

ระบบผลิตน้ำโอโซน

OZONE WATER SYSTEM



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขที่.....  
เลขหน้า.....  
เลขทะเบียน 55502  
วันที่.....  
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ในทางการอื่นใดทั้งสิ้น ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ระบบผลิตน้ำโอโซน

OZONE WATER SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ระบบผลิตน้ำไอโซน

ผู้จัดทำ

1. ว่าที่ ร.ต. โสภณวิชญ์ มรกต
2. นางสาวพงศ์ภรณ์ ธรรมนิยมจัด



(รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผลิตน้ำไอโชน

OZONE WATER SYSTEM

ว่าที่ ร.ต. โสภณวิชญ์ มรกต รหัสประจำตัว 44015219  
นางสาวพวงศักรณีย์ ธรรมเนียมจัด รหัสประจำตัว 44015186

ปริญญานิพนธ์นี้ ได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบผลิตน้ำไอโซน

ว่าที่ ร.ต. โสภณวิชญ์ มรกต  
นางสาวพงศ์ภรณ์ ธรรมเนียมจัด  
รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)  
ปีการศึกษา 2546

### บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้เพื่อพัฒนาระบบผลิตน้ำไอโซนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากหลักการดังกล่าวคือ การนำอากาศที่ได้จากมอเตอร์ไหลผ่านไปยังหลอดไอโซน โดยให้อากาศไหลผ่านสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวและรวมตัวกันใหม่เกิดเป็นก๊าซไอโซน และนำก๊าซไอโซนที่ได้มาผสมกับน้ำ โดยมี 2 ระบบเปรียบเทียบกัน ระบบจะประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการจ่ายน้ำผ่านชั้นตอนผสมกับก๊าซไอโซน จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการผสมกับก๊าซไอโซนมาทำการวัดปริมาณก๊าซไอโซนโดยใช้สารละลาย KI (โพแตสเซียม ไอโอไดด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OZONE WATER SYSTEM

Acting 2,LT.Sophonvit Morakot

Miss.Pongpon Tumnuamjud

Prof. Somsak Cheasirikun (Adviser)

Educational year 2003

### Abstract

The purpose of this project is to develop the ozone water system. First , air blown into ozone tube by motor. Then air flow through high pressure electric field in order to ionize Oxygen and to regeneration into ozone. When we get ozone gas , we would feed it and waste water into ozone mixer. However there are 2 systems to compare their result. The designed ozone mixer uses water pump to discharge water through mixer which mix water and ozone gas. We then test the efficiency of ozone water mixing used KI solution.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
เนื้อหา	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การกำเนิด โอโซน ( Ozone Generation )	2
2.1 แหล่งที่มา	2
2.2 การสังเคราะห์ก๊าซ โอโซน	3
2.3 อุณหภูมิกับการเกิด โอโซน	6
2.4 การกำเนิดก๊าซ โอโซน ( $O_3$ )	6
2.5 การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment)	7
2.6 การฆ่าเชื้อโรคด้วย โอโซน (Ozone Disinfection)	8
2.7 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation)	9
2.8 การออกซิไดซ์ด้วย โอโซน (Ozonation)	9
2.9 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยตรง (Direct Oxidation)	10
2.10 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกิดผ่านเรดิคัล (Radical-Mediated Oxidation)	11
2.11 การใช้ โอโซนบำบัดน้ำเสีย	12
2.12 เครื่องวัดการไหลของของเหลว ( Venturi Tubes )	13
บทที่ 3 แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบสวิตซิ่ง (Switching Power Supply High Voltage)	17
3.1 หลักการเบื้องต้น	17
3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ ( Converter)	19
3.3 วงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	22
3.4 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง Cb เพื่อป้องกันการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็ก	24
3.5 คอมมิวเตตติ้ง ไดโอด D3 และ D4	26
3.6 ค่าเวลาเพื่อ $t_D$ สำหรับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	27
3.7 การคำนวณเพื่อการออกแบบฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	27
3.8 วงจรควบคุมสำหรับสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 หลักการทำงานและการออกแบบระบบผลิตน้ำไอโซน	
4.1 การทำงานของระบบผลิตน้ำไอโซน	36
4.2 การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบสวิตซิ่ง	37
4.3 การออกแบบสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	38
4.4 หลักการออกแบบและการทำงานของระบบผสมระหว่างก๊าซไอโซนกับน้ำ	40
บทที่ 5 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง	
5.1 การทดลองผลการทดลอง	43
5.2 สรุปผลการทดลอง	48
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น	49

ภาคผนวก  
กิตติกรรมประกาศ  
บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซไอโซน โดยใช้หลักการ โคโรนา	3
รูปที่ 2.2 เครื่องสังเคราะห์ก๊าซไอโซนแบบถอดโตเพลต	5
รูปที่ 2.3 Ozone Contract ชนิด turbine	7
รูปที่ 2.4 Classical Venturi Tube (Not Truncated Type)	13
รูปที่ 2.5 Classical Venturi Tube (Truncated Type)	14
รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป	17
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจับวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 3.1	18
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรฟูล-พูลคอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	21
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	21
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรพื้นฐานการทำงานของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 3.9 (ก) ขณะที่ Q1 นำกระแส Q2 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม $N_p$ เท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$	23
รูปที่ 3.9 (ข) ขณะที่ Q2 นำกระแส Q1 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม $N_p$ เท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$	23
รูปที่ 3.10 (ก) แสดงลักษณะของกัวไม่สมมาตรฟลักซ์ เนื่องจาก Q1 ใช้เวลานำกระแสมากกว่า Q2	25
รูปที่ 3.10 (ข) แสดงผลของการต่อ ตัวเก็บประจุลีดกึ่ง $C_b$ เข้ามาในวงจรเพื่อลดการไม่สมมาตรฟลักซ์	25
รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของการเกิดความคลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อม ขดไฟมารี่เมื่อต่อตัวเก็บประจุลีดกึ่ง $C_b$ คั่นเข้ามาในวงจร	25
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน	30
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อยตามรูปที่ 3.12	31
รูปที่ 3.14 (ก) แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ใน โหมดควบคุมจากกระแส	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.14 (ข) แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัดวงจรขยายแตกต่างกันออก และกำหนดแรงดันอ้างอิง $V_{ref}$ ที่ขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบแทน	33
รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	34
รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของระบบผลิตน้ำไอโซน	36
รูปที่ 4.2 วงจรเอาต์พุตรีโซแนนซ์	39
รูปที่ 4.3 แสดงตัวผสมก๊าซไอโซนกับน้ำด้วย (Venturi Tube)	41
รูปที่ 4.4 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู)	41
รูปที่ 4.5 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำไอโซนด้วย Venturi tube	42
รูปที่ 5.1 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 5 ของ TL494	45
รูปที่ 5.2 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 และ 11 ของ TL494	46
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่มอสเฟตก่อนเข้าวงจรรีโซแนนซ์	46
รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่วงจรรีโซแนนซ์	47



## บทที่ 1

### บทนำ

ก๊าซโอโซนสามารถสร้างขึ้นได้ด้วยการนำอากาศจากปัมอากาศ โดยไหลผ่านไปยังหลอดโอโซน ซึ่งหลอดโอโซนนี้สร้างขึ้นโดยมีขั้วโลหะในที่นี้ใช้ขั้วโลหะทองแดง มีแก้วเป็นสารไดอิเล็กตริก และมีตาข่าย (มุ้งลวด) เป็นขั้วกรวด ซึ่งจะป้อนไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้าค่าสูง เพื่อให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโตรด เกิดการไอออนไนเซชันแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวและรวมตัวใหม่เป็นโอโซน ( $O_3$ )

ในปฏิญานิพนธ์นี้เป็น โครงการที่สร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการผลิตน้ำโอโซนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการทดลองซึ่งประกอบไปด้วยหลอดกำเนิดโอโซน แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ปัมอากาศ และตัวผสมโอโซนกับน้ำ ซึ่งปัมอากาศจะทำหน้าที่ให้อากาศไหลผ่านหลอดกำเนิดโอโซน โดยจะต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าสูงให้กับหลอดโอโซน ซึ่งก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำ

ระบบผลิตน้ำโอโซนจะให้ประสิทธิภาพมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อระบบ ดังเช่น การควบคุมปริมาณอากาศจากปัมอากาศ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ นอกจากนี้สามารถควบคุมปริมาณก๊าซโอโซนได้จากการป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับหลอดกำเนิดโอโซน จากนั้นน้ำที่ผ่านการผสมกับก๊าซโอโซนมาทำการตรวจสอบปริมาณก๊าซโอโซน

วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงเพื่อนำมาใช้ในการกำเนิดโอโซน
2. เพื่อศึกษากระบวนการผสมน้ำกับก๊าซโอโซน

## บทที่ 2

### การกำเนิดโอโซน ( Ozone Generation )

#### 2.1 แหล่งที่มา

2.1.1 เกิดตามธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวกันของของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และเมื่ออะตอมของออกซิเจน 1 อะตอมพบกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวดังสมการ



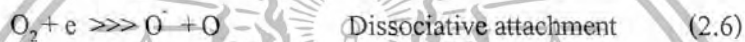
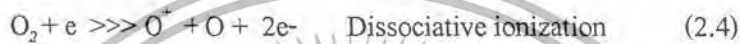
ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วแตกตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจนและรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจนกลายเป็นก๊าซโอโซนได้อีกโดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยไม่มีที่สิ้นสุดแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ก๊าซโอโซนยังสามารถเกิดได้เองในอากาศจากพายุฝนฟ้าคะนองหรือจากฟ้าแลบได้อีกด้วย กระบวนการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เรียกว่ากระบวนการโฟโตเคมีคัล ( Photochemical process ) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนและสลายตัวพร้อมกัน และในที่สุดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนก็จะอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอัตราการเกิดและการสลายตัวเท่ากัน

2.1.2 เกิดจากการกระทำของมนุษย์ก๊าซโอโซนถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การกำจัดน้ำเสียและใช้ฆ่าเชื้อ การเตรียมก๊าซโอโซนที่สะดวกที่สุดจะใช้ไฟฟ้า silent electrical discharge กระทำกับอากาศหรือก๊าซออกซิเจนซึ่งจะมีก๊าซออกซิเจนบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นโอโซน ถ้าใช้อากาศจะเรียกก๊าซผสมนี้ว่า โอโซนไนแอร์ ( Ozonised air ) ถ้าใช้ก๊าซออกซิเจนก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะปะปนอยู่กับก๊าซออกซิเจนที่เหลือ เรียกว่า Ozonised oxygen เครื่องมือที่ใช้เตรียมก๊าซโอโซนด้วยวิธีนี้เรียกว่า โอโซนไนเซอร์ ( Ozonizer )

## 2.2 การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน

2.2.1 การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน โดยใช้สนามไฟฟ้าของลวดโคโรนาก๊าซโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรนาของก๊าซออกซิเจนโดยการป้อนก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเนื่องจากความเครียดของสนามไฟฟ้าแรงสูงกลายเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และปล่อยออกซิเจนออกมา ก๊าซออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซนตามขั้นตอนต่อไปนี้คือ

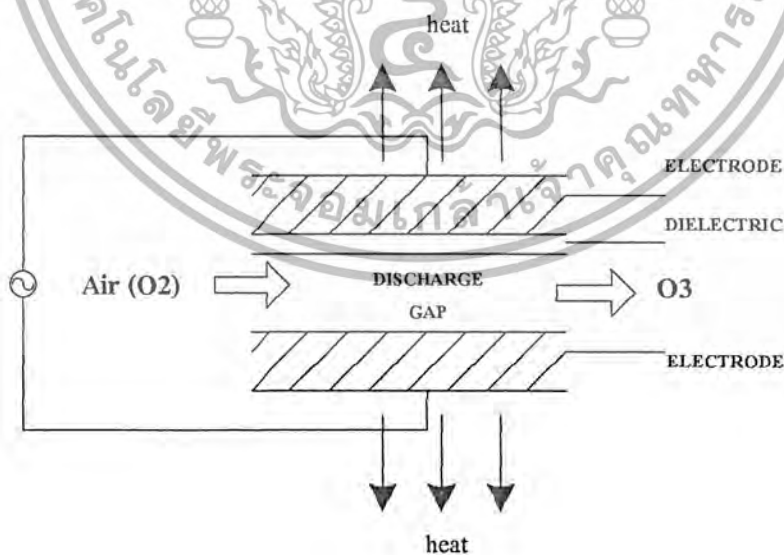
ขั้นที่ 1 การทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว



ขั้นที่ 2 การรวมตัวของอะตอมของออกซิเจนเป็นโมเลกุลโอโซน



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนที่ใช้ปรากฏการณ์โคโรนา ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัว และรวมตัวใหม่ได้เป็นโมเลกุลก๊าซโอโซน



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซน โดยใช้หลักการ โคโรนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้มีความสำคัญในการสังเคราะห์ไอโซน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะมีความสัมพันธ์กับระยะห่างที่ขั้วของอิเล็กโตรด และความดันตามสมการ

$$V = k_1 pg \quad (2.8)$$

เมื่อ

$V$  = แรงดันไฟฟ้า

$P$  = ความดันของอากาศที่ผ่านช่องระหว่างอิเล็กโตรดกับไดอิเล็กตริก

$G$  = ระยะระหว่างอิเล็กโตรดกับไดอิเล็กตริก

$K_1$  = ค่าคงที่

ในทำนองเดียวกัน ความสามารถในการสังเคราะห์ก๊าซไอโซนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความถี่และแรงดันกำลังสอง แต่จะแปรผกผันกับความหนาของไดอิเล็กตริก ดังสมการ

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

เมื่อ

$f$  = ค่าความถี่

$c$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

$d$  = ความหนาของไดอิเล็กตริก

$k_2$  = ค่าคงที่

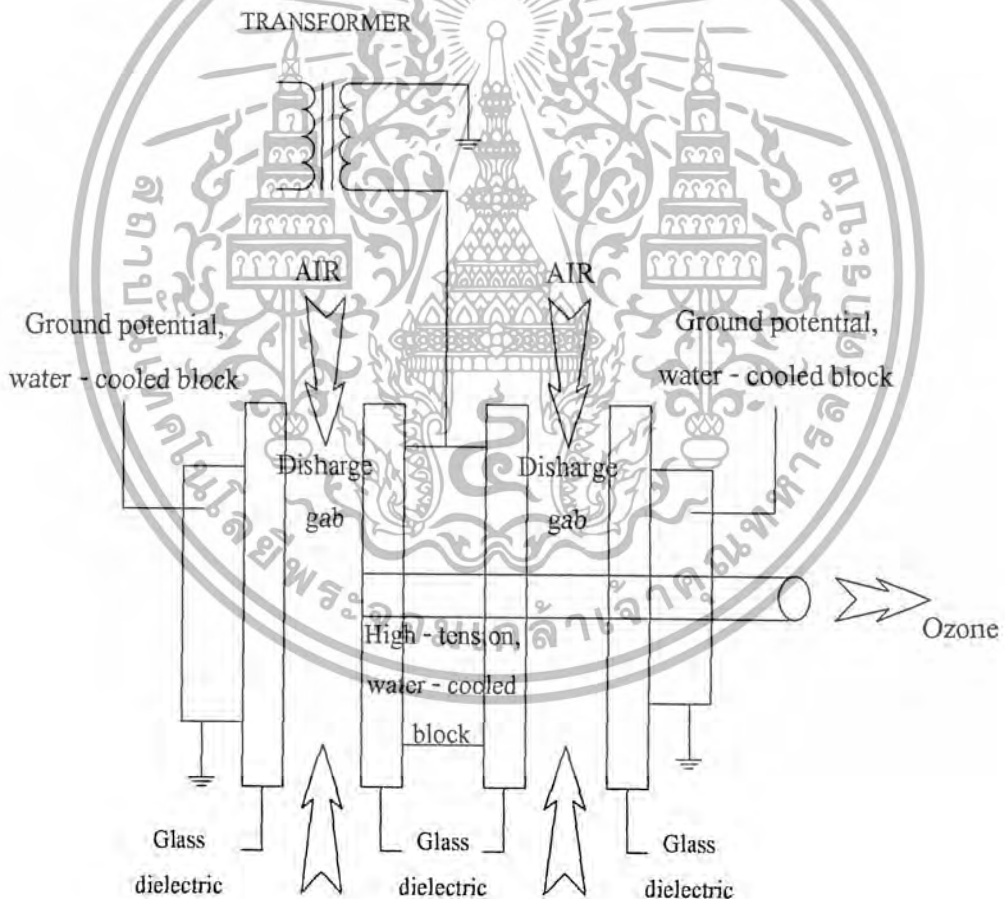
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ปัญหาในการออกแบบเครื่องสังเคราะห์ก๊าซไอโซนคือต้องพยายามทำให้ผนังไดอิเล็กตริกบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ และต้องสามารถทนแรงดันได้สูง ในขณะเดียวกันเพื่อให้ได้ก๊าซไอโซนปริมาณมากๆ จะต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงด้วย เพราะยิ่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงยิ่งทำให้ความสามารถในกาสังเคราะห์สูงตามไปด้วย แต่ถ้าแรงดันสูง สารไดอิเล็กตริกที่ใช้จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันนิยมเพิ่มปริมาณก๊าซไอโซนที่สังเคราะห์โดยเพิ่มความถี่ของกระแสที่ใช้ เพิ่มคุณภาพของสารไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น และให้สามารถระบายความร้อนออกจากเซลล์สังเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณก๊าซไอโซนที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1. แบบออกโตเพลตถูกออกแบบขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1905 แบบนี้มีประสิทธิภาพไม่ดีแต่ยังมีใช้กันอยู่ในบางส่วนของตะวันตก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

2. แบบท่อจะประกอบไปด้วยหลอดหลายหลอด อิเล็กโตรดข้างนอกจะเป็นท่อสแตนเลสสตีล โดยระบายความร้อนด้วยน้ำที่อยู่รอบๆ ท่อ ท่อแก้วที่อยู่ตรงกลางจะมีการเคลือบผิวด้วยตัวนำไฟฟ้าแรงดันสูง จะถูกป้อนเข้าระหว่างตัวนำที่เคลือบอยู่ด้านนอกของหลอดแก้วกับท่อเหล็ก ด้านนอกอวกาศหรือก๊าซออกซิเจนจะถูกส่งผ่านระหว่างช่องนั้น การสังเคราะห์ก๊าซโอโซน โดยวิธีนี้สามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 เครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนแบบออกโตเพลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบโลเธอร์เป็นแบบใหม่ที่ปรับปรุงขึ้นมา วิธีนี้จะใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ (สองแบบแรกจะใช้น้ำระบายความร้อน) อิเล็กโทรดเคลือบเซรามิก หรือยางซิลิโคน โดยเคลือบทั้งด้านนอกและด้านในท่อ ซึ่งจะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูง เซลล์สังเคราะห์ก๊าซโอโซนของเครื่องแบบโลเธอร์เพด

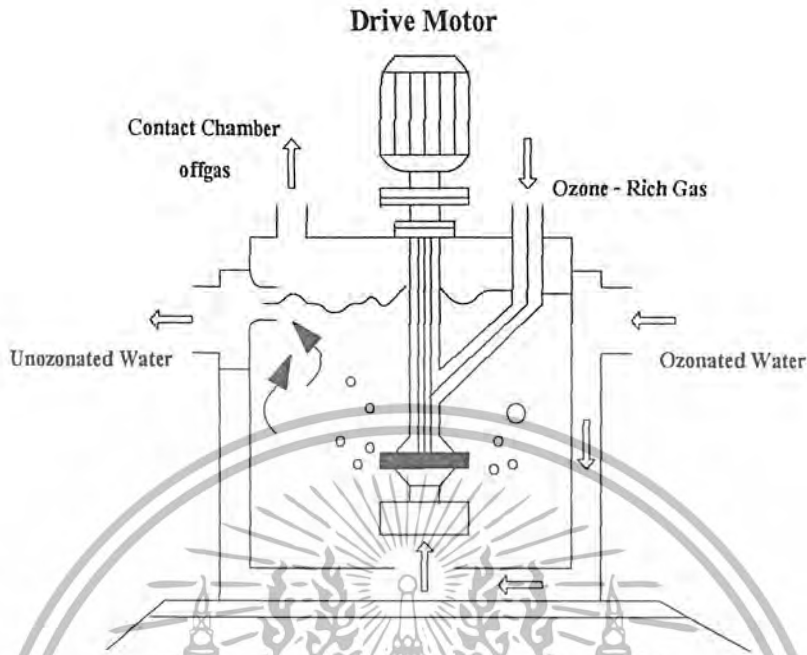
### 2.3 อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน

เมื่อความร้อนในหลอดกำเนิดโอโซนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการแผ่ความร้อนออกมาจากการเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าลดลง ถ้าปริมาณความร้อนมีค่าสูงจนเกินไป ดังนั้นการระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพให้หลอดกำเนิดโอโซน

### 2.4 การกำเนิดก๊าซโอโซน ( $O_3$ )

เริ่มการป้อนอากาศเข้ามา โดยทำการเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ในอากาศให้เป็นก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) โดยใช้ เครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซนโดยใช้หลักการโคโรนา (Corona discharge ozone generator) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการอัดอากาศเข้าไประหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่มีค่าความต่างศักย์ของสนามไฟฟ้าค่าสูง เนื่องจากสนามไฟฟ้าค่าสูงจะทำให้อะตอมของก๊าซออกซิเจนแตกตัวจากนั้นออกซิเจนที่แตกตัวออก (O) จะไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) กลายเป็นก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) ซึ่งขั้นตอนนี้จะเห็นได้ว่ามีพลังงานความร้อนแผ่ออกมา ถ้ามีพลังงานความร้อนมากเกินไปความร้อนนั้นจะไปสลายก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) ได้ ในขั้นตอนการสร้างสนามไฟฟ้าค่าสูงจะสร้างจากการป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าสูงจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบสวิตซิ่ง (Switching Power Supply High Voltage)

การผสมกันระหว่างน้ำกับโอโซน ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยา Ozonization ขึ้นซึ่งก๊าซโอโซนและน้ำจะถูกผสมกันได้หลายวิธี เช่น การใช้ Turbine , Diffusers , Injection เป็นต้น วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการผสมแบบ Turbine เพราะให้ประสิทธิภาพในการส่งก๊าซดีมาก นอกจากนี้การสัมผัสระหว่างน้ำกับโอโซนเกิดขึ้นได้มาก โดยให้ค่าประสิทธิภาพมากถึง 90% ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Ozone Contact ชนิด turbine

## 2.5 การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment)

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ปนอยู่มาก ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตร นิยมใช้วิธีทางธรรมชาติมากกว่าทางเคมี เนื่องวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองกว่า นอกจากเสียค่าพลังงานในการเดินระบบแล้วยังต้องเสียค่าเดินระบบด้วย การเก็บ การใช้สารเคมีต้องมีความระมัดระวัง มิฉะนั้นจะก่อปัญหาขึ้นได้ทั้งต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ และผู้เกี่ยวข้อง การใช้สารเคมีบำบัดน้ำเสียอาจก่อให้เกิดตะกอนเคมีจำนวนมากซึ่งต้องนำไปกำจัดต่อ อย่างไรก็ตามวิธีทางเคมีวิธีการทางเคมียังจำเป็นต้องใช้ในการบำบัดมลสารบางชนิด เช่น สารที่ทำให้เกิดสี ความขุ่น และสารพิษต่างๆ รวมทั้งการฆ่าเชื้อโรค ก่อนปล่อยน้ำทิ้งออก

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีสร้างตะกอนรวมทางเคมีช่วยกำจัดเซลล์จุลินทรีย์ที่แขวนลอยออกจากน้ำเสียได้ส่วนหนึ่ง ยังมีจุลินทรีย์หลงเหลืออยู่มากพอ และอาจเป็นอันตรายได้โดยเฉพาะการปล่อยน้ำเสียลงในแหล่งน้ำที่มีผู้ใช้น้ำคองล่างใช้ประโยชน์ในการอาบ ว่ายน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีวัตถุประสงค์ในการทำลาย (destroy) หรือยับยั้งการเจริญเติบโต (inactivate) ของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเรียกว่า disinfection จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคมียหลายชนิด ได้แก่ เชื้อไทฟอยด์ อหิวาต์ พาราไทฟอยด์ และพยาธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการฆ่าเชื้อโรคมีหลายวิธีดังนี้

1. คลอรีเนชัน (Chlorination)
2. โบรมิเนชัน (Bromination)
3. โอโซนเนชัน (Ozonation)
4. การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอุลตราไวโอเลต (UV)

## 2.6 การฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน (Ozone Disinfection)

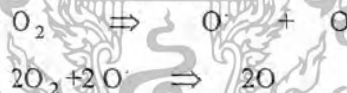
มีการใช้โอโซนฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศสในต้นศตวรรษที่ 20 และแพร่หลายมากขึ้นหลายประเทศในยุโรปตะวันตก นิยมใช้บำบัดสี กลิ่น และรสในน้ำประปา และยังใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากในน้ำเสียแทน (carbon-adsorption process)

การผลิตโอโซน (Ozone Generation)

เครื่องมือผลิตแก๊สโอโซนเรียกว่า Ozone Generator ภายในจะมีช่องแคบเรียกว่า discharge gap ซึ่งอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง (high voltage)

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตโอโซน คือ ออกซิเจน ( $O_2$ ) ที่มีอยู่ในอากาศหรือออกซิเจนบริสุทธิ์

(pure oxygen) เมื่อออกซิเจนผ่าน discharge gap จะแตกตัวให้ออกซิเจนฟรีเรดิคัล และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนก่อเกิดเป็นโอโซนดังสมการ



การผลิตโอโซนจากอากาศจะได้โอโซนประมาณ 0.5-3% ถ้าผลิตจากออกซิเจนบริสุทธิ์จะได้โอโซนเพิ่มขึ้นเป็น 1-6% โอโซนที่เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร สลายตัวให้ออกซิเจนอย่างรวดเร็ว การใช้โอโซนฆ่าเชื้อโรค จึงต้องผลิตที่โรงงาน

ปฏิกิริยาเคมีของโอโซน

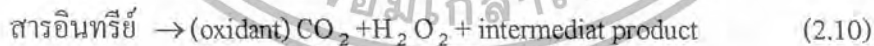
เมื่อโอโซนอยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาให้ไฮดรอกซิล ( $HO \bullet$ ) และเปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $HO_2 \bullet$ ) ซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงมากทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลายด้วย  $HO \bullet$  และ  $HO_2 \bullet$  radical

นอกจากนี้โอโซนยังทำลายไวรัสได้คือด้วย ปริมาณแอมโมเนียมีอนอนและถ้า PH น้ำไม่มีผลต่อการทำลายเชื้อโรคของโอโซน นอกจากนี้การใช้โอโซนยังไม่ทำให้ค่า TDS ของน้ำเพิ่มขึ้น ไม่เกิด by products ที่เป็นพิษ เช่น คลอรามิน และ THM

## 2.7 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation)

โดยทั่วไปปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดควบคู่กับปฏิกิริยารีดักชันเสมอ ถ้ามลสารที่ต้องการบำบัดถูกออกซิไดซ์ หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้อิเลคตรอนกับสารเคมีที่เติมลงไป เรียกวิธีการบำบัดมลสารในน้ำเสียนี้ว่า ออกซิเดชันทางเคมี (chemocal oxidation) โดยสารที่เติมลงไปจะทำหน้าที่เป็นออกซิไดซ์ และมลสารที่ต้องการบำบัดทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ วิธีออกซิเดชันทางเคมีได้รับความสนใจมากในศตวรรษที่ 20 ซึ่งมีประชากรและโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สารอินทรีย์ถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำจำนวนมาก เกินกว่าความสามารถในการฟอกตัว (self-purification capacity) ของลำน้ำ นอกจากนี้อุตสาหกรรมยังมีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ (synthesis organic) ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมานับหมื่นชนิด ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยากทำให้คงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน

สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก อาจมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แทนนินซึ่งเป็นสีในเนื้อไม้ ลิกนิน ฟีนอล ส่วนที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมีหลายประเภท เช่น พวุกไฮโดรคาร์บอน PAH(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) สารพวกอะโรมาติกฮาโลเจน (Halogenated Organic Compound) เช่น PCB (Polychlorinated biphenyl) สารฆ่าแมลงต่างๆ โดยเฉพาะสารในกลุ่มออกแกโนคลอริน (organochlorine) เช่น DDT พาราไอออน (parathion) มาลาไอออน (malathion) ทั้งสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เช่น ABS (Alkylbenzenesulfonate) LAS (Linear alkyl benzene sulfonate) พวกสีย้อมต่างๆ สารเหล่านี้เมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยวิธีทางเคมีแล้วจะได้สารที่มีโมเลกุลเล็กลง เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง และจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ผลผลิตขั้นสุดท้ายของออกซิเดชันทางเคมีอาจได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ 2.10 เมื่อสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์แล้วค่า COD จะลดลง ส่วน BOD อาจลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้



## 2.8 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozonation)

โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีค่า  $E^0$  ถึง 2.07 โวลต์ ดังสมการที่ 2.11 และสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ (toxic organic) ส่วนมากได้ดี และผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาส่วนมากจะมีพิษน้อยลง และถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานอิสระ (free energy) ของโอโซนมีค่าถึง-400kJ/mol ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาออกซิไดซ์โดยโอโซนจะดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ ข้อเสียคือโอโซนสลายตัวให้ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ได้เร็วมากในบรรยากาศจึงต้องผลิตที่แหล่งบำบัด (on-site) โดยตรง

ปฏิกิริยาของโอโซนที่กระทำต่อสารอินทรีย์มี 2 แบบ คือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยตรง แบบที่ 2 โอโซนในน้ำจะแตกตัวเป็นเรดิคัลที่ว่องไวต่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์

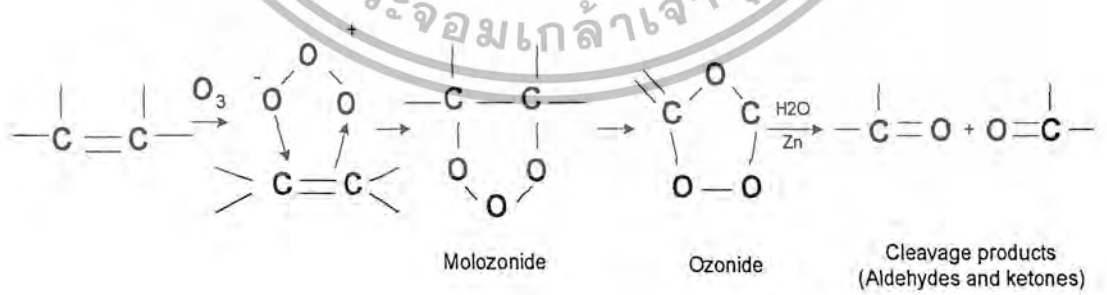
**2.9 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (Direct Oxidation)**

โมเลกุลของโอโซน (O<sub>3</sub>) ไม่เป็นเส้นตรง มีพันธะระหว่างออกซิเจน 2 พันธะทำมุมระหว่างพันธะ 116° 45' ความยาวพันธะทั้งสองเท่ากันคือ 1.278 Å π อิเล็กตรอน เกิดเรโซแนนซ์ดังภาพ



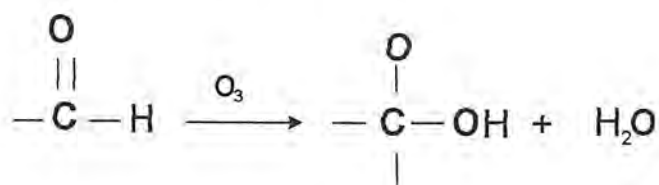
π อิเล็กตรอนจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างออกซิเจน 3 อะตอมจากโครงสร้างนี้จะเห็นว่าโอโซนมีอิเล็กตรอนมากเกินพอ และเป็นโมเลกุลมีขั้วจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงแบบ Dipole-mediated attack หรือแบบ Electrophilic attack

1. Dipole-mediated attack โอโซนจะหันด้านขั้วลบของโมเลกุลเข้าหาพันธะคู่ของสารอินทรีย์เกิด intermediat เป็นโมโนไฮไดรไฮด์ ไฮไดรไฮด์



จากนั้นสลายตัวให้อัลดีไฮด์และหรือคีโตน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนอัลดีไฮด์หรือคีโตนที่เกิดขึ้น รวมทั้งสารพวกแอลกอฮอล์จะถูกโอโซนออกซิไดซ์ต่อไป กรดคาร์บอกซิลิกและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2. Electrophilic attack โอโซนสามารถทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไฟล์ (electrophile) โดยหันด้านบวกของโมเลกุลเข้าหาบริเวณที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นของโมเลกุลสารอินทรีย์ พวกอะโรมาติก ซึ่งความว่องไวของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับหมู่แทนที่ใน benzene ring ว่าเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน (electron withdrawing group) เช่น  $-\text{COCH}_3$ ,  $-\text{COOC}_2\text{H}_5$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_3\text{H}$  จะทำให้ความว่องไวของปฏิกิริยาแทนที่ electrophile ในวงเบนซีนลดลง

การทำปฏิกิริยาโดยตรงจะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์ที่มีตำแหน่งเฉพาะเจาะจงหรือมีหมู่ฟังก์ชันที่โอโซนสามารถออกซิไดซ์ได้ ถ้าเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และ halogenated aliphatic compound โมเลกุลของโอโซนไม่สามารถออกซิไดซ์สารพวกนี้ได้

### 2.10 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดผ่านแรดิคัล (Radical-Mediated Oxidation)

แรดิคัลที่เกิดขึ้นระหว่างการสลายของพันธะของโอโซนในน้ำมีหลายชนิด ชนิดที่ว่องไวมากที่สุดคือไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}^\cdot$ ) สามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ไม่เลือกชนิดของสารอินทรีย์ แรดิคัลอื่นๆที่ว่องไวรองลงมาเป็น superoxide radical ( $\text{O}_2^\cdot$ ) ozonide radical ( $\text{O}_3^\cdot$ ) และ hydroperoxy radical ( $\text{HO}_2^\cdot$ ) ซึ่งเป็นแรดิคัลที่ไม่ว่องไวหรือว่องไวน้อยมาก ปฏิกิริยาของ โอโซนในน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิไดซ์ด้วยแรดิคัลคือ อุณหภูมิ และ  $\text{pH}$  ถ้ามีค่าสูงจะทำให้อัตราการแตกตัวของโอโซนเป็นแรดิคัลมากขึ้น การมีไอออนที่สามารถดักจับ  $\text{OH}^\cdot$  ได้ในสารละลาย เช่น  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{HPO}_4^{2-}$  เป็นต้น จะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ช้าลง

## 2.11 การใช้โอโซนบำบัดน้ำเสีย

ถ้า PH เป็นกรด โมเลกุลของโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน หรือมีตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจง ถ้า PH เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ด้วยแรดิคอลลจะเกิด ได้ดีกว่า

1. โอโซนสามารถบำบัดสีในน้ำเสียได้ การออกซิไดซ์จะได้สารที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น บำบัดสีอินดิโกคาร์มีน (indigo carmine) เมธิลีนบลู (methylene blue) ได้ดีแต่ละ TOD ได้เพียง 16% สำหรับอินดิโกคาร์มีนและ 40% สำหรับเมธิลีนบลู (Rogues,1996)
2. บำบัดสารเคมีปราบศัตรูพืช สามารถบำบัดสารพวกออร์กาโนฟอสเฟต เช่น มาลาไธรอน พาราไธออน เมธิลพาราไธออน และเฟอริโตรไธออน ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น 87-125  $\mu\text{g/L}$  โดยให้โอโซนในปริมาณ 5mg/L พบว่าสามารถสลายได้ถึง 80-90% โดยพาราไธออนจะเปลี่ยนไปเป็นพาราออกซอนและมาลาไธออนเปลี่ยนไปเป็นมาลาออกซอน
3. บำบัดสารพวกอะโรมาติก โอโซนสามารถออกซิไดซ์ฟีนอลได้สารที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา (intermediat) 22 ชนิด คลาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ PH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8-11 ปริมาณโอโซน 4-6 mol  $\text{O}_3/\text{mol phenol}$  (Eckenfelder,1989)
4. กรดอะมิโน โอโซนสามารถออกซิไดซ์กรดอะมิโน เช่น ไกลซีน ( $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ) บำบัดได้ดีขึ้นถ้า PH เพิ่มขึ้นที่ PH 10 โอโซนสามารถบำบัดไกลซีนได้ถึง 60% ในเวลา 60 นาที ปฏิกิริยาเป็นดังสมการ (Somiya ในRogues,1996)  
การกำจัด TOC ของกรดอะมิโนที่เป็นพวกอะลิฟาติกจะต่ำมากในสภาวะที่เป็นกรด

การทำลายก๊าซโอโซน ( $\text{O}_3$ ) เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถกัดกร่อนโลหะ และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้เมื่อความเข้มข้นสูงถึง 100- 200 ppm ซึ่งการทำลายก๊าซโอโซน ( $\text{O}_3$ ) มีหลายวิธีดังนี้

1. Reinfecion (การนำกลับมาใช้ใหม่)
2. การให้ความร้อน(อาจจะเป็น UV ก็ได้) เพื่อทำให้เกิด Autodecomposition
3. Dilution คือ การทำให้เจือจางกับอากาศ
4. catalytic reduction with metal oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 เครื่องวัดการไหลของของเหลว ( Venturi Tubes )

1 แบบทั่วไป แบบนี้จะเป็นการวัดของเหลวที่ไหลผ่านท่อและของเหลวที่ไหลผ่านหัวฉีด

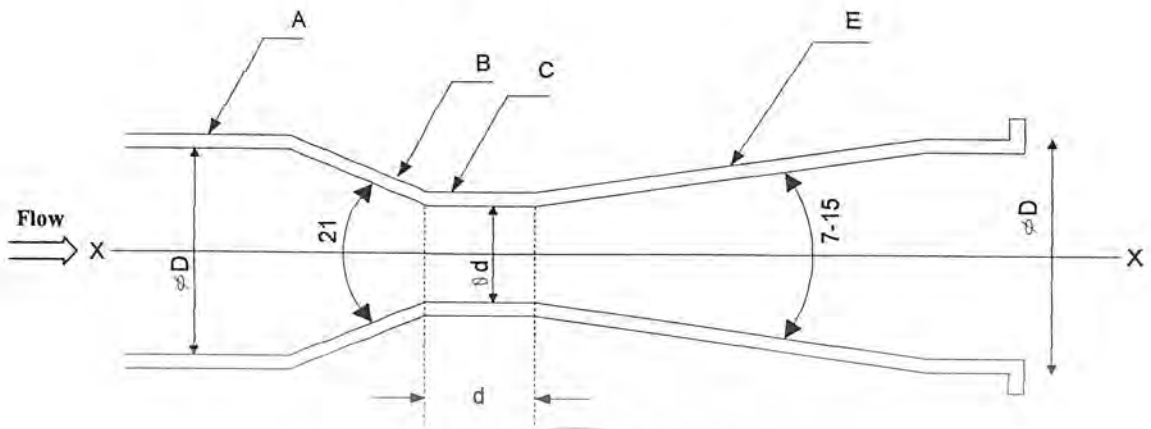
2 แบบคลาสสิก แบบคลาสสิกจะถูกสร้างจากวัสดุที่มีผิวไม่เรียบ ทั้งในส่วนของรูปแบบการทำงานหรือการเชื่อม sheet-iron rough และรูปแบบที่กลายเป็นเครื่องวัดการไหลของของเหลว โดย rough-cast เบนเข้าหากัน ในส่วน venturi tube และ เครื่องจะเบนเข้าหากัน และ ในส่วนของ venturi tube ที่เบนเข้าหา sheet-iron ที่ถูกเชื่อมต่อกับของเหลว อย่างไรก็ตามการผลิตและการทำงานต่างๆเพื่อลดความคมของผิวสัมผัสภายในท่อตามลำดับการทำงานของเครื่องวัด

1.1 โครงสร้างแบบ Classical Venturi Tubes ผิวสัมผัสภายในของ Classical Venturi Tube เป็นผิวสัมผัสที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงอย่างสิ้นเชิงและมีจุดศูนย์กลางเดียวกับ pipe centreline และ อุปกรณ์ต่างๆที่ทำให้การทำงานของเครื่องสามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์



รูปที่ 2.4 Classical Venturi Tube (Not Truncated Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A : Entrance cylinde  
 B : Conical convergent  
 C : Throat  
 E : Conical divergent  
 D : Pipe inside diameter  
 d : Throat diameter  
 XX : Axial centre-line of classical venturi tube

### รูปที่ 2.5 Classical Venturi Tube (Truncated Type)

1. เมื่อ Classical Venturi Tube ถูกต่อเข้ากับปากของรูปทรงกรวย (A ในรูปที่ 8 และ 9) รูปทรงกรวยจะเบนเข้าหาส่วนคอของกรวย (C ในรูปที่ 8 และ 9) และรูปทรงกรวยที่แยกออกจากกัน (E ในรูปที่ 8 และ 9) ในขั้นนี้เราต้องระวังในเรื่องของการเชื่อมต่ออย่าให้มีการเหลื่อมล้ำกันภายในของท่อ
2. ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเข้าของทรงกระบอก (A) จะต้องเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของ pipe ด้านใน โดยต้องมากกว่า  $0.01D$
3. ความยาวปากทางเข้าทรงกระบอก (A) อาจจะปรับได้ตามผลของกระบวนการผลิตของการเบนเข้าหากัน (B) ของทรงกรวยและเชื่อมติดกับ (14) (a), (15) (a) and (16) (a) อย่างก็ตามความยาวก็ไม่ควรเกิน  $1 D$
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของทางเข้าทรงกระบอกควรวัดในส่วนด้านในประกอบ โดยค่าสุด 4 เส้นผ่านศูนย์กลางระยะที่ประมาณเอาเท่ากับมุมจากด้านหนึ่งมายังอีกด้านหนึ่งค่าที่ได้จากการวัดก็จะเป็นค่าของ  $D$
5. รูปร่างของพื้นผิวภายในส่วนที่เบนเข้าหากัน (B) ควรเป็นรูปทรงกรวยที่มีมุม  $21$  หรือบวกลบ  $1$  องศา มันถูกต่อเข้ากับส่วนทางเข้าของทรงกระบอก (A) และต่อกับส่วนหน้า (C) ความยาวประมาณได้  $2.7 (D-d)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในทั้งสองของทรงกรวยที่เบนเข้าหากัน(B) วัดในระนาบตั้งฉากเดียวกันถึงรอบแกน centre-line ของventuri tube ไม่ควรแตกต่างจากค่ามีนของเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยมากกว่า 0.4%

7. ด้านทางเข้าของทรงกระบอก(A) และทรงกรวยที่เบนเข้าหากัน(B) ควรต่อเข้ากับส่วนอื่นด้วยความโค้งของรัศมี เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโค้งทั้งสองนี้วัดในระนาบที่ตั้งฉากเดียวกันจนถึงรอบแกนของcentre-line ของ venturi tube ไม่ควรแตกต่างกันมากกว่า 0.4% จากค่ามีนของเส้นผ่านศูนย์กลาง

8. ความยาวของของล้าคอส่วนหน้า (C) ควรเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนล้าคอ d

9. ผ่านศูนย์กลางของล้าคอ d ควรวัดอย่างต่ำ 4 ตำแหน่งในระนาบของ pre ssure tapping set โดยการเปลี่ยนมุมในระยะที่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยของการวัดหลายๆครั้งควรได้ค่าเหมือนกับค่า d เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่ผ่านส่วนล้าคอ (C) ควรมีค่าต่างจาก d มากกว่า 0.1% ของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่านมา

10. ส่วนล้าคอ (C) ถูกต่อเข้ากับทรงกรวยที่เบนเข้าหากัน (B) และส่วนทรงกรวยที่ไม่เบนเข้าหากัน (E) โดยความโค้งของรัศมี  $R_2$  และ  $R_3$  ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในทั้งสองของการวัดเส้นโค้งที่สองส่วนของด้านอื่นที่มีระนาบที่ตั้งฉากกับรอบแกน centre-line ของventuri tube เหมือนกัน ไม่ควรที่จะแตกต่างกันมากกว่า 0.02 d จากค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

11. รูปร่างของพื้นผิวภายในของส่วนทรงกรวยที่ไม่เบนเข้าหากัน (E) ควรมีรูปทรงกรวยที่มีส่วนประกอบของมุม  $7^\circ$  ถึง  $15^\circ$  ใดๆก็ตามค่าของมุมที่ควรใช้คือระหว่าง  $7^\circ$  ถึง  $8^\circ$

12. ความยาวของส่วนทรงกรวยที่ไม่เบนเข้าหากัน (E) สามารถตัดออกได้เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่ไม่เบนเข้าหากันมีค่าเท่ากับ D และ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมที่มากกว่า 65% ของความยาวของส่วนทรงกรวยโดยไม่มีการสูญเสียแรงกดในตัวอุปกรณ์

13. พื้นผิวภายในของส่วนล้าคอ (C) และพื้นผิวโค้งที่ประชิดกันนั้นเพื่อการทำงานที่ได้ประสิทธิภาพหรือได้พื้นผิวที่ไม่ขรุขระ ความขรุขระของพื้นผิวภายในสามารถมีได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $0.00001 d R_a$

14. Classical venturi tube และ rough-cast ที่เบนเข้าหากันควรทำตามที่ได้กำหนดไว้

- ความยาวค่าต่ำสุดของส่วนทางเข้าทรงกระบอก (A) ควรมีค่าเท่ากับค่าไหนก็ได้ที่มีค่าต่ำกว่า 2 ปริมาตร 1D และ  $0.25D + 250 \text{ mm}$ .
- พื้นผิวภายในของส่วนทางเข้าทรงกระบอก (A) ไม่ควรมีสิ่งใดกั้นละมีความเรียบ เกณฑ์ของค่าความขรุขระที่มีได้ควรต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $0.0001 D$
- รัศมีของเส้น โค้งควรเท่ากับ  $1.375D \pm 0.275D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- d. พื้นผิวภายในของส่วนที่เบนเข้าหากัน (B) ควรเป็นพื้นเรียบไม่มีรอยขรุขระ ถ้ามีรอยขรุขระได้แต่ต้องไม่เกินหรือเท่ากับ  $0.0001D$
- e. ค่ารัศมีของเส้นโค้ง  $R_2$  ควรเท่ากับ  $3.625d \pm 0.125d$
- f. ความยาวของส่วนทรงกระบอกของลำคอ (C) ควรมีค่าน้อยกว่า  $1/3 d$  เนื่องจากความยาวของส่วนทรงกระบอกจะอยู่ระหว่างระนาบของ pressure tapping ของส่วนลำคอ (C) และที่ปลายจะต่อเข้ากับส่วนโค้ง  $R_2$  ควรมีความยาวน้อยกว่า  $1/6 d$
- g. ความยาวของส่วนทรงกระบอกที่อยู่ระหว่างระนาบของ pressure tapping ของส่วนลำคอ และจุดที่เริ่มต่อกับเส้นโค้ง  $R_3$  ควรไม่ต่ำกว่า  $1/6 d$
- h. รัศมีของเส้นโค้ง  $R_3$  ควรอยู่ระหว่าง 5 และ 15 d ค่าของมันควรเพิ่มขึ้นตามค่าของมุมของส่วนที่เบนออกจากกัน โดยค่าสูงสุดที่ 10 d โดยจะได้มุมที่ใกล้  $7^\circ$

15.แบบ classical venturi tube กับส่วนเครื่องกลที่เบนเข้าหากันควรกำหนด ดังต่อไปนี้

- (a) ความยาวของส่วนทางเข้าของทรงกระบอก (A) ควรไม่น้อยกว่า  $1D$
- (b) รัศมีของเส้นโค้ง  $R_1$  ควรน้อยกว่า  $0.25D$  และอาจจะมีค่าเท่ากับศูนย์ก็ได้
- (c) รัศมีของเส้นโค้ง  $R_2$  และ  $R_3$  ควรน้อยกว่า  $0.25d$  และอาจจะมีค่าเท่ากับศูนย์ก็ได้
- (d) ความยาวของส่วนลำคอ (C) ส่วนทรงกระบอกที่อยู่ระหว่างส่วนของระนาบ throat pressure tapping และปลายของเส้นโค้ง  $R_2$  ควรน้อยกว่า  $0.25d$
- (e) ความยาวของส่วนลำคอ (C) ส่วนทรงกระบอกที่อยู่ระหว่างส่วนของระนาบ throat pressure tapping และปลายของเส้นโค้ง  $R_3$  ควรน้อยกว่า  $0.3d$
- f) พื้นผิวภายในของส่วนทางเข้าทรงกระบอก (A) และทรงกรวยที่เบนเข้าหากัน (B) ควรต่อเชื่อมกันตามข้อของ(14) (b) และ (d) ตามลำดับ

16 แบบ classical venturi tube กับ rough welded sheet-iron ที่เบนเข้าหากันควรกำหนด ดังต่อไปนี้

- (a) ความยาวของส่วนทางเข้าทรงกระบอกควรยาวไม่น้อยกว่า  $1 D$
- (b) ไม่ควรเชื่อมต่อเส้นโค้ง  $R_1$  ,  $R_2$  และ  $R_3$  หลังจากการเชื่อมต่อกับส่วนอื่นก่อน
- (c) พื้นผิวภายในของส่วนทางเข้าทรงกระบอก (A) ควรทำความสะอาดและไม่มีรอยขรุขระ รอยขรุขระไม่ควรมีมากกว่า  $0.0005 D$
- (e) พื้นผิวภายในของทรงกรวยที่เบนเข้าหากัน (B) ควรมีความสะอาดและเรียบรอยขรุขระไม่ควรมีมากกว่า  $0.0005D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

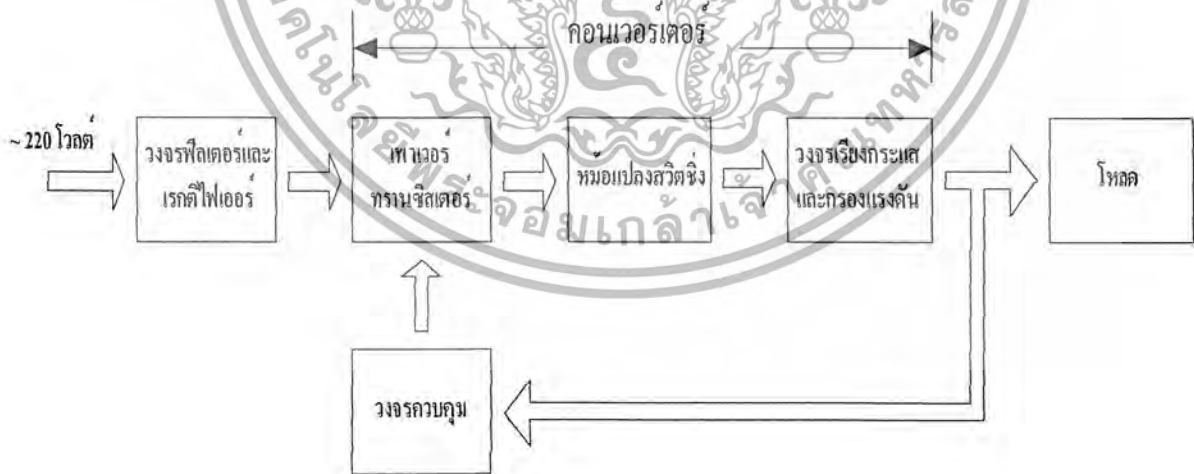
แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบสวิตชิง

Switching Power Supply High Voltage

3.1 หลักการเบื้องต้น

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นหรือที่เรียกว่า ลินีียร์เพาเวอร์ซัพพลาย เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันที่ 220 โวลต์ ลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำเช่นเดียวกัน แต่มีข้อแตกต่างอยู่ที่ขนาดและน้ำหนักของหม้อแปลง โดยที่หม้อแปลงแบบลีนีียร์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากเมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลงสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย การพัฒนาของลีนีียร์เพาเวอร์ซัพพลายจึงมีขีดจำกัดอยู่ที่การใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก รวมถึงประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีองค์ประกอบที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปและจะมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกันสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะมีทั้งตัวลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทด้วย ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ จะทำงานกันเป็นลำดับดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ จะผ่านเข้ามาทางวงจรเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูง เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยเพาเวอร์มอสเฟตจะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่าต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสถียรก่อนจึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 3.1

นอกจากนี้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังต้องมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก เช่น วงจรกรอง RFI วงจรป้องกันไฟกระชาก วงจรกำเนิดกระแส วงจรป้องกันแรงดันเอาต์พุตเกิน ฯลฯ ในตอนนี้จะกล่าวถึงหลักการทฤษฎีและการออกแบบใช้งาน รวมทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในภาคเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ให้เหมาะสม สำหรับการทำงานของภาคเอาต์พุตทำงานลักษณะของรีโซแนนซ์โดยสามารถปรับความถี่เพื่อทำให้ได้แรงดันหรือกระแสตามที่ต้องการ โดยการต่อรีโซแนนซ์สามารถต่อได้หลายวิธี สำหรับโครงการนี้ใช้ CL แบบผสมเพื่อให้ได้แรงดันสูงสุดตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

### 3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ ( Converter)

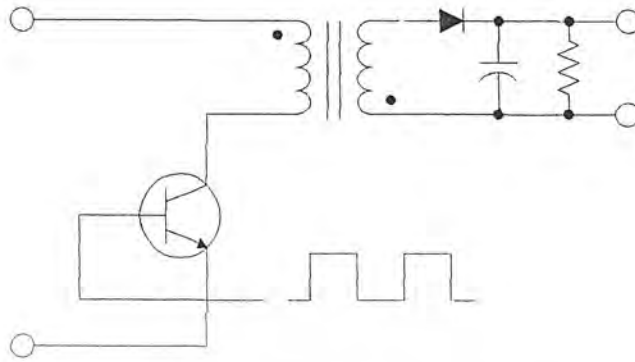
วงจรคอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจ้วงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังต่อไปนี้

1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้คอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่คลอกร้อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์

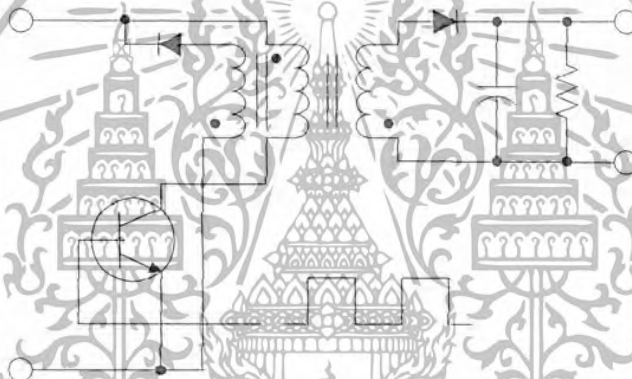
จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์และปริมาณราคาเพื่อตัดสินใจเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใด ได้ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมากมาย คอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายครั้งรายละเอียดต่อไปนี้

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอรวอร์คคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push - pull Converter)
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half - Bridge Converter)
5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full - Bridge Converter)

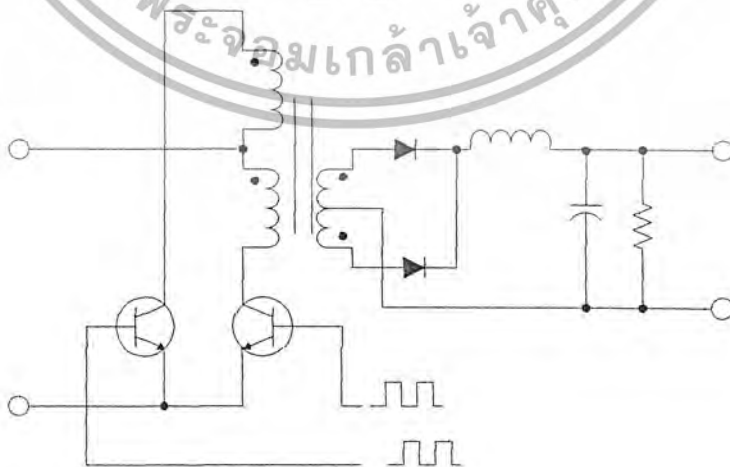
คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบ แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ถึง 3.7



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรฟูลวีกคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรฮาร์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

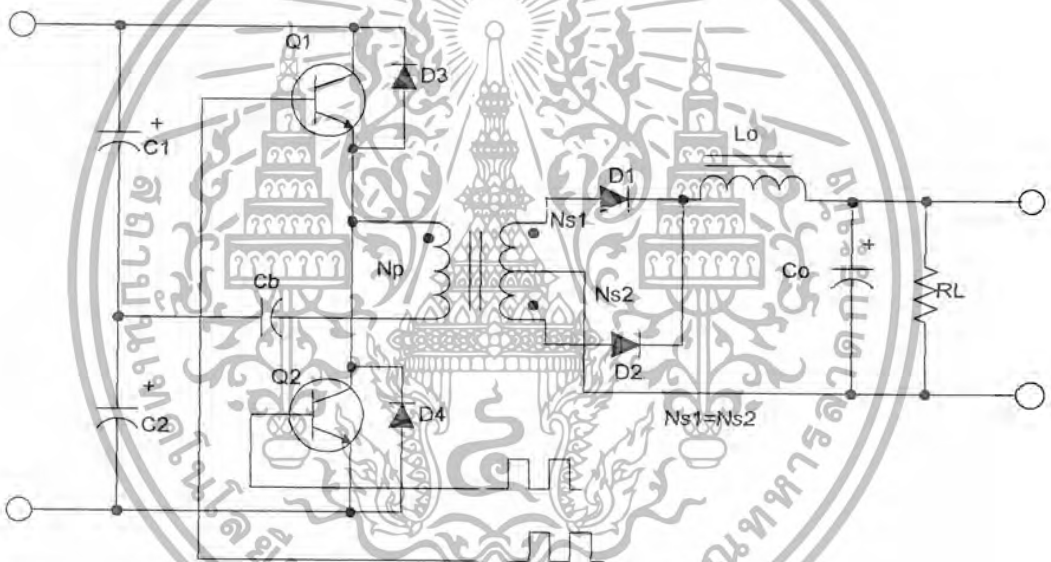
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half - Bridge Converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุก - พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดวงจรของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ภายในวงจร มีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกลงและหาได้ง่ายกว่า ซึ่งจะลดข้อจำกัดต่างๆ เมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงๆ เช่นที่แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ลงได้มาก รวมทั้งฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้อีกด้วย

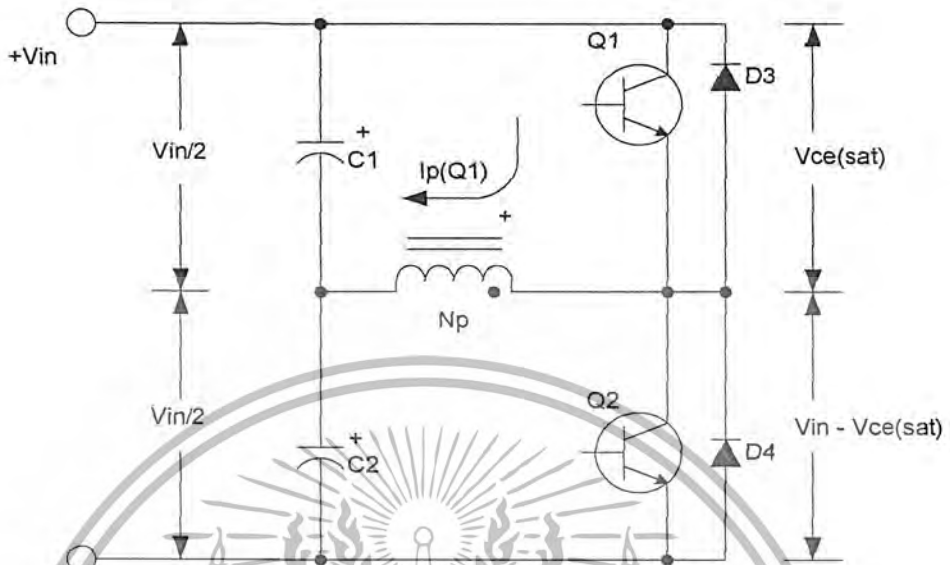
#### 3.3.1 พื้นฐานการทำงานของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



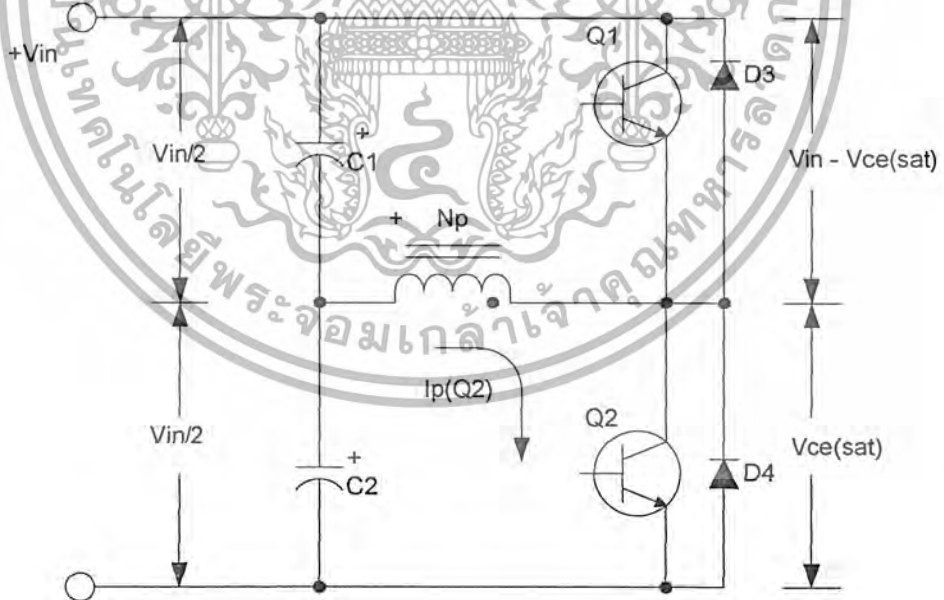
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรพื้นฐานการทำงานของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากตัวเก็บประจุ  $C1$  และ  $C2$  กำหนดให้มีค่าเท่ากันค่อนหุนกรมกันอยู่ทางด้านอินพุต เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม  $C1$  และ  $C2$  จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q1$  และ  $Q2$  จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุก - พูลคอนเวอร์เตอร์และเพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ  $Cb$  ต่ออยู่ในวงจรเสียก่อน โดยให้ปลายของขดไพนารี่  $Np$  ที่ต่ออยู่กับ  $Cb$  นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ  $C1$  และ  $C2$  ดังในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 (ก) ขณะที่ Q1 นำกระแส Q2 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{in} - V_{ce(sat)}$  และแรงดันตกคร่อม  $N_p$  เท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$



รูปที่ 3.9 (ข) ขณะที่ Q2 นำกระแส Q1 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{in} - V_{ce(sat)}$  และแรงดันตกคร่อม  $N_p$  เท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

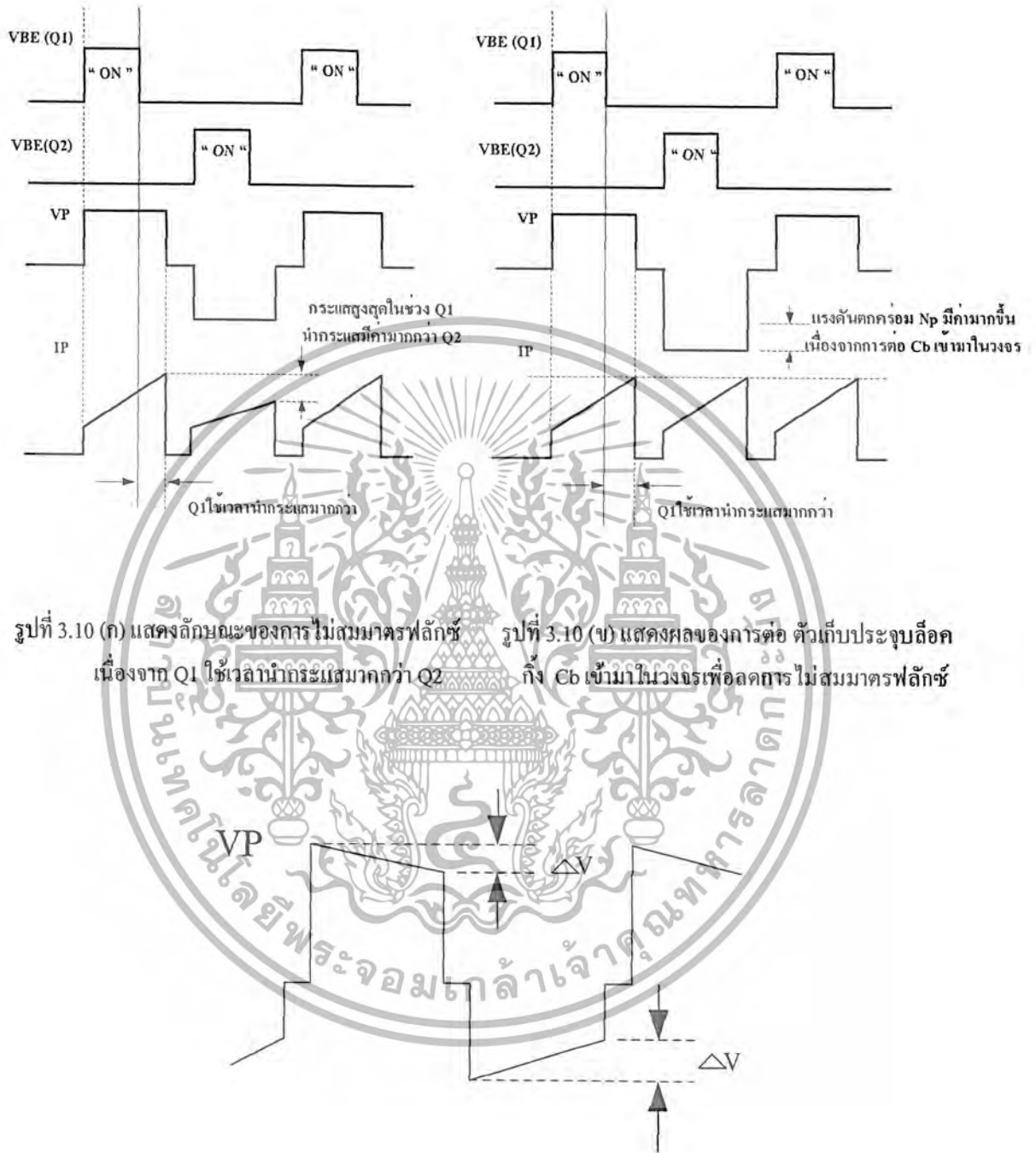
เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแส และ Q2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{ce(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพนารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{c1} - V_{ce(sat)}$  หรือมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$  นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q2 เริ่มนำกระแส และ Q1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{ce(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพนารี  $N_p$  ก็ยังมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$  เนื่องจาก  $V_{ce(sat)}$  มีค่าประมาณ 0.5 – 1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ผลของการทำงานของ Q1 และ Q2 ที่ เซคชั่นคาร์จะมีลักษณะเดียวกันกับพวง - พูลคอนเวอร์เตอร์

### 3.4 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง $C_b$ เพื่อป้องกันการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็ก

ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor)  $C_b$  ที่ต่อเข้ามาในวงจรนั้น มีหน้าที่หลักคือ ป้องกันการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ขณะวงจรทำงาน เพราะในทางปฏิบัติการต่อตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากันจริงๆ นั้นทำได้ยาก รวมทั้งการไม่แมตซ์กันของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 อาจก่อให้เกิดปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นได้ทั้งสิ้น

การต่อตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง  $C_b$  คั่นเข้ามาในวงจร จะทำ  $C_b$  มีการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปตามทิศทางของกระแสที่ไหลในขั้วไพนารี  $N_p$  ถ้าผลของการเกิดประจุสะสมทำให้ Q1 และ Q2 มีช่วงเวลานำกระแสไม่เท่ากัน ก็จะทำให้การเก็บประจุของ  $C_b$  ใช้เวลาไม่เท่ากันด้วยเป็นผลทำให้มีประจุเหลือค้างใน  $C_b$  และทำให้เกิดค่าแรงดันตกคร่อม  $C_b$  นั่นคือ หากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดมีค่าช่วงเวลานำกระแสมากกว่า ในกรณีนี้มีค่ากระแสสูงสุดจะมีค่ามากขึ้นตามช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามจะทำให้มีประจุเหลือค้างใน  $C_b$  ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกตัวเริ่มนำกระแส แรงดันตกค้างใน  $C_b$  จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมขดไพนารีให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าของกระแสสูงสุดก็จะมีค่าเท่ากันได้ไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้น

(ดูรูป 3.9 ประกอบ) ส่วนการทำงานของ  $C_b$  ในกรณีที่แรงดันตกคร่อม  $C_1$  และ  $C_2$  มีค่าไม่เท่ากันนั้นก็จะเป็นไปทำนองเดียวกัน



รูปที่ 3.10 (ก) แสดงลักษณะของการไม่สมมาตรฟลักซ์      รูปที่ 3.10 (ข) แสดงผลของการต่อ ตัวเก็บประจุบลิ๊อค  
เนื่องจาก Q1 ใช้เวลานำกระแสมากกว่า Q2      กิ่ง Cb เข้ามาในวงจรเพื่อลดการไม่สมมาตรฟลักซ์

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของการเกิดความคลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไฟ  
มารีเมื่อต่อตัวเก็บประจุบลิ๊อคก็ง Cb คั้นเข้ามาในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การต่อตัวเก็บประจุลึอกกึ่ง  $C_b$  คั่นเข้ามาในวงจร จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าลดลงตามเวลาหรือเกิดความคลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดัน เนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งไปตกคร่อม  $C_b$  นั้นเอง (ดูรูปที่ 3.10) และจะมีผลต่อแรงดันทางค่านเซคันดารีทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดค่า  $C_b$  ให้มีค่าเหมาะสม เพื่อให้เกิดความคลาดบนแรงดันที่ขดไพรมารีต่ำที่สุด การกำหนดค่าของ  $C_b$  ได้ดังนี้คือ

$$C_b = \frac{I_p(pk)(0.4T)}{\Delta V} \quad (3.1)$$

- เมื่อ  $I_p(pk)$  คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี  
 $\Delta V$  คือ ค่าคาบความคลาดแรงดันสูงสุดที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 20% ของ  $V_{in}/2$ )  
 $T$  คือ ค่าคาบเวลาของการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

### 3.5 คอมมิวเตตติ้งไดโอด D3 และ D4

จากวงจรรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าไดโอด D3 และ D4 ต่อคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 อยู่ ไดโอดทั้งสองตัวนี้เรียกว่าคอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่สองประการ คือ

1. ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กนี้จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุตด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส
2. ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มหยุดนำกระแส ขดไพรมารี  $N_p$  จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิด ถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด Q2 จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่คอออสเลคเตอร์เป็นลบ ในขณะที่ Q1 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่า  $V_{in}/2$  ในกรณีนี้ ไดโอด D4 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรงจากแรงดันของขดไพรมารีและลดค่าแรงดันนี้ลงไป ในทำนองเดียวกันกับเมื่อ Q2 เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด D3 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกันเป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด D3 และ D4 ต้องเป็นชนิดฟาสต์รีคัฟเวอรี และต้องทนแรงดันย้อนกลับไปได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ค่าเวลาเมื่อ $t_D$ สำหรับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  เพื่อจำกัดช่วงเวลานำกระแสสูงสุด  $ton(max)$  ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เป็นสิ่งสำคัญมากในวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นว่าการต่อกันอยู่ในวงจรของ Q1 และ Q2 นั้น ถ้าหาก Q1 และ Q2 นำกระแสพร้อมกันๆ จะเกิดการลัดวงจรของแรงดันอินพุตทันที ซึ่งเป็นอันตรายเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรได้ ดังนั้นช่วงนำกระแสสูงสุดของ Q1 และ Q2 จะถูกจำกัดด้วยค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  เช่นเดียวกับพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยอาจกำหนดไว้ที่ 20 % ของครึ่งหนึ่งของคาบเวลา ดังนั้น

$$t_{on(max)} = 0.4 T \quad (3.2)$$

### 3.7 การคำนวณเพื่อการออกแบบฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

#### 3.7.1 แรงดันเอาต์พุต

แรงดันเอาต์พุตนั้นสามารถหาได้จากสมการพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากวงจรการทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่ในกรณีฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์แรงดันตกคร่อมขดไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$  ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุตจึงเป็น

$$V_{out} = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) (V_{in}/2 - V_{ce(sat)}) \frac{ton}{(T/2)} - V_p \quad (3.3)$$

#### 3.7.2 กระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน Q1 และ Q2

การคำนวณค่ากระแสสูงสุด  $I_p(pk)$  สามารถทำได้ตามสมการพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต ดังนั้น

$$I_p(pk) = \frac{P_{out}T}{\eta V_{in(min)} ton(max)} + \frac{\left( \frac{V_{in(min)}}{2} - V_{ce(sat)} \right)}{L_p} ton(max) \quad (3.4)$$

ถ้ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กมีค่าน้อยๆ จะเห็นได้ว่ากระแสสูงสุดด้านไพรมารีของวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเป็น 2 เท่าของวงจรพุ่ม – พูลคอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน (แต่ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพียงแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.3 อัตราส่วนจำนวนรอบ $N_p / N_s$ และจำนวนรอบ $N_p$ และ $N_s$

อัตราส่วนจำนวนรอบ  $N_p / N_s$  หาได้จากสมการที่ 3.3 ดังนี้

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{\left( \frac{V_{in(\min)}}{2} - V_{ce(sat)} \right) t_{on(\max)}}{(V_{out} + V_D) T / 2} \quad (3.5)$$

เนื่องจากขดลวดไพรมารี  $N_p$  ของฮาร์ดฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์มีเพียงขดเดียว ค่าจำนวนรอบของ  $N_p$  จะหาได้จาก

$$N_p = \frac{\left( \frac{V_{in(\min)}}{2} - V_{ce(sat)} \right) t_{on(\max)}}{\Delta B(\max) A_e} * 10^3 \quad (3.6)$$

### 3.7.4 เอาต์พุตโหลด $I_o$ และตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต $C_o$

เอาต์พุตโหลด  $I_o$  และตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต  $C_o$  สามารถทำได้เช่นเดียวกับฟูล-บรูคคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากวงจรด้านเอาต์พุตเหมือนกัน

$$I_{o(\min)} = \frac{1}{4} \frac{(V_{out} + V_D)}{I_{o(\min)}} \left( T - 2t_{on(\max)} \frac{V_{in(\min)}}{V_{in(\max)}} \right) \quad (3.7)$$

ค่าต่ำสุดของ  $I_o$  ที่กำหนดจากค่าแรงดันกระแสที่เอาต์พุต จะหาได้จาก

$$I_{o(\min)} = \frac{(V_{out} + V_D) ESR}{2V_{ripple}} \left( T - 2t_{on(\max)} \frac{V_{in(\min)}}{V_{in(\max)}} \right) \quad (3.8)$$

ค่าสูงสุดของ  $I_o$  ที่ค่าเวลาค้นตัวเท่ากับ  $t_r$  จะหาได้จาก

$$I_{o(\max)} = \frac{(V_{out} + V_D)(T - t_{on(\max)})}{\Delta I_o * 2t_{on(\max)}} t_r \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต Co พิจารณาได้ในลักษณะเดียวกับฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ โดยขึ้นอยู่กับค่าระลอกที่เกิดจากค่า ESR ของตัวเก็บประจุเป็นหลัก ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง จะมีกระแสไหลผ่านโหลดในลักษณะต่อเนื่องทำให้มีค่าแรงดันกระแสที่เอาต์พุตค่อนข้างต่ำ ตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต Co จึงไม่จำเป็นต้องมีค่ามากนัก

ค่า ESR ( Equivalent Serier Resistance ) คือค่าความต้านไฟฟ้าซึ่งแฝงอยู่ในตัวเก็บประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าสูง ESR ค่อนข้างสูงตัวเก็บประจุยังมีค่าความจุสูง ESR จะมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามค่าต่ำสุดของ ESR จะถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 0.3 โอห์มที่ 20 องศา เนื่องจากปัญหาความต้านทานที่รอยต่อระหว่างแผ่นฟลอยด์และขาของตัวเก็บประจุ

ถ้าตัวเก็บประจุเอาต์พุตที่ใช้มีค่า ESR สูง จะทำให้ปัญหาแรงดันกระแสที่เพิ่มขึ้นที่แรงดันเอาต์พุต เนื่องจากขณะที่ขดเค้นคาร์เริ่มนำกระแส ที่ขอบขาขึ้นของกระแสจะมีค่าสูง ค่าความต้านทานแฝง ESR ในตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในลักษณะพุ่งในช่วงสั้นๆ ของการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ ทำให้แรงดันกระแสที่เพิ่มขึ้นที่แรงดันเอาต์พุต

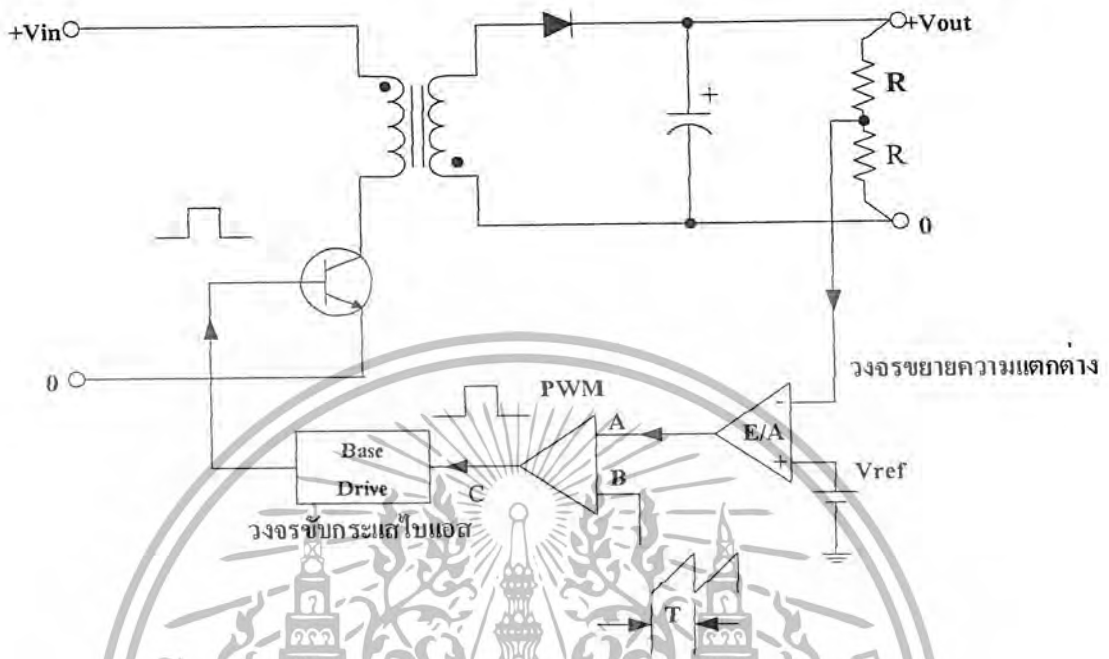
การแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยการเพิ่มวงจร LC ฟิลเตอร์ที่เอาต์พุต หรือเพิ่มค่าตัวเก็บประจุที่เอาต์พุตเพื่อลดค่า ESR การใช้ตัวเก็บประจุนานกันหลายตัวเพื่อเพิ่มค่าความจุจะทำให้ลดค่า ESR ได้เช่นเดียวกัน

### 3.8 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ โดยการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแส ( $t_{ON}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมจะใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันเป็นหลักการใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ( Pulse Width Modulation : PWM ) เพื่อควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ 2 ลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ โหมดควบคุมจากแรงดันและ โหมดควบคุมจากกระแส

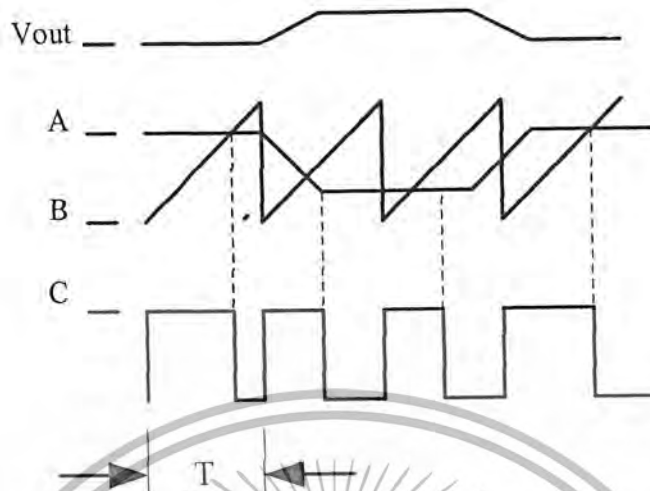
#### 3.8.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน ( Voltage Mode Control )

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่เอาต์พุตมาทำการควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันแสดงดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน

จากรูปที่ 3.12 วงจรควบคุมอาศัยการป้อนกลับของค่าแรงดันเอาท์พุทนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรเพื่อตรวจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุท ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายวงจรความแตกต่าง (E/A) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรพัลส์วิดท์มอดดูเลชั่น โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อย เอาท์พุทที่ได้จากวงจรพัลส์วิดท์มอดดูเลชั่นจะมีลักษณะเป็นพัลส์ที่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและความกว้างของพัลส์แปรเปลี่ยนไปตามผลของการมอดดูเลชั่น ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

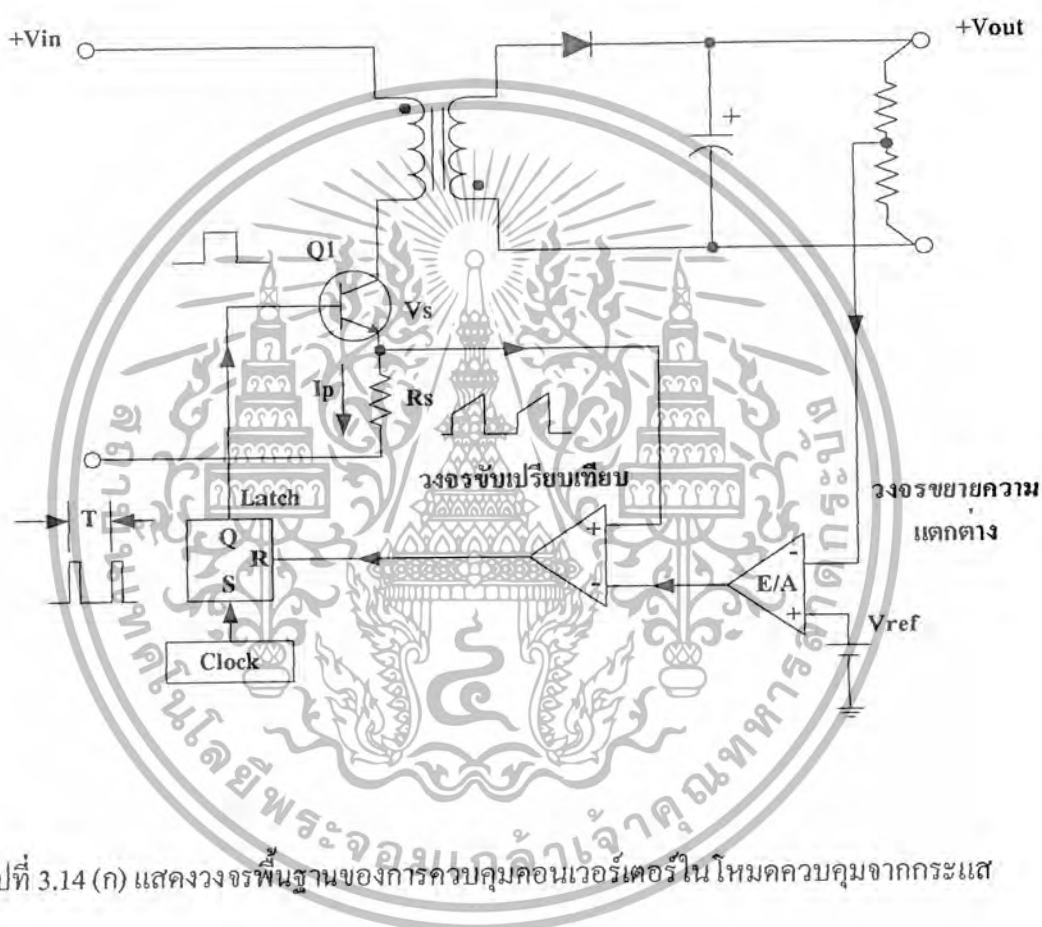


รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ (PWM) ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อยตามรูปที่ 3.12

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่างที่ขาอินเวอร์ต ผลแตกต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นแรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพัลส์วิดท์มอดดูเลชันจึงมีค่าลดลงด้วยและทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าลดลงเช่นกัน ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพัลส์วิดท์มอดดูเลชันจึงมีค่าเพิ่มขึ้นช่วงเวลาการนำกระแสก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้

### 3.8.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส ( Current Mode Control )

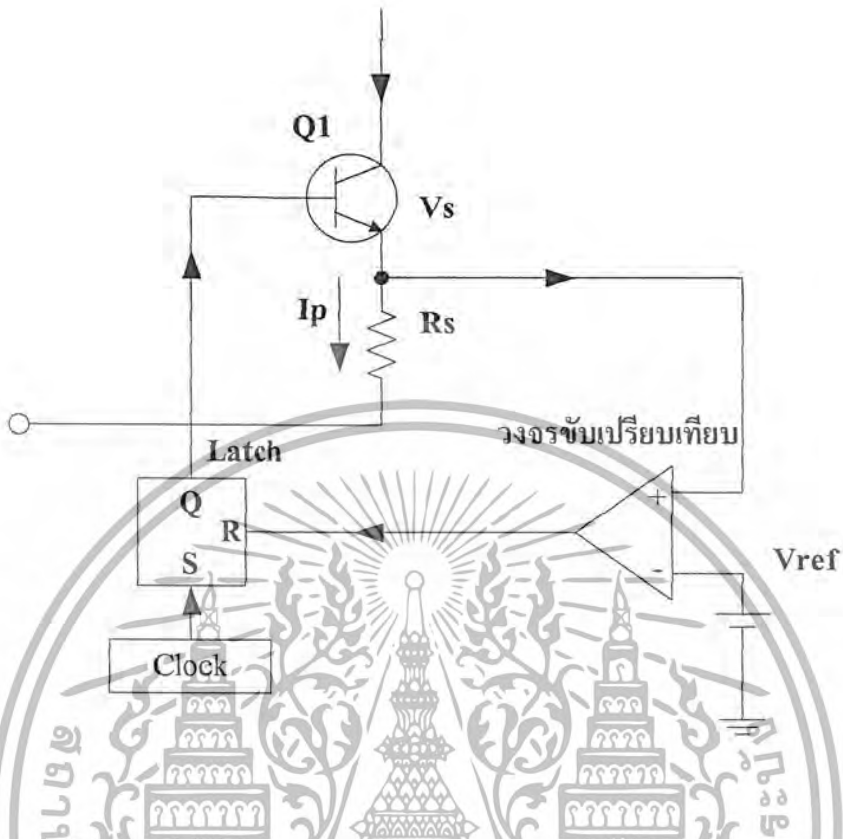
การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส มีข้อดีหลายประการนอกเหนือจาก โหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก



รูปที่ 3.14 (ก) แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส

เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อนและกำหนดขาอินเวอร์ตติ้งของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง Vref ดังรูปที่ 3.14 (ข) วงจร Latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร Latch จะมีสถานะเป็น High เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และ Q จะมีสถานะเป็น Low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



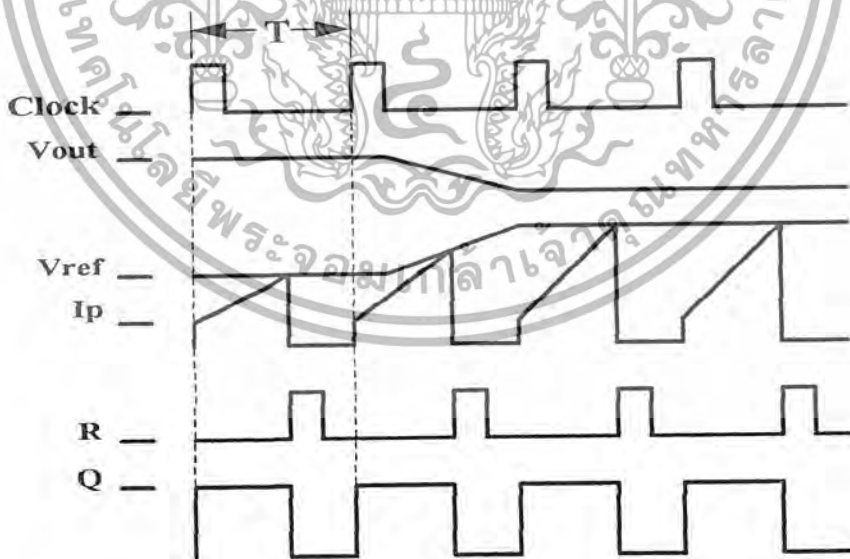
รูปที่ 3.14 (ข) แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัววงจรขยายแตกต่างออกและกำหนดแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ที่ขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบแทน

เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำหนดสัญญาณนาฬิกาที่มีความยาวคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของวงจร Latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น High เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ก็จะนำกระแสเมื่อ Q1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิและตัวต้านทาน  $R_s$  ที่ต่ออนุกรมไว้กับ Q1 ทำให้เกิดแรงดัน  $V_s$  ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน  $R_s$  ด้วย

แรงดันตกคร่อม  $R_s$  ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  โดยวงจรเปรียบเทียบ ดังนั้นเมื่อค่าของ  $V_s$  เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น High และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร Latch ทำให้ค่า Q มีสถานะเป็น Low และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจร Latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ที่ขา Q ของวงจร Latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน  $V_s$  ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน  $R_s$  นั้นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน  $V_s$  จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเวลานำกระแสได้น้อยลง ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน  $V_s$  จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสได้มากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโหนดคงที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลา นำกระแสมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน  $V_s$  มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลา นำกระแสลดลงด้วยลักษณะรูปคลื่น และแรงดันขณะทำงานจะเป็นดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรควบคุมใน โหมคควบคุมจากกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมคควบคุมจากกระแสมีขีดดีกว่า วงจรควบคุมในโหมคควบคุมจากแรงดัน ดังนี้คือ

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทเมื่อเกิดทรานเซียนลและการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุท เพราะไม่ต้องรอสัญญาณการป้อนกลับจากเอาท์พุท

2. สามารถป้องกันกระแสไหลลคเกินได้ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงที่ขบปฐมภูมิในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว

3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชั่นที่ดีมาก

4. สามารถต่อขานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้นและกระแสที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

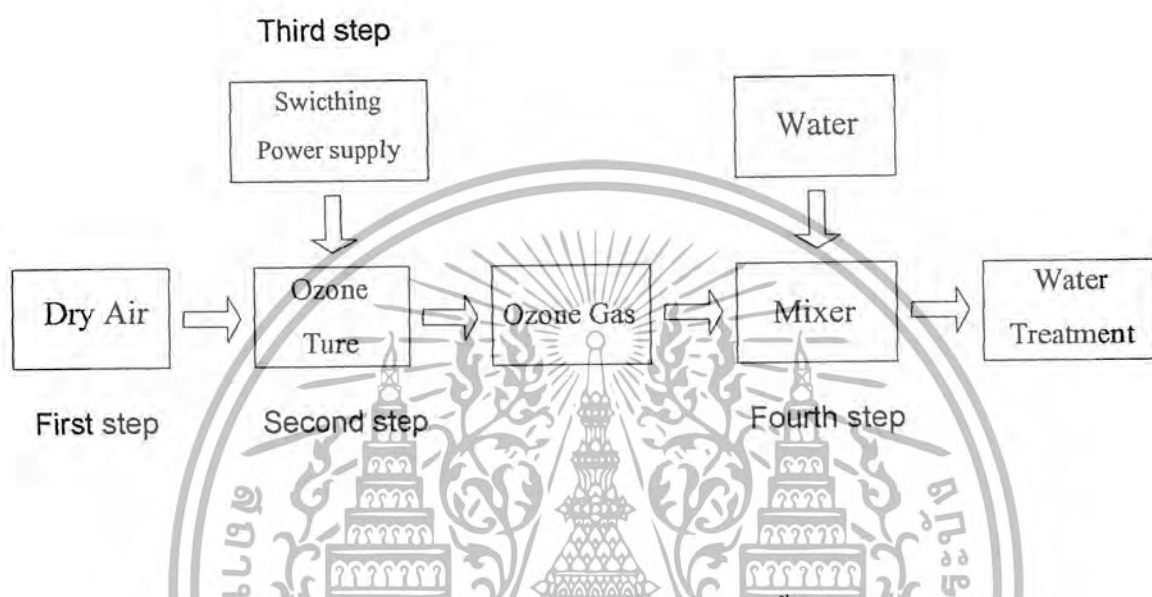


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### หลักการงานและการออกแบบระบบผลิตน้ำโอโซน

#### 4.1 การทำงานของระบบผลิตน้ำโอโซน



รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของระบบผลิตน้ำโอโซน

จากรูปที่ 4.1 จะเป็นขั้นตอนการกำเนิดโอโซน โดยแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ในขั้นตอนที่ 1 ตามรูปนั้น เป็นการสร้างอากาศโดยใช้ปั๊มอากาศ Pump Dry air เพื่อที่จะนำไปใช้โดยจะป้อนอากาศที่ได้มานั้นให้ไหลผ่านไปยังหลอดกำเนิดโอโซนที่สร้างไว้แล้ว

2. ในขั้นตอนที่ 2 ตามรูปนั้นเป็นการสร้างหลอดกำเนิดโอโซน ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุดขั้นตอนหนึ่ง การที่เราจะสามารถสร้างหลอดกำเนิดโอโซนขึ้นมาได้นั้น เราจะต้องทำการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างให้เหมาะสม โดยวัสดุที่เราเลือกนำมาใช้นั้น เราได้ทำการเลือกโดยใช้ขั้วโลหะ ( ในที่นี้ใช้ขั้วทองแดง ) มาทำเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยมีหลอดแก้วเป็นไดอิเล็กตริก และมีตะแกรง ( มุ้งลวด ) เป็นกรวด ซึ่งเมื่อเราทำการอัดอากาศเข้าไปในหลอดที่ได้ทำการสร้างเอาไว้ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อากาศ (  $O_2$  ) จะวิ่งผ่านสนามไฟฟ้าค่าสูงที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่จะกล่าวถึงในข้อถัดไป โดยอากาศจะแตกตัวเป็น  $O_2$  อะตอม และจะไปรวมกับออกซิเจน (  $O_2$  ) กลายเป็นก๊าซโอโซน (  $O_3$  )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในขั้นตอนที่ 3 ตามรูปนั้นเป็นการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่ง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับหลอดกำเนิดไอโซน ซึ่งข้อดีของการเลือกใช้แหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่งนั้นได้กล่าวไว้แล้ว ซึ่งการใช้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นข้อดีอย่างหนึ่งคือสามารถใช้กับความถี่สูงได้เป็นอย่างดี และนอกจากนี้ยังให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง น้ำหนักเบาและสามารถปรับความถี่ในการทำงานเพื่อกำหนดปริมาณ ไอโซน ได้อีกด้วย

4. ในขั้นตอนที่ 4 ตามรูปนั้นเป็นการนำก๊าซไอโซนไปผสมกับน้ำโดยในขั้นตอนนี้สามารถเลือกใช้การใส่ก๊าซไอโซนลงในน้ำได้หลายวิธี ซึ่งในปฏิญญาพนธ์เล่มนี้เป็นกรนำเสนอวิธีการ 2 วิธี คือ 1. การนำก๊าซไอโซนผสมกันน้ำด้วยหัวทราย (ฟองฟู) 2. 1. การนำก๊าซไอโซนผสมกันน้ำด้วย Venturi tube เพื่อทดสอบว่าวิธีการใดได้ประสิทธิภาพมากกว่ากัน

#### 4.2 การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่ง

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่งที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันที่รับเข้ามาจะเป็นแรงดันไฟสลับ 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิรท์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังวงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ซึ่งใช้ไดโอดจำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสให้ได้แรงดันไฟตรงขนาด 310 โวลท์และผ่านมายัง C ฟิลเตอร์เพื่อทำให้ระดับแรงดันเรียบ และยังทำหน้าที่ในการแบ่งแรงดันให้กับเพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 2 ตัว ให้เท่ากันด้วย เพราะ C มีค่าเท่ากันและคือ R 120k เพื่อทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟตรงอินพุตให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันคือประมาณ 155 โวลท์ ซึ่งตกคร่อมมอสเฟตโดยมอสเฟตจะสลับการทำงานที่ละตัวตามลักษณะวงจรฮา์ฟบริดจ์ และช่วงที่จะให้มอสเฟตทำงานจะถูกควบคุมตามวงจรควบคุมที่ผลิตจาก TL 494

วงจรควบคุมจะอาศัย TL 494 เป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวผลิตสัญญาณที่ไปควบคุมที่ทำให้มอสเฟตในวงจรคอนเวอร์เตอร์สลับกันนำกระแสโดยที่ TL 494 เป็นวงจร PWM : Pulse Width Modulation ที่ผลิตความถี่เอาต์พุตออกมาที่ขา 8 และขา 11 ซึ่งมีความต่างเฟส 180 องศาโดยเราจะสามารถปรับความถี่ที่ผลิตจาก R ที่ขา 6 และ C ที่ขา 5 และสัญญาณที่ผลิตออกมาจะต้องทำการหาค่าของ DEAD TIME เพื่อเวลาส่วนนี้ไว้เพราะคุณสมบัติของมอสเฟตที่ว่ากรหน่วงของสัญญาณถ้าเราไม่เผื่อเวลาส่วนนี้อาจทำให้มอสเฟตเสียหายได้และเราสามารถกำหนดค่า DEAD TIME ได้ที่ขา 4 ส่วนขา 8 และขา 11 จะเป็น output open collector เพราะฉะนั้นเราต้องต่อ R 1k เพื่อให้กำหนดกระแสมากพอที่จะผ่านเข้าไปยัง IC MC 14049 ซึ่งจะทำหน้าที่ขับมอสเฟตจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF 9540 และ IRF 540 ที่ต่อในลักษณะ Complementary โดยตัวมอสเฟตทั้งคู่นี้จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์นั่นเอง จากนั้นแล้วจะส่งไปยังหม้อแปลงเพื่อขับปลั๊กสัญญาณส่งต่อไปยังมอสเฟต โดยสัญญาณหม้อแปลงจะมีหน้าที่ไปขับมอสเฟตที่ขาเกต การที่จะใช้มอสเฟตทำงานผลัดกันทีละตัวก็สามารถทำได้โดยการผันหม้อแปลงให้จำนวนสองขด ซึ่งแต่ละขดจะต้องพันให้มีเฟสตรงกันข้ามกัน 180 องศา

ส่วนเอาต์พุตที่ต่อวงจรรีโซแนนซ์ที่ขาของมอสเฟตที่ถูกควบคุมการสวิตช์ที่ขาเกตมาแล้ว จะทำให้แรงดันส่วนนี้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ในการที่เรานำวงจรรีโซแนนซ์มาต่อเพื่อเปลี่ยนให้เป็นรูปสัญญาณไซน์ โดยวงจรรีโซแนนซ์จะเป็นลักษณะวงจรมอดพัส ถ้าความถี่ที่เข้ามาไม่ใช่ความถี่เดียวกับความถี่รีโซแนนซ์จะทำให้แรงดันมีขนาดลดลง จากหลักการนี้ถ้าวงจรควบคุมผลิตความถี่ตรงกับความถี่รีโซแนนซ์จะทำให้ได้แรงดันสูงสุด จากการที่เราได้สัญญาณที่ผ่านรีโซแนนซ์แล้วซึ่งเป็นรูปไซน์จะถูกส่งผ่านเข้าหม้อแปลง และเราสามารถเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันเอาต์พุตได้จากการผันจำนวนรอบของหม้อแปลงได้ตามต้องการ และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากหม้อแปลงเป็นรูปสัญญาณไซน์นั้นสามารถนำไปใช้ได้ ถ้าหากต้องการเป็นไฟกระแสตรงก็สามารถทำได้โดยผ่านวงจรเรกติไฟต์เพื่อให้เป็นสัญญาณไฟตรงก่อนนำไปใช้งาน

#### 4.3 การออกแบบสวิตชิงพาวเวอร์ซัพพลาย ( Switching Power Supply )

##### 4.3.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์การทำงานของวงจรกำหนดจากค่าของตัวเก็บประจุ (C1 และ C2) ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุต แรงดันตลอดรอบตัวเก็บประจุ (C1 และ C2) จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเพาเวอร์มอสเฟต (Q1 และ Q2) จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลา และพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟสูงความถี่สูงตามที่ต้องการเพื่อส่งต่อไปยังภาคเอาต์พุตรีโซแนนซ์ต่อไป

### 4.3.2 วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลส์

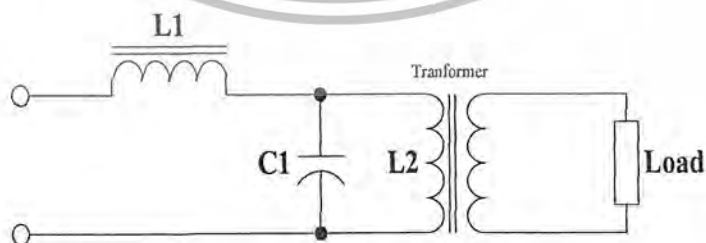
วงจรที่ใช้สร้างและควบคุมความกว้างพัลส์โดยมีไอซี TL494 ทำหน้าที่หลักในการสร้างพัลส์ไปควบคุมคอนเวอร์เตอร์ และรับแรงดันจากไอซี LM324 ซึ่งทำหน้าที่ในการป้อนกลับมา ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น จากการทำงานของไอซี TL494 เป็นวงจร PWM ซึ่งความถี่ควบคุมที่ออกจากขา 6 คาบเวลาการทำงานของเขาที่พัลส์ สามารถกำหนดได้จากค่า  $R_T$  และ  $C_T$  ดังสมการที่ 4.1 คาบเวลาการทำงานที่ออกจากขา 5 และขา 6 ของไอซี TL494 กำหนดได้จาก ( การต่อ  $R_T$  และ  $C_T$  ดูได้จากภาคผนวก )

$$T = \frac{(R_T * C_T)}{1.1} \quad (4.1)$$

การกำหนดค่าเวลาเพื่อ (Dead time) TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนด ค่าเวลาเพื่อของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 - 3.3 โวลต์เข้าที่ขา 4 ของไอซี TL494 ซึ่งในโครงการนี้การกำหนดความกว้างพัลส์จะสัมพันธ์กับค่าเวลาเพื่อ โดยความกว้างพัลส์จะควบคุมผ่าน VR 10k กำหนดแรงดันให้ Op-Amp จากไอซี LM324 ซึ่งจะให้โฟลปเข้าที่ขา 6 ของไอซี TL494 เพื่อกำหนดความกว้างของพัลส์หรือได้ความถี่ตามต้องการและพัลส์ออกมาที่ขา 8 และขา 11 เพื่อนำไปควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์

### 4.3.3 วงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์

วงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นการต่อ LC แบบผสมดังรูปที่ 4.2 ซึ่งการต่อแบบนี้เพื่อส่งผลให้การควบคุมแรงดันเอาต์พุท สามารถควบคุมได้จากความถี่ที่ป้อนให้กับส่วน ของวงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์ ซึ่งที่ความถี่ค่าหนึ่งจะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุทสูงสุด ซึ่งการคำนวณความถี่รีโซแนนซ์นี้สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.2)



รูปที่ 4.2 วงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_o = \frac{\sqrt{(L_1 + L_2)}}{2\pi(C_1 * L_1 * L_2)} \quad (4.2)$$

จากวงจร

$$L_1 = 0.2 \text{ mH}$$

$$L_2 = 6.5 \text{ mH}$$

$$C_1 = 0.15 \text{ uF}$$

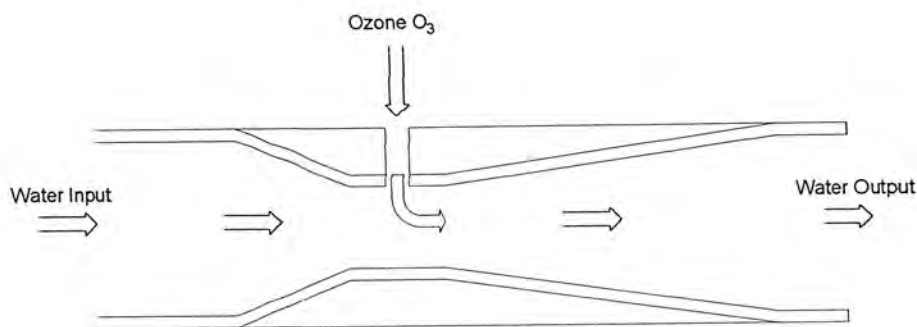
เพราะฉะนั้น

$$\text{ความถี่รีโซแนนซ์เท่ากับ } f_o = 29.32 \text{ kHz}$$

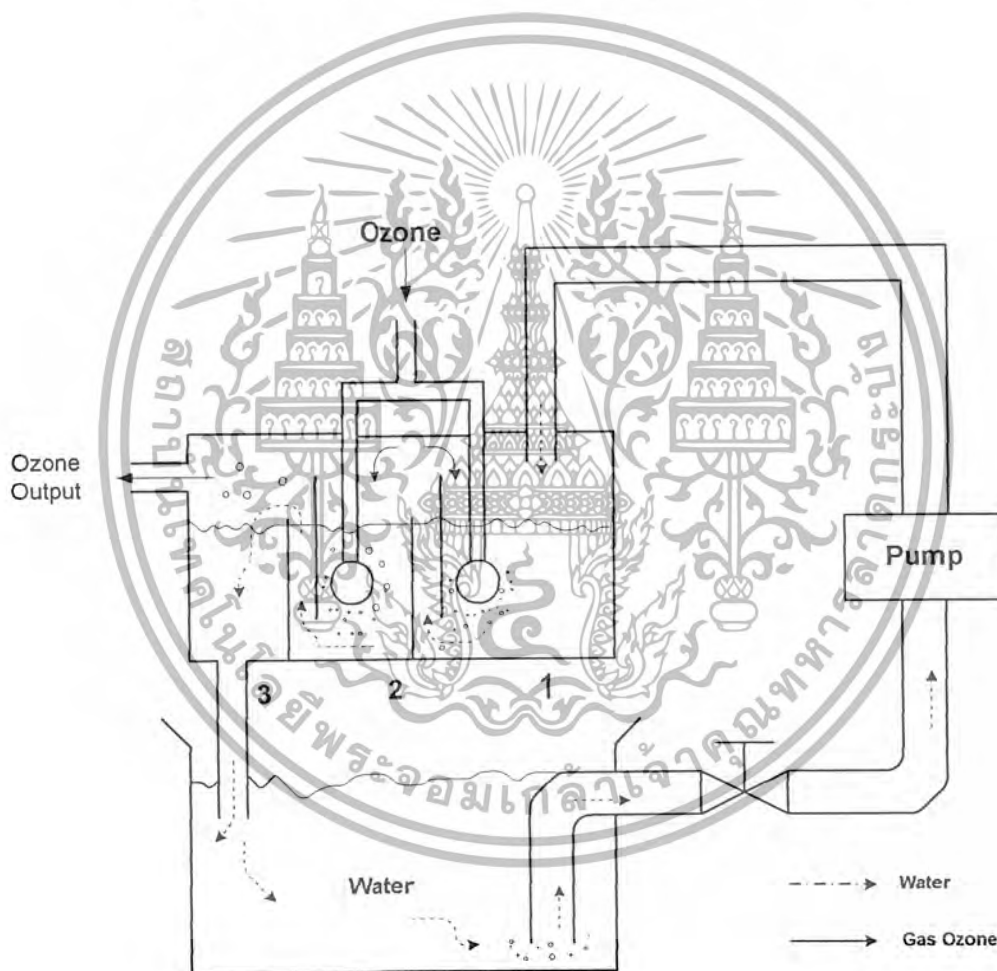
#### 4.4 หลักการออกแบบและการทำงานของระบบผสมระหว่างก๊าซโอโซนกับน้ำ

4.4.1 จากรูปที่ 4.4 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำโอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู) ได้ทำการออกแบบถังใบที่ 2 เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ 1 , ส่วนที่ 2 , ส่วนที่ 3 โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 ที่บรรจุน้ำไว้จากการสูบของปั้มน้ำเข้ามายังระบบ ( Mixer ) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำเข้าด้วยกันคือ หัวทราย (ฟองฟู) หลังจากทำการผสมระหว่างก๊าซโอโซนกับน้ำเรียบร้อยแล้ว น้ำจะไหลเข้ามายังถังที่ 1 ซึ่งก๊าซโอโซนที่เหลือจากการผสมก็จะปล่อยทิ้ง (Ozone output )

4.4.2 จากรูปที่ 4.5 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำโอโซนด้วย Venturi tube โดยน้ำจากการสูบของปั้มน้ำจะเข้ามาทาง Venturi tube น้ำก็จะไหลผ่านตัวผสม (Venturi Tube ) เพื่อมารวมกับก๊าซโอโซนทางด้านบน (Ozone input ) โดยอาศัยหลักการของแรงดันที่เท่ากันทั้ง 2 ด้าน คือ เมื่อน้ำที่มีแรงดันสูงจากการสูบของปั้มน้ำไหลผ่านเข้ามานั้นจะทำให้เกิดแรงดันที่มีค่าต่ำภายในช่องทางไหลของน้ำ ซึ่งระบบตัวผสม (Venturi Tube ) จะทำการดูดเขยแรงดันโดยจะดูดก๊าซโอโซนจากทางด้านบนของ (Venturi Tube ) เข้ามา จึงทำให้เกิดการผสมระหว่างก๊าซโอโซนกับน้ำ ( Mixer ) โดยการออกแบบ (Venturi Tube ) นั้น เราได้ทำการกำหนดมุมทางด้านเข้าของน้ำ 21 องศา ทางด้านออก 15 องศา ( ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ) และมุมทางเข้าของโอโซน 90 องศา ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ส่วนทางน้ำไหลเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.

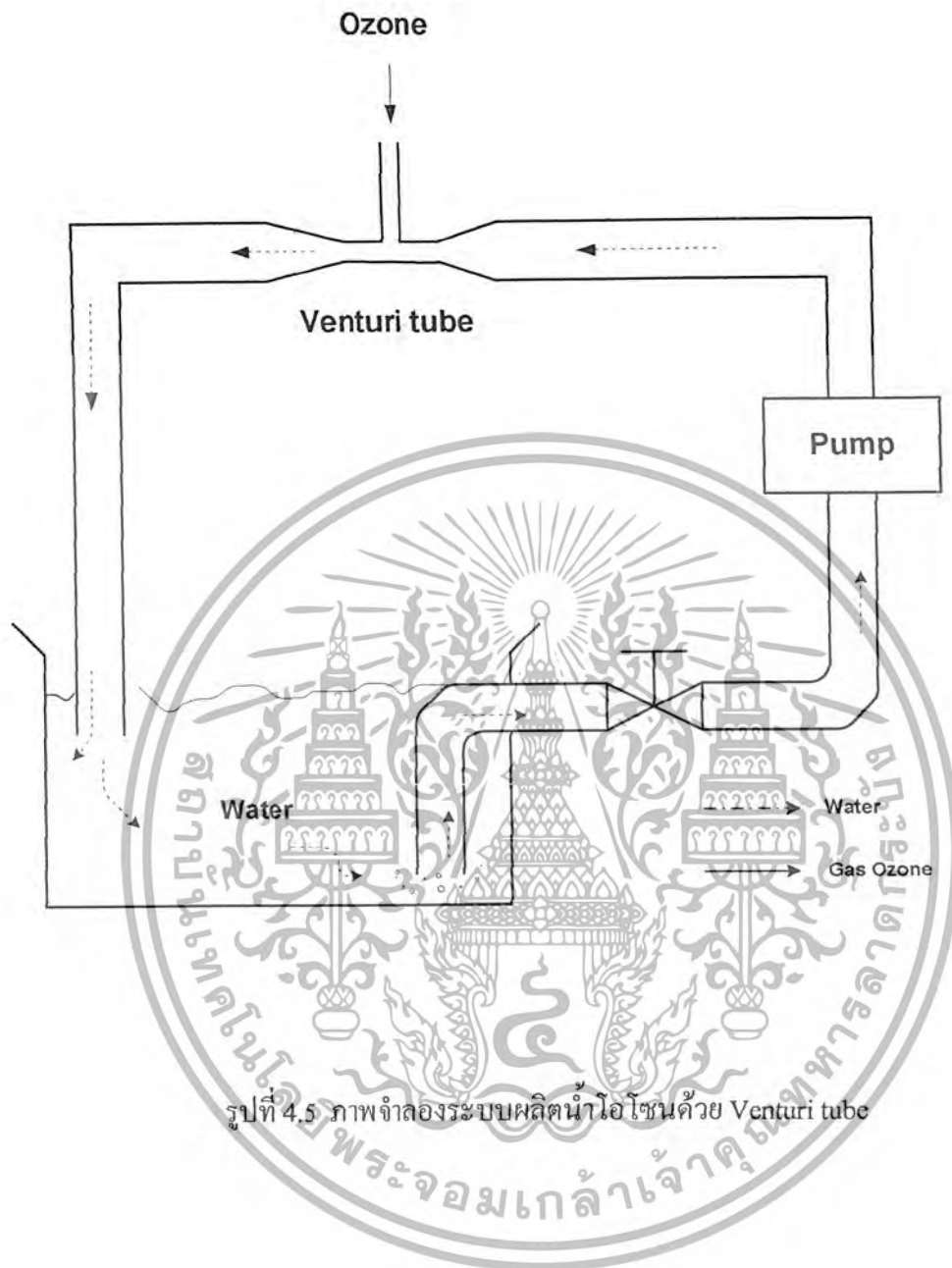


รูปที่ 4.3 แสดงตัวผสมก๊าซโอโซนกับน้ำด้วย (Venturi Tube)



รูปที่ 4.4 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำโอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพจำลองระบบผลิตน้ำโอโซนด้วย Venturi tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

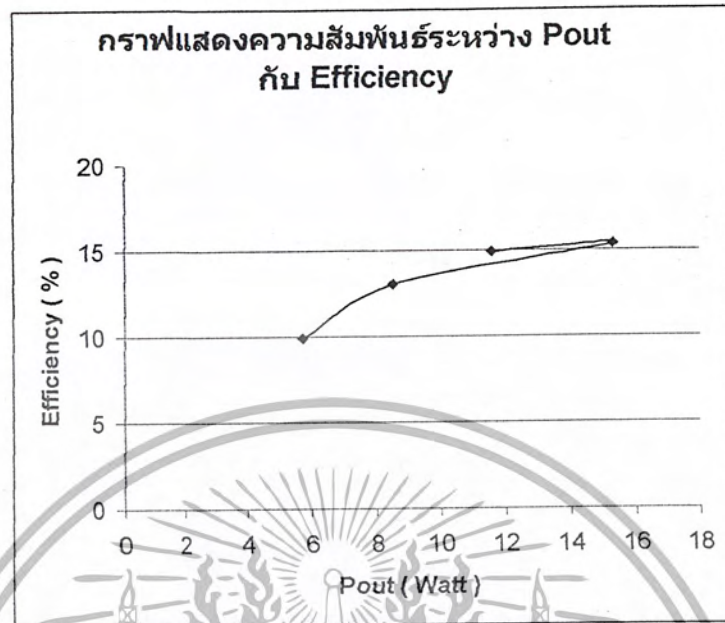
## ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

## 5.1 การทดลองผลการทดลอง

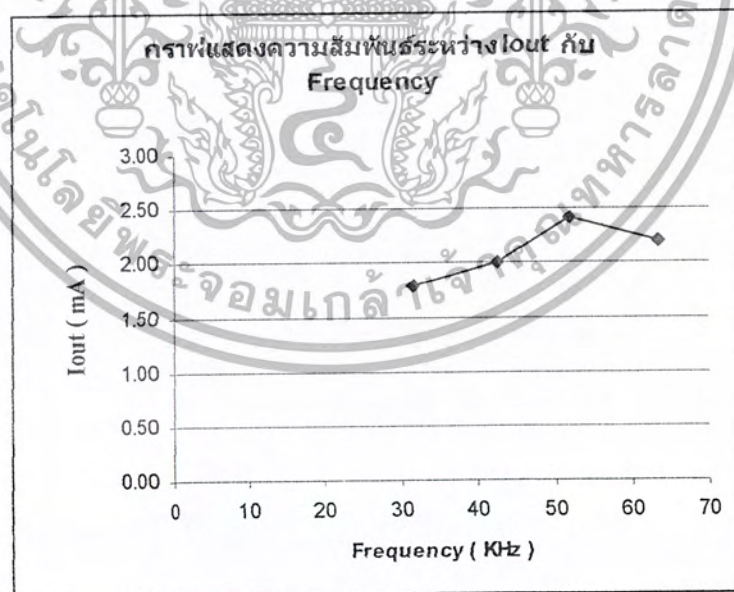
ผลจากการทดลองชุดหลอดกำเนิดไอโซน 1 หลอด ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

ความถี่ (KHz)	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (mA)	Pout (w)	Eff (%)
31.64	311	0.186	57.84	3172.50	1.80	5.71	9.87
42.53	311	0.210	65.31	4268.30	2.00	8.54	13.07
51.76	311	0.320	99.52	6346.80	2.41	15.29	15.36
63.29	311	0.250	77.75	5267.40	2.20	11.58	14.89

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากหลอดกำเนิดไอโซน

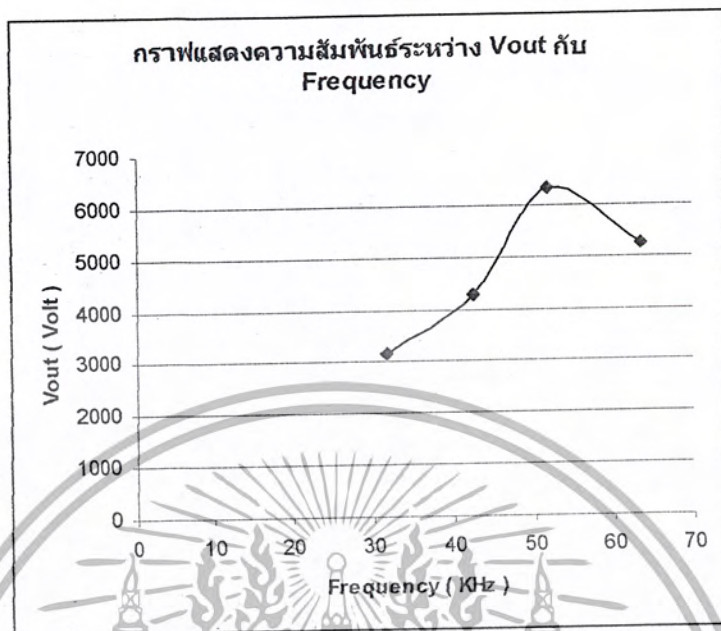


กราฟที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pout กับ Efficiency

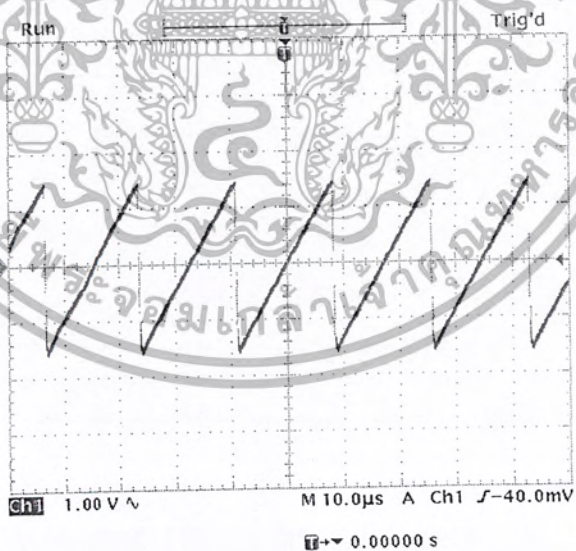


กราฟที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Iout กับ Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

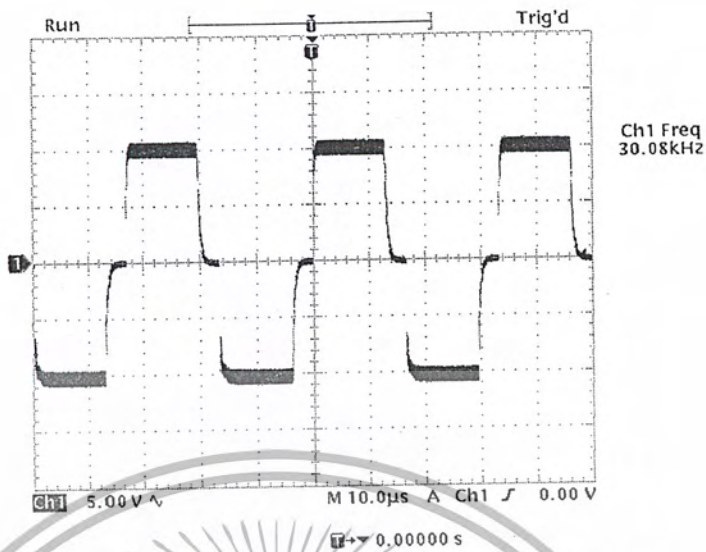


กราฟที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vout กับ Frequency

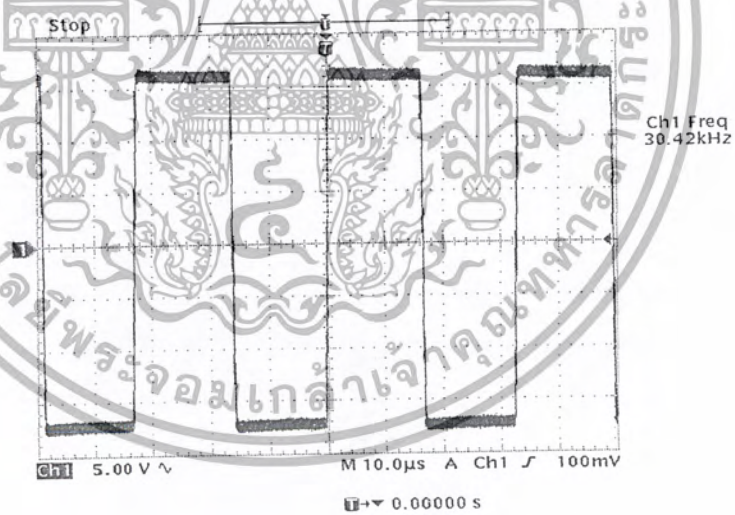


รูปที่ 5.1 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 5 ของ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

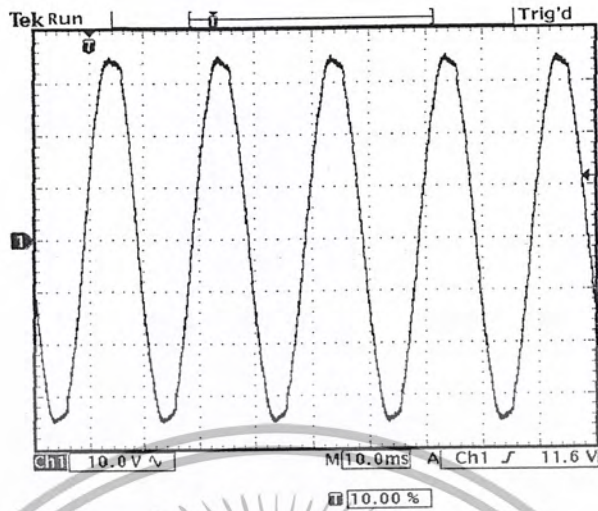


รูปที่ 5.2 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 และ 11 ของ TL494



รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่มอสเฟตก่อนเข้าวงจรรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่วงจรีโซแนนซ์

ขั้นตอนต่อมา คือ การนำเอาชุดกำเนิดไอโซนมาทำการร่วมกับระบบผลิตน้ำไอโซน ซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ 2 ระบบ เพื่อจะทำการทดสอบว่าระบบแบบใดมีการผสมน้ำกับไอโซนได้ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเริ่มจาก

ขั้นตอนการทดลองระบบผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู)

1. ถังใบที่ 1 เติมน้ำ 10 ลิตร
2. ทำการป้อนระบบผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู)
3. ทำการป้อน Ozone gas เข้ามาทางด้านบนของหัวทราย (ฟองฟู)
4. เริ่มทำการจับเวลาการผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไอโซนที่ต่างๆ คือ 5 , 15 , 30 นาที
5. เมื่อครบ 5 นาที ทำการคว้านน้ำจากการผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไอโซนมา 100 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย KI ( โพรแตสเซียม ไดออกไซด์ ) ที่ได้ทำการผสมกับน้ำกลั่นไว้แล้ว
6. แล้วทำการเก็บผลการทดลองจนครบตามเวลาที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดลองระบบผลิตน้ำไอโซนด้วย Venturi tube

ซึ่งทำการทดลองคล้ายกับการทดลองระบบผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู) คือ

1. ถังใบที่ 1 เติมน้ำ 10 ลิตร
2. ทำการป้อนเข้าระบบผลิตน้ำไอโซนด้วย Venturi tube
3. ทำการป้อน Ozone gas เข้ามาทางด้านบนของ Venturi tube
4. เริ่มทำการจับเวลาการผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไอโซนที่ต่างๆ คือ 5 , 15 , 30 นาที
5. เมื่อครบ 5 นาที ทำการตรวจน้ำจากการผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไอโซนมา 100 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย KI ( โพรแตสเซียม ไดออกไซด์ ) ที่ได้ทำการผสมกับน้ำกลั่นไว้แล้ว
6. แล้วทำการเก็บผลการทดลองจนครบตามเวลาที่กำหนดไว้

### 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองชุดหลอดกำเนิด ไอโซน 1 หลอดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง ที่มีผลทำให้ค่าความถี่โซแนนซ์มีค่าเปลี่ยนไปจากค่าเดิม คือ เปลี่ยนจาก 29.32 KHz ไปเป็น 51.76 KHz โดยสังเกตได้จากผลการทดลอง

1. ค่าความถี่โซแนนซ์จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการต่อหลอด ไอโซน โดยจะมีค่าความถี่โซแนนซ์ใหม่ที่ได้จากการทดลองประมาณ 51.76 KHz จะมีค่าแรงดัน และกระแสเอาต์พุตมากกว่าความถี่ในช่วงอื่นๆที่ได้ทำการทดลอง

2. จะสังเกตเห็นได้ว่าความเข้มแสง ( สีม่วง ) ของหลอด ไอโซนมีความเข้มมากที่ค่าเข้าใกล้ความถี่โซแนนซ์ และมีคลื่นของก๊าซไอโซนสูงมาก และเช่นเดียวกันความเข้มแสง ( สีม่วง ) จากหลอด ไอโซนมีความเข้มจางลงเมื่อความถี่ออกจากค่าความถี่โซแนนซ์

จากผลจากการทดลองทั้ง 2 วิธี คือ แบบการผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู) และแบบการผลิตน้ำไอโซนด้วย Venturi tube ทำให้เราทราบว่า การผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไอโซนแบบการผลิตน้ำไอโซนด้วยหัวทราย (ฟองฟู) ได้ประสิทธิภาพมากกว่าแบบการผลิตน้ำไอโซนด้วย Venturi tube ( ที่ปริมาณน้ำเท่ากันและเวลาที่เท่ากัน ) โดยสังเกตได้จากปริมาณความเข้มข้นของไอโอดีนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย KI กับน้ำที่ผสม ไอโซนแล้ว หากความเข้มข้นของไอโอดีน ( สีเหลือง ) มากก็แสดงว่าปริมาณ ไอโซนในน้ำที่ทำการผสมมีมากนั่นเอง

และในกรณีที่เราใช้วิธีการผลิตน้ำไอโซนเหมือนกัน แต่ให้เวลาเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไอโซนในน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงจึงต้องทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง

2. เนื่องจากก๊าซไอโซนมีกลิ่นจุดและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ในการทดลองควรทำการทดลองในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



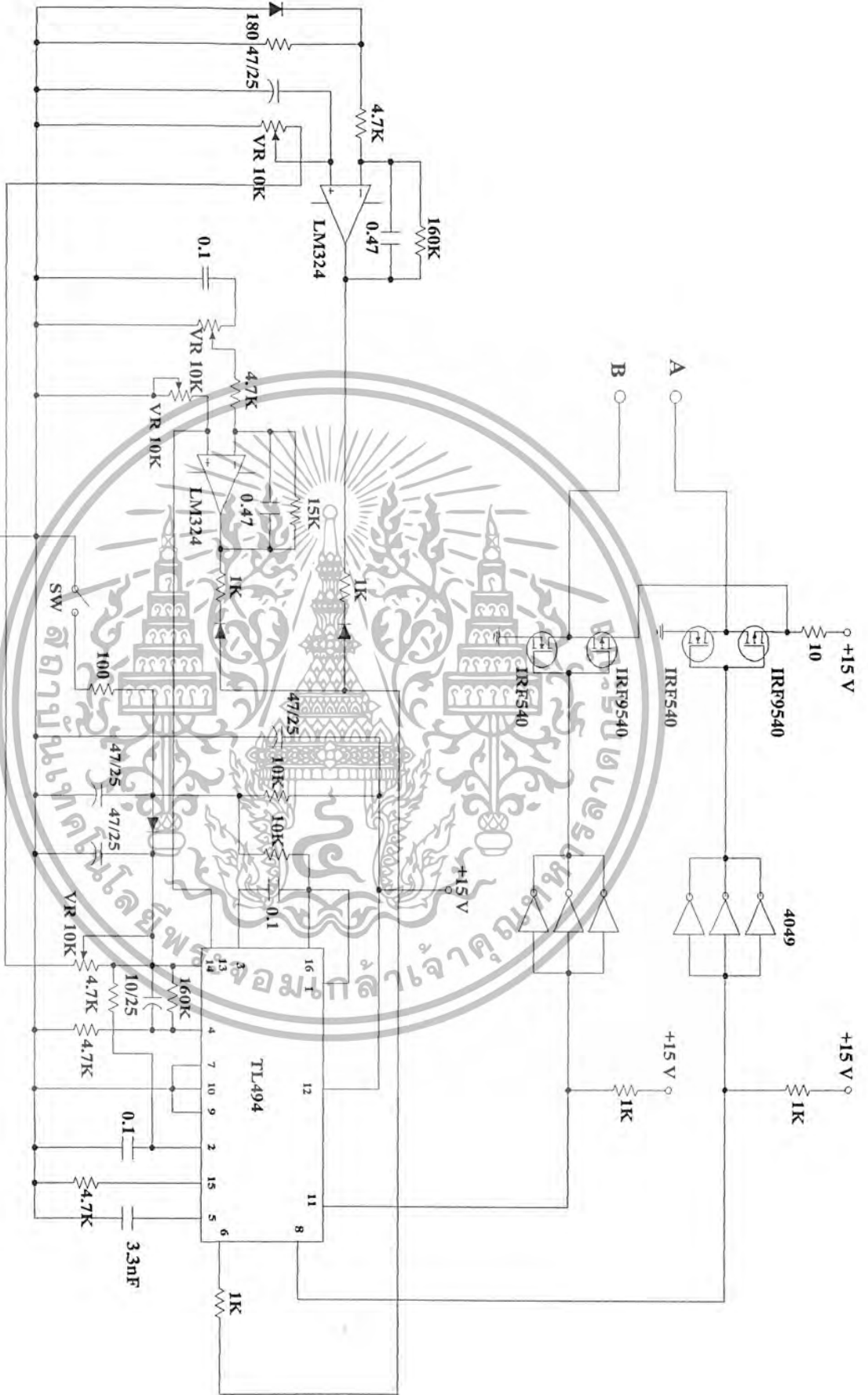
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพแสดงวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half - Bridge Converter )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพแสดงวงจรควบคุมสำหรับวงจรถักไฟ-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Half - Bridge Converter)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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.

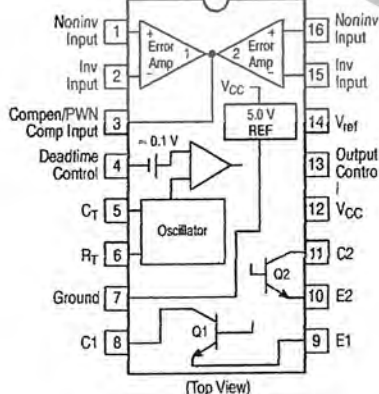
- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- 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	$T_A$		$^\circ\text{C}$
TL494B		-40 to +125	
TL494C		0 to +70	
TL494I		-40 to +85	
NCV494B		-40 to +125	
Derating Ambient Temperature	$T_A$	45	$^\circ\text{C}$

1. Maximum thermal limits must be observed.

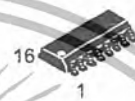
### PIN CONNECTIONS



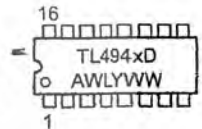
**ON Semiconductor®**

<http://onsemi.com>

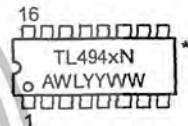
### MARKING DIAGRAMS



SO-16  
D SUFFIX  
CASE 751B



PDIP-16  
N SUFFIX  
CASE 648



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 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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  $T_A = 25^\circ$ 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.

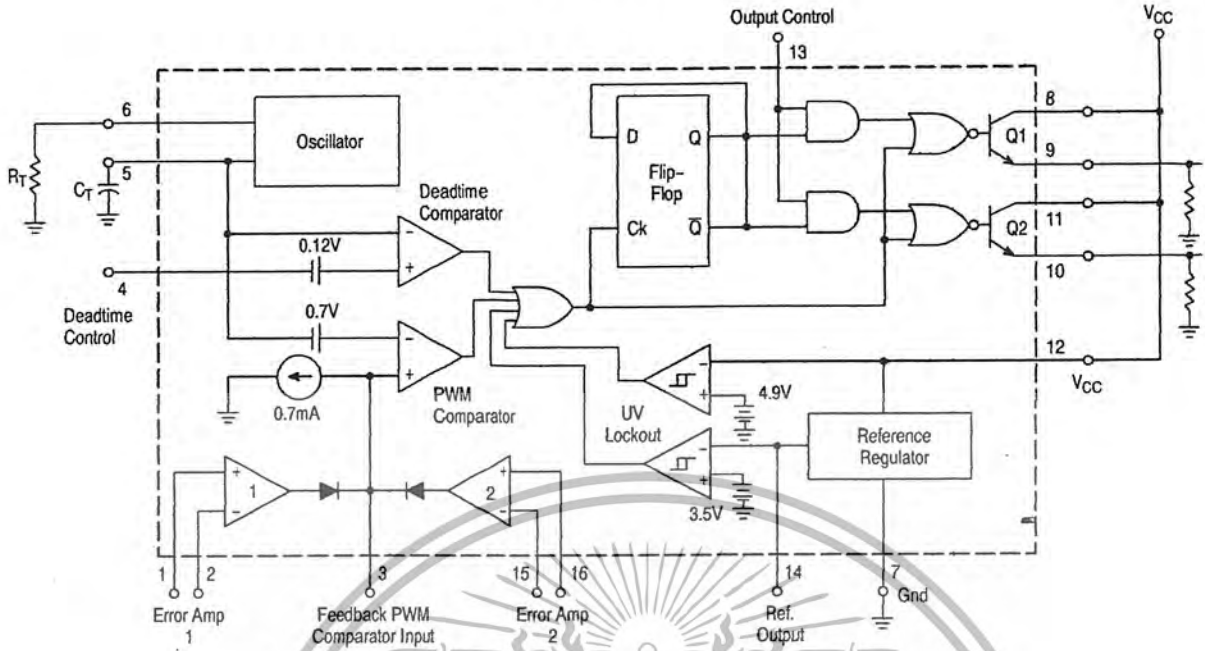
Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	–	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	–	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	–	–0.1	–1.0	$\mu\text{A}$
Input Common 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)	$V_{TH}$	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{(Pin\ 3)} = 0.7\text{ V}$ )	$I_{I-}$	0.3	0.7	–	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$ to $5.25\text{ V}$ )	$I_{IB(OT)}$	–	–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,  $\sigma$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, NCV494



This device contains 46 active transistors.

Figure 1. Representative Block Diagram

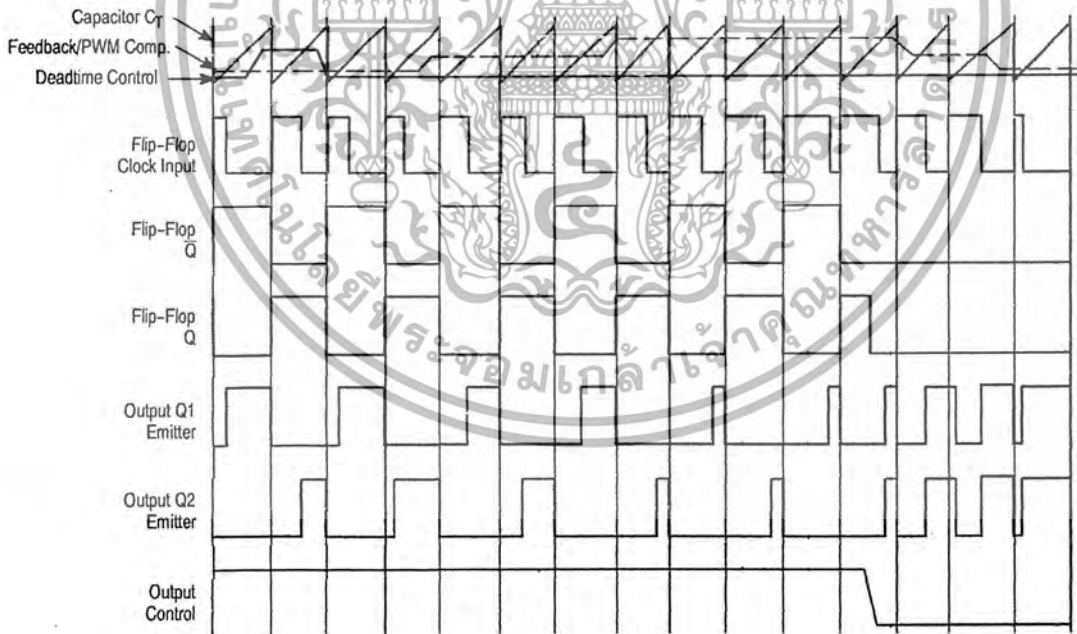


Figure 2. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Description

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

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

For more information refer to Figure 3.

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

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

Functional Table

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

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

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

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

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

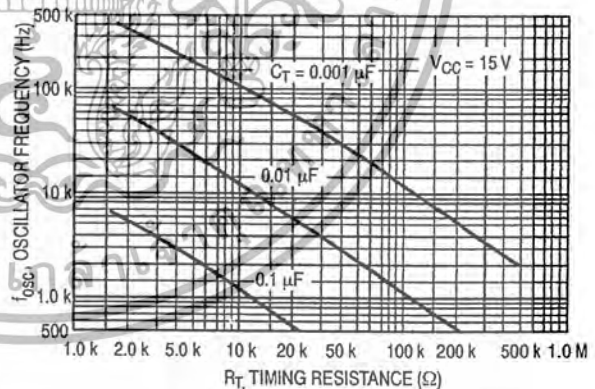


Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

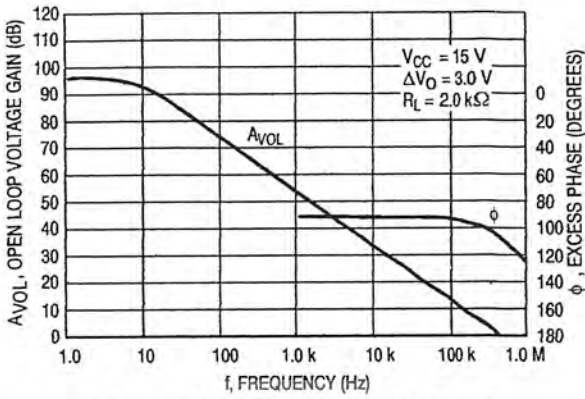


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

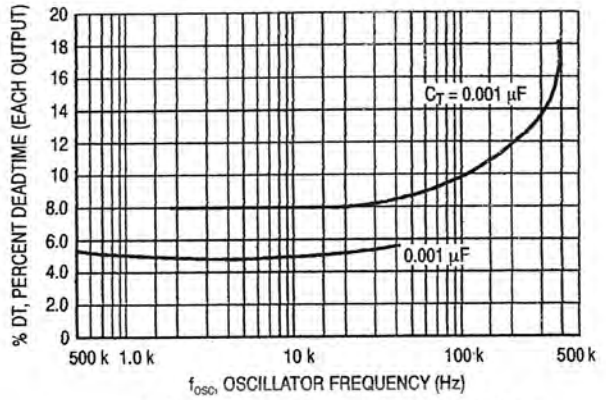


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

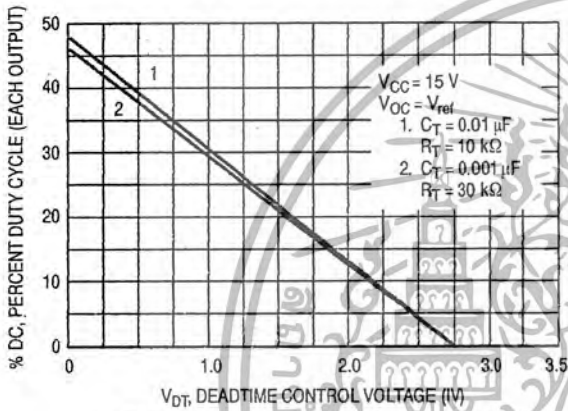


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

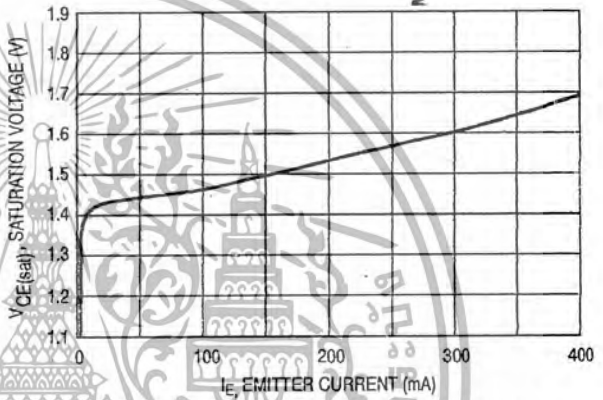


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

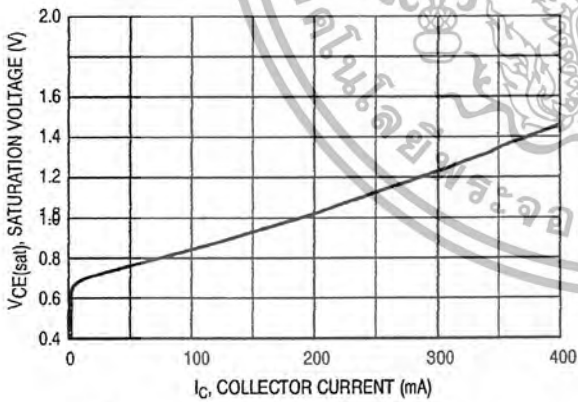


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

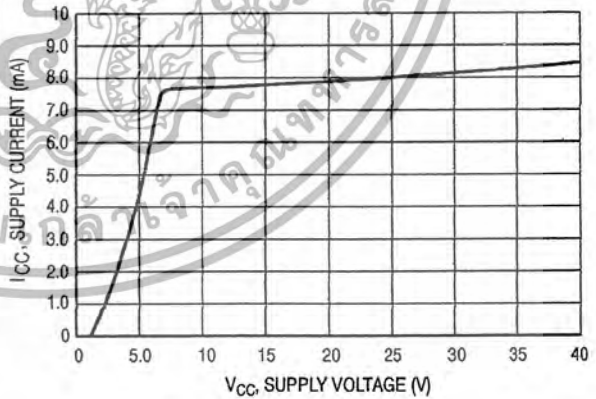


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

# TL494, NCV494

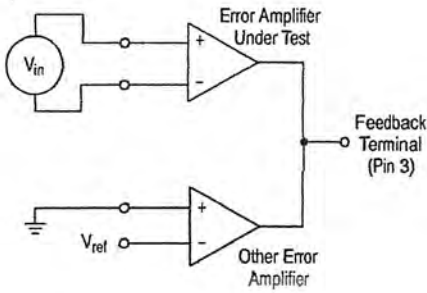


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

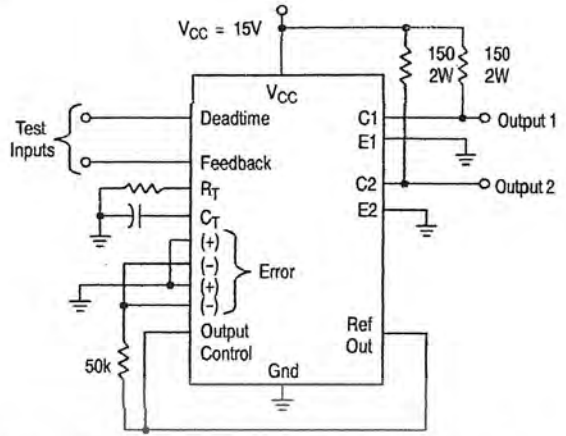


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

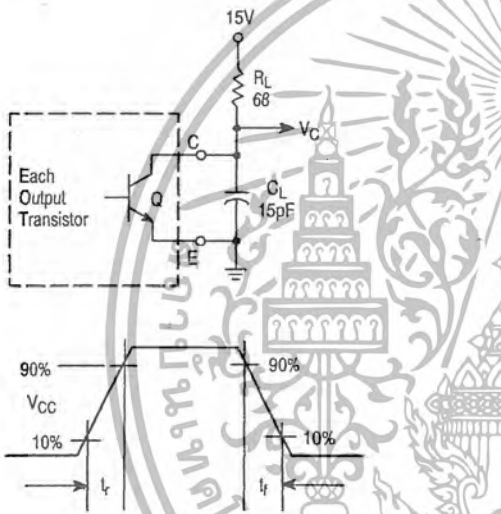


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

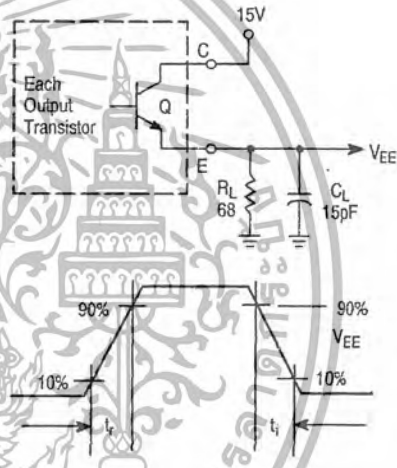


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

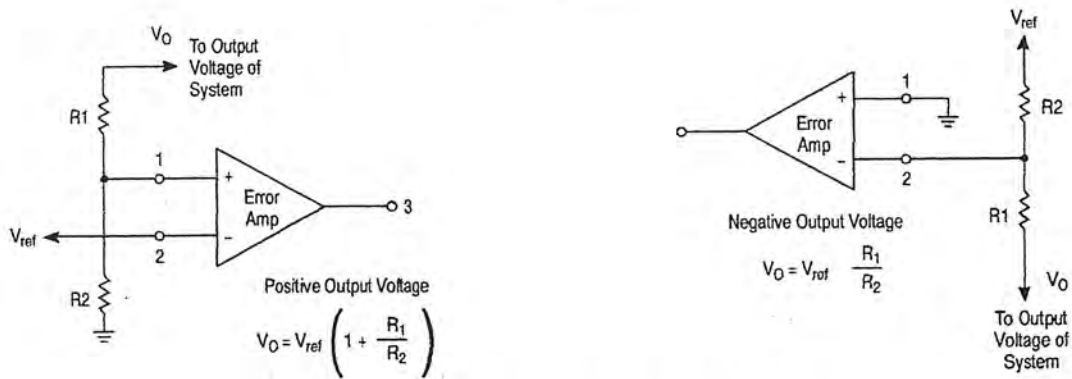


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

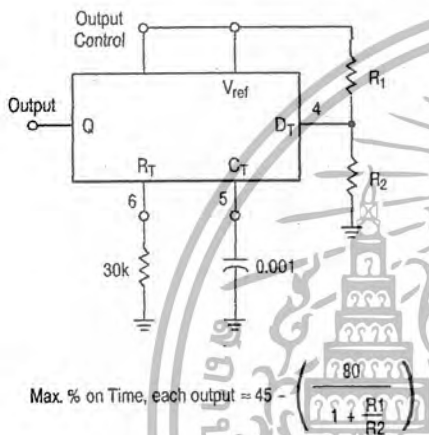


Figure 15. Deadtime Control Circuit

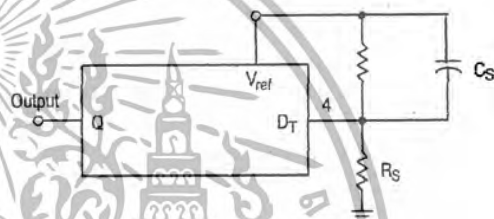


Figure 16. Soft-Start Circuit

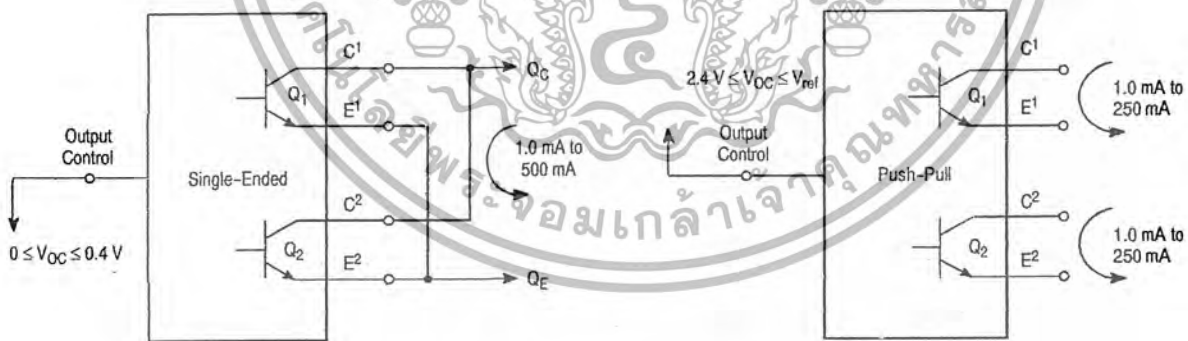


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

## TL494, NCV494

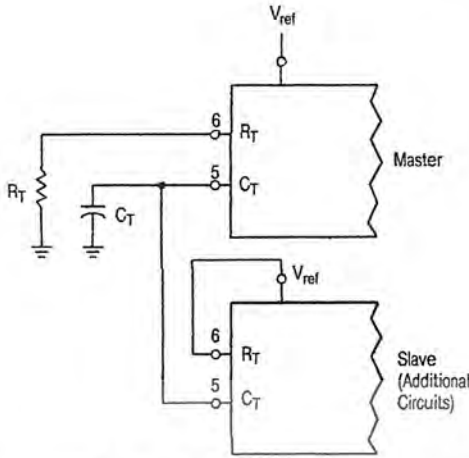


Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

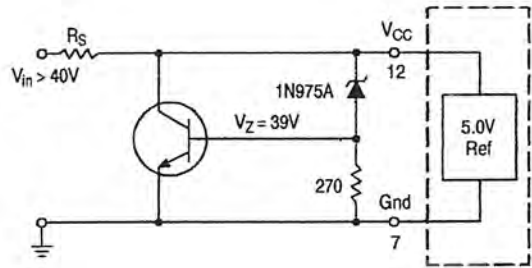


Figure 19. Operation with  $V_{in} > 40\text{ V}$  Using External Zener

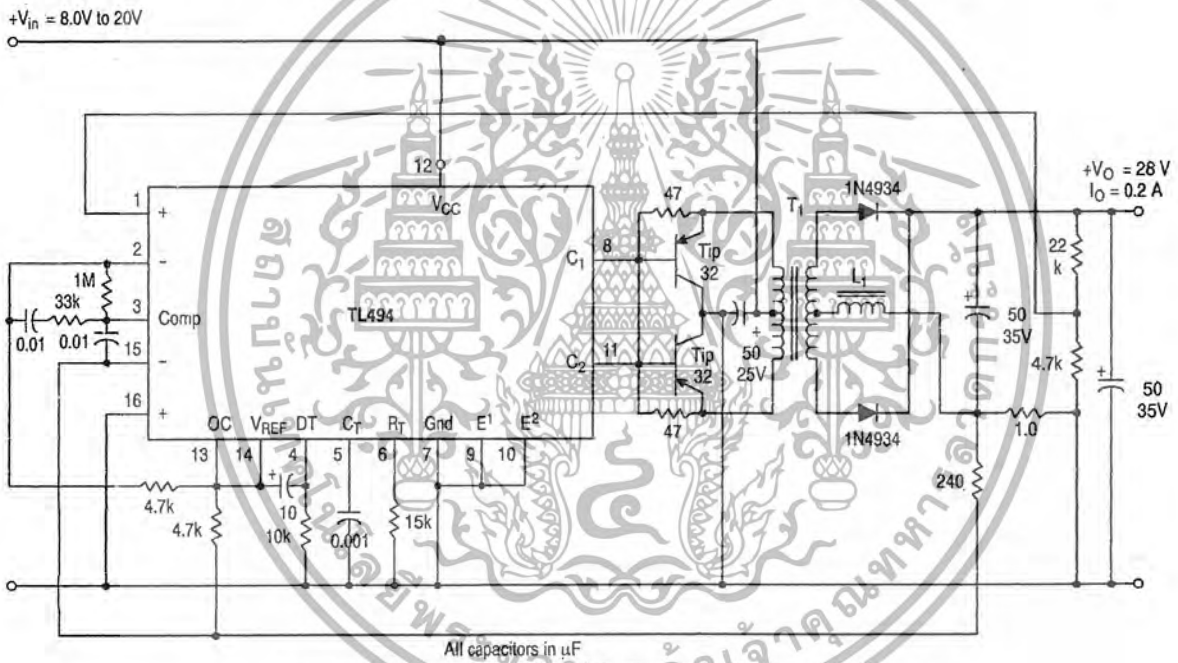


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL494, NCV494

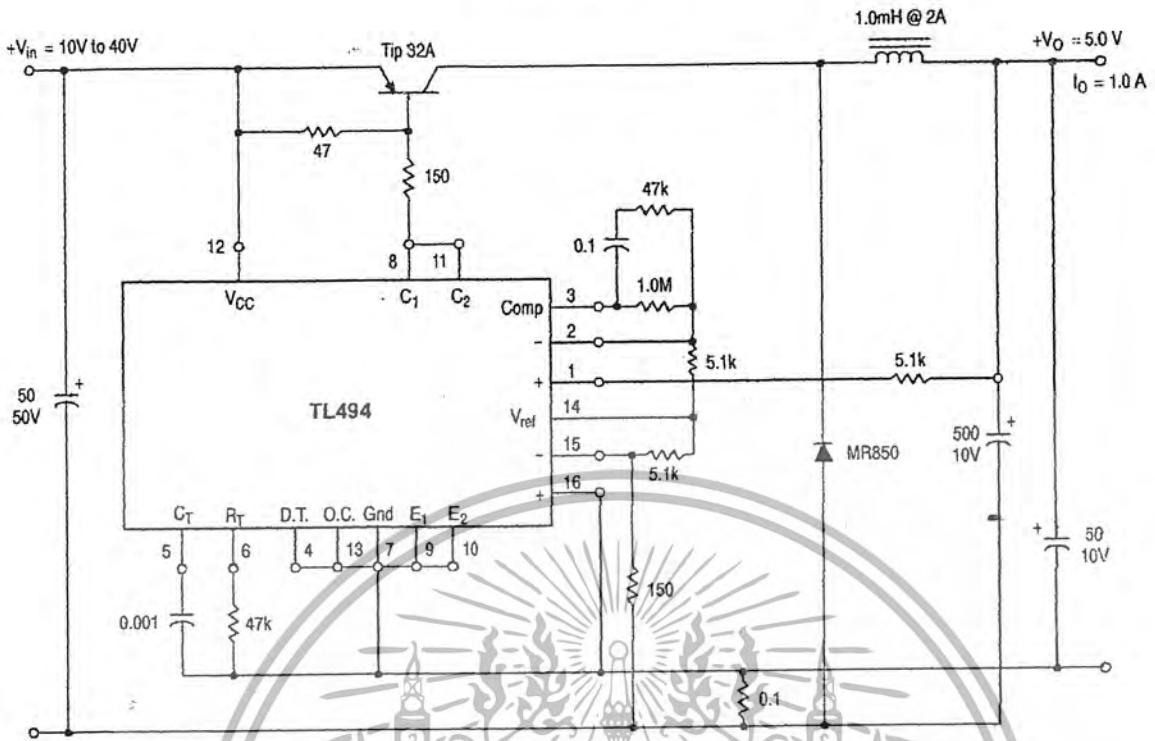


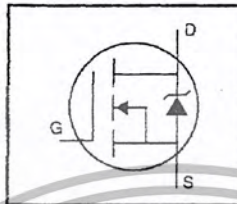
Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

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

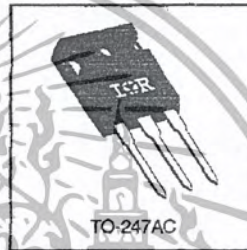


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
$I_D = 20A$

**Description**

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

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



DATA SHEETS

**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$ Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$ Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	A
$I_{DM}$ Pulsed Drain Current ①	80	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$ Power Dissipation	280	W
Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$ Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$ Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
$I_{AR}$ Avalanche Current ①	20	A
$E_{AR}$ Repetitive Avalanche Energy ③	28	mJ
dv/dt Peak Diode Recovery dv/dt ④	3.5	V/ns
$T_J$ Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

**Thermal Resistance**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$ Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Ambient	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP460



## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>D</sub> =250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> =1mA
R <sub>DSON</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V <sub>GS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =12A ②
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> =V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> =250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	13	—	—	S	V <sub>DS</sub> =50V, I <sub>D</sub> =12A ②
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> =500V, V <sub>GS</sub> =0V
		—	—	250	μA	V <sub>DS</sub> =400V, V <sub>GS</sub> =0V, T <sub>J</sub> =125°C
I <sub>CSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> =20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V <sub>GS</sub> =-20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I <sub>D</sub> =20A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	V <sub>DS</sub> =400V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	V <sub>GS</sub> =10V See Fig. 6 and 13 ④
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V <sub>DS</sub> =250V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	59	—	ns	I <sub>D</sub> =20A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	R <sub>G</sub> =4.3Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	58	—	ns	R <sub>D</sub> =13Ω See Figure 10 ④
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V <sub>DS</sub> =0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	870	—	pF	V <sub>DS</sub> =25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	f=1.0MHz See Figure 5

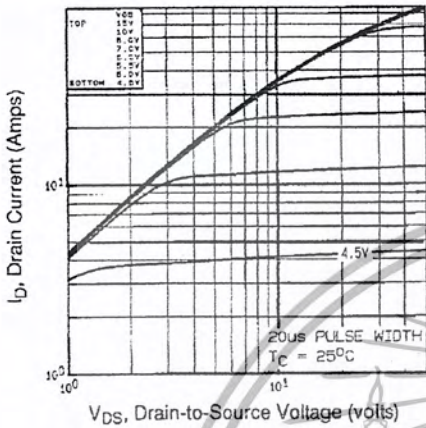
## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =20A, V <sub>GS</sub> =0V ④
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>F</sub> =20A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	dI/dt=100A/μs ④
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

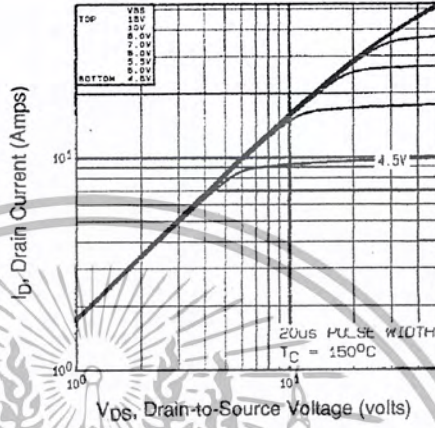
### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② V<sub>DS</sub>=50V, starting T<sub>J</sub>=25°C, L=4.3mH, R<sub>G</sub>=25Ω, I<sub>AS</sub>=20A (See Figure 12)
- ③ I<sub>SD</sub>≤20A, dI/dt≤160A/μs, V<sub>OD</sub>≤V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>J</sub>≤150°C
- ④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

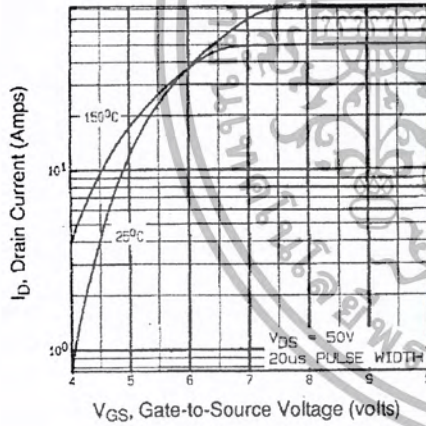


**Fig 1.** Typical Output Characteristics,  
 $T_C=25^\circ\text{C}$

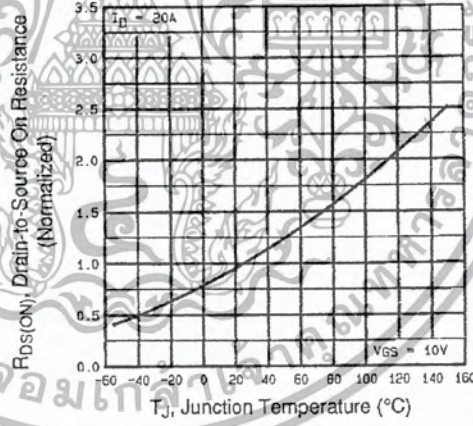


**Fig 2.** Typical Output Characteristics,  
 $T_C=150^\circ\text{C}$

DATA SHEETS



**Fig 3.** Typical Transfer Characteristics



**Fig 4.** Normalized On-Resistance  
Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

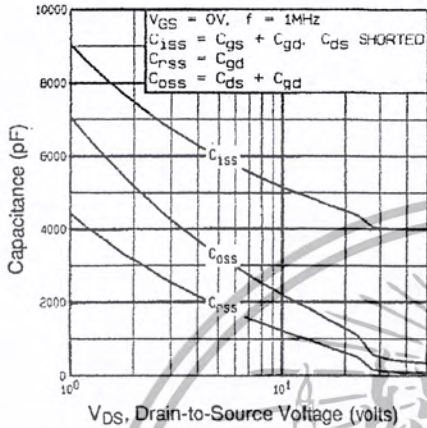


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

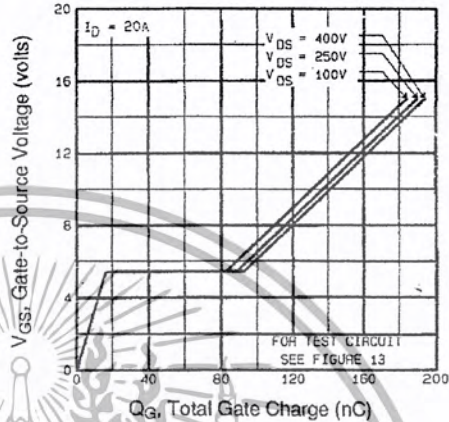


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

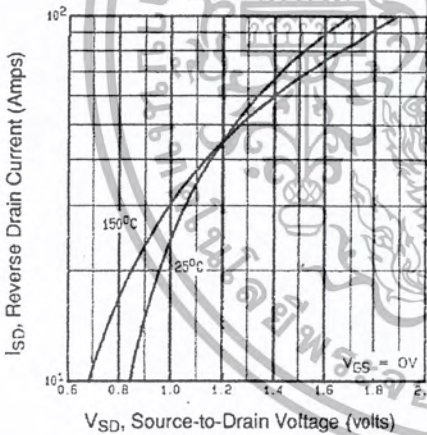


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

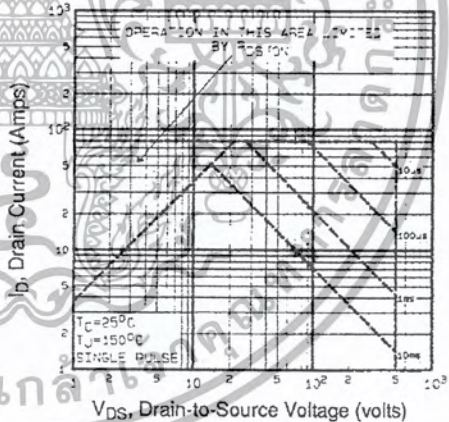


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

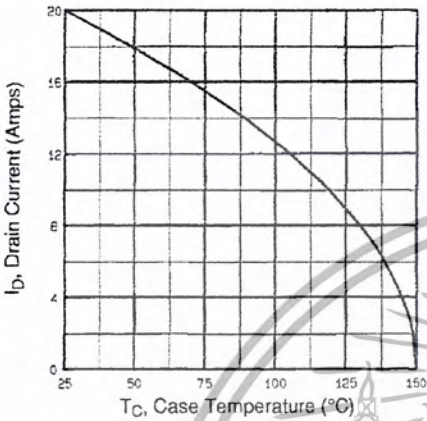


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

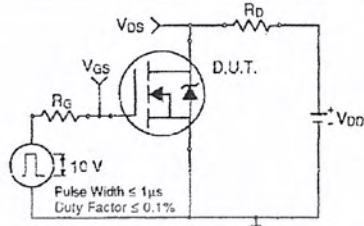


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

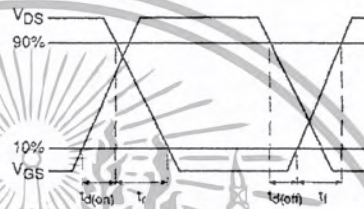


Fig 10b. Switching Time Waveforms

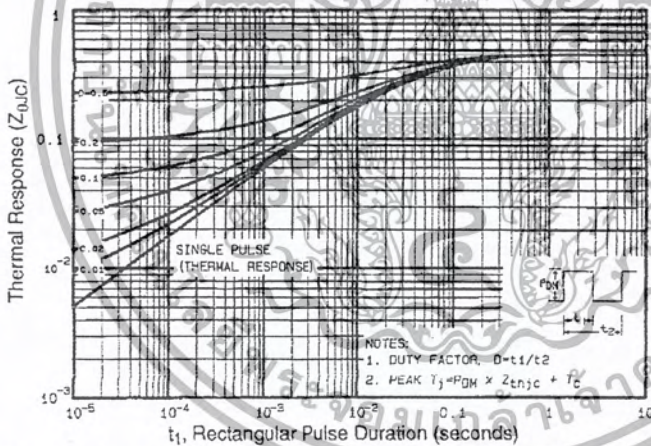


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

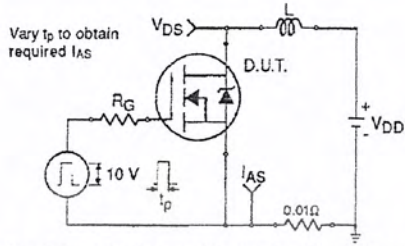


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

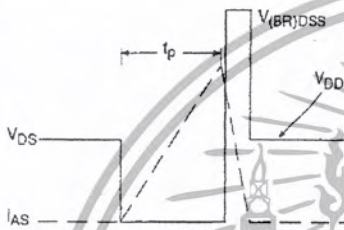


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

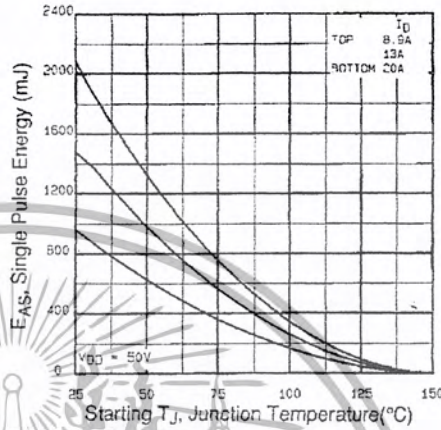


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

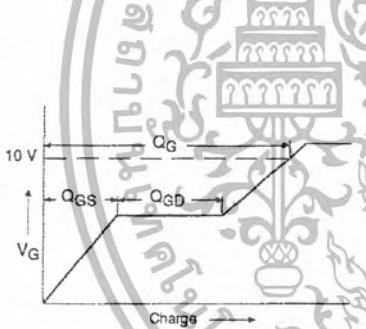


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

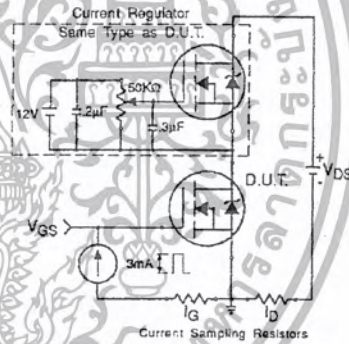


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International  
IR Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.สมศักดิ์ เขียวศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา และเสนอแนะแนวทางการศึกษา แนวทางแก้ไขปัญหา และข้อบกพร่องต่าง ๆ อีกทั้งยังให้ความเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนด้านทุนทรัพย์และให้กำลังใจทางการศึกษา ตลอดมาจนถึงปัจจุบัน

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ และกำลังใจ กำลังกาย เสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. Kuzuta Kitahara, "Ozone generator with silent discharge tube of special constructure", phapaceutical Faculty, University of Kumamoto , 1960
2. JIS : JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD , "Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes" , 1988
3. สุวัฒน์ แซ่กั้น , "เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย" , บริษัทเอลเทลไทย จำกัด , 2521



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้