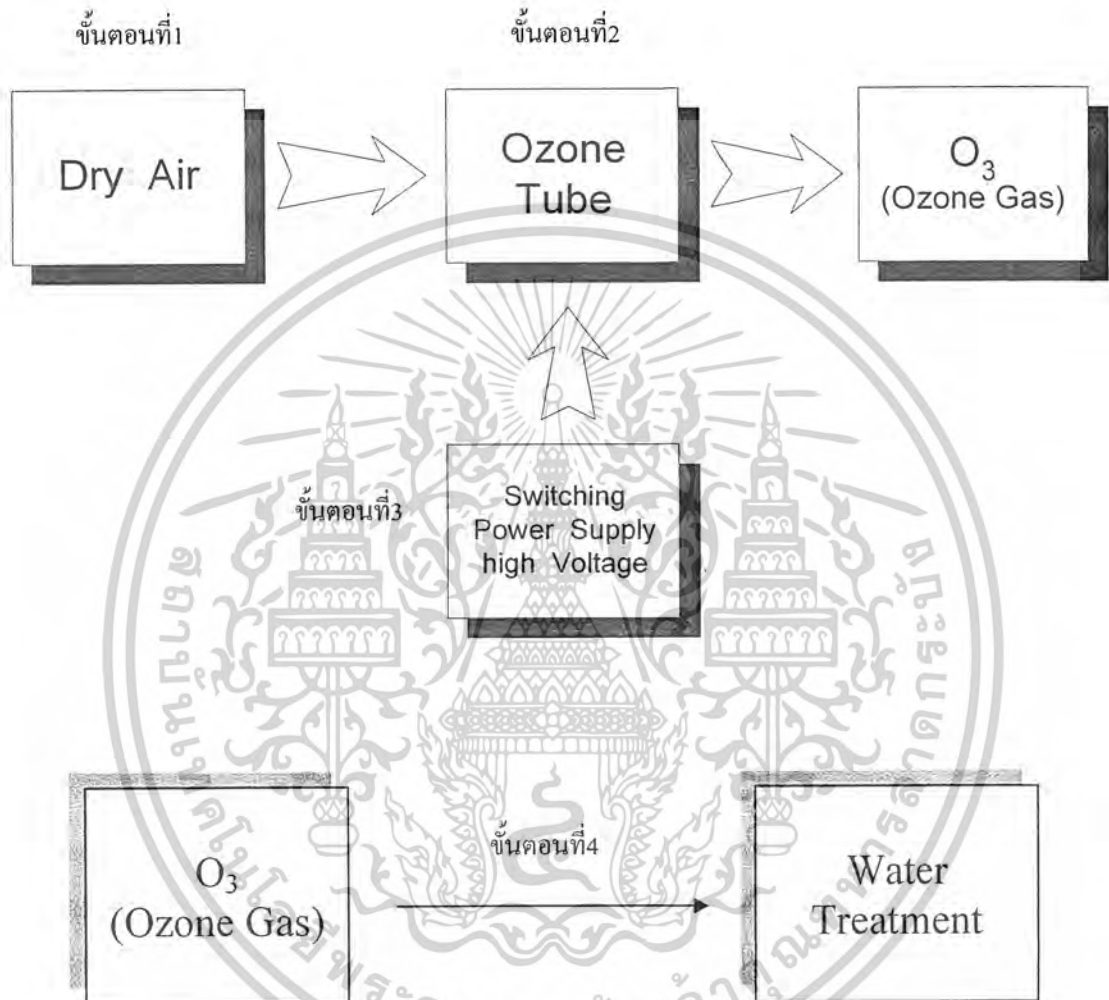
#### 5.1 แสดงการทำงานโดยรวมและวิธีการทำงานต่างๆ

จากรูปที่ 5.1 จะเป็นขั้นตอนการกำเนิดโอโซน โดยแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ในขั้นตอนที่ 1 ตามรูปนั้น เป็นการสร้างอากาศโดยใช้ปั๊มอากาศ เพื่อที่จะนำไปใช้โดยจะป้อนอากาศที่ได้มานั้นให้ไหลผ่านไปยังหลอดกำเนิดโอโซนที่สร้างไว้แล้ว
2. ในขั้นตอนที่ 2 ตามรูปนั้นเป็นการสร้างหลอดกำเนิดโอโซน ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุดขั้นตอนหนึ่ง การที่เราจะสามารถสร้างหลอดกำเนิดโอโซนขึ้นมาได้นั้นเราจะต้องทำการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างให้เหมาะสม โดยวัสดุที่เราเลือกนำมาใช้นั้น เราได้ทำการเลือกโดยใช้ขั้วโลหะ (ในที่นี้ใช้ขั้วทองแดง) มาทำเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยมีหลอดแก้วเป็นไดอิเล็กตริก และมีตะแกรง (มุ้งลวด) เป็นขั้วกราวด์ ซึ่งเมื่อเราทำการอัดอากาศเข้าไปในหลอดที่ได้ทำการสร้างเอาไว้ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อากาศ ( $O_2$ ) จะวิ่งผ่านสนามไฟฟ้าค่าสูงที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่จะกล่าวถึงในข้อถัดไป โดยอากาศจะแตกตัวเป็น  $O_2$  อะตอม และจะไปรวมตัวกับออกซิเจน ( $O_2$ ) กลายเป็นก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) ในขั้นตอนการสร้างหลอดนี้ยังมีเรื่องความร้อนของหลอดโอโซน ที่เกิดจากการสร้างก๊าซโอโซนด้วยเนื่องจาก ในขณะที่ทำให้อากาศแตกตัวและรวมตัวใหม่เกิดเป็นโอโซนนั้น จะเกิดปริมาณความร้อนค่าหนึ่งแผ่ออกมาซึ่งปริมาณความร้อนนี้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปมันจะเป็นการลดปริมาณของก๊าซโอโซนลงได้ ดังนั้นจึงควรสร้างหลอดกำเนิดโอโซนให้มีการระบายความร้อนด้วย น้ำและสารหล่อเย็น เพื่อเป็นการลดปริมาณความร้อนได้
3. ในขั้นตอนที่ 3 ตามรูปนั้นเป็นการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตซ์ชิ่ง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับหลอดกำเนิดโอโซน ซึ่งข้อดีข้อเสียของการเลือกใช้แหล่งจ่ายแบบสวิตซ์ชิ่งนั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ซึ่งการใช้สวิตซ์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นข้อดีอย่างหนึ่งคือ สามารถใช้กับความถี่สูงได้เป็นอย่างดี และนอกจากนี้ยังให้ค่าประสิทธิภาพในการทำงานสูง น้ำหนักเบา และสามารถปรับความถี่ในการทำงานเพื่อกำหนดปริมาณโอโซนได้อีกด้วย
4. ในขั้นตอนที่ 4 ตามรูปนั้นเป็นการนำโอโซนไปบำบัดน้ำ โดยในขั้นตอนนี้สามารถเลือกใช้การใส่ก๊าซโอโซนลงในน้ำได้หลายวิธี ซึ่งในปฏิญญาพันธึ่เล่นี้เป็นการนำเสนอวิธีการบำบัดวิธีหนึ่ง ที่สามารถนำก๊าซโอโซนผสมกับน้ำที่ต้องการจะนำมาบำบัด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการออกแบบให้ระบบมีการหมุนเวียนนำก๊าซโอโซนที่เหลือใช้จากการผสมกับน้ำในขั้นตอนต่างๆ นำกลับมาผสมกับน้ำที่จะนำมาบำบัดอีกครั้งเพื่อให้เกิดการสิ้นเปลืองในการใช้ก๊าซโอโซนให้น้อยที่สุดและข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือเนื่องจากก๊าซโอโซนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซที่มีกลิ่นฉุนและเป็นอันตรายต่อมนุษย์เมื่อสูดดมเข้าไป ดังนั้น ถ้าเราทำให้ก๊าซโอโซนผสมกับน้ำได้มากที่สุดก็ส่งผลให้เกิดข้อดี 2 ประการนี้เองซึ่งจะอธิบายไว้ในตอนถัดไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงภาพโดยรวมของการสร้างเพื่อที่จะผลิตก๊าซโอโซนและการนำไปใช้

## 5.2 การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันที่รับเข้ามาจะเป็น แรงดันไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรท์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังวงจร เรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ ซึ่งได้ใช้ไดโอดจำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสให้ได้แรงดันไฟตรงขนาด 310 โวลต์ และผ่านมายัง C ฟิลเตอร์เพื่อทำให้ระดับแรงดันเรียบ และยังทำหน้าที่ในการแบ่งแรงดันให้กับเพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 2 ตัวให้เท่ากันด้วยเพราะ C มีค่าเท่ากันและต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R 120k เพื่อทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟตรงอินพุตให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันคือประมาณ 155 โวลต์ ซึ่งตกคร่อมมอสเฟต โดยมอสเฟตจะสลับการทำงานทีละตัวตามลักษณะวงจรถาต์ไฟบริดจ์ และช่วงที่จะให้มอสเฟตทำงานจะถูกควบคุมตามวงจรควบคุมที่ผลิตจาก TL494

วงจรควบคุมจะอาศัย TL494 เป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวผลิตสัญญาณที่ไปควบคุมทำให้ออสเฟตในวงจรคอนเวอร์เตอร์สลับกันนำกระแส โดยที่ TL494 เป็นวงจร PWM ที่ผลิตความถี่เอาต์พุตออกมายังขา 8 และขา 11 ซึ่งจะมีความต่างเฟส 180 องศา โดยเราจะสามารถปรับความถี่ที่ผลิตจาก R ที่ขา 6 และ C ที่ขา 5 และสัญญาณที่ผลิตออกมาจะต้องทำการเผื่อค่าของ DEAD TIME เพื่อเวลาส่วนนี้ไว้เพราะคุณสมบัติของมอสเฟตที่ว่ากรหน่วงของสัญญาณ ถ้าเราไม่เผื่อเวลาส่วนนี้อาจทำให้ออสเฟตเสียหายได้และเราสามารถกำหนดค่า DEAD TIME ได้ที่ขา 4 ส่วนขา 8 และขา 11 จะเป็น output open collector เพราะฉะนั้นเราจึงต้องต่อ R 1K เพื่อให้กำหนดกระแสมากพอที่จะผ่านเข้าไปยัง IC MC14049 ซึ่งจะทำหน้าที่ขับมอสเฟต จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังมอสเฟต IRF9540 และ IRF540 ที่ต่อในลักษณะ complementary โดยตัวมอสเฟตทั้งคู่จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์นั่นเอง จากนั้นแล้วจะส่งไปยังหม้อแปลงเพื่อขับปลั๊กสัญญาณส่งต่อไปยังมอสเฟต โดยสัญญาณหม้อแปลงจะมีหน้าที่ไปขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกต การที่จะให้ออสเฟตทำงานผลัดกันทีละตัวก็สามารถทำได้โดยการพันหม้อแปลงขับปลั๊กให้ที่จำนวน 2 ขด ซึ่งแต่ละขดจะต้องพันให้มีเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา

วงจร feedback มีทั้ง feedback แรงดันและกระแส โดยที่การป้อนกลับแรงดันจะต่อร่วมอยู่กับการป้อนกลับ การป้อนกลับกระแสจะใช้หม้อแปลง T2 คึงแรงดันจากเอาต์พุตมาทำการแปลงเป็นไฟตรงก่อนที่จะมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ IC LM324 แล้วส่งแรงดันที่เปรียบเทียบเข้าสู่ขา 6 ของ IC494

ส่วนทางเอาต์พุตจะต่อวงจรเรโซแนนซ์ที่ขาของมอสเฟตที่ถูกควบคุมการสวิตช์ที่ขาเกตมาแล้ว จะทำให้แรงดันส่วนนี้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ในการที่เรานำวงจรเรโซแนนซ์มาต่อเพื่อปรับเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณรูปไซน์ โดยวงจรเรโซแนนซ์จะเป็นลักษณะของวงจรแบนด์พาส ถ้าความถี่ที่รับเข้ามาไม่ใช่ความถี่เดียวกันกับความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้แรงดันมีขนาดลดลง จากหลักการนี้จึงได้ว่า ถ้าวจรควบคุมผลิตความถี่ที่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เราตั้งไว้จะทำให้แรงดันมีขนาดลดลง แต่ถ้าเราตั้งความถี่ที่วงจรควบคุมมีความถี่เดียวกับความถี่เรโซแนนซ์เราจะได้แรงดันสูงสุด จากการที่เราได้สัญญาณที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์แล้วซึ่งเป็นรูปไซน์จะถูกส่งผ่านมาโดยหม้อแปลง L2 และถ้าเราต้องการแรงดันให้มีขนาดเพิ่มหรือลดเราสามารถพันจำนวนหม้อแปลงให้มีขนาดมากหรือน้อยตามระดับแรงดันที่เราต้องการ และสัญญาณที่ผ่านหม้อแปลงมาจะเป็นสัญญาณไซน์ สามารถนำไปใช้ได้ แต่ถ้าต้องการไฟกระแสตรงก็สามารถทำได้โดยการผ่านเรกติไฟต์เพื่อให้เป็นสัญญาณไฟตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักการออกแบบ

### 1. วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นแบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์การทำงานของวงจรกำหนดจากค่าตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุต แรงดันตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เพาเวอร์มอสเฟต Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาและพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟสูงความถี่สูงตามที่ต้องการเพื่อส่งต่อไปยังภาคเอาต์พุตเรโซแนนซ์ต่อไป

### 2. วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลส์

วงจรที่ใช้สร้างและควบคุมความกว้างพัลส์โดยมี IC TL494 ทำหน้าที่หลักในการสร้างพัลส์ไปควบคุมคอนเวอร์เตอร์ และรับแรงดันจาก IC LM324 ซึ่งทำหน้าที่ในการป้อนกลับมาทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น จากการทำงานของ IC TL494 เป็นวงจร PWM ซึ่งความถี่ควบคุมที่ออกจากรขา 6 คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ สามารถกำหนดได้จากค่า RT และ CT คาบเวลาการทำงานที่ออกจากรขา 5 และขา 6 ของ IC TL494 กำหนดได้จาก

$$T = (R_T C_T) / 1.1 \quad (5.1)$$

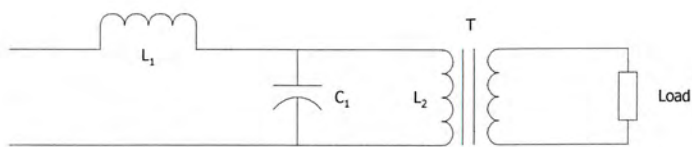
การกำหนดค่าเวลาเพื่อ ( Dead time ) TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนด ค่าเวลาเพื่อของวงจรได้เองด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 – 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของ IC TL494 ซึ่งในโครงงานนี้การกำหนดความกว้างพัลส์จะสัมพันธ์กับค่าเวลาเพื่อโดยความกว้างพัลส์จะควบคุมผ่าน VR 10 k กำหนดแรงดันให้ Op-Amp จาก IC LM324 ซึ่งจะให้โฟลบเข้ามาที่ขา 6 ของ IC TL494 เพื่อกำหนดให้ได้ความถี่ที่ต้องการและพัลส์ออกมาที่ขา 8 และขา 11 เพื่อนำไปควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์

### 3. วงจรเอาต์พุตเรโซแนนซ์

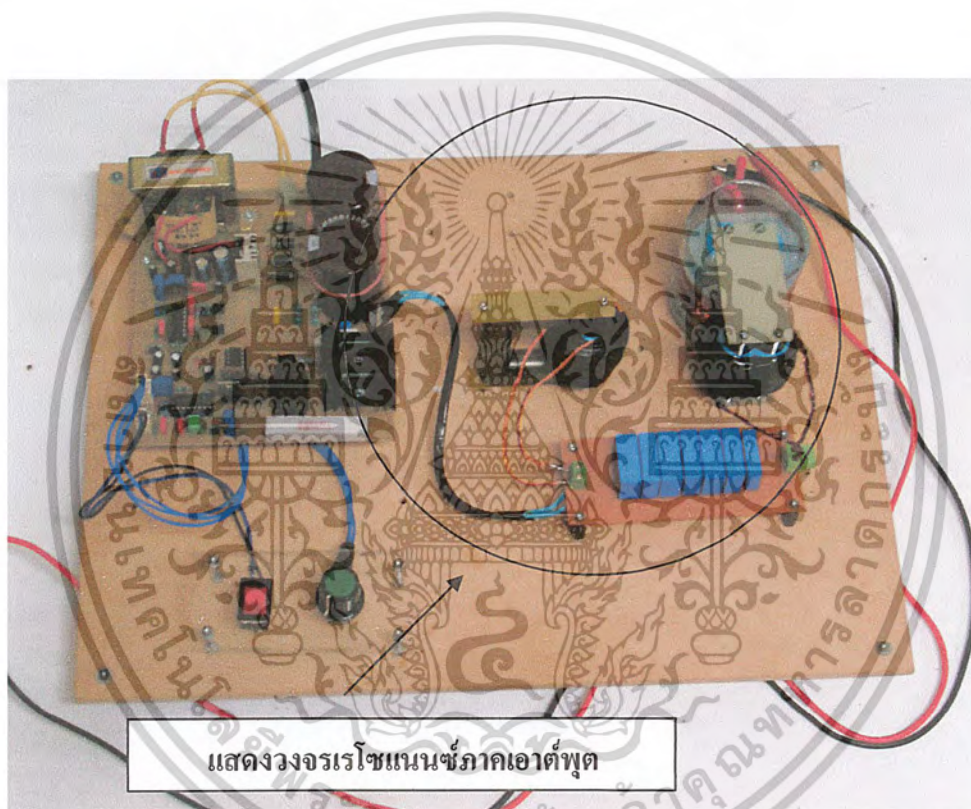
วงจรเอาต์พุตเรโซแนนซ์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นการต่อ LC แบบผสมดังรูปที่ 5.2 ซึ่งการต่อแบบนี้เพื่อส่งผลให้การควบคุมแรงดันเอาต์พุตสามารถควบคุมได้จาก ความถี่ที่ป้อนให้กับส่วนของวงจรเอาต์พุตเรโซแนนซ์ ซึ่งที่ความถี่ค่าหนึ่งจะทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดซึ่งการคำนวณความถี่เรโซแนนซ์นี้สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\omega^2 = \frac{L_1 + L_2}{(L_1 L_2) C_L} \quad (5.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

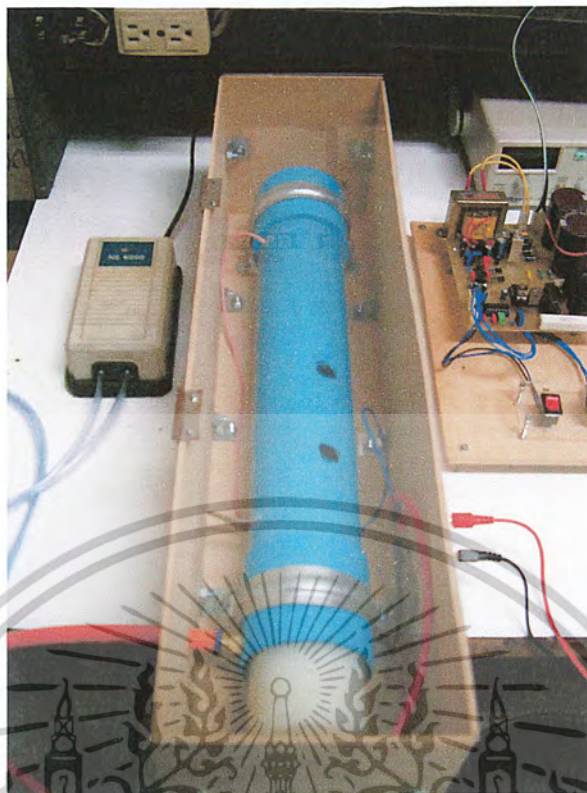


รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ภาคเอาต์พุต

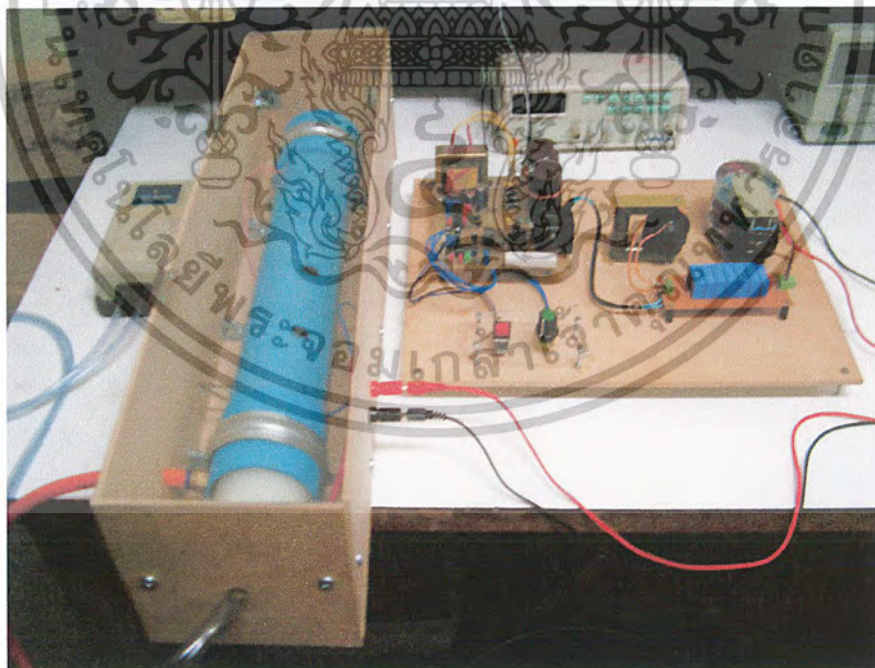


รูปที่ 5.3 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ภาคเอาต์พุตที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

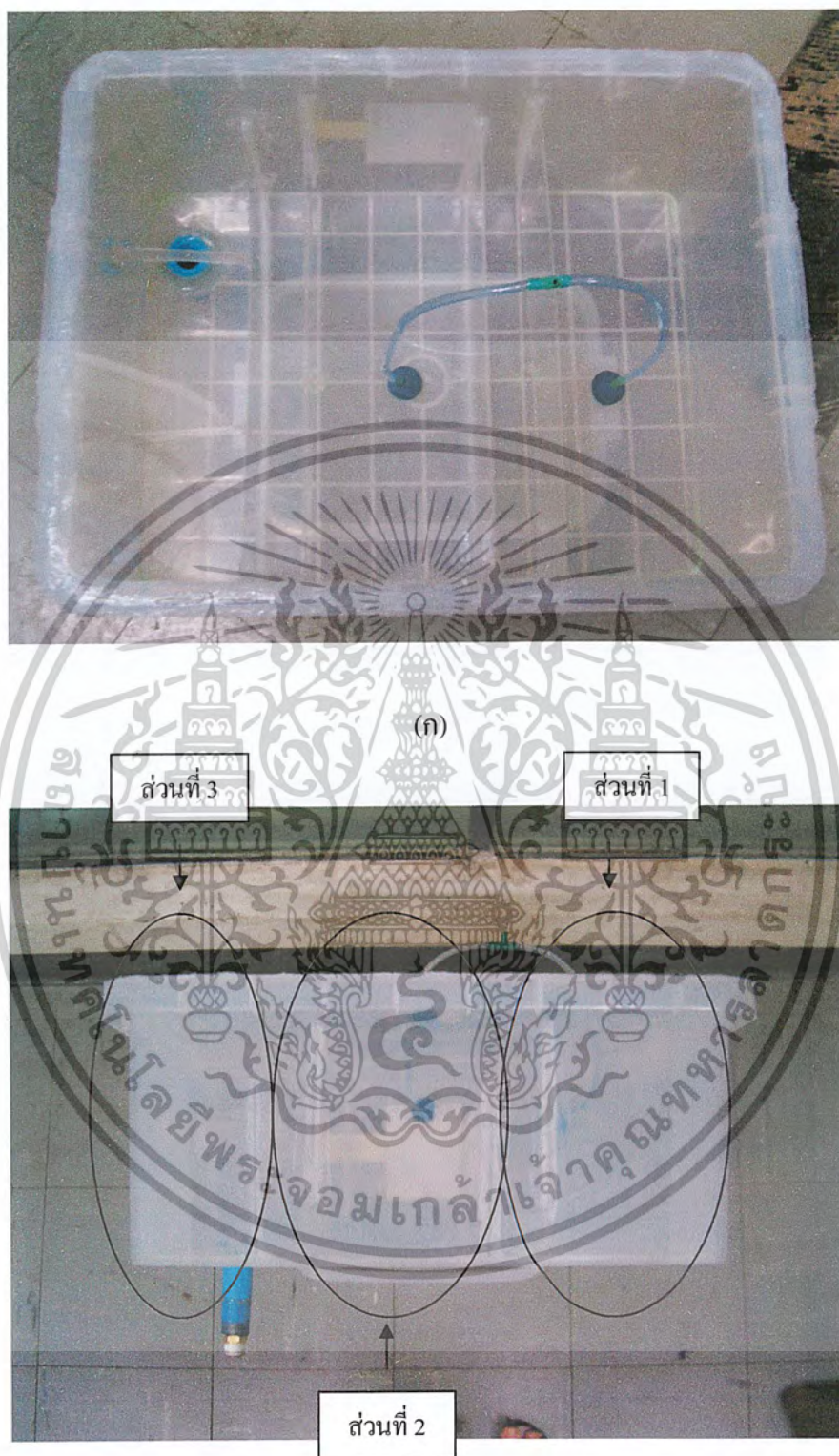


รูปที่ 5.4 แสดงหลอดกำเนิดไอโซน



รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องกำเนิดไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

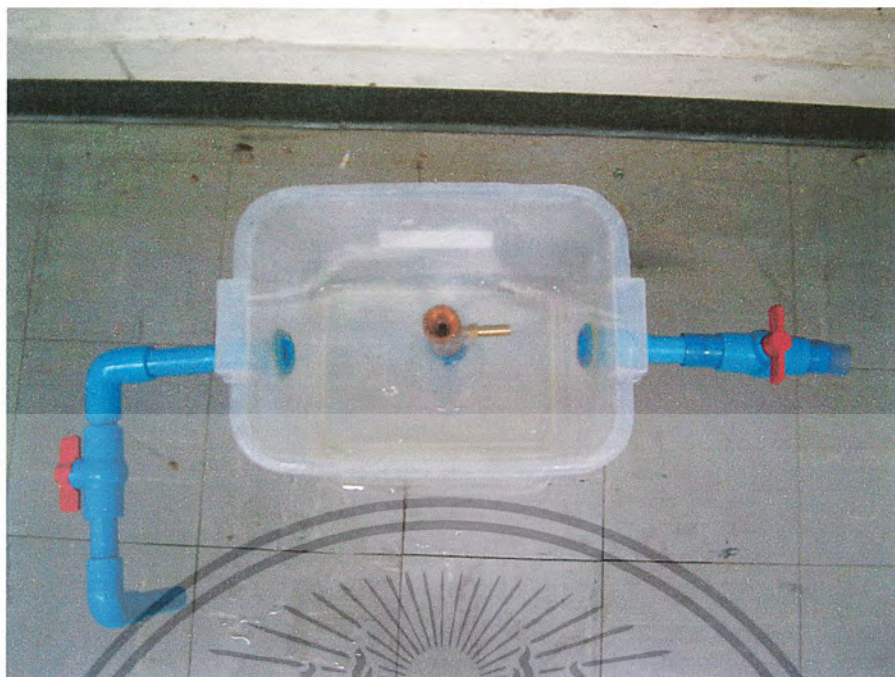


(ข)

### รูปที่ 5.6 แสดงถึงบัพน้ำใบที่ 1

ก) ภาพด้านบน ข) ภาพด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

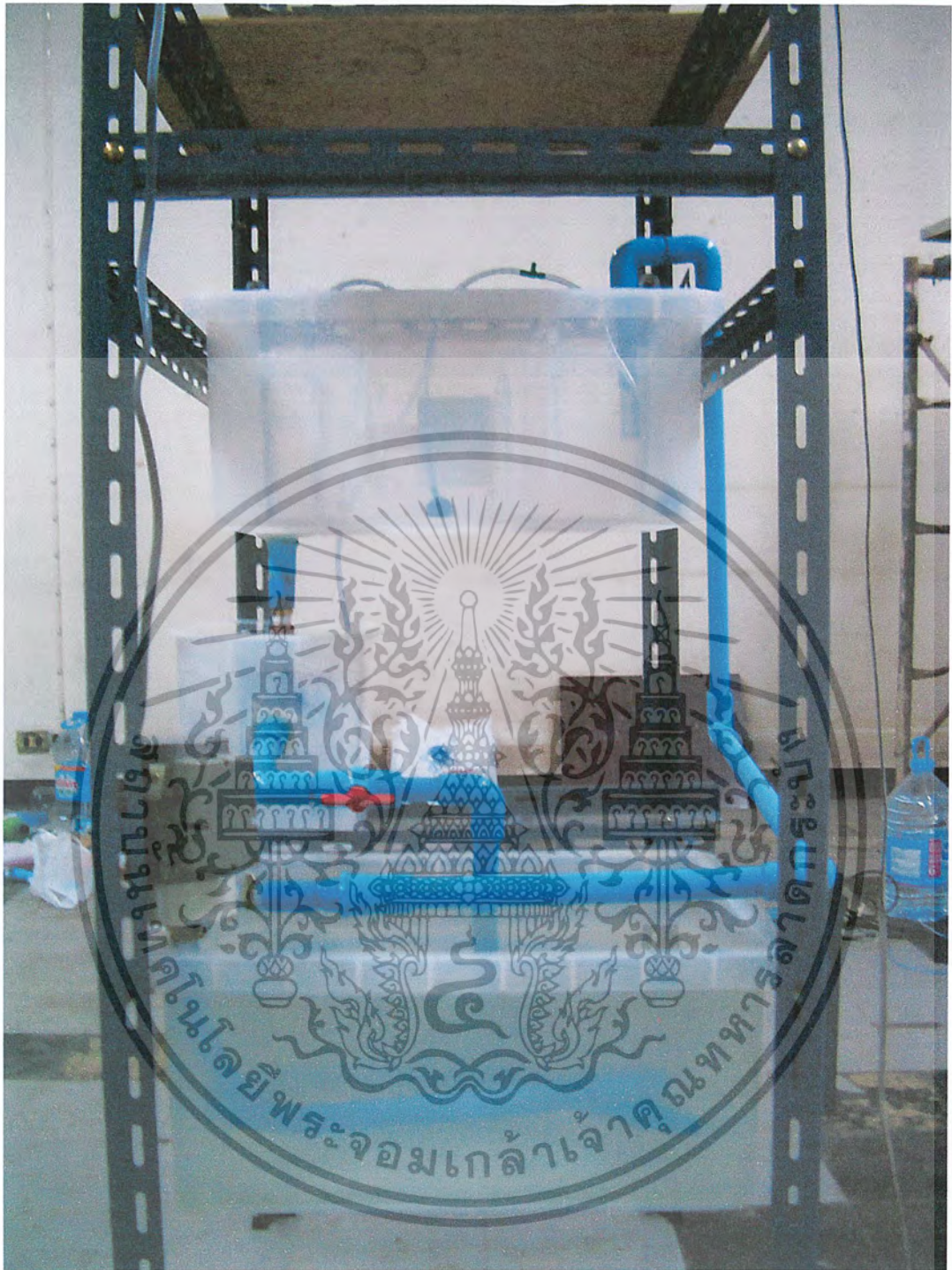


(ข)

### รูปที่ 5.7 แสดงถึงบำบัดน้ำใบที่ 2

ก) ภาพด้านบน ข) ภาพด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



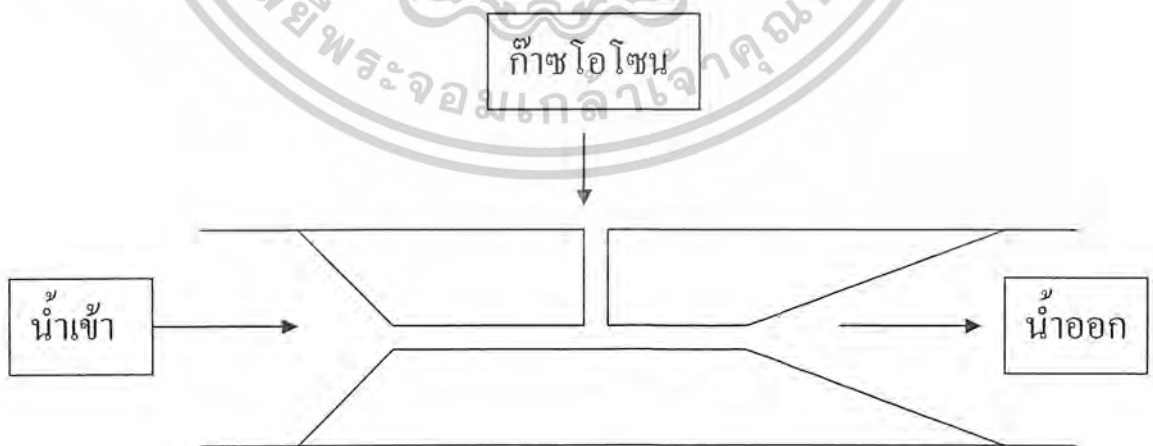
รูปที่ 5.8 แสดงระบบบำบัดน้ำที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 หลักการออกแบบและการอธิบายระบบบำบัดน้ำ

จากรูปที่ 5.6 แสดงถึงบำบัดน้ำไบที่ 1 ซึ่งจะออกแบบโดย กั้นภายในถังบำบัดให้ออกเป็น 3 ส่วน โดยจะเริ่มจาก น้ำที่จะนำมาบำบัดจะจ่ายไปยังส่วนที่ 1 โดยภายในส่วนที่ 1 นั้นจะมีการผสมก๊าซ โอโซนกับน้ำ โดยใช้ฟองฟูเพื่อพ่นโอโซนเข้าไปในส่วนที่ 1 จะเห็นได้ว่าหลังจากมีการผสมก๊าซ โอโซนกับน้ำแล้วจะมีก๊าซโอโซนที่เหลือจากการผสม ก๊าซนี้จะลอยขึ้นไปทางด้านบนของถัง ซึ่งก๊าซนี้จะถูกนำไปใช้อีกครั้งในถังบำบัดน้ำไบที่ 2 นั่นเอง ในส่วนถังไบที่ 2 ก็เป็นลักษณะเช่นเดียวกับถังไบที่ 1 โดยก๊าซโอโซนที่นำมาป้อนให้กับระบบนี้จะได้มาจาก ส่วนที่สร้างไว้แล้วก่อนหน้า ในส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 นี้จะมีการออกแบบ โดยให้น้ำที่ถูกผสมกับก๊าซโอโซนแล้วไหลผ่านไป แล้วน้ำใหม่ก็จะไหลเข้ามาแทนที่นั่นเอง ในส่วนที่ 3 จะเป็นส่วนที่พักน้ำจากส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 เพื่อจ่ายไปยังถังบำบัดน้ำไบที่ 2

จากรูปที่ 5.7 แสดงถึงบำบัดน้ำไบที่ 2 ซึ่งจะออกแบบ โดยเริ่มจากน้ำที่ได้จากถังไบที่ 1 จะถูกจ่ายไปยังถังไบที่ 2 ทางด้านบน (เราสามารถเพิ่มแรงดันของน้ำได้โดยการจ่ายน้ำผ่านปั้มน้ำได้ ซึ่งจะ สามารถเพิ่มการผสมน้ำกับก๊าซโอโซน ได้มากขึ้น) ซึ่งจากรูปที่ 5.9 และถูกจ่ายไปยังช่องน้ำเข้า และน้ำ ที่ไหลผ่านตัวผสมนี้ นั้น จะทำให้เกิดการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่ไหลผ่านนั่นเอง โดยอาศัยหลักการ ของ แรงดันที่เท่ากันของทั้ง 2 ด้าน กล่าวคั้งนี้คือ เมื่อน้ำที่มีแรงดันสูงถูกทำให้ไหลผ่านตัวผสมทางด้าน น้ำเข้านั้นจะทำให้เกิดแรงดันที่มีค่าต่ำภายในช่องทางไหลของน้ำช่องเล็กๆ ซึ่งระบบจะทำการชดเชย แรงดันโดยการดูดก๊าซโอโซนทางช่องด้านบน ของรูปที่ 5.9 ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำที่ไหล ผ่านตัวผสมกับก๊าซโอโซน โดยการออกแบบนั้น เราจะต้องทำให้ที่ช่องทางน้ำเข้านั้นมีมุมกว้าง 90 องศา เพื่อให้เกิดแรงดันค่าต่ำๆนั่นเอง และที่ช่องทางน้ำออกจะต้องออกแบบให้มุมมีค่า 30 องศา เพื่อให้เกิดการสูญเสียในการผสมน้ำกับก๊าซโอโซนให้น้อยที่สุด

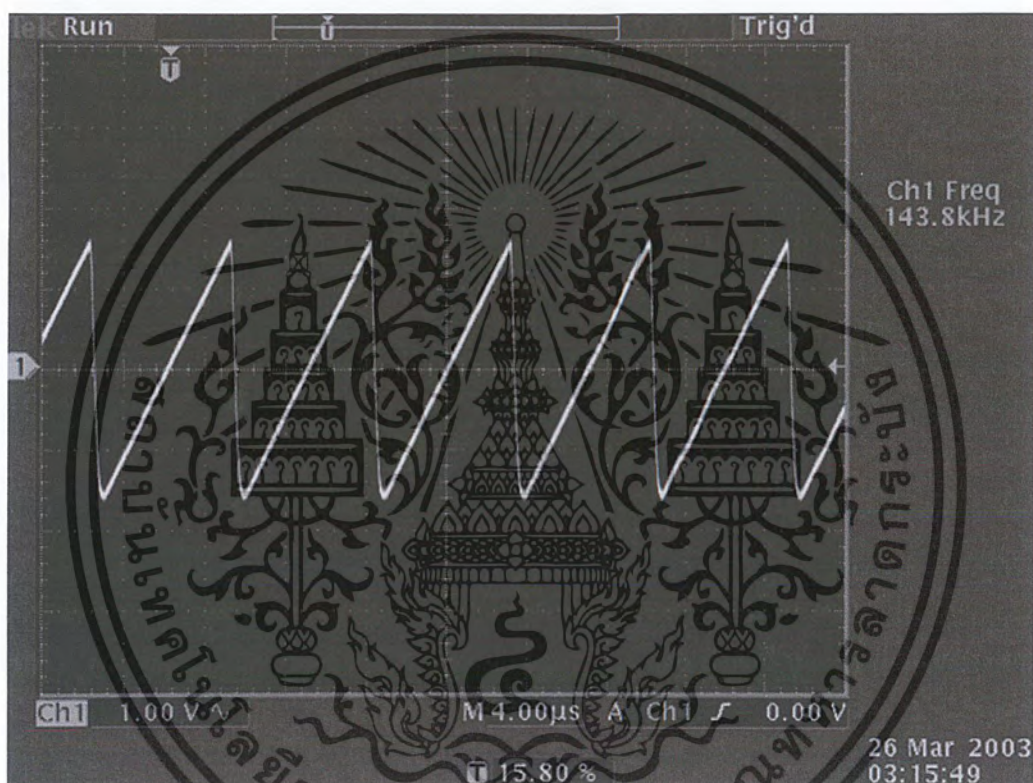


รูปที่ 5.9 แสดงตัวผสมก๊าซโอโซนกับน้ำที่จะนำมาบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

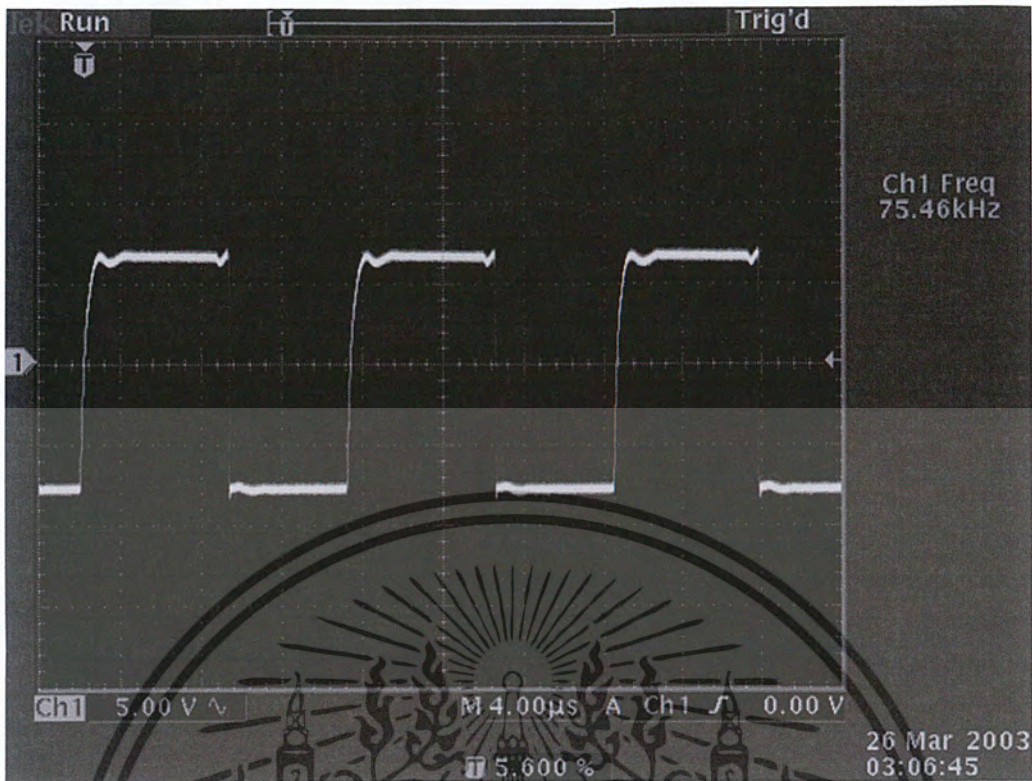
หลังจากได้ผสมน้ำกับก๊าซโอโซนแล้วน้ำจะถูกฉีดออกไปทางด้านล่างของถังใบที่ 2 ดังรูป 5.7 ซึ่งการออกแบบถังใบนี้มีข้อดี คือ ภายในถังจะเป็นระบบปิด ก๊าซไม่สามารถไหลออกนอกระบบได้ ดังนั้น ก๊าซโอโซนที่จะนำมาผสมกับน้ำนั้นเกิดมาจาก 2 ส่วนคือเกิดจากก๊าซโอโซนที่เหลือจากถังใบที่ 1 และก๊าซโอโซนที่เหลือจากถังใบที่ 2 เองด้วย ดังนั้นจึงเป็นการนำก๊าซโอโซนมาใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมาก

#### 5.4 ผลการทดลอง

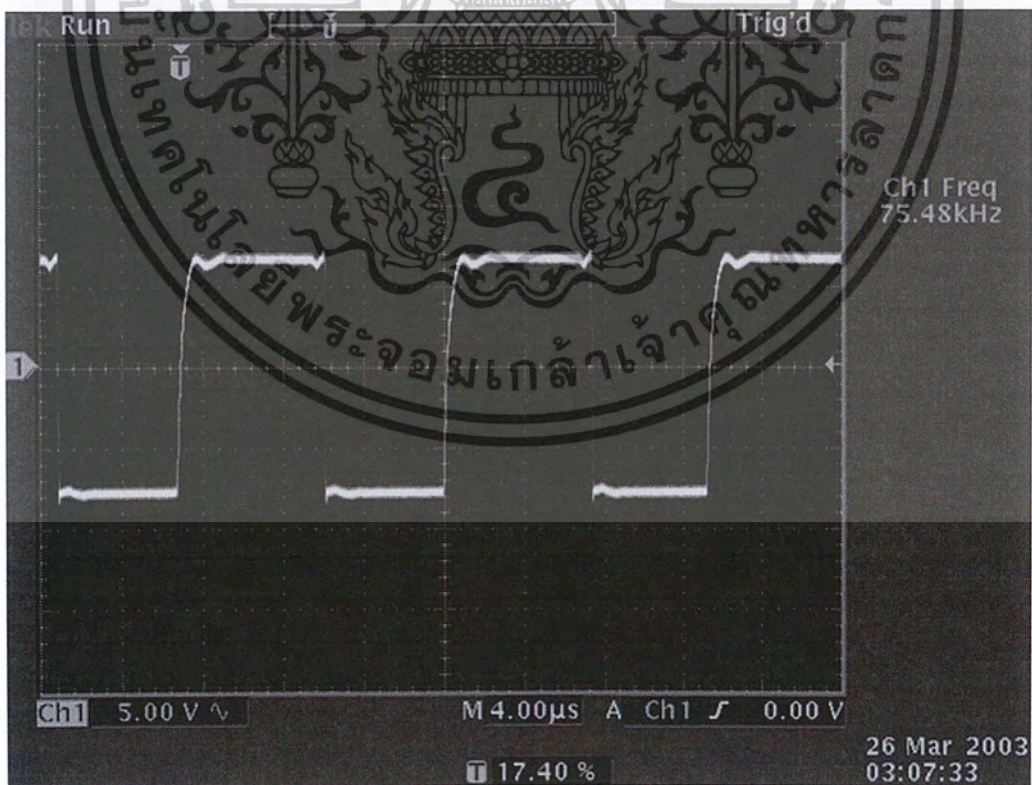


รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณ Saw Tooth ที่ขา 5 ของ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

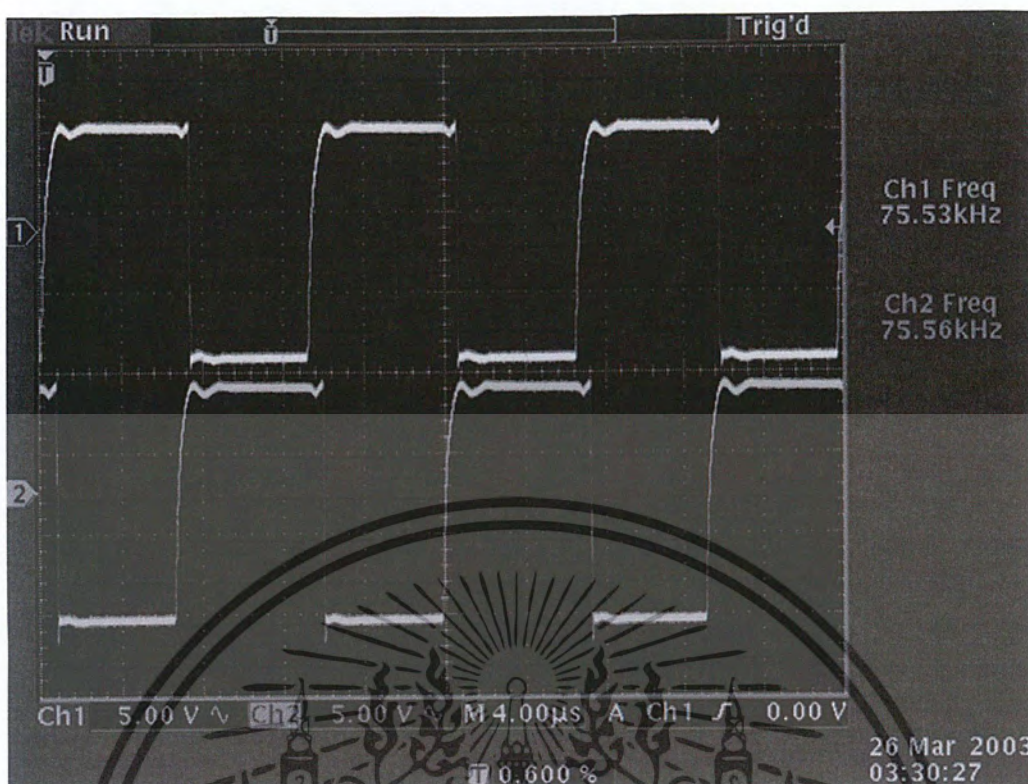


รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณที่ขา 8 ของ TL494

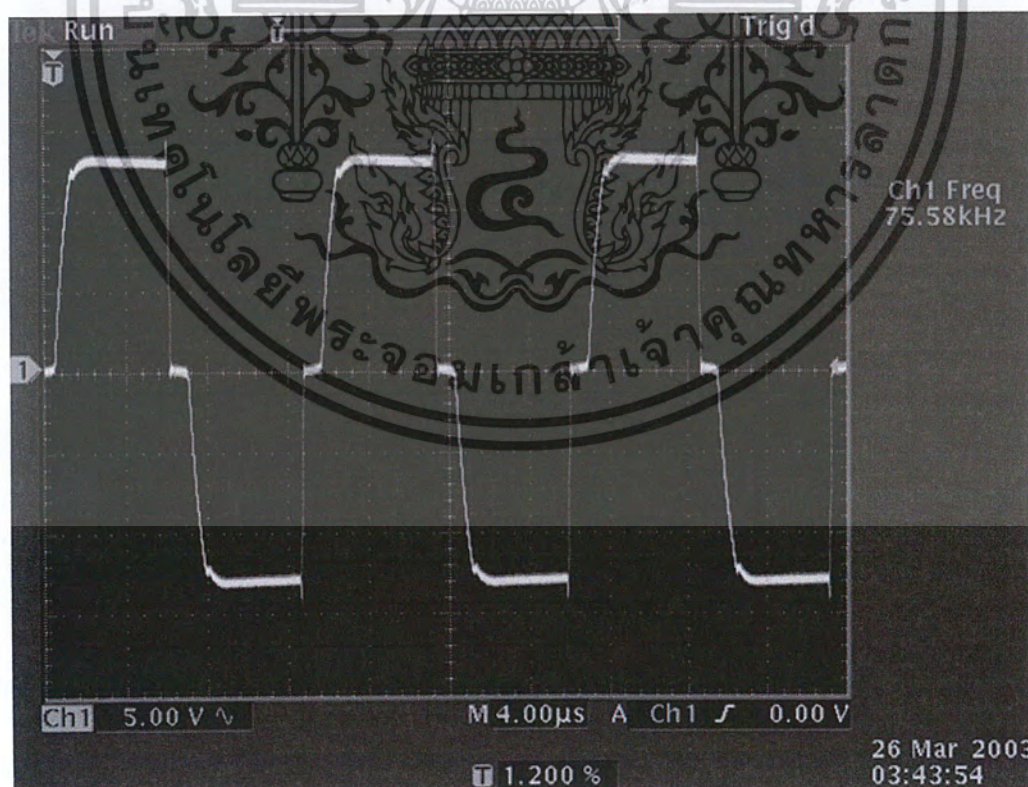


รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณที่ขา 11 ของ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณที่ขา 8 และ ขา 11 ของ TL 494



รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณก่อนเข้าหม้อแปลง (หม้อแปลงที่ทำหน้าที่ isolate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการวัดหาปริมาณก๊าซโอโซนที่ได้นั้นเราจะทำการวัดได้ดังนี้ คือ เราจะทำการวัดหาปริมาณก๊าซโอโซนที่สามารถผสมลงในน้ำได้ จากการนำน้ำที่ถูกผสมด้วยก๊าซโอโซนแล้วเป็นเวลานาน 1 นาที ปริมาณ 100 CC มาผสมกับสารละลาย KI ปริมาณ 100 CC หลังจากนั้นจะนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตเพื่อหาปริมาณก๊าซโอโซนที่ถูกผสมลงในน้ำนั่นเอง ซึ่งจากการไตเตรตจะได้ปริมาณก๊าซโอโซนที่สามารถผสมกับน้ำได้มีค่าเท่ากับ 0.133 มิลลิกรัม

ซึ่งวิธีนี้จะมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องนำมาทดสอบกับสารละลาย แต่เราสามารถวัดหาค่าปริมาณก๊าซโอโซนที่สามารถผสมกับน้ำได้ โดยใช้การตรวจวัดหาปริมาณความเข้มของสเปกตรัมจากการให้น้ำไหลผ่านรังสี UV ซึ่งวิธีนี้จะได้รับความนิยมมากกว่า

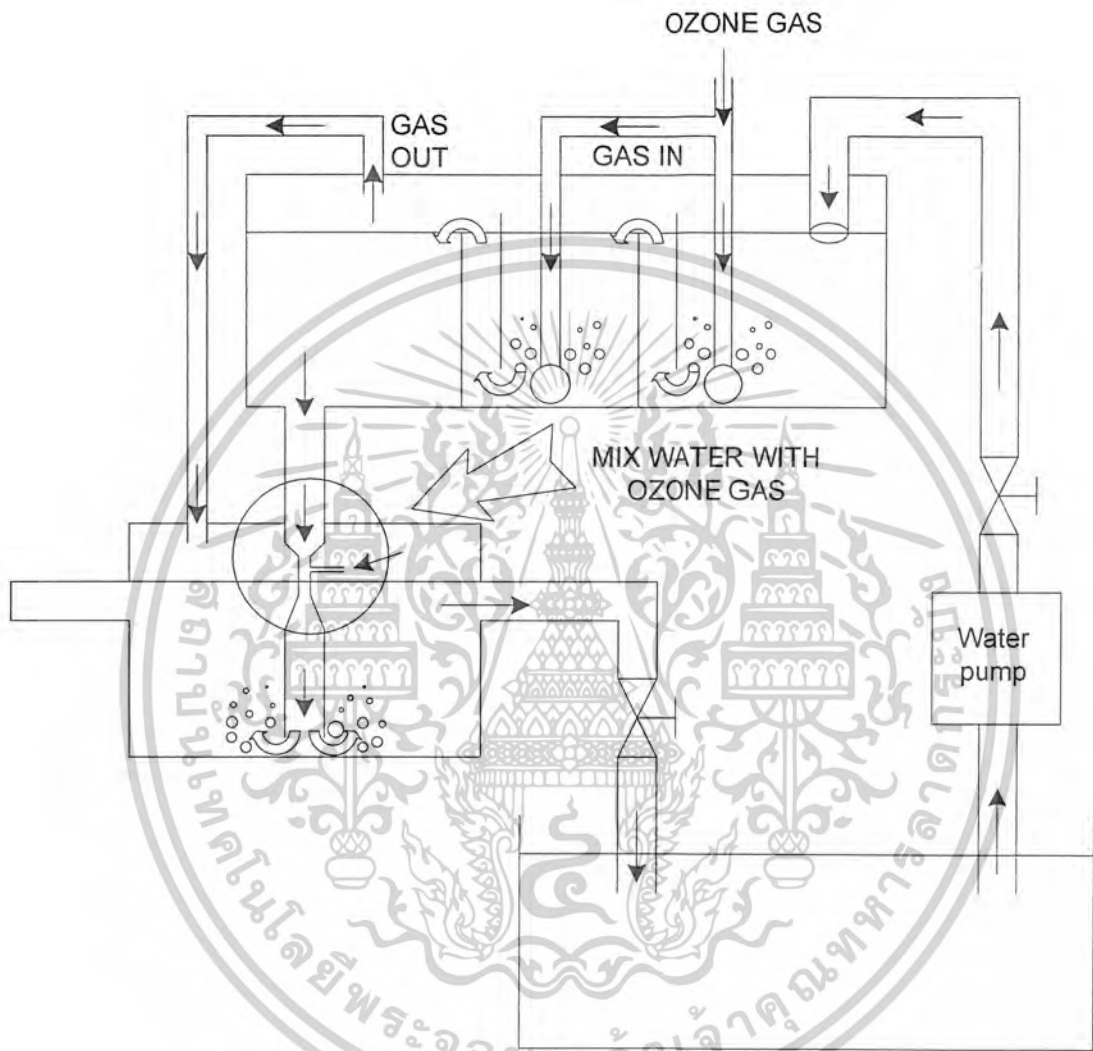


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปแบบจำลองระบบบำบัดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494

## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

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

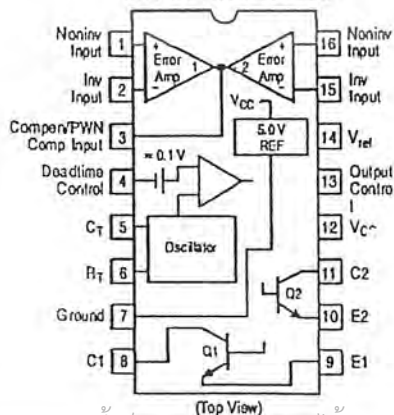
- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation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

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

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

1. Maximum thermal limits must be observed.

### PIN CONNECTIONS



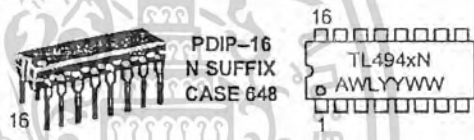
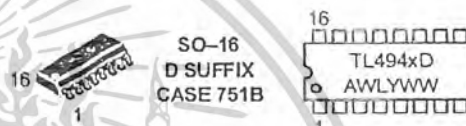
(Top View)



ON Semiconductor™

<http://onsemi.com>

### MARKING DIAGRAMS



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

\*This marking diagram also applies to NCV494.

### ORDERING INFORMATION

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## TL494, NCV494

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

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

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

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

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

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

## TL494, NCV494

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

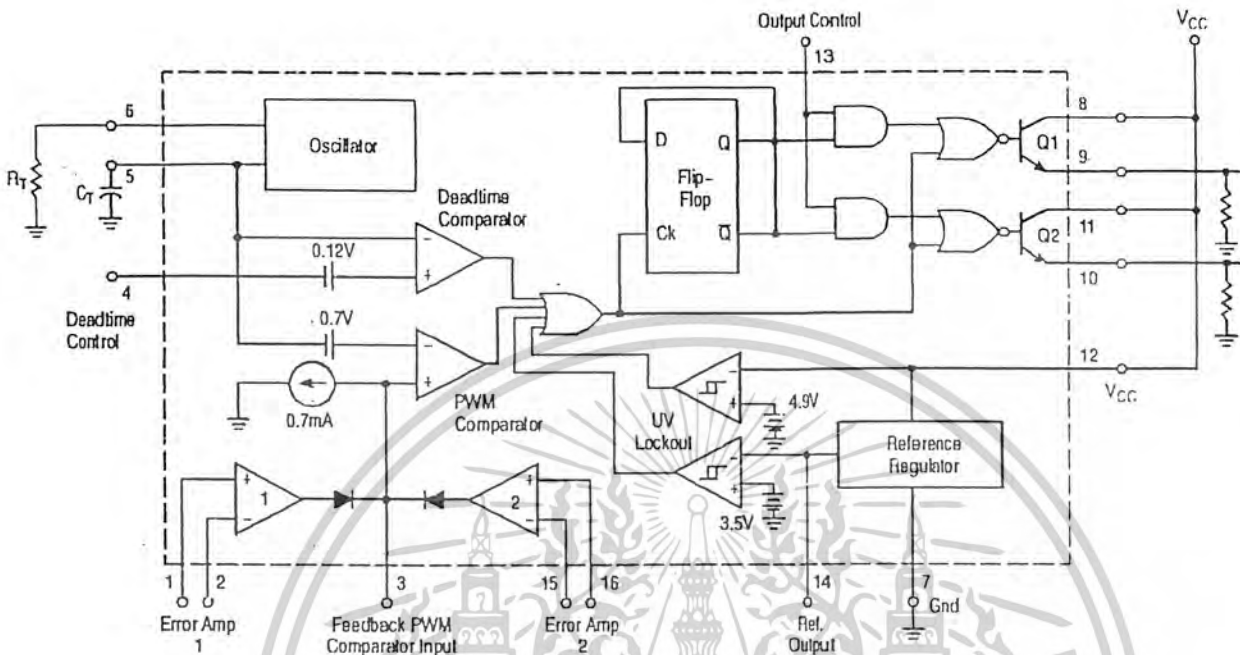
For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	–	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	–	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	–	–0.1	–1.0	$\mu\text{A}$
Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_{ICR}$	–0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ( $\Delta V_O = 3.0\text{ V}$ , $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$A_{VOL}$	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$f_c$	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$\phi_m$	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ )	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ( $\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$ , $V_O = 2.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current ( $V_O$ (Pin 3) = 0.7 V)	$I_{O-}$	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current ( $V_O$ (Pin 3) = 3.5 V)	$I_{O+}$	2.0	–4.0	–	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	$V_{TH1}$	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{Pin 3} = 0.7\text{ V}$ )	$I_{IL}$	–0.3	0.7	–	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ to $5.25\text{ V}$ )	$I_{IB}$ (DT)	–	–2.0	–10	$\mu\text{A}$
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ ) ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ , $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$DC_{max}$	45 –	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	$V_{th}$	– 0	2.8	3.3 –	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$f_{osc}$	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$\sigma_{f_{osc}}$	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to $40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$\Delta f_{osc} (\Delta V)$	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ ) ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )	$\Delta f_{osc} (\Delta T)$	–	–	12	%
<b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$ )	$V_{th}$	5.5	6.43	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open) ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ )	$I_{CC}$	– –	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , $V_{Pin 4} = 2.0\text{ V}$ ) ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, NCV494



This device contains 46 active transistors.

Figure 1. Representative Block Diagram

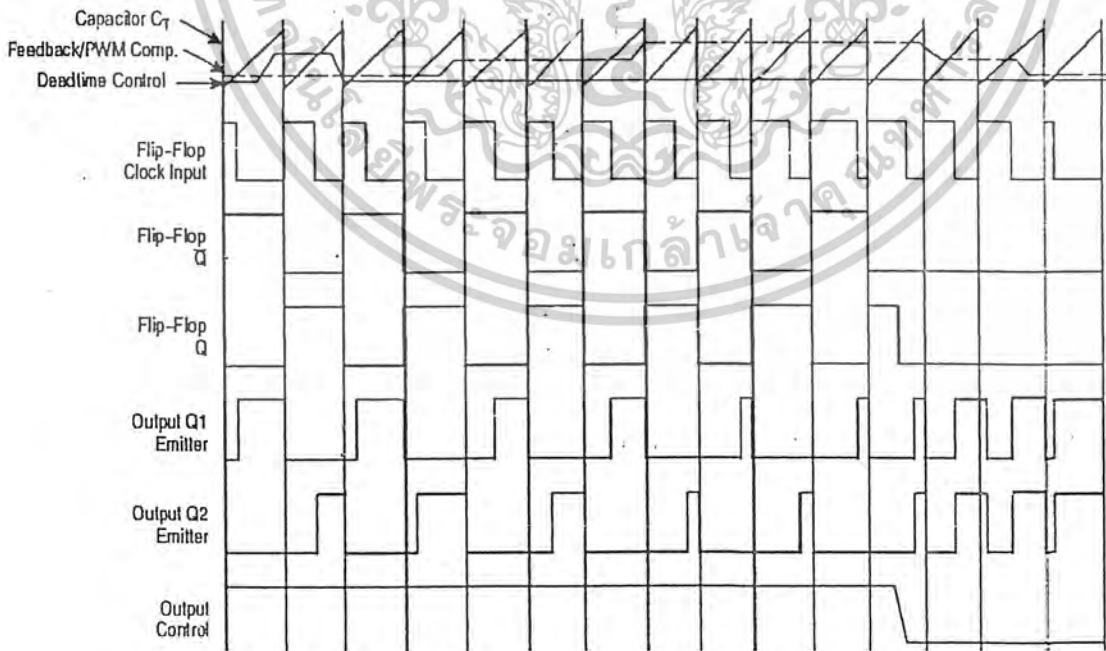


Figure 2. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งอธิบดีของเอกสารทุกครั้งที่เราได้นำไปใช้

# TL494, NCV494

## APPLICATIONS INFORMATION

### Description

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

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

For more information refer to Figure 3.

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

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

Functional Table

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

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a

common mode input range from -0.3 V to  $(V_{CC} - 2V)$ , and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

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

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

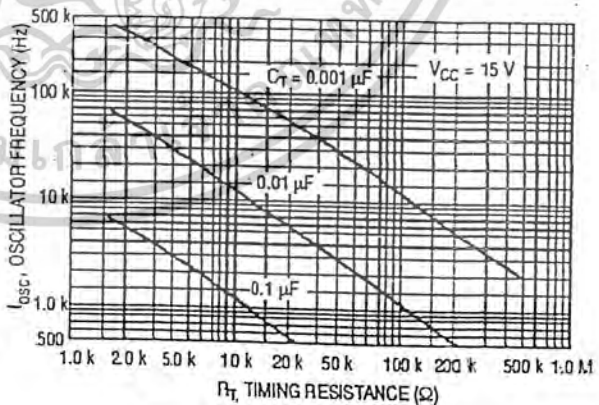


Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

TL494, NCV494

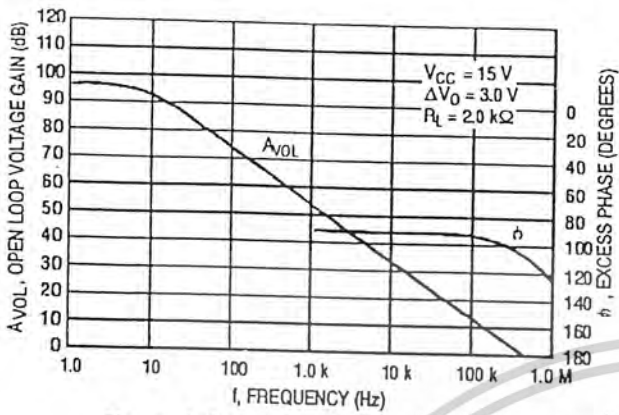


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

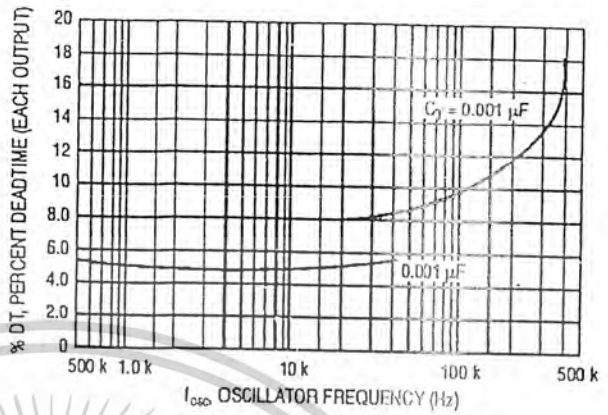


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

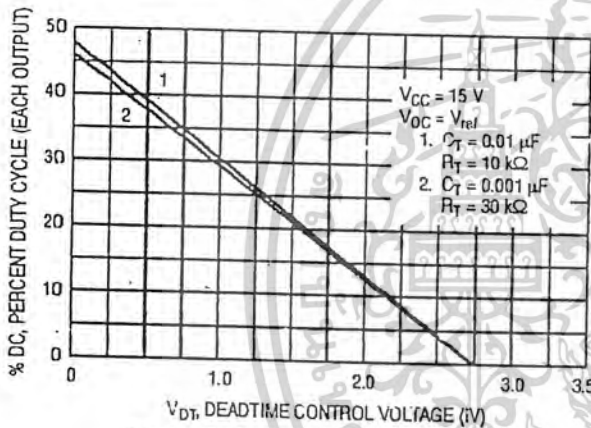


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

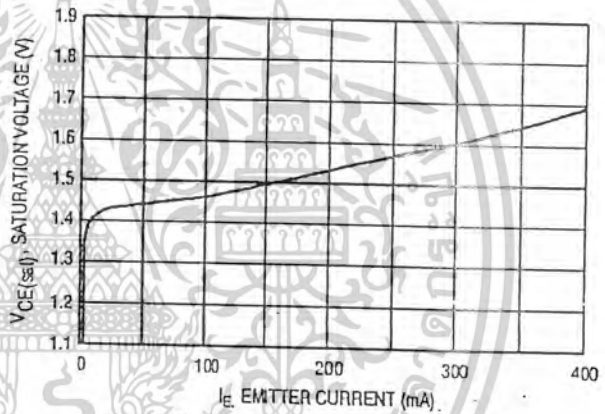


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

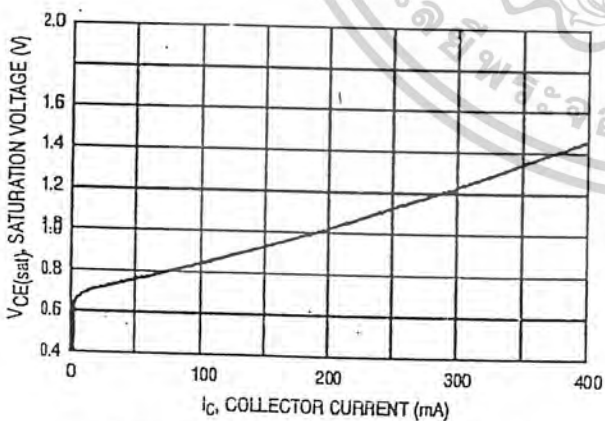


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

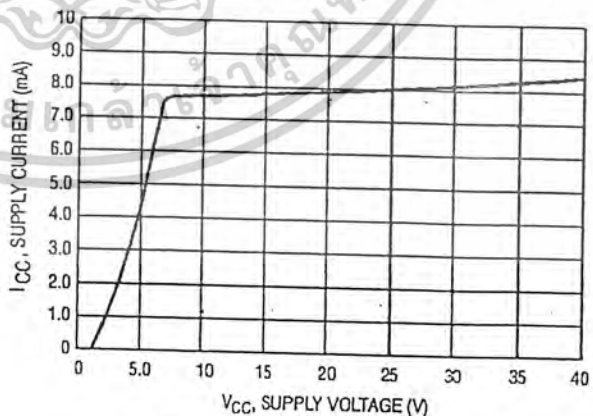


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

TL494, NCV494

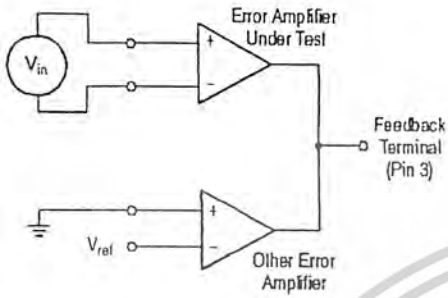


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

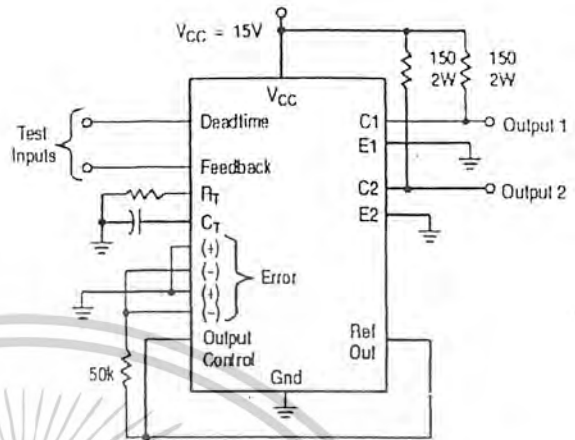


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

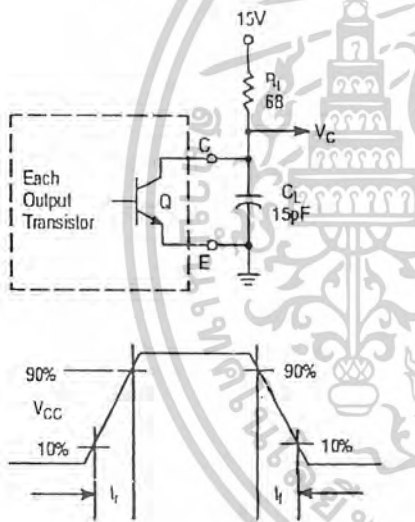


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

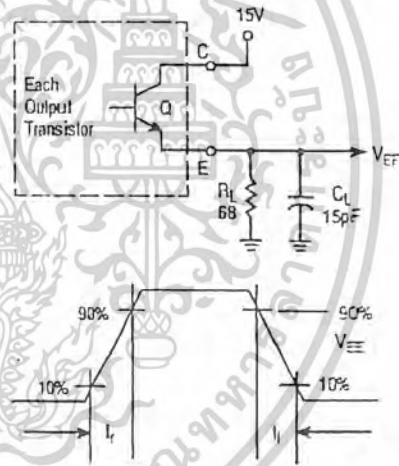


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

TL494, NCV494

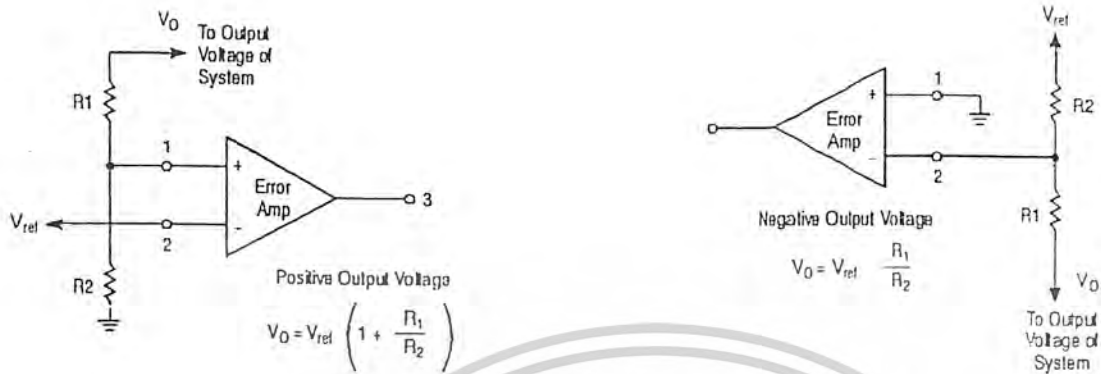


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

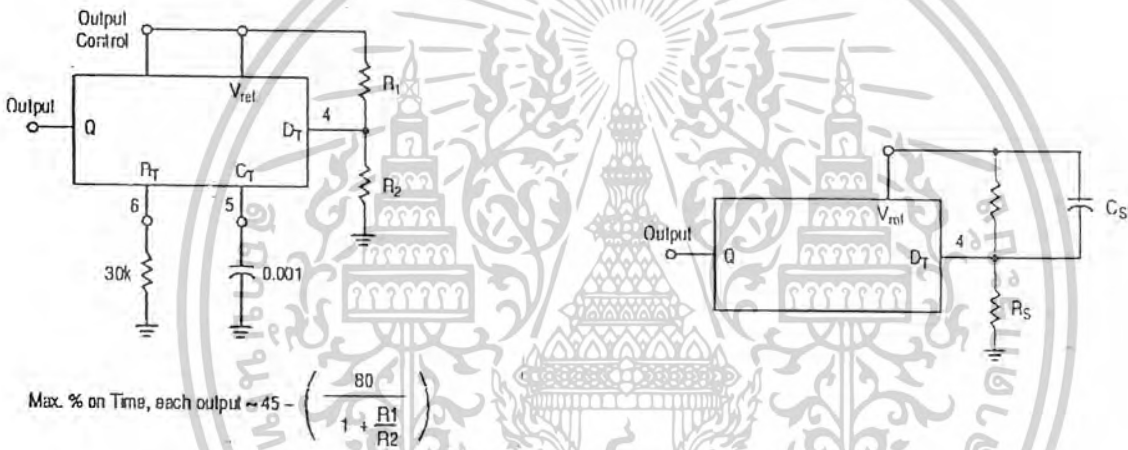


Figure 15. Deadtime Control Circuit

Figure 16. Soft-Start Circuit

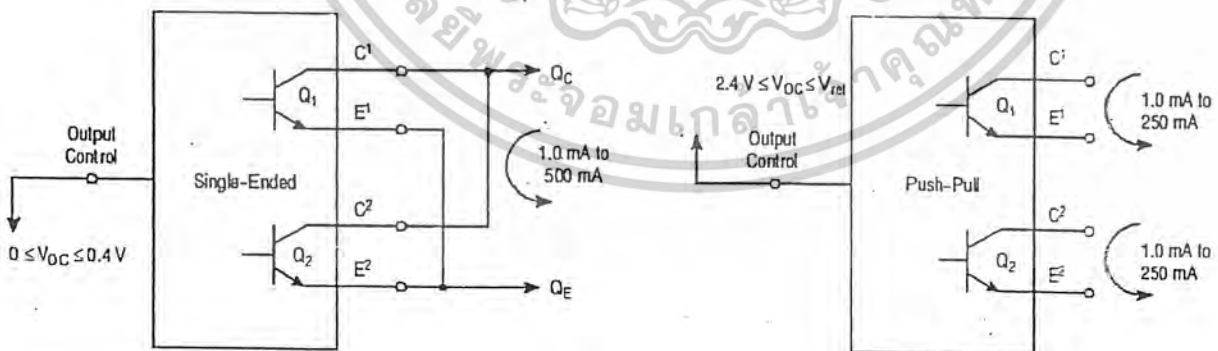


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

## TL494, NCV494

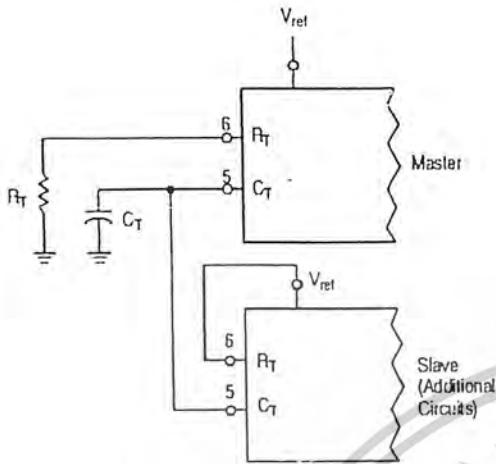


Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

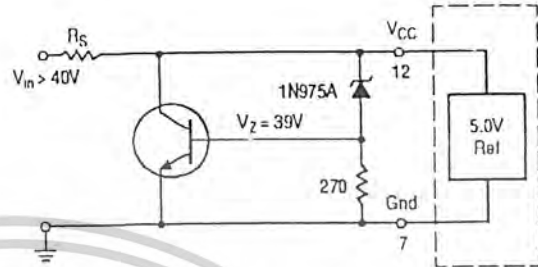


Figure 19. Operation with  $V_{in} > 40V$  Using External Zener

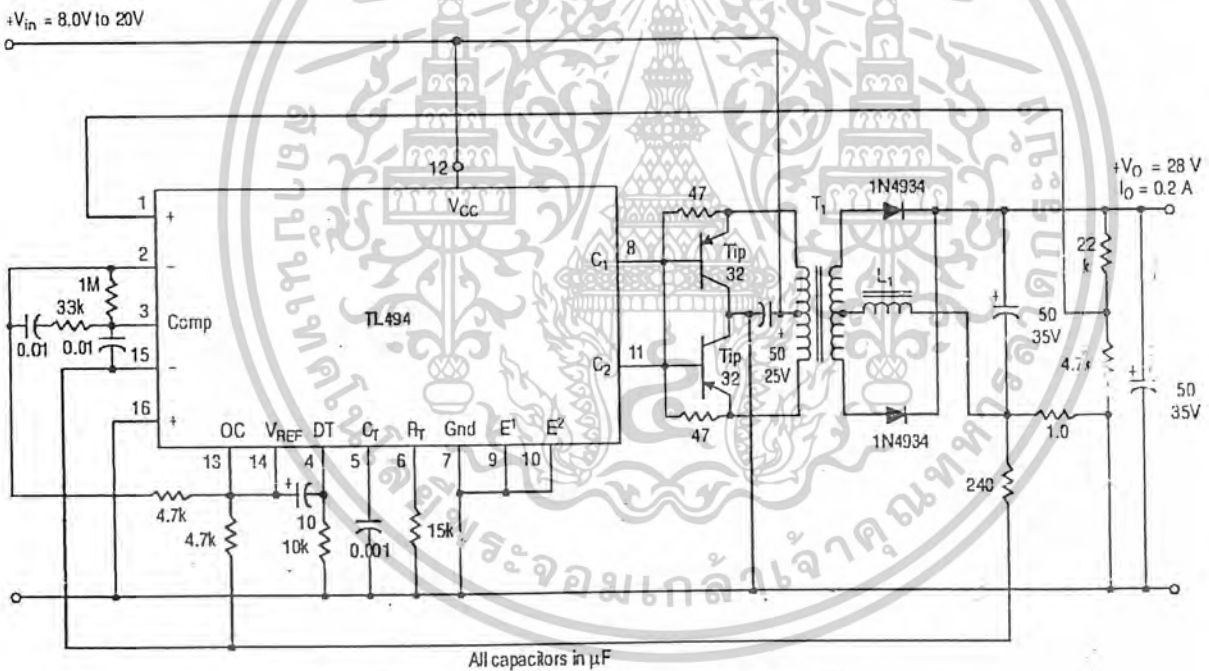


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

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

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A  
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG  
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG  
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อหรือแก้ไขข้อมูลหรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### TL494, NCV494

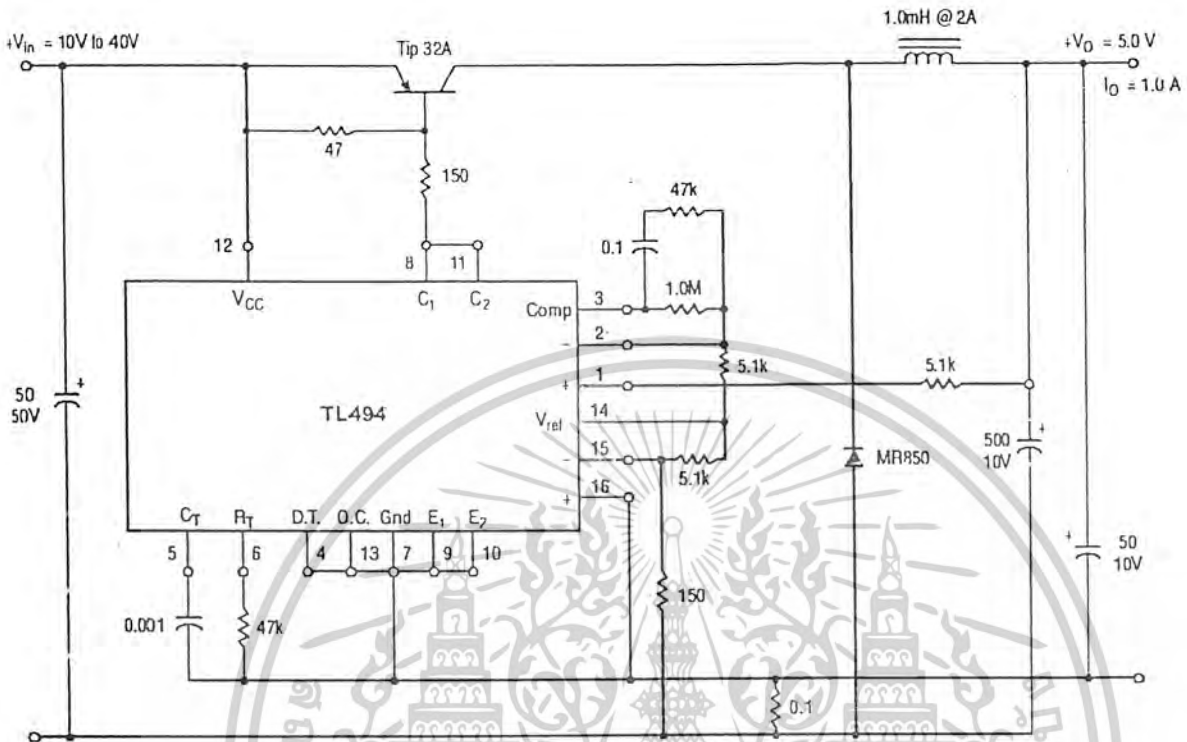


Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter

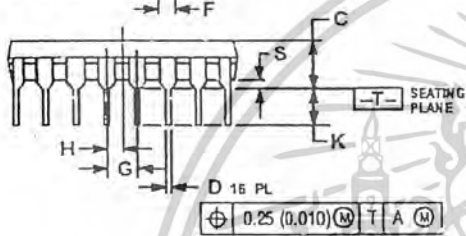
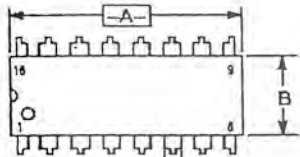
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV p-p P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in}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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วาทกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัด <http://onsemi.com> ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, NCV494

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-16  
N SUFFIX  
CASE 648-08  
ISSUE R

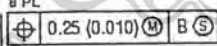
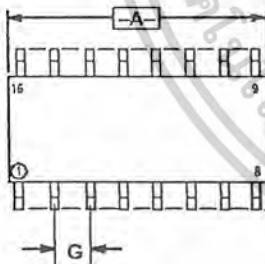


NOTES:

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

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.79	3.30
L	0.295	0.306	7.52	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

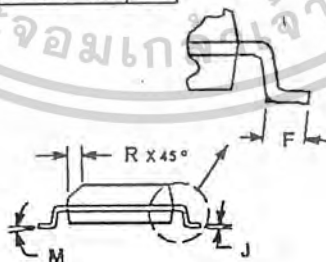
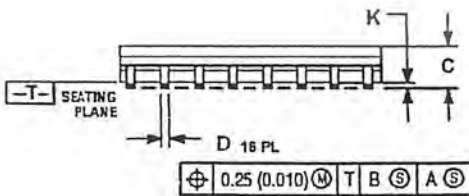
SO-16  
D SUFFIX  
CASE 751B-05  
ISSUE J



NOTES:

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

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, NCV494



SWITCHMODE is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC.

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

**PUBLICATION ORDERING INFORMATION**

Literature Fulfillment:  
Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: ONlit@hibbertco.com

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center  
4-32-1 Nishi-Gofanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan 141-0031  
Phone: 81-3-5740-2700  
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งทางเรามีให้คิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14049B, MC14050B

## Hex Buffer

The MC14049B Hex Inverter/Buffer and MC14050B Noninverting Hex Buffer are constructed with MOS P-Channel and N-Channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These complementary MOS devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. These devices provide logic level conversion using only one supply voltage,  $V_{DD}$ .

The input-signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{DD}$  supply voltage for logic level conversions. Two TTL/DTL loads can be driven when the devices are used as a CMOS-to-TTL/DTL converter ( $V_{DD} = 5.0$  V,  $V_{OL} \leq 0.4$  V,  $I_{OL} \geq 3.2$  mA).

Note that pins 13 and 16 are not connected internally on these devices; consequently connections to these terminals will not affect circuit operation.

- High Source and Sink Currents
- High-to-Low Level Converter
- Supply Voltage Range = 3.0 V to 18 V
- $V_{IN}$  can exceed  $V_{DD}$
- Meets JEDEC B Specifications
- Improved ESD Protection On All Inputs

### MAXIMUM RATINGS (Voltages Referenced to $V_{SS}$ ) (Note 2.)

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{DD}$	DC Supply Voltage Range	-0.5 to +18.0	V
$V_{in}$	Input Voltage Range (DC or Transient)	-0.5 to +18.0	V
$V_{out}$	Output Voltage Range (DC or Transient)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
$I_{in}$	Input Current (DC or Transient) per Pin	$\pm 10$	mA
$I_{out}$	Output Current (DC or Transient) per Pin	$\pm 45$	mA
$P_D$	Power Dissipation, per Package (Note 3.) (Plastic)	825	mW
	(SOIC)	740	
$T_A$	Ambient Temperature Range	-55 to +125	$^{\circ}$ C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^{\circ}$ C
$T_L$	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	$^{\circ}$ C

2. Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

3. Temperature Derating: See Figure 3.

This device contains protection circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields referenced to the  $V_{SS}$  pin only. Extra precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than the maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, the ranges  $V_{SS} \leq V_{in} \leq 18$  V and  $V_{SS} \leq V_{out} \leq V_{DD}$  are recommended.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either  $V_{SS}$  or  $V_{DD}$ ). Unused outputs must be left open.

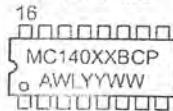
ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

### MARKING DIAGRAMS



PDIP-16  
P SUFFIX  
CASE 648



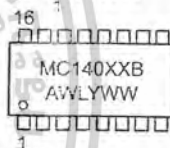
SOIC-16  
D SUFFIX  
CASE 751B



TSSOP-16  
DT SUFFIX  
CASE 948F



SOEIAJ-16  
F SUFFIX  
CASE 966



XX = Specific Device Code  
A = Assembly Location  
WL or L = Wafer Lot  
YY or Y = Year  
WW or W = Work Week

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MC14049BCP	PDIP-16	2000/Box
MC14049BD	SOIC-16	2400/Box
MC14049BDR2	SOIC-16	2500/Tape & Reel
MC14049BF	SOEIAJ-16	See Note 1.
MC14050BCP	PDIP-16	2000/Box
MC14050BD	SOIC-16	2400/Box
MC14050BDR2	SOIC-16	2500/Tape & Reel
MC14050BDEL	TSSOP-16	2000/Tape & Reel
MC14050BF	SOEIAJ-16	See Note 1.
MC14050BFEL	SOEIAJ-16	See Note 1.

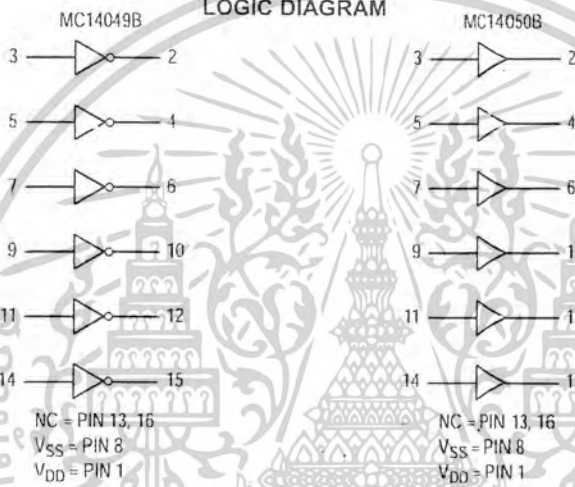
1. For ordering information on the EIAJ version of the SOIC packages, please contact your local ON Semiconductor representative.

# MC14049B, MC14050B

## PIN ASSIGNMENT

V <sub>DD</sub>	1	16	NC
OUT <sub>A</sub>	2	15	OUT <sub>F</sub>
IN <sub>A</sub>	3	14	IN <sub>F</sub>
OUT <sub>B</sub>	4	13	NC
IN <sub>B</sub>	5	12	OUT <sub>E</sub>
OUT <sub>C</sub>	6	11	IN <sub>E</sub>
IN <sub>C</sub>	7	10	OUT <sub>D</sub>
V <sub>SS</sub>	8	9	IN <sub>D</sub>

## LOGIC DIAGRAM



<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน<sup>2</sup>เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MC14049B, MC14050B

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V<sub>SS</sub>)

Characteristic	Symbol	V <sub>DD</sub> Vdc	- 55° C		+ 25° C			+ 125° C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ (4.)	Max	Min	Max		
Output Voltage V <sub>in</sub> = V <sub>DD</sub>	"0" Level V <sub>OL</sub>	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
V <sub>in</sub> = 0	"1" Level V <sub>OH</sub>	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc	
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Input Voltage (V <sub>O</sub> = 4.5 Vdc) (V <sub>O</sub> = 9.0 Vdc) (V <sub>O</sub> = 13.5 Vdc)	"0" Level V <sub>IL</sub>	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc	
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0		
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0		
	"1" Level (V <sub>O</sub> = 0.5 Vdc) (V <sub>O</sub> = 1.0 Vdc) (V <sub>O</sub> = 1.5 Vdc)	V <sub>IH</sub>	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc
			10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
			15	11	—	11	8.25	—	11	—	
Output Drive Current (V <sub>OH</sub> = 2.5 Vdc) (V <sub>OH</sub> = 9.5 Vdc) (V <sub>OH</sub> = 13.5 Vdc)	Source I <sub>OH</sub>	5.0	-1.6	—	-1.25	-2.5	—	-1.0	—	mA <sub>dc</sub>	
		10	-1.6	—	-1.30	-2.6	—	-1.0	—		
		15	-4.7	—	-3.75	-10	—	-3.0	—		
	Sink I <sub>OL</sub>	5.0	3.75	—	3.2	6.0	—	2.6	—	mA <sub>dc</sub>	
		10	10	—	8.0	16	—	6.6	—		
		15	30	—	24	40	—	19	—		
Input Current	I <sub>in</sub>	15	—	± 0.1	—	± 0.0001	± 0.1	—	± 1.0	μA <sub>dc</sub>	
Input Capacitance (V <sub>in</sub> = 0)	C <sub>in</sub>	—	—	—	—	10	20	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	I <sub>DD</sub>	5.0	—	1.0	—	0.002	1.0	—	30	μA <sub>dc</sub>	
		10	—	2.0	—	0.004	2.0	—	60		
		15	—	4.0	—	0.006	4.0	—	120		
Total Supply Current (5.) (6.) (Dynamic plus Quiescent, per package) (C <sub>L</sub> = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I <sub>T</sub>	5.0	I <sub>T</sub> = (1.8 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>							μA <sub>dc</sub>	
		10	I <sub>T</sub> = (3.5 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>								
		15	I <sub>T</sub> = (5.3 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>								

4. Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

5. The formulas given are for the typical characteristics only at + 25° C.

6. To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) \text{ Vfk}$$

Where: I<sub>T</sub> is in μA (per Package), C<sub>L</sub> in pF, V = (V<sub>DD</sub> - V<sub>SS</sub>) in volts, f in kHz is input frequency and k = 0.002.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน<sup>3</sup>เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14049B, MC14050B

AC SWITCHING CHARACTERISTICS (7.) ( $C_L = 50 \text{ pF}$ ,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	Symbol	$V_{DD}$ Vdc	Min	Typ (8.)	Max	Unit
Output Rise Time $t_{TLH} = (0.7 \text{ ns/pF}) C_L + 65 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 37.5 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$	$t_{TLH}$	5.0 10 15	— — —	100 50 40	160 80 60	ns
Output Fall Time $t_{THL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 17 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.04 \text{ ns/pF}) C_L + 13 \text{ ns}$	$t_{THL}$	5.0 10 15	— — —	40 20 15	60 40 30	ns
Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.33 \text{ ns/pF}) C_L + 63.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.19 \text{ ns/pF}) C_L + 30.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 27 \text{ ns}$	$t_{PLH}$	5.0 10 15	— — —	80 40 30	140 80 60	ns
Propagation Delay Time $t_{PHL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.1 \text{ ns/pF}) C_L + 15 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.05 \text{ ns/pF}) C_L + 12.5 \text{ ns}$	$t_{PHL}$	5.0 10 15	— — —	40 20 15	80 40 30	ns

7. The formulas given are for the typical characteristics only at  $25^\circ\text{C}$ .

8. Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

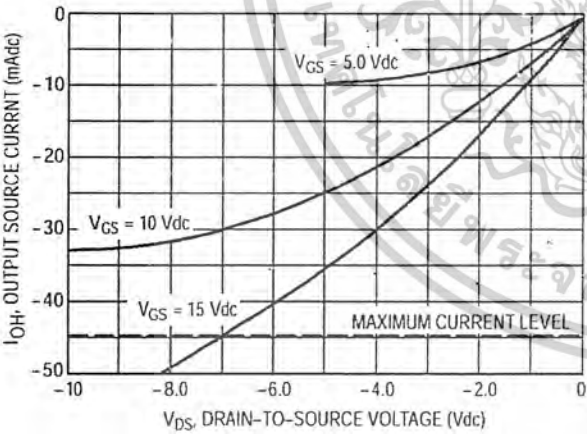
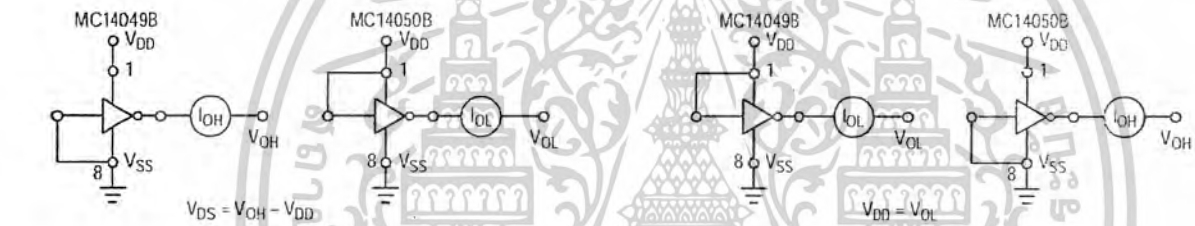


Figure 1. Typical Output Source Characteristics

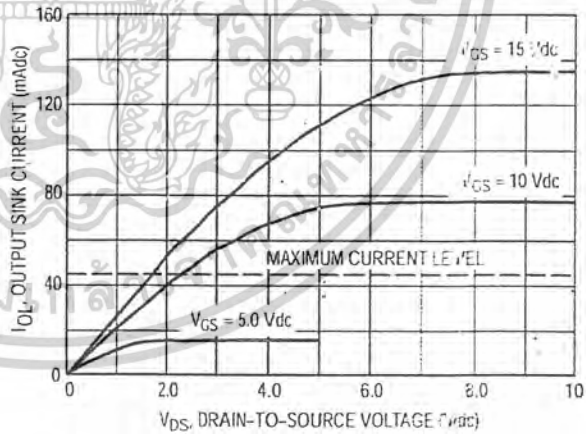


Figure 2. Typical Output Sink Characteristics

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MC14049B, MC14050B

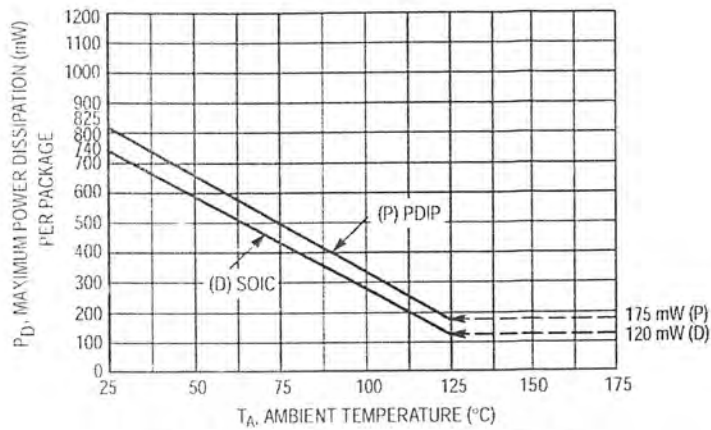


Figure 3. Ambient Temperature Power Derating

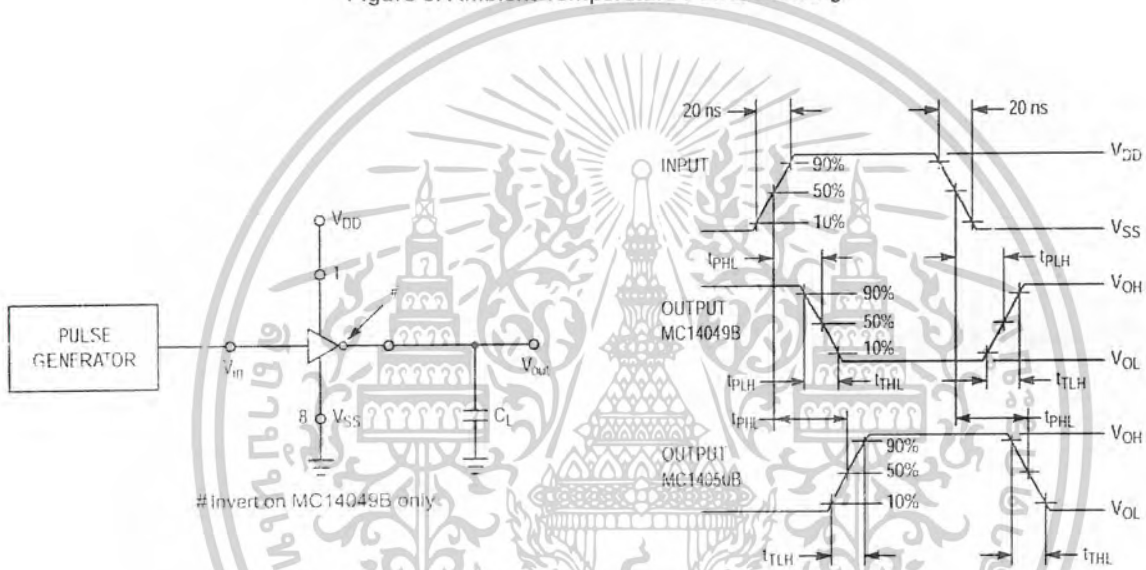


Figure 4. Switching Time Test Circuit and Waveforms

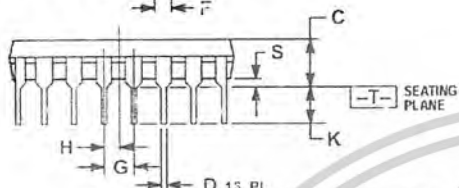
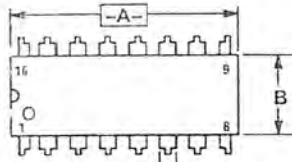
<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14049B, MC14050B

## PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-16  
P SUFFIX  
PLASTIC DIP PACKAGE  
CASE 648-03  
ISSUE R



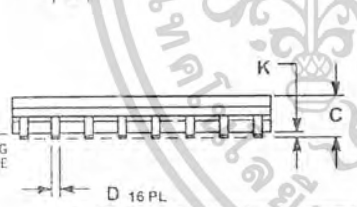
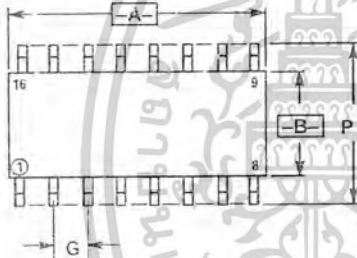
$\oplus$	0.25 (0.010)	(M)	T	A	(M)
----------	--------------	-----	---	---	-----

NOTES

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

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.65	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.006	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

SOIC-16  
D SUFFIX  
PLASTIC SOIC PACKAGE  
CASE 751B-05  
ISSUE J



$\oplus$	0.25 (0.010)	(M)	T	B	(S)	A	(S)
----------	--------------	-----	---	---	-----	---	-----

NOTES:

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

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.390	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

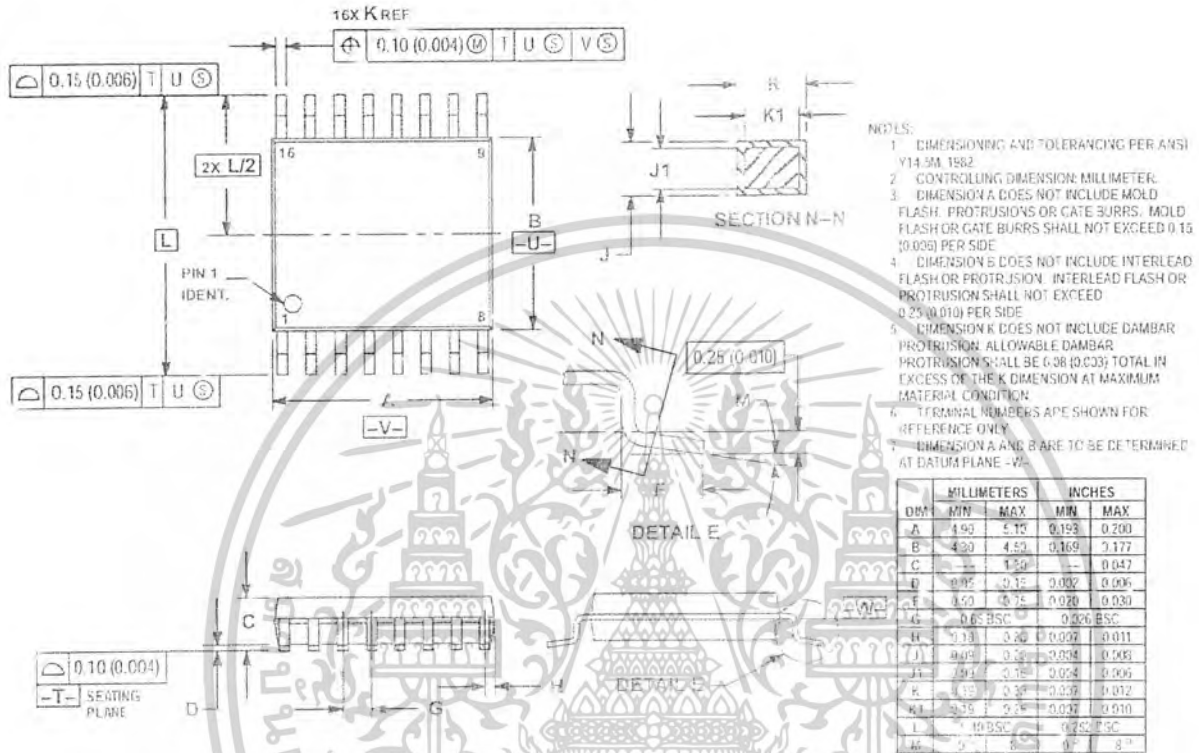
<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14049B, MC14050B

## PACKAGE DIMENSIONS

TSSOP-16  
DT SUFFIX  
PLASTIC TSSOP PACKAGE  
CASE 948F-01  
ISSUE 0



<http://www.onsemi.com>

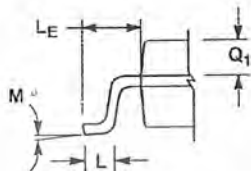
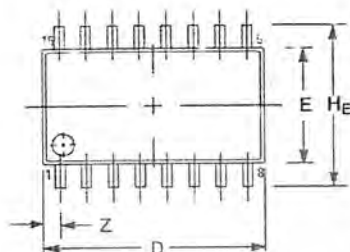
7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

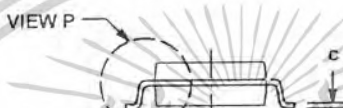
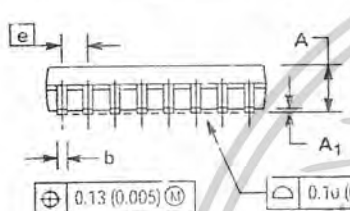
# MC14049B, MC14050B

## PACKAGE DIMENSIONS

SOEIAJ-16  
F SUFFIX  
PLASTIC EIAJ SOIC PACKAGE  
CASE 966-01  
ISSUE O



DETAIL P



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
  3. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS AND ARE MEASURED AT THE PARTING LINE. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE.
  4. TERMINAL NUMBERS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY.
  5. THE LEAD WIDTH DIMENSION (b) DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.08 (0.003) TOTAL IN EXCESS OF THE LEAD WIDTH DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION. DAMBAR CANNOT BE LOCATED ON THE LOWER RADIUS OR THE FOOT. MINIMUM SPACE BETWEEN PROTRUSIONS AND ADJACENT LEAD TO BE 0.46 (0.018).

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	—	2.05	—	0.081
A1	0.05	0.20	0.002	0.008
b	0.35	0.50	0.014	0.020
e	0.18	0.27	0.007	0.011
D	9.50	10.50	0.390	0.413
E	5.70	5.45	0.201	0.215
e	1.27 BSC	—	0.060 BSC	—
HE	7.40	8.20	0.291	0.323
L	0.50	0.85	0.020	0.033
L1	1.10	1.50	0.043	0.059
M	0°	10°	0°	10°
Q1	0.70	0.90	0.028	0.035
Z	—	0.78	—	0.031

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

### PUBLICATION ORDERING INFORMATION

**NORTH AMERICA Literature Fulfillment**  
Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: ONlit@hibbertco.com  
Fax Response Line: 303-675-2167 or 800-344-3810 Toll Free USA/Canada

**N. American Technical Support:** 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

**EUROPE:** LDC for ON Semiconductor - European Support  
**German Phone:** (+1) 303-308-7140 (M-F 1:00pm to 5:00pm Munich Time)  
Email: ONlit-german@hibbertco.com  
**French Phone:** (+1) 303-308-7141 (M-F 1:00pm to 5:00pm Toulouse Time)  
Email: ONlit-french@hibbertco.com  
**English Phone:** (+1) 303-308-7142 (M-F 12:00pm to 5:00pm UK Time)  
Email: ONlit@hibbertco.com

**EUROPEAN TOLL-FREE ACCESS\*: 00-800-4422-3781**  
\*Available from Germany, France, Italy, England, Ireland

### CENTRAL/SOUTH AMERICA:

**Spanish Phone:** 303-308-7143 (Mon-Fri 8:00am to 5:00pm MST)  
Email: ONlit-spanish@hibbertco.com

**ASIA/PACIFIC:** LDC for ON Semiconductor - Asia Support  
Phone: 303-675-2121 (Tue-Fri 9:00am to 1:00pm, Hong Kong Time)  
Toll Free from Hong Kong & Singapore:  
001-800-4422-3781

Email: ONlit-asia@hibbertco.com

**JAPAN:** ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center  
4-32-1 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan 141-8549  
Phone: 81-3-5740-2745  
Email: r14525@onsemi.com

**ON Semiconductor Website:** <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

MC14049B/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IRF510/511/512/513 IRF510R/511R/512R/513R

N-Channel Power MOSFETs  
Avalanche Energy Rated\*

August 1991

### Features

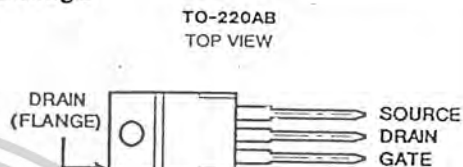
- 4.9A and 5.6A, 80V - 100V
- $r_{DS(on)} = 0.54\Omega$  and  $0.74\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated\*
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

### Description

The IRF510, IRF511, IRF512, and IRF513 are n-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors. IRF510R, IRF511R, IRF512R and IRF513R types are advanced power MOSFETs 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.

The IRF types are supplied in the JEDEC TO-220AB plastic package.

### Package



### Terminal Diagram

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



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

	IRF510 IRF510R	IRF511 IRF511R	IRF512 IRF512R	IRF513 IRF513R	UNITS	
Drain-Source Voltage (1) .....	$V_{DS}$	100	80	100	80	V
Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (1) .....	$V_{DGR}$	100	80	100	80	V
Continuous Drain Current						
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$I_D$	5.6	5.6	4.9	4.9	A
$T_C = +100^\circ\text{C}$ .....	$I_D$	4	4	3.4	3.4	A
Pulsed Drain Current (3) .....	$I_{DM}$	20	20	18	18	A
Gate-Source Voltage .....	$V_{GS}$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation						
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$P_D$	43	43	43	43	W
Linear Derating Factor .....		0.29	0.29	0.29	0.29	W/ $^\circ\text{C}$
Inductive Current, Clamped .....	$I_{LM}$	16	16	14	14	A
(See Figure 14, $L = 100\mu\text{H}$ )						
Single Pulse Avalanche Energy Rating (4) .....	$E_{AS}^*$	19	19	19	19	mJ
Operating and Storage Junction .....	$T_J, T_{STG}$	-55 to +175	-55 to +175	-55 to +175	-55 to +175	$^\circ\text{C}$
Temperature Range						
Maximum Lead Temperature for Soldering .....	$T_L$	300	300	300	300	$^\circ\text{C}$
(0.063" (1.6mm) from case for 10s)						

#### NOTES:

- $T_J = +25^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ .
  - Pulse Test: Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .
  - Repetitive rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5).
  - \*R Suffix Types Only
4.  $V_{DD} = 25\text{V}$ , starting  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 910\mu\text{H}$ ,  $R_{GS} = 25\Omega$ ,  $I_{PEAK} = 5.6\text{A}$ . See Figure 15.

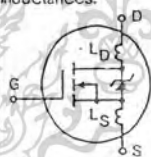
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Proper I.C. handling procedures should be followed.  
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 1573.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513 IRF510R, IRF511R, IRF512R, IRF513R

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

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS	
			MIN	TYP	MAX		
Drain-Source Breakdown Voltage IRF510/512, IRF510R/512R IRF511/513, IRF511R/513R	$BV_{DSS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$	100	-	-	V	
			80	-	-	V	
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V	
Gate-Source Leakage Forward	$I_{GSS}$	$V_{GS} = 20V$	-	-	500	nA	
Gate-Source Leakage Reverse	$I_{GSS}$	$V_{GS} = -20V$	-	-	-500	nA	
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = \text{Max Rating}, V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = \text{Max Rating} \times 0.8, V_{GS} = 0V,$ $T_J = +150^\circ\text{C}$	-	-	1000	$\mu A$	
On-State Drain Current (Note 2) IRF510/511, IRF510R/511R IRF512/513, IRF512R/513R	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)} \text{ Max. } V_{GS} = 10V$	5.6	-	-	A	
			4.9	-	-	A	
Static Drain-Source On-State Resistance (Note 2) IRF510/511, IRF510R/511R IRF512/513, IRF512R/513R	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$	-	0.4	0.54	$\Omega$	
			-	0.5	0.74	$\Omega$	
			-	-	-	-	
Forward Transconductance (Note 2)	$g_{fs}$	$V_{DS} \geq 50V, I_D = 3.4A$	1.3	2.0	-	S(V)	
Input Capacitance	$C_{ISS}$	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0\text{MHz}$ See Figure 10	-	135	-	$\mu F$	
Output Capacitance	$C_{OSS}$		-	80	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	$C_{RSS}$		-	20	-	pF	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 50V, I_D = 5.6A, R_G = 24\Omega$ See Figure 16. (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature)	-	8	11	ns	
Rise Time	$t_r$		-	25	36	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	21	ns	
Fall Time	$t_f$		-	12	21	ns	
Total Gate Charge (Gate-Source + Gate-Drain)	$Q_g$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8V \text{ Max}$ Rating. See Figure 17 for test circuit. (Gate charge is essentially independent of operating temperature.)	-	2.0	-	nC	
Gate-Source Charge	$Q_{gs}$		-	3.0	-	nC	
Gate-Drain ("Miller") Charge	$Q_{gd}$		-	-	-	nC	
Internal Drain Inductance	$L_D$	Measured from the contact screw on tab to center of die	Modified MOSFET symbol showing the internal device inductances.		-	-	nH
		Measured from the drain lead, 6mm (0.25in.) from package to center of die		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$	Measured from the source lead, 6mm (0.25in.) from header and source bonding pad.	-	7.5	-	nH	
Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^\circ\text{C/W}$	
Case-to-Sink	$R_{\theta CS}$	Mounting surface flat, smooth and greased	-	0.1	-	$^\circ\text{C/W}$	
Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^\circ\text{C/W}$	

Source Drain Diode Ratings and Characteristics

Continuous Source Current (Body Diode)	$I_S$	Modified MOSFET symbol showing the integral reverse P-N junc. rectifier.	-	-	5.6	A
Pulse Source Current (Body Diode) (Note 3)	$I_{SM}$		-	-	20	A
Diode Forward Voltage (Note 2)	$V_{SD}$	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_S = 5.6A, V_{GS} = 0V$	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_F = 5.6A, dI_F/dt = 100A/\mu s$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	$Q_{RR}$	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_F = 5.6A, dI_F/dt = 100A/\mu s$	0.17	0.4	0.83	$\mu C$
Forward Turn-on Time	$t_{ON}$	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by $L_S + L_D$ .	-	-	-	-

NOTES: 1.  $T_J = +25^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$

2. Pulse Test: Pulse width  $< 300\mu s$ ,  
Duty Cycle  $\leq 2\%$

3. Repetitive Rating: Pulse width limited by max.  
junction temperature. See Transient Thermal  
Impedance Curve (Figure 5)

4.  $V_{DD} = 25V$ , Start  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 910\mu H$ ,  
 $R_{GS} = 25\Omega$ ,  $I_{PEAK} = 5.6A$  (See Figure 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves

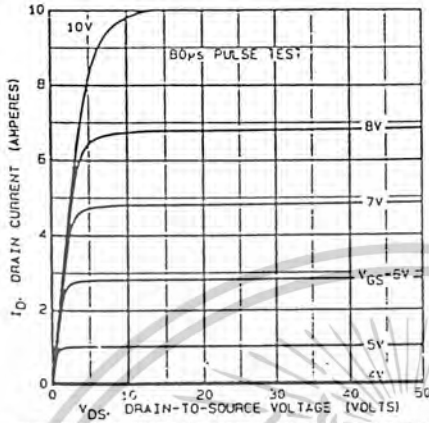


FIGURE 1. TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

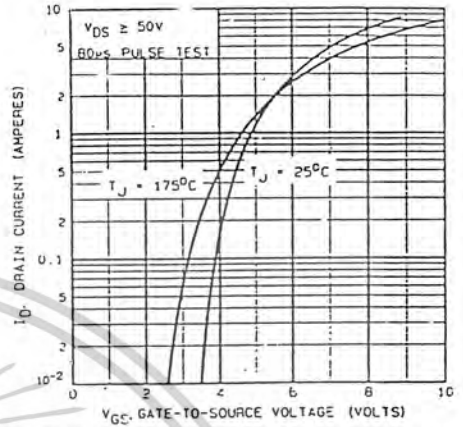


FIGURE 2. TYPICAL TRANSFER CHARACTERISTICS

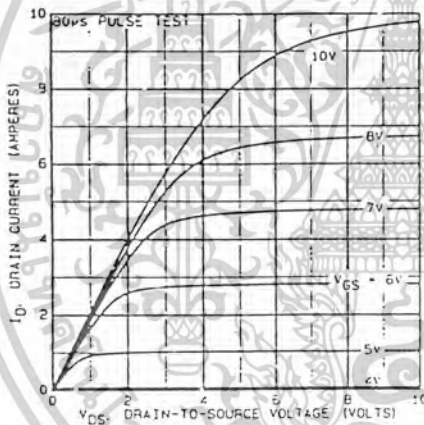


FIGURE 3. TYPICAL SATURATION CHARACTERISTICS

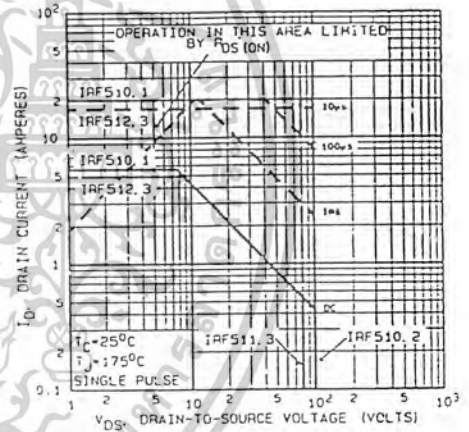


FIGURE 4. MAXIMUM SAFE OPERATING AREA

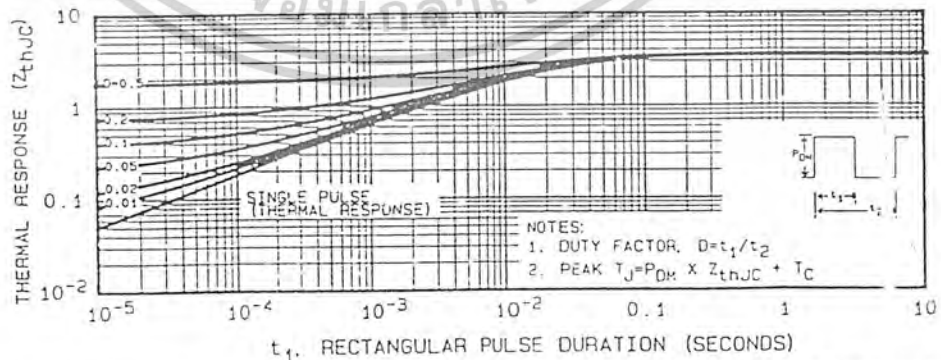


FIGURE 5. MAXIMUM EFFECTIVE TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION-TO-CASE vs PULSE DURATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves (Continued)

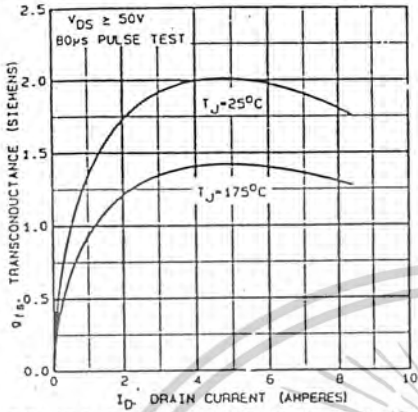


FIGURE 6. TYPICAL TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

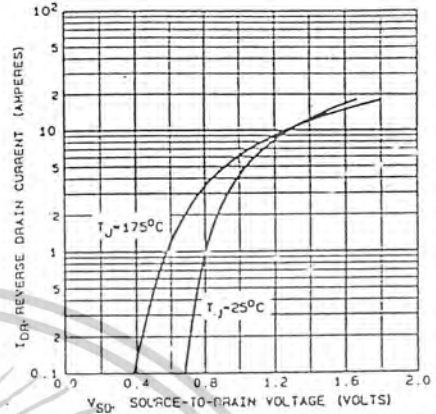


FIGURE 7. TYPICAL SOURCE-DRAIN DIODE FORWARD VOLTAGE

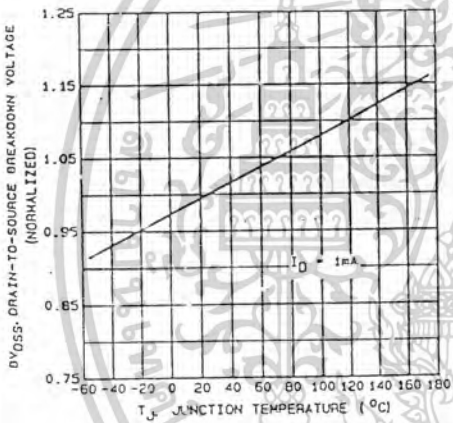


FIGURE 8. BREAKDOWN VOLTAGE vs TEMPERATURE

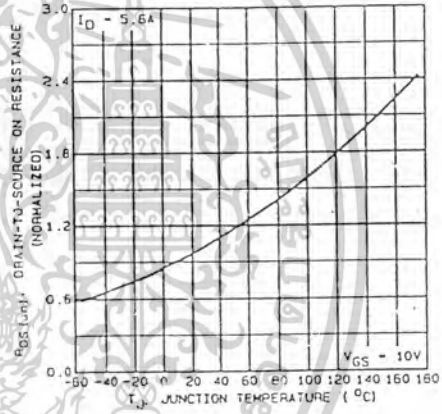


FIGURE 9. NORMALIZED ON-RESISTANCE vs TEMPERATURE

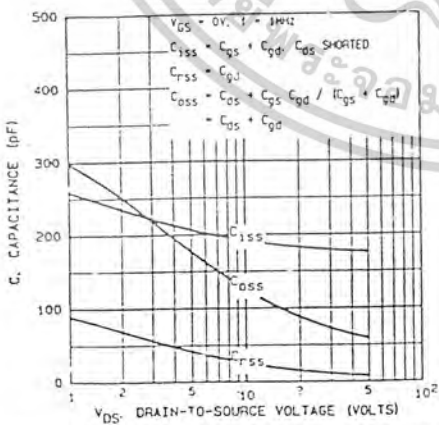


FIGURE 10. TYPICAL CAPACITANCE vs DRAIN-TO-SOURCE VOLTAGE

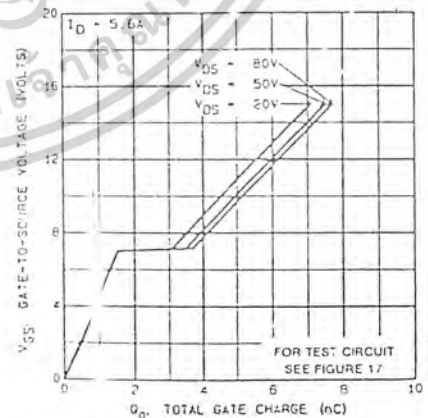


FIGURE 11. TYPICAL GATE CHARGE vs GATE-TO-SOURCE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-CHANNEL  
POWER MOSFET

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513 IRF510R, IRF511R, IRF512R, IRF513R

Performance Curves (Continued)

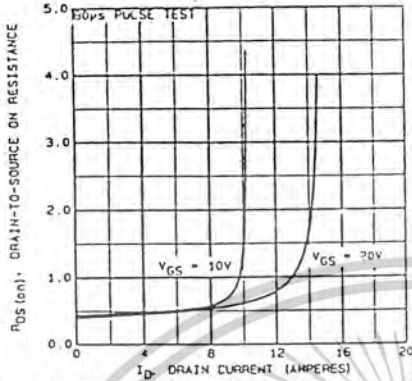


FIGURE 12. TYPICAL ON RESISTANCE vs DRAIN CURRENT

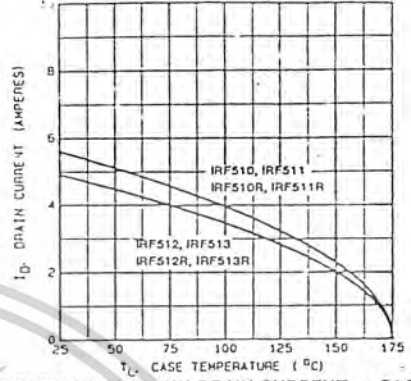


FIGURE 13. MAXIMUM DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

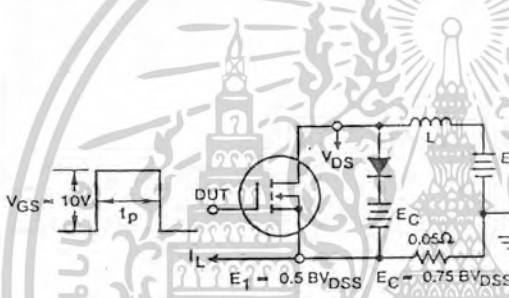


FIGURE 14a. CLAMPED INDUCTIVE TEST CIRCUIT

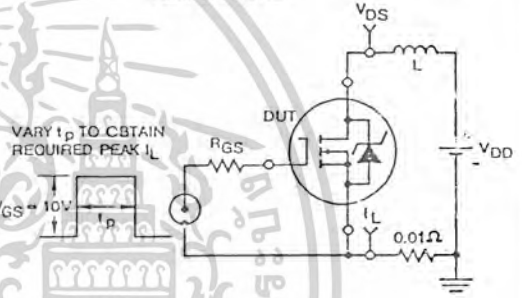


FIGURE 15a. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

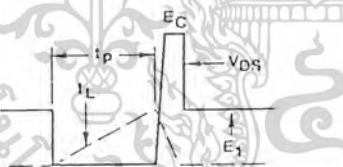


FIGURE 14b. CLAMPED INDUCTIVE WAVEFORMS

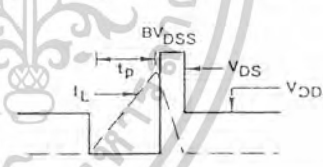


FIGURE 15b. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

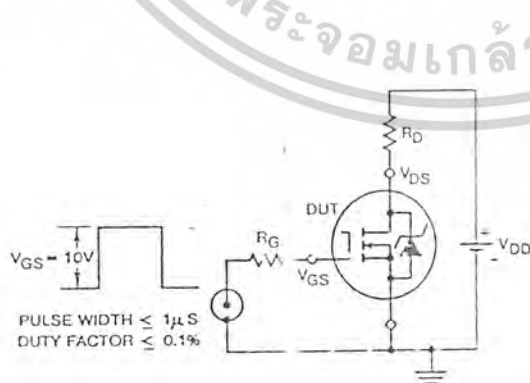


FIGURE 16. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

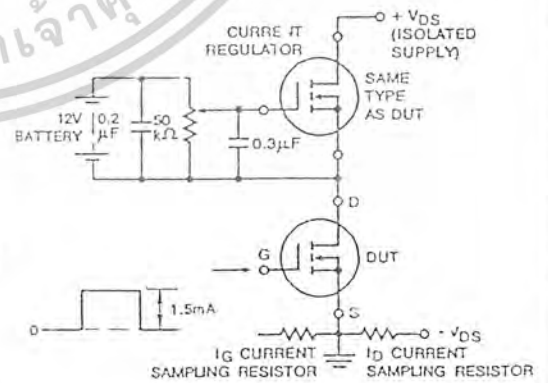


FIGURE 17. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IRF9510, IRF9511 IRF9512, IRF9513

Avalanche Energy Rated  
P-Channel Power MOSFETs

August 1991

### Features

- -2.5A and -3.0A, -60V and -100V
- $r_{DS(ON)} = 1.2\Omega$  and  $1.6\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

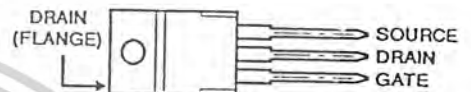
### Description

The IRF9510, IRF9511, IRF9512 and IRF9513 are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown/avalanche mode of operation. These are p-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors 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.

The IRF types are supplied in the JEDEC TO-220AB plastic package.

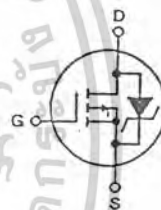
### Package

TO-220AB  
TOP VIEW



### Terminal Diagram

P-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



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

	IRF9510	IRF9511	IRF9512	IRF9513	UNITS
Drain-Source Voltage (1) $V_{DS}$	-100	-60	-100	-60	V
Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (1) $V_{DGR}$	-100	-60	-100	-60	V
Continuous Drain Current					
$T_C = 25^\circ\text{C}$	-3.0	-3.0	-2.5	-2.5	A
$T_C = 10^\circ\text{C}$	-2.0	-2.0	-1.5	-1.5	A
Pulsed Drain Current (3) $I_{DM}$	-12	-12	-10	-10	A
Gate-Source Voltage $V_{GS}$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation $P_D$	20	20	20	20	W
(See Figure 14)					
Linear Derating Factor	0.16	0.16	0.16	0.16	W/ $^\circ\text{C}$
(See Figure 14)					
Single Pulse Avalanche Energy Rating (4) $E_{AS}$	190	190	190	190	mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range $T_J, T_{STG}$	-55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering $T_L$	300	300	300	300	$^\circ\text{C}$
(0.063" (1.6mm) from case for 10s)					

#### NOTES:

1.  $T_J = +25^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$
2. Pulse Test: Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$
3. Derating Rating: Pulse width limited by max. junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5)
4.  $V_{DS} = 25\text{V}$ , Start  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 31.7\text{mH}$ ,  $R_G = 25\Omega$ , Peak  $I_L = 3.0\text{A}$  (See Figures 15 and 16)

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Proper I.C. handling procedures should be followed.  
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 2214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF9510, IRF9511, IRF9512, IRF9513

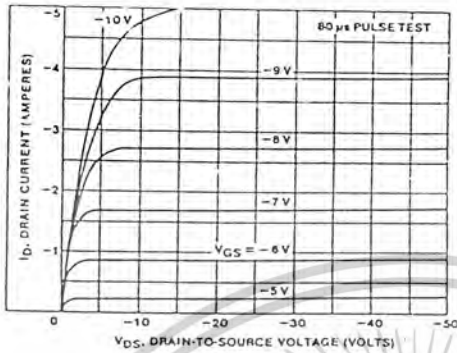


Fig. 1 - Typical Output Characteristics

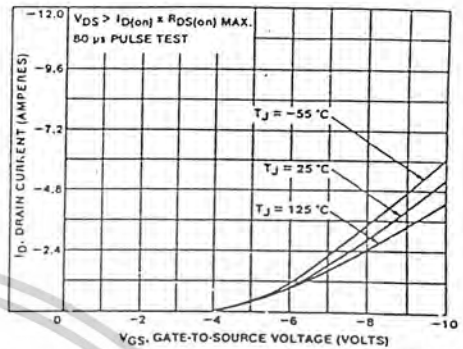


Fig. 2 - Typical Transfer Characteristics

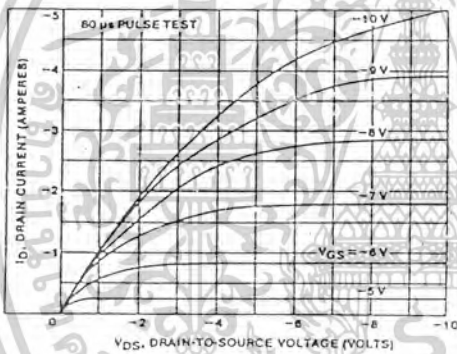


Fig. 3 - Typical saturation characteristic.

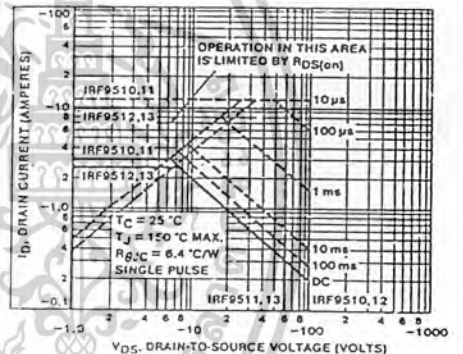


Fig. 4 - Maximum safe operating area.

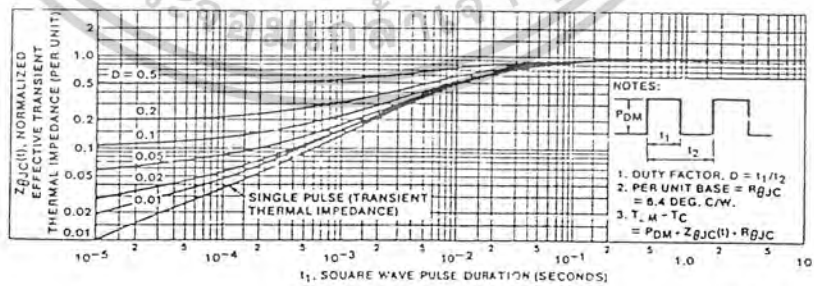


Fig. 5 - Maximum effective transient thermal impedance, junction-to-case vs. pulse duration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF9510, IRF9511, IRF9512, IRF9513

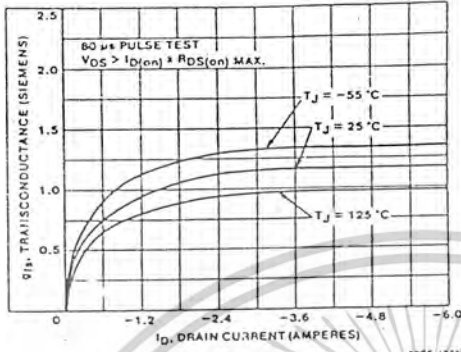


Fig. 6 - Typical transconductance vs. drain current.

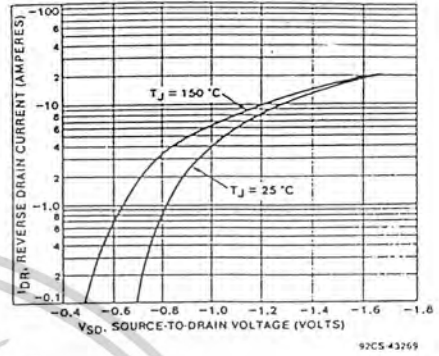


Fig. 7 - Typical source-drain diode forward voltage.

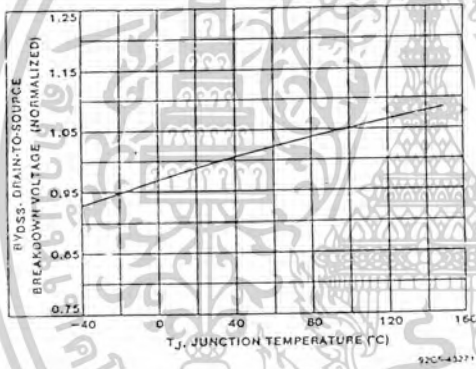


Fig. 8 - Breakdown voltage vs. temperature.

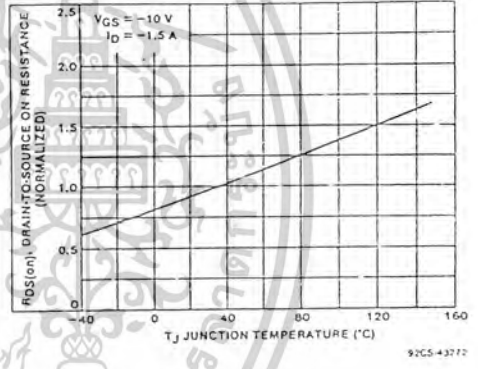


Fig. 9 - Normalized on-resistance vs. temperature.

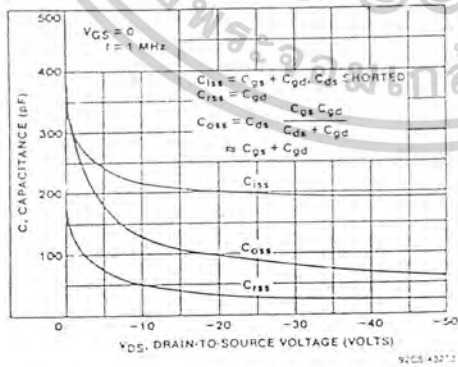


Fig. 10 - Typical capacitance vs. drain-to-source voltage.

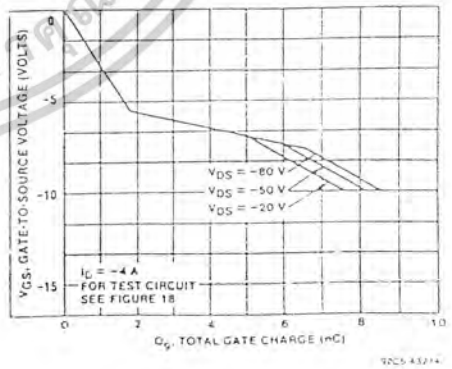


Fig. 11 - Typical gate charge vs. gate-to-source voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF9510, IRF9511, IRF9512, IRF9513

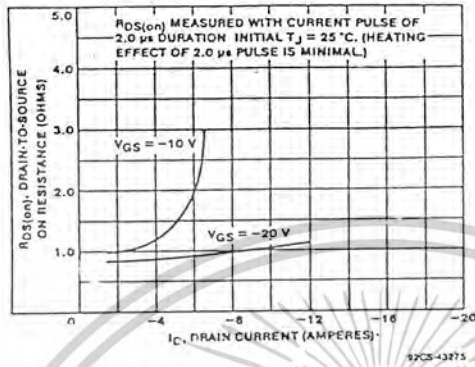


Fig. 12 - Typical on-resistance vs. drain current.

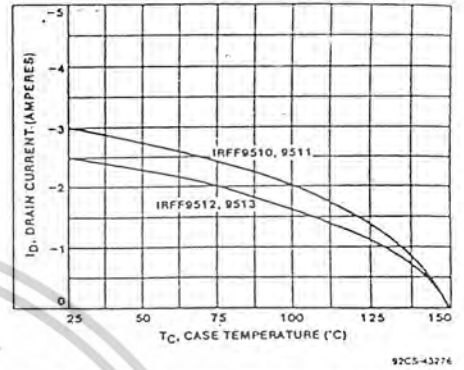


Fig. 13 - Maximum drain current vs. case temperature.

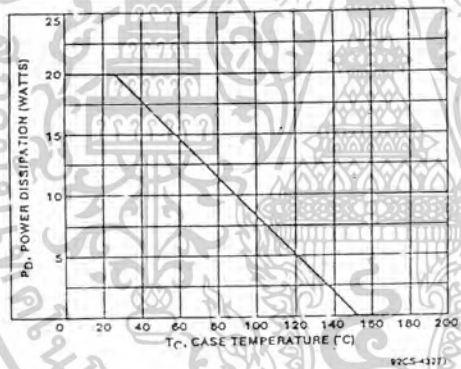


Fig. 14 - Power vs. temperature derating curve.

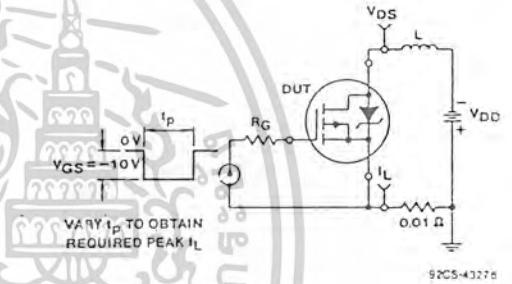


Fig. 15 - Unclamped inductive test circuit.

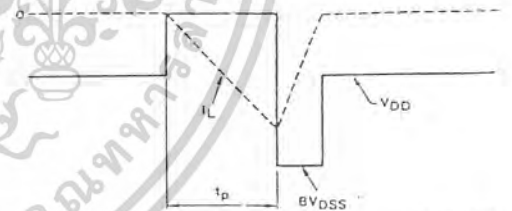


Fig. 16 - Unclamped inductive waveforms.

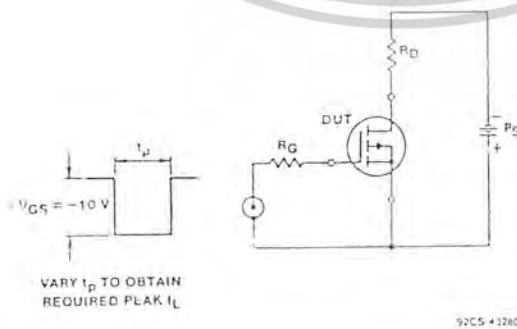


Fig. 17 - Switching time test circuit.

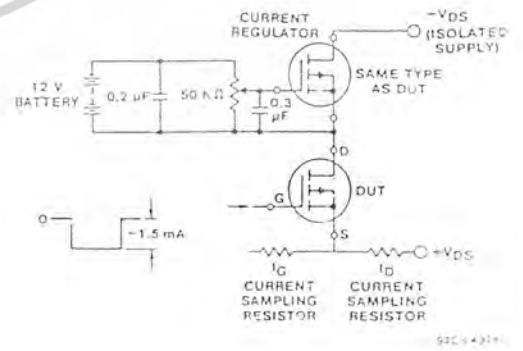


Fig. 18 - Gate charge test circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Advanced Power MOSFET

# IRFP460

## FEATURES

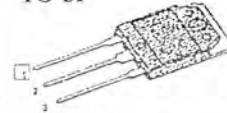
- ◆ Avalanche Rugged Technology
- ◆ Rugged Gate Oxide Technology
- ◆ Lower Input Capacitance
- ◆ Improved Gate Charge
- ◆ Extended Safe Operating Area
- ◆ Lower Leakage Current: 10 $\mu$ A (Max.) @  $V_{DS} = 500V$
- ◆ Lower  $R_{DS(ON)}$ : 0.197 $\Omega$  (Typ.)

$$BV_{DSS} = 500 V$$

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

$$I_D = 22 A$$

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	$\pm 30$	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	

Rev. B

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR™  
©1999 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Electrical Characteristics ( $T_c=25^\circ\text{C}$ unless 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		$V_{GS}=-30V$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	--	--	10	$\mu A$	$V_{DS}=500V$
		--	--	100		$V_{DS}=400V, T_c=125^\circ C$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-State Resistance	--	--	0.25	$\Omega$	$V_{GS}=10V, I_D=11A$ (4)
$g_{fs}$	Forward Transconductance	--	17.31	--	S	$V_{DS}=50V, I_D=11A$ (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	$T_J=25^\circ C, I_S=22A, V_{GS}=0V$
$t_r$	Reverse Recovery Time	--	528	--	ns	$T_J=25^\circ C, I_F=22A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	--	8.35	--	$\mu C$	$di_F/dt=100A/\mu s$ (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)  $I_{CS} \leq 22A, di/dt \leq 300A/\mu s, V_{DD} \leq 6V_{DSS}$ , 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

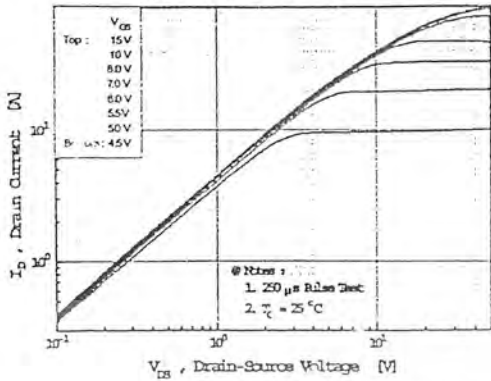


Fig 2. Transfer Characteristics

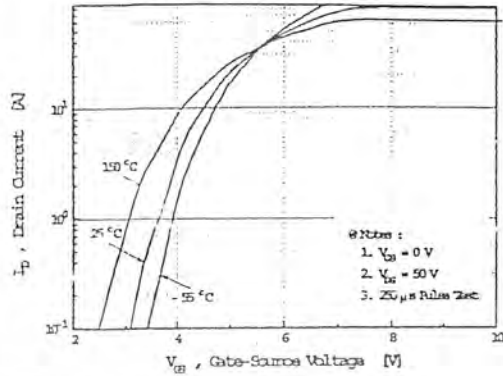


Fig 3. On-Resistance vs. Drain Current

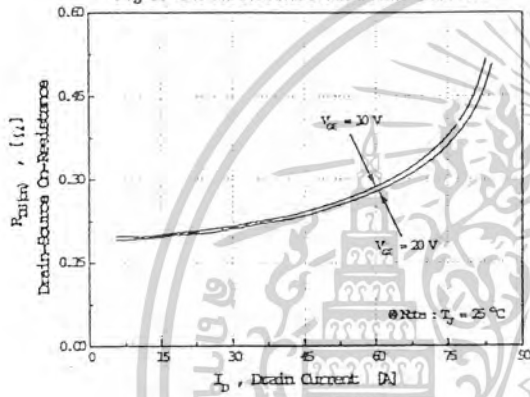


Fig 4. Source-Drain Diode Forward Voltage



Fig 5. Capacitance vs. Drain-Source Voltage

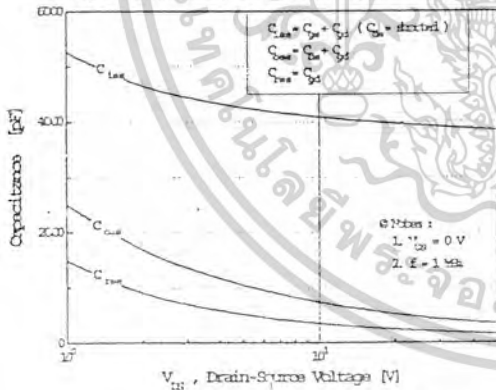
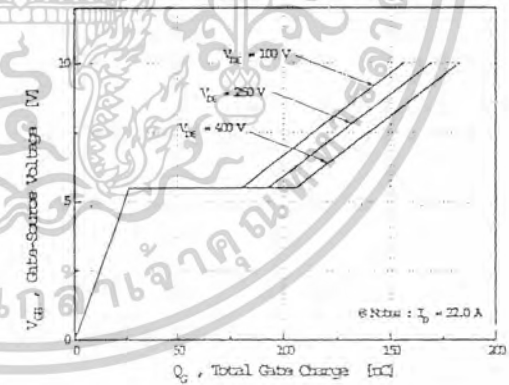


Fig 6. Gate Charge vs. Gate-Source Voltage



**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig 7. Breakdown Voltage vs. Temperature

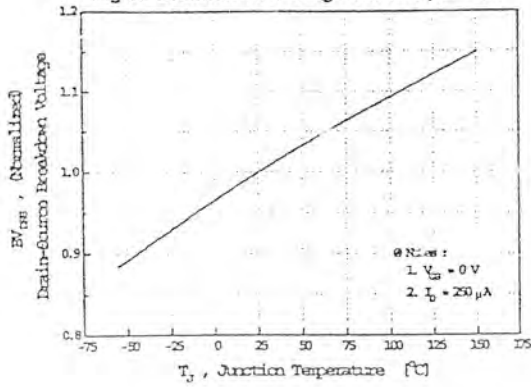


Fig 8. On-Resistance vs. Temperature

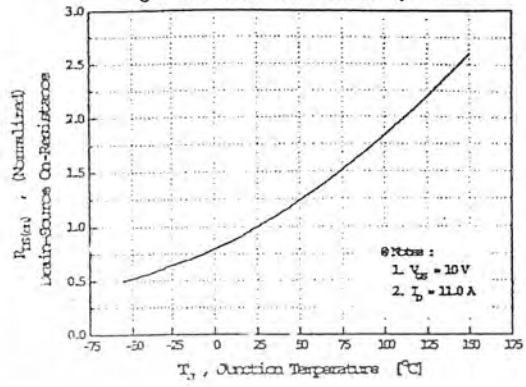


Fig 9. Max. Safe Operating Area

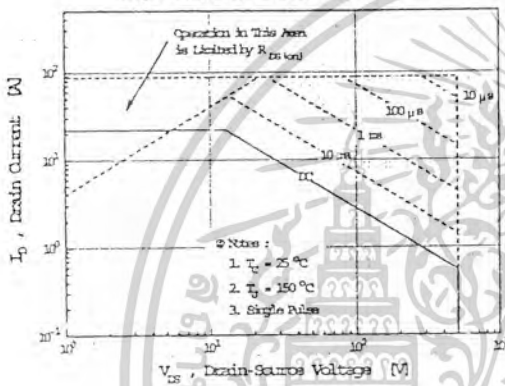


Fig 10. Max. Drain Current vs. Case Temperature

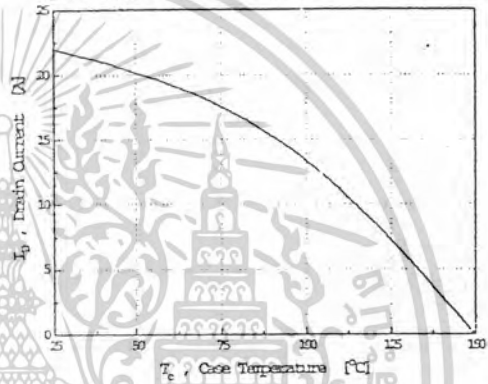
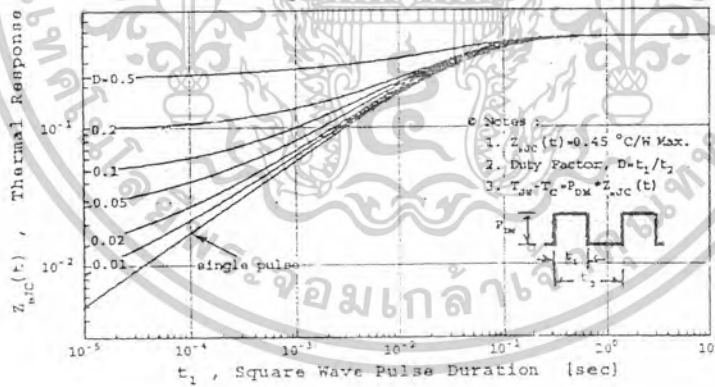


Fig 11. Thermal Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นเพราะได้รับการสนับสนุนและความช่วยเหลือจาก รศ.สมศักดิ์ เชียรศิริกุล โดยอาจารย์ได้ให้คำแนะนำช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงการชิ้นนี้อีกทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือในการแนะนำหรือให้ข้อมูลกรณีในการทดลอง ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่อนุเคราะห์ให้ยืมสถานที่และเครื่องมือในการทำโครงการชิ้นนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จึงขอขอบคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้



นายมานนท์ ตั้งแสงสุวรรณ  
นายเอกกฤษณ์ เอกจิตรระกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

Abraham I. Pressman. 1991. **Switching Power Supply Design** . New York : McGraw-Hill.

Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink.1991 .**Ozone in water treatment** : application and engineering : cooperative research report .Chelsea, MI : Lewis.

ฉัตรสุดา เบ็ญจนิรัตน์, ชมพูนุท เต็งเจริญ, วรภัท ศรีภูริเดช 2541.เครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซน = **Ozone synthesizer**.ปริญญาโท (วศ.บ.(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)) – สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมบูรณ์ มาลานนท์, สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย 2538. แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง = **Switching power supply**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้