

แหล่งจ่ายโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย
OZONE FOR WASH WATER TREATMENT



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42294
วัน, เดือน, ปี 16 พ.ค. 2545

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

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งจ่ายโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย

ผู้จัดทำ

1. นายธีระชัย เลิศอัคราพิทักษ์
2. นายลิขิต ชูทรัพย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย

OZONE FOR WASH WATER TREATMENT

นาย ชีระชัย เกศอัคราพิทักษ์ รหัส 41013215

นาย ถิชาติ ชูทรัพย์ รหัส 41013227

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย

นายธีระชัย เลิศอัคราพิทักษ์

นายลิขิต ชูทรัพย์

รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาที่เกี่ยวกับน้ำและอากาศมักมีให้เห็นกันอยู่เสมอ ปัญหาเกี่ยวกับน้ำที่เห็นได้ชัดมากที่สุดคือ ปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำลำคลอง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากน้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนฝนที่ตกลงมานั้น น้ำฝนจะไหลผ่านผิวโลก ก็จะละลายสารเจือปนต่างๆ บนโลก ซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นของแข็งและเป็นก๊าซ ซึ่งทำให้น้ำไม่บริสุทธิ์ก็ให้เกิดปัญหาเมื่อนำมาใช้ ส่วนปัญหาที่เกี่ยวกับอากาศที่พบกันเสมอจะเกิดจากควันพิษจากรถยนต์ที่ทำให้เกิดก๊าซพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อร่างกายรับก๊าซพิษนี้มาก ๆ จะทำให้ปวดหัวและอาเจียน ซึ่งนับวันก็จะทวีความอันตรายต่อความเป็นอยู่และสุขภาพของมนุษย์ โอโซนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะเจือปน เช่น แมงกานีส เหล็ก รวมทั้งสารประกอบจำพวก ซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดกลิ่นของน้ำได้ และเมื่อใช้กับอากาศ ก็สามารถกำจัดขี้ยังการเจริญเติบโตของเชื้อโรคต่างๆ รวมทั้งลดปริมาณของ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และสารพิษตัวอื่นรวมทั้งลดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ และสามารถกำจัดกลิ่นอับชื้นได้

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้ โดยการสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำและยังสามารถประยุกต์ใช้กับอากาศได้ การสร้างเครื่องผลิตโอโซนนี้ใช้หลักการการเป่าอากาศผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงภายใต้ขั้วอิเล็กโตรด เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวและรวมตัวกันใหม่เป็นโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปน เช่นแมงกานีส เหล็ก รวมทั้งสารประกอบจำพวกซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังสามารถ บำบัดสี, กลิ่นของน้ำเสียได้ โอโซนสามารถผลิตขึ้นได้โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับขั้วไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าสูง เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศระหว่างขั้วไฟฟ้าแตกตัว และรวมตัวกันใหม่เป็นโอโซน

ความสามารถของเครื่องผลิตโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำ ซึ่งการบำบัดจะมีแนวทางการบำบัดคือ บำบัดน้ำดีให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เพื่อการอุปโภคบริโภค และเพื่อใช้ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม และสามารถนำโอโซนใช้กับอากาศได้อีกทางหนึ่ง โครงการนี้ควรมีการพัฒนาต่อไปให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพราะเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OZONE FOR WASH WATER TREATMENT

Mr. Likit Choosub

Mr. Teerachai Lertaukkarapitak

Associate Professor Somsak Cheersirikul (Adviser)

Education Year 2000

ABSTRACT

Nowadays, There are always some problems with water and air pollution. Water pollution resulting from Industries Which have no standards in treatment pollution water. Concerning water from rain, it is not clean and people can't use it organic and inorganic substances in form of gas and other. Concerning polluted air, resulting from vehicles' smoke as Carbon Monoxide and Nitrogen dioxide gas, which are into body very much, are to cause literally and to vomit. Air pollution have much more effects on humans' health and cause literally and life. Ozone is not treat waste water which comprise metal ion, Manganese, Iron and compound of sulfite but also be effective for decolorizing color and removal smell bad of waste water. For air pollution treatment, if stop the growth of Bacteria, Virus, Spore and get rid of bad smell from humidity.

This project is the one that can solve air and water pollution. The model equipment was built to produce ozone to get rid of pollution in water and air. Ozone was generated by conduct flowing air through the highly nonuniform field in a prototype of ozone generate. From this reason oxygen occurs transfers by reaction to the ozone from.

Ozone can come out for practical use in the air. This equipment is not only used for getting rid of pollution in the water and air. It is also useful for producing pure water for drinking and using in industries and pure air.

Ozone is able to treat waste water which has metal ion, Manganese, Iron, and compound of sulfite. On the other hand, ozone is effective for decolorizing color and removal smell bad of waste water.

The project should be efficiently developed in order to be more efficient used to solve environmental problems.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 น้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย	2
1.1 ระบบบำบัดทางฟิสิกเคมี	2
1.2 ระบบบำบัดทางเคมี	8
1.3 ระบบบำบัดทางชีววิทยา	9
บทที่ 3 การกำเนิด โอโซน	13
3.1 เครื่องกำเนิด โอโซน	13
3.2 อุณหภูมิกับการเกิด โอโซน	18
บทที่ 4 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	19
4.1 คุณสมบัติของโอโซน	19
4.2 ข้อดีของการนำ โอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน	19
4.3 ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน แบ่งเป็น 4 ส่วน	22
บทที่ 5 หลักของวงจรสวิตซ์	26
5.1 หลักการเบื้องต้น	26
5.2 วงจรควบคุมสำหรับวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย	31
บทที่ 6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	36
6.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	36
6.2 สัญญาณต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	39
บทที่ 7 หลักการทำงานและการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์	45
7.1 การออกแบบโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำเนิด โอโซน	45
7.2 การทดลองในส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง	82
7.3 การทดลองคุณสมบัติของโอโซน	93
7.4 การทดสอบวัดค่าประสิทธิภาพของวงจร	95
บทที่ 8 บทสรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	97
8.1 สรุปผลการทดลอง และปัญหาที่เกิดขึ้น	97
8.2 สรุปและวิจารณ์	98

หนังสืออ้างอิง

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โอโซนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ เช่น เหล็ก แมงกานีส รวมทั้งสารประกอบจำพวกซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดสี, กลิ่น, ซ้ำเชื้อโรคในน้ำเสียได้ และยังไม่ก่อให้เกิดสารประกอบอันตรายเหมือนคลอรีน

โอโซนสามารถผลิตขึ้นได้ โดยการป้อนไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าสูง เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเกิดการไอออนไนเซชันแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และรวมตัวกันใหม่เป็น โอโซน (O_3)

ในปฏิญานิทพนธ์นี้เป็นโครงการ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการผลิตโอโซนเพื่อนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วยชุดอิเล็กโทรด และพัดลมใช้ในการดูดอากาศให้เคลื่อนผ่านชุดอิเล็กโทรด เพื่อนำโอโซนที่เกิดขึ้นไปทำการวัดหาปริมาณและเพื่อนำไปบำบัดน้ำ

สำหรับแนวทางที่สามารถนำโอโซนไปทำการบำบัดน้ำนั้นมี 2 แนวทางคือ

1. บำบัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากในน้ำเสียนี้อาจมีสารมลทินต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์, แมงกานีส, เหล็ก, สี, กลิ่น ที่ไม่พึงปรารถนา สารมลทินเหล่านี้จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นควรทำการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง โอโซนสามารถนำมาใช้ในการบำบัดได้

2. บำบัดน้ำดีให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำที่ใช้ในขบวนการผลิต เช่น ผลิตยาง, น้ำอัดลม หรือน้ำที่ใช้หล่อเย็น ซึ่งจะต้องมีสารมลทิน เช่น เหล็ก, แมงกานีส, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่ำกว่าค่าที่กำหนด (แล้วแต่ชนิดของอุตสาหกรรม) มิฉะนั้นจะทำให้มีปัญหาต่อระบบการผลิต ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้น ทางอุตสาหกรรมจึงต้องทำการบำบัดน้ำให้ได้คุณภาพตามต้องการก่อนใช้งาน โอโซนเป็นสารตัวหนึ่งที่สวามารถกำจัดสารมลทินเหล่านี้ได้

จุดประสงค์ของปฏิญานิทพนธ์

1. ศึกษาทฤษฎีทางไฟฟ้าแรงสูงเพื่อนำมาประยุกต์ในการกำเนิดโอโซน
2. ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสีย
3. ศึกษาหาแนวทางในการนำโอโซนไปบำบัดน้ำเสียหรือน้ำดีให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นเพื่อใช้งานอุตสาหกรรม

บทที่ 2

น้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสีย คือ น้ำที่ถูกใช้แล้วโดยหมู่ชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในน้ำเสียนั้น ไม่เพียงแต่มีพวกแร่ธาตุ เช่น สารตะกั่ว , แมงกานีส หรือโลหะหนักอื่น ๆ และสารอินทรีย์ เช่น พวก สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ในน้ำที่เท่า่นั้น ยังมีสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ อีก เช่นเศษอาหาร , กระดาษ , สบู่ ฯลฯ สารเหล่านี้อาจแขวนลอยอยู่ในน้ำที่หรือบางพวกอาจสามารถละลายอยู่ในน้ำที่ก็ได้ สารเหล่านี้มักจะมีพิษและไม่พึงประสงค์ให้มีในน้ำ เพราะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและทำให้ สภาพแวดล้อมไม่ดี โดยปกติน้ำเสียจะมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อยกว่า 1 mg/l ซึ่งปริมาณ ออกซิเจนขนาดนี้ไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ รวมทั้งไม่เพียงพอต่อการที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การปรับสภาพให้น้ำนั้นมีคุณภาพดีขึ้น (treatment) ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ คือ

1. ระบบบำบัดทางฟิสิกเคมี (Physicochemical)
2. ระบบบำบัดทางเคมี
3. ระบบบำบัดทางชีววิทยา

2.1 ระบบบำบัดทางฟิสิกเคมี

ใช้ในการกำจัดสารมลพิษทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย มีหลายกระบวนการ เช่น การดูดซับด้วยคาร์บอน (Carbon absorption) ,การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange), แก๊สสตรipping (Gas stripping) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การดูดซับด้วยคาร์บอนและการแลกเปลี่ยนไอออน แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำที่ด้วยวิธีฟิสิกเคมีโดยทั่วไปแล้วจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการบำบัดด้วยวิธีอื่น จึงมักจะใช้ในการบำบัดขั้นสูง (Advanced treatment) เพื่อกำจัดสารมลพิษบางชนิดที่มีความเข้มข้นต่ำมาก และไม่เหมาะสมที่จะกำจัดด้วยวิธีอื่นเท่านั้น ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงบางกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางดังนี้

- การดูดซับด้วยคาร์บอน สามารถใช้แยกสิ่งสกปรกทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เช่น COD , BOD , สี , กลิ่น , รส , ยาฆ่าแมลง ฯลฯ
- การแลกเปลี่ยนไอออน ใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำและในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ปราศจากแร่ธาตุ (demineralization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 แอร์สตรipping (Air Stripping)

ปกติแล้ว air stripping จะถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดก๊าซไนโตรเจน ออกจากน้ำเสียแล้วปลดปล่อยก๊าซดังกล่าวกลับสู่อากาศ วิธีการเช่นนี้ทำได้โดยการทำให้น้ำเสียได้สัมผัสบรรยากาศภายนอกโดยอาศัยหอแพค (Packed towers) หรือบ่อกักน้ำเสียที่มีการกวนหรือฟุ้งเป็นพบว่าการใช้หอแพคที่มีใบพัดขนาดใหญ่เป่าอากาศเข้าสู่ หอแพคทางด้านล่างสวนกับการไหลลงสู่ด้านล่างของน้ำเสียเป็นระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงในการบำบัด

ประสิทธิภาพของกระบวนการ Air Stripping ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำเสีย โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำเสีย ความดันไอของก๊าซแอมโมเนีย ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ก๊าซแอมโมเนียถูกปลดปล่อยออกมาสู่อากาศได้มากขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียยังเพิ่มขึ้นอีกเมื่อค่า pH ของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น การบำบัดน้ำเสียคดียุคนี้มักจะเกี่ยวข้องกับการเติมปูนขาวเพื่อช่วยในการกำจัดฟอสเฟต ซึ่งเป็นผลให้ค่า pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น บางส่วนระบบการบำบัดน้ำเสียคดียุคนี้จึงนิยมใช้ Air stripping โดยที่น้ำเสียจะถูกบำบัดได้ดีเพราะมีค่า pH สูง

2.1.2 การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นกระบวนการทางกายภาพ ที่เป็นการแยกอนุภาคที่อยู่ในของไหลออกจากของไหล โดยใช้แรงกระทำกับของไหลผ่านตัวกลางรูพรุน ในแง่ของเทคโนโลยีการแยกที่ได้รับการพัฒนาที่ดีแล้วนี้ นิยมใช้กระบวนการกรองในการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรมซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำหน้าที่ 2 อย่างที่แตกต่างกัน คือ อย่างแรก สามารถใช้เพื่อการผลิตของเหลวบริสุทธิ์ โดยการกำจัดพวกของแข็งแขวนลอย หน้าที่อย่างที่สอง สามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดน้ำออกจากโคลนที่เป็นของเสีย ซึ่งจะทำให้โคลนนั้นเข้มข้นขึ้น จนเกือบจะเป็นของแข็งและมีปริมาตรเล็กลง

ในแง่ของกระบวนการการบำบัดน้ำเสีย การกรองมักจะกระทำภายหลังจากการตกตะกอนหรือการทำให้สารแขวนลอยจับตัวเป็นก้อนเสียก่อนในกระบวนการกำจัดน้ำออกจากโคลน โดยทั่วไปแล้วมักกระทำโดยการกรองจะทำให้กระบวนการนั้นมีประสิทธิภาพดี

2.1.3 การจับตัวเป็นก้อน (Flocculation / Coagulation)

การจับตัวเป็นก้อนได้ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายกระบวนการที่อนุภาคขนาดเล็กซึ่งแขวนลอยในของเหลวถูกทำให้รวมตัวจับกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและเหมาะสมกว่า เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในภายหลังการจับตัวเป็นก้อนนี้เป็นกระบวนการทางเคมีกายภาพ ที่มีส่วนช่วยส่งเสริมให้

เกิดการแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยการเพิ่มขนาดอนุภาคของแข็ง ในทางปฏิบัติกระบวนการจับตัวเป็นก้อนนี้จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ

1. การเติมตัวกระทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน
2. การกวนอย่างรวดเร็วเพื่อกระจายตัวกระทำดังกล่าวไปทั่วของเหลว
3. การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคขนาดเล็ก เพื่อรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่

2.1.4 กระบวนการแผ่นเยื่อ (Membrane Processes)

กระบวนการทางกายภาพบางกระบวนการที่ Metry (1980) ได้กล่าวถึงนั้นรวมถึงกระบวนการ Ultrafiltration reverse osmosis และ Electrodialysis เหล่านี้แล้วแต่ก็เกี่ยวข้องกับการใช้แผ่นเยื่อ กระบวนการใช้แผ่นเยื่อในการจัดการของเสียบางกระบวนการอย่างย่อมีดังนี้ คือ

1. Microfiltration และ Ultrafiltration
2. Electrodialysis and Reverse Electrodialysis
3. การประยุกต์ใช้กระบวนการแผ่นเยื่อ

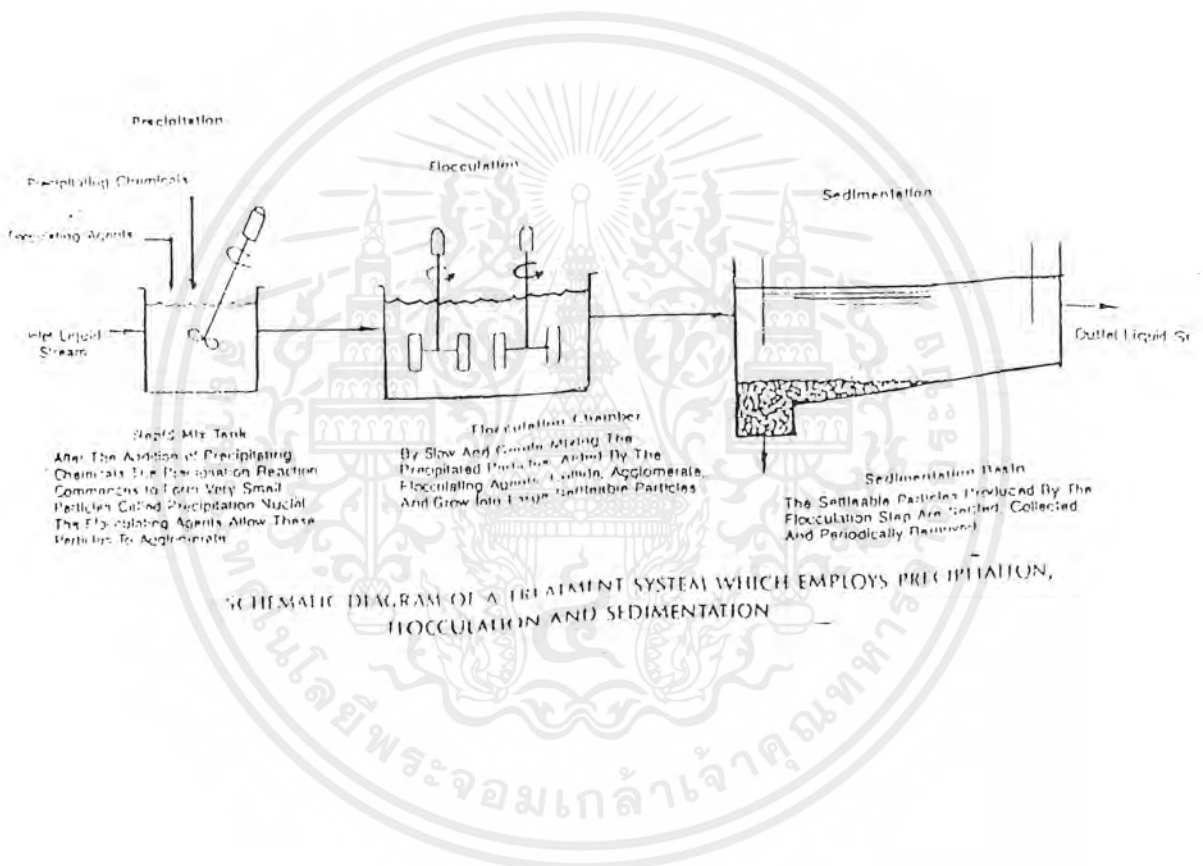
2.1.5 การตกตะกอน (Precipitation)

การตกตะกอนเป็นกระบวนการทางเคมีกายภาพ ซึ่งสารบางชนิดหรือทั้งหมดในสารละลายถูกเปลี่ยนรูปไปอยู่ในวัฏภาคของแข็ง แล้วจึงถูกกำจัดออกจากสารละลายภายหลังในแง่ของวัตถุประสงค์ในการจัดการของเสีย กระบวนการตกตะกอนมักถูกนำมาใช้ในการกำจัดพวกโลหะต่าง ๆ จากของเสียที่เป็นของเหลวในรูปของไฮดรอกไซด์ หรือ ซัลไฟด์ ตัวอย่าง เช่น การกำจัด สังกะสี ในรูปของซิงค์ซัลไฟด์จากสารละลายซิงค์คลอไรด์ ด้วยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ กระบวนการตกตะกอนนิยมใช้ควบคู่กับกระบวนการทางกายภาพอื่น ๆ เช่นกระบวนการจับตัวเป็นก้อน (Flocculation) และกระบวนการจับตัวเป็นตะกอน (Sedimentation)

2.1.6 การจับตัวเป็นตะกอน (Sedimentation)

อนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว อาจะรวมตัวกันได้โดยแรงโน้มถ่วงหรือแรงเฉื่อยซึ่งเป็นกระบวนการทางกายภาพที่เรียกกันว่า การจับตัวเป็นตะกอนในการบำบัดน้ำเสียทางอุตสาหกรรมซึ่งติดตั้งอยู่ภายใน โชนของการจับตัวเป็นก้อน (Flocculation zones) หรือในเครื่องที่มีรูปทรงกระบอกเพื่อช่วยกระตุ้นให้การตกตะกอนดีขึ้น

การตกตะกอน (Precipitation) การจับตัวเป็นก้อน (Flocculation) และการจับตัวเป็นก้อน (Sedimentation) เป็นกระบวนการที่ได้รับการพัฒนาแล้วเป็นอย่างดี และมักจะใช้กระบวนการเหล่านี้ควบคู่กันไปใน การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่ประกอบด้วย พวกโลหะหนักที่ละลายน้ำได้ และพวกฝุ่นผงโลหะ เป็นต้น รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการนำเอากระบวนการเหล่านี้มาใช้ควบคู่กันไปใน การบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 2.1 ขบวนการในการทำให้ตกตะกอน

สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชัน ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกานेट โครเมต และไนเตรท ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชันได้แก่ ไอออน (II) ซัลเฟต โซเดียมไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฯลฯ

ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีออกซิเดชัน ได้แก่ การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ สารเคมีที่ใช้คือ คลอรีนหรือ ไฮโปคลอไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีตัดชั้นคือการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิกละลายปนอยู่โดยใช้โอโซน (II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต

นอกจากนี้ยังนิยมใช้การออกซิเจนทางเคมีในการบำบัดพวกฟีนอลในน้ำเสียที่ไม่รุนแรงมากในการควบคุมสารอินทรีย์ตกค้างในน้ำเสียในการบำบัดเสียเพื่อใช้บริโภค ในการควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่น ในการควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่น ในการกำจัดยาฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ในน้ำ

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงผลที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในการบำบัดน้ำของตัวออกซิไดซ์ต่าง ๆ

ปัญหา	คลอรีน	คลอราไมต์	โอโซน	คลอไรโด ออกไซด์	โปตัสเซียม เปอร์มังกานต	ออกซิเจน
เหล็ก	E	N	E	E	E	E
แมงกานีส	S	N	E	E	E	N
ซัลไฟด์	E	N	S	S	S	E ^b
รสและกลิ่น	S	N	E	E	S ^c	S ^c
สี	E	N	E	E	S	N
ช่วยในการ	E	N	U	U	S ^d	N
THMFP	N	N	E ^a	E	S	N
สารประกอบ	S ^{c,d}	N	S ^c	S ^c	S ^c	N
การเจริญเติบโต ของสิ่งมีชีวิต เล็ก	E	S	N ^h	E	S	N

เมื่อ

E : Effective

S : Somewhat effective

N : Not effective

U : Unknown

a : Above pH 7

b : By stripping

c : Except earthy - musty odor - causing compounds

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- d : May involve adsorption on MnO_2
 e : May increase at low doses
 f : Dependion on compound
 g : May form chlorinated by - products
 h : Except with dual - stage ozonation

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียของตัวออกซิไดซ์ต่างๆ ในการบำบัดน้ำ

ตัวออกซิไดซ์	ข้อดี	ข้อเสีย
โอโซน (O_3)	<ul style="list-style-type: none"> - ออกซิไดซ์อย่างรุนแรง - ไม่เกิดรูป THM or TOX - ไม่มีปัญหาเรื่อง รส, กลิ่น - มีผลต่อ pH เล็กน้อย - ช่วยในการตกตะกอน 	<ul style="list-style-type: none"> - ครึ่งชีวิตสั้น - ต้องสร้าง ณ ที่ใช้งาน - ใช้พลังงานมากกว่า - บางส่วนมีผลต่อสิ่งมีชีวิต - การกำเนิดชั้นซันและทอสง ก๊าซมักเกิดสนิม
ออกซิเจน (O_2)	<ul style="list-style-type: none"> - ง่ายต่อการส่งผ่าน - ไม่มีผลภายหลัง - ไม่เป็นพิษ 	<ul style="list-style-type: none"> - ออกซิไดซ์ไม่ดี - ทำให้เกิดสนิมได้
คลอรีน (Cl_2)	<ul style="list-style-type: none"> - ออกซิไดซ์รุนแรง - ง่ายต่อการใช้ - คู่กันเคยกันดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้เกิดผลกระทบตามมา คือ สารประกอบคลอรีน - มีผลต่อรสและกลิ่น - ต้องคำนึงถึง pH ด้วยเมื่อใช้งาน
โพตัสเซียมเปอร์มันกานต ($KMnO_2$)	<ul style="list-style-type: none"> - ง่ายต่อการใช้ - ไม่ก่อให้เกิด THM 	<ul style="list-style-type: none"> - การออกซิไดซ์ต่ำ - ทำให้น้ำมีสีชมพู
คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)	<ul style="list-style-type: none"> - ออกซิไดซ์อย่างรุนแรง - ไม่ก่อให้เกิด THM - ไม่มีผลต่อ pH 	<ul style="list-style-type: none"> - ก่อให้เกิด TOX - ก่อให้เกิด ClO_3 และ ClO_2 - ต้องสร้างขึ้น ณ ที่ใช้งาน - ก่อให้เกิดกลิ่นไฮโดรคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบบำบัดทางเคมี

ส่วนใหญ่จะใช้กำจัดสารที่เป็นสารอนินทรีย์ กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดประเภทนี้มีหลายวิธี เช่น การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การทำให้เกิดตะกอน (Precipitation) การออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation – Reduction) และการคลอรีเนชัน (Chlorination) ฯลฯ

2.2.1 การแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis)

การแยกสลายด้วยน้ำ หมายถึง การย่อยหลายหรือทำให้สารสลายตัวด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นตัวกระทำหลักในการก่อให้เกิดการแยกสลาย แต่กระบวนการในเชิงการค้ามักนิยมนำเอาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และความดันมาใช้ควบคู่กันเพื่อส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้อย่างดีขึ้น และยังมีสารเคมีอื่น ๆ เช่น พริกเกลือ ค่างและเอนไซม์เข้ามาใช้ด้วย ยกตัวอย่างเช่น การเติมค่างในการแยกสลายไขมันที่ถูกทำให้ร้อนระหว่างกระบวนการผลิตสบู่ เป็นต้น ในกระบวนการบำบัดของเสีย เราสามารถคิดแปลงกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำมาใช้เพื่อบำบัดวัสดุที่เป็นพวกของเหลว ก๊าซ และของแข็งต่าง ๆ ได้ ยกเว้นการนำมาบำบัดพวกวัสดุอนินทรีย์ซึ่งได้ผลไม่ดีเช่น พวกเอสเตอร์ อีเทอร์ คาร์โบไฮเดรต ซัลโฟนิค แอซิด สารประกอบฮาโลเจน ฟอสเฟต และไนไตรด์ เป็นต้น ข้อเสียของกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำก็คือ ความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่ไม่เป็นที่ต้องการ

2.2.2 การเติมโอโซน (Ozonation)

กระบวนการเติมโอโซนอาศัยหลักการของการออกซิไดซ์ จะเกี่ยวข้องกับการบำบัดด้วยก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้สูง ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรือเก็บรักษาได้เพราะมันจะแตกตัวไปเป็นก๊าซออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผลิตแล้วใช้ทันที ใกล้กับบริเวณที่ต้องการใช้ ด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องมีเครื่องผลิตก๊าซโอโซนราคาสูง ซึ่งมักจะทำงานโดยการผ่านขดลวดไฟฟ้าที่เป็นตัวปลดปล่อยไปยังก๊าซออกซิเจนนอกจากนี้เพื่อจะให้มีความเข้มข้นสูงมากก๊าซโอโซนจึงมีคุณสมบัติในการต่อต้านไวรัสและแบคทีเรีย ด้วยเหตุนี้ที่ก๊าซโอโซนที่คุณสมบัติในการทำลายเชื้อและกำจัดในการออกซิไดซ์อยู่ในตัว จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

เป็นเวลาหลายปีมาแล้วที่ได้มีการใช้ก๊าซโอโซนในประเทศแถบยุโรปและที่อื่น ๆ ในการทำลายเชื้อในน้ำใช้ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการจัดการของเสียอื่น ๆ เช่น

- ใช้ในการกำจัดซัลไฟด์และกลิ่นเหม็นต่าง ๆ จากของเสียที่ปลดปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้กับการบำบัดของเสียที่ปล่อยออกมาซึ่งมีไซยาไนด์ ซัลไฟท์และซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ
- ใช้กับการบำบัดพวกสารฟีนอล
- ใช้บำบัดของเสียจาก โรงงานกำจัดของเสียเทศบาล

2.2.3 โฟโตไลซิส (Photolysis)

โฟโตไลซิส คือ กระบวนการแยกสลายพันธะทางเคมีด้วยแสง ถึงแม้ว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเลตเพื่อวัตถุประสงค์ในการทำงานหลายเรื่องจะไม่ใช่เรื่องแปลกใหม่ แสงอาทิตย์ได้กลายเป็นแสงที่ใช้มาเชื่อโดยธรรมชาติที่ยอมรับกันมาเป็นเวลานานแล้ว และได้มีเครื่องมือผลิตแสงอัลตราไวโอเลตใช้กันในราวต้นศตวรรษ 1900 เทคโนโลยีอัลตราไวโอเลตได้ถูกนำมาใช้ควบคู่กับกระบวนการเติมคลอรีน (Chlorination) เพื่อใช้ในการกำจัดครดน้ำส้มจากน้ำเกลือ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการออกซิเดชันของพวกวัตถุทนไฟ เช่น ไซยาไนด์ สารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจน และครดน้ำส้มโดยผ่านทางระบบบำบัดที่เรียกว่า Ultraviolet - Ozonolysis treatment system

คลอรีนชัน คือ การเติมก๊าซคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนลงไปในน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เป็นแบคทีเรียและไวรัสบางชนิด นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดตะกอน สี เป็นต้น สารประกอบคลอรีนที่ใช้กันมาก ได้แก่ แคลเซียมและโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นการควบคุมระบบที่สำคัญคือควบคุมปริมาณคลอรีนให้เหมาะสมกับความต้องการ

สิ่งที่ควรระลึกถึง

ข้อเสียเปรียบอย่างหนึ่งที่แอบแฝงอยู่ในกระบวนการบำบัดของเสียทางเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทางกายภาพ ก็คือ เป็นกระบวนการที่ต้องมีการเติมจะได้เห็นว่ามีหลายกรณีที่จะต้องมีการเติมบางสิ่งบางอย่างเข้าไปในน้ำเสียเพื่อช่วยในการกำจัดของอีกอย่างดีขึ้น ผลที่ตามมาคือมักจะมีองค์ประกอบที่ละลายได้ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ที่ใดก็ตามที่มีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้มีการตกตะกอนดีขึ้นแต่ในขณะเดียวกันก็มีของแข็งที่ละลายได้เพิ่มอีกด้วย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากต้องการนำน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วนี้กลับมาใช้อีก ปัจจัยดังกล่าวก็ยังมีนัยสำคัญมากขึ้น

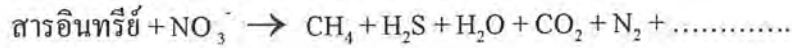
2.3 ระบบบำบัดทางชีววิทยา

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้ เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ ออกจากน้ำเสียจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย จะทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเคมี แบบใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนอิสระและแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาจึงแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีออกได้เป็น

2.3.1 ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic treatment)

การทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระนั้นกล่าวได้ง่ายๆ ว่ามีปฏิกิริยาชีวเคมีเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวมักจะมีกลิ่นเหม็น (H₂S) และตะกอนดำ (FeS)

ในขั้นแรกสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำทิ้ง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนอิสระ และประเภทที่ดำรงอยู่ได้เฉพาะในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนอิสระกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า กลุ่มผลิตกรด ปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อไฮดรอลิซ์ และทำการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดโมเลกุลเล็กๆ หลายชนิดที่สำคัญได้แก่กรดแอสติกและกรดโนรอิออนิก ในขั้นนี้สารอินทรีย์เพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ปริมาณชีโอดีก็ยังไม่เปลี่ยนแปลง เพราะกรดอินทรีย์ต่าง ๆ นี้เป็นสารอินทรีย์ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้และวัดเป็น COD ได้เช่นกัน การบำบัดในขั้นนี้จึงเป็นการเตรียมการเพื่อการบำบัดในขั้นต่อไป

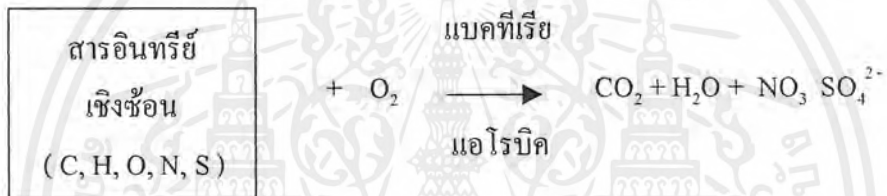
ในขั้นที่สอง กรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ผลิตได้ จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพไม่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่อีกกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า กลุ่มผลิตมีเทนทำลายกลายเป็นก๊าซต่าง ๆ ที่สำคัญได้แก่ มีเทน และ CO₂ จึงทำให้ COD และ BOD ลดลง ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัด ในการเดินระบบบำบัดแบบนี้จำเป็นต้องควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมาะสมเพื่อให้แบคทีเรียทั้งสองประเภททำงานได้ต่อเนื่องและสมดุลกัน สภาพแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ สภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ค่า pH , อุณหภูมิ , ปริมาณ CO₂ , สภาพด่าง , กรดอินทรีย์ระเหย , สภาพด่างไปคาร์บอเนต , โลหะเป็นพิษ , อัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวัน , เวลาในการบำบัด และอายุของสลัดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบบำบัดแบบแอโรบิก (Aerobic treatment)

การบำบัดวิธีนี้มีหลายวิธี เช่น ระบบบ่อเขียว (Oxidation Treatment) ที่ต้องอาศัยธรรมชาติมากที่สุด จนถึงระบบ Activated Sludge ที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรมาก อย่างไรก็ตามระบบบำบัดต่าง ๆ นี้อาศัยหลักการเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจนอิสระ ดังนั้นระบบบำบัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงที่ วิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและการควบคุมสภาพต่าง ๆ ที่เอื้ออำนวยให้เกิดปฏิกิริยาย่อยหลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียเท่านั้น

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนอิสระ เกิดขึ้นเมื่อแบคทีเรียใช้ออกซิเจนอิสระไปเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานดำรงชีวิตอยู่ได้ สารประกอบต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาเป็นสารที่คงตัวไม่มีกลิ่นเหม็น ที่สำคัญได้แก่ CO_2 , H_2O สามารถแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการสลายอินทรีย์นั้น อาจได้มาจาก

1. การสังเคราะห์แสงของอัลจี (พวกร Protista)
2. การถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ เช่น การผสมอากาศกับน้ำโดยอาศัยเครื่องมือกล (mechanical aeration) หรือ โดยการอัดอากาศลงไปใต้น้ำเสียโดยตรง (diffused aeration)
3. การอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปใต้น้ำเสีย

ปริมาณออกซิเจนละลาย ในน้ำเสียที่เหมาะสมแก่การบำบัดแบบใช้ออกซิเจนอิสระนั้น ต้องมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ , ความดัน , ความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ ความเข้มข้นของเกลือต่าง ๆ (ค่า TDS)

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า TDS ของน้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำ	TDS
น้ำกร่อย	1000 - 5000
น้ำเสียตามบ้านเรือนชนิดเข้มข้น	850
น้ำเสียตามบ้านเรือนชนิด	510
น้ำเสียตามบ้านเรือนชนิด	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเข้มข้นของความอิ่มตัวของ Dissolved Oxygen สามารถหาได้จากสมการ

$$C_s = \left| \frac{475 - 2.65S}{33.5 + T} \right| \left| \frac{P}{760} \right| \quad \text{..... (1.1)}$$

เมื่อ C_s : ความเข้มข้นของความอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่ T, P และความเข้มข้นของเกลือที่กำหนดให้ (mg/l)

S : ค่า TDS (g/l)

T : อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)

P : ความดันของอากาศที่ระดับต่างๆ (mmHg)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

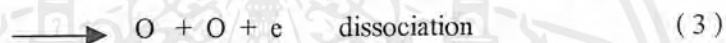
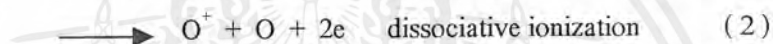
บทที่ 3

การกำเนิดโอโซน (Ozone Generation)

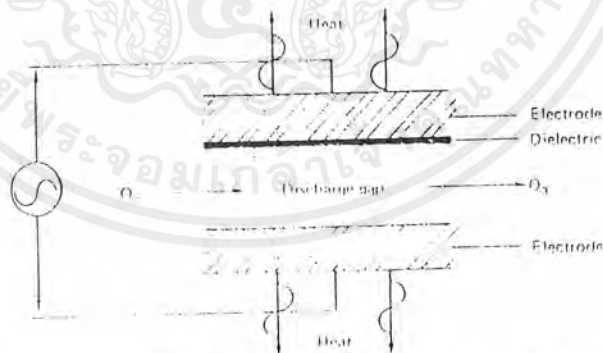
3.1 การกำเนิดโอโซน

รูปข้างล่างแสดงตัวสร้าง โอโซนแบบพื้นฐาน แรงดันไฟฟ้าจะถูกป้อนให้อิเล็กโทรดทั้งสอง ขั้วที่มีไดอิเล็กตริกและช่องอากาศคั่นอิเล็กโทรดทั้งสองอยู่ อากาศจะถูกดูดผ่านช่องอากาศนี้และจะเกิดการแตกตัวของอากาศเนื่องจาก เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจนอิเล็กโทรดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ออกซิเจนในอากาศที่ถูกเปลี่ยนเป็นโอโซนตามขั้นตอนดังนี้

1. Oxygen - free radicals are generated by ionic processes:



2. Ozone is generated by free radical reaction :



Basic ozonator configuration. (Source H. Rosen, "Ozone Generation and Its Relationship to the Economical Application of Ozone in Wastewater Treatment," in F. L. Ewins III (ed.) Ozone in Water and Wastewater Treatment, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich., 1972)

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ามีความสำคัญในการกำเนิดไอโซทอปที่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดและความดัน

$$V = k_1 p g \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

เมื่อ V : แรงดันที่จำเป็น

p : ความดันที่ช่องว่างอากาศ

g : ระยะแกป

ในทำนองเดียวกัน ความสามารถในการกำเนิดไอโซทอปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและแรงดันกำลังสอง และผกผันกับความหนาของไดอิเล็กตริก

$$\text{Yield} : k_2 (f e V^2) / d \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

เมื่อ f : ความถี่

V : แรงดัน

e : ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก

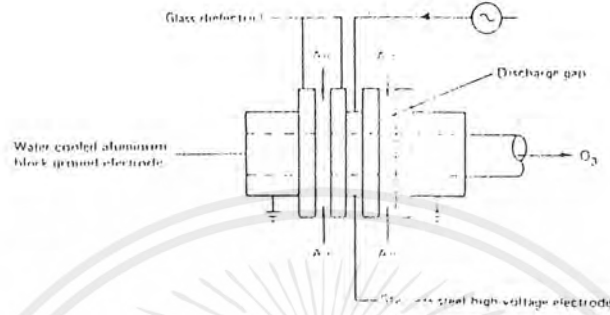
d : ความหนาของไดอิเล็กตริก

จากสมการนี้พบว่าจะมีปัญหาในการออกแบบเครื่องกำเนิดไอโซทอป คือ เราต้องพยายามทำไดอิเล็กทริกให้บางที่สุดเท่าที่จะทำได้ และทนที่จะเบรคความถี่ได้สูง ขณะเดียวกันเพื่อให้ไอโซทอปมาก ๆ เราก็ต้องเพิ่มแรงดันให้สูง ๆ ด้วย เพราะแรงดันยิ่งสูงยิ่งดี ($O_3 \propto V^2$) ในอีกทางหนึ่งขณะที่แรงดันสูง ๆ ถูกนำมาใช้ สารไดอิเล็กตริกก็จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมในการเพิ่มปริมาณไอโซทอปที่ต้องการผลิตได้โดยเพิ่มความถี่ของกระแสที่ใช้ นอกจากนี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไอโซทอปก็ยังมีการพัฒนาคุณภาพไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น และการระบายความร้อนออกจากเซลล์ที่กำเนิดไอโซทอปในปัจจุบันมีวิธีการที่ผลิตไอโซทอป 3 ชนิดพื้นฐานที่ใช้อยู่คือ Otto plate The Conventional horizontal tube และ The Lowther plate แต่ละวิธีก็ได้แสดงไว้ดังรูปข้างล่าง

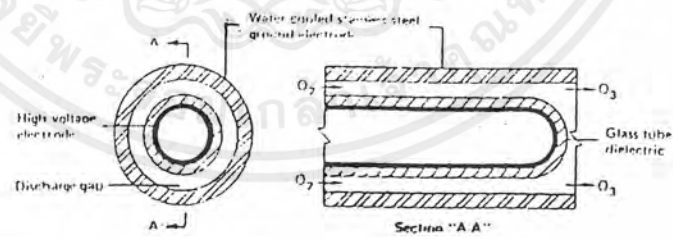
The Otto plate ถูกออกแบบขึ้นในปี 1905 แบบนี้มีประสิทธิภาพไม่ดี แต่ก็ยังมีใช้กันอยู่ในบางส่วนของยุโรปตะวันตก

The tube-type generator นั้นประกอบด้วยจำนวนหลอดหลายหลอดที่มีรูปแสดงในรูปที่ 14 อิเล็กโทรดตัวข้างนอกจะเป็น Stainless Steel Tube และรอบ ๆ จะถูกระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อแก้วที่อยู่ตรงกลางที่มีการเคลือบด้วยตัวนำอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

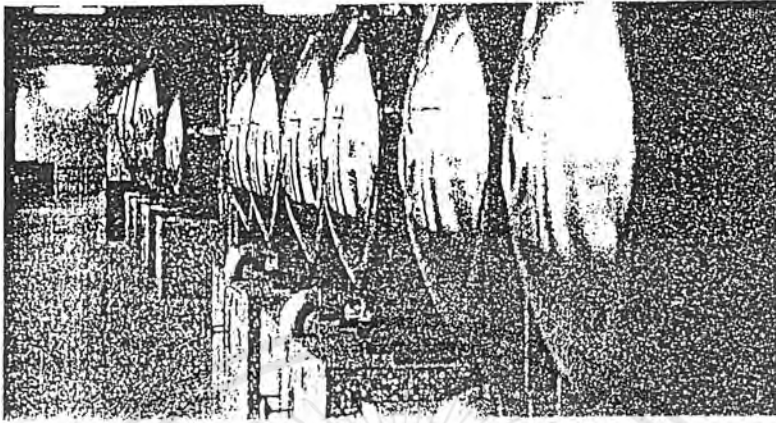


รูปที่ 3.2 เครื่องกำเนิดโอโซนชนิด Otto plate - type



รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดโอโซนชนิด Tube - type และ Lowther plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

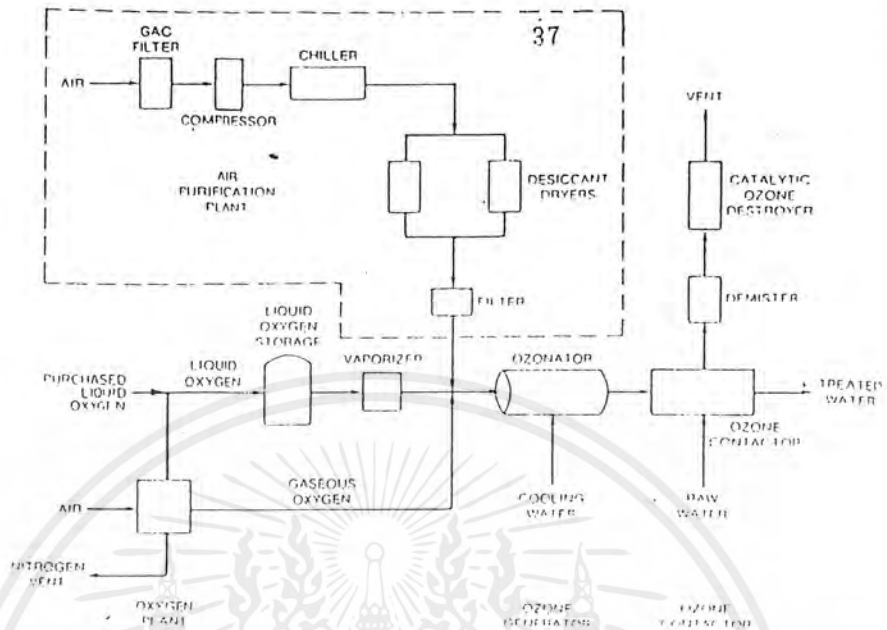


รูปที่ 3.4 รูปแบบของเครื่องกำเนิดไอโซนชนิด Tube - type

ภายในท่อสามารถแทนด้วยท่อ Stainless Steel แรงดันไฟฟ้าแรงสูงจะถูกป้อนเข้าระหว่างตัวนำที่เคลือบอยู่ในหลอดแก้วกับท่อเหล็กที่อยู่ด้านนอก และอากาศหรือออกซิเจนจะถูกทำให้ผ่านระหว่างช่องว่างนั้น รูปที่หลากหลายของการออกแบบวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

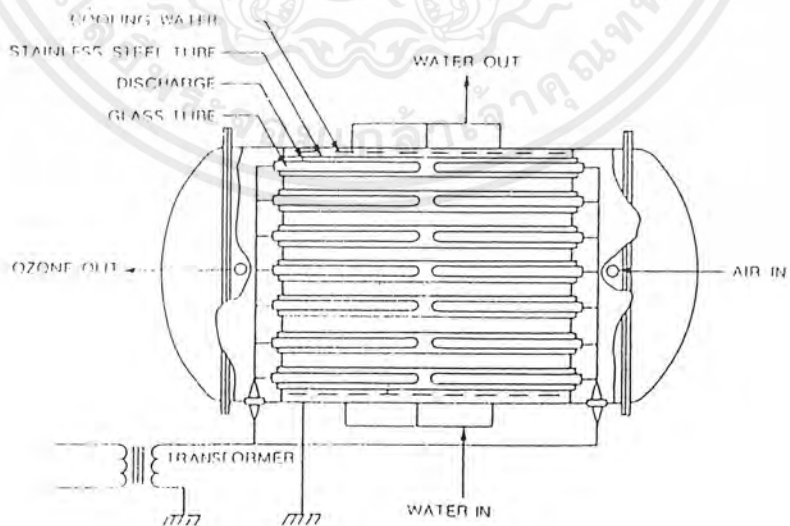
รูปแบบที่พัฒนาปรับปรุงขึ้นใหม่เร็ว ๆ นี้คือ The Lowther ; late unit วิธีนี้จะใช้การระบายความร้อนโดยอากาศ (2 แบบข้างต้นใช้น้ำในการระบายความร้อน) ถูกทำขึ้นจาก a gastight arrangement of an aluminum heat dissipator , อิเล็กโทรดเหล็กเคลือบด้วยเซรามิกส์ , Silicone - rubber spacer , และเคลือบเซรามิกส์ชั้นสองที่อิเล็กโทรดเหล็กที่ด้านนอกและด้านใน รูปแบบนี้ให้ประสิทธิภาพสูง

การระบายความร้อนที่เซลล์กำเนิดไอโซน (tubes of plates) จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำเนิดไอโซน เครื่องกำเนิดไอโซนจะถูกป้อนด้วยออกซิเจน , ออกซิเจนปนอากาศ หรือ อากาศผ่านเข้าไประหว่างอิเล็กโทรดของเครื่องกำเนิดไอโซนที่มีสนามไฟฟ้าแรงสูงคร่อมอยู่ , ถ้าอากาศถูกใช้ในการป้อนควรจะได้ไอโซน 2% โดยน้ำหนัก ถึงจะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ถ้าเป็นออกซิเจนควรจะได้ไอโซน 5 - 7% โดยน้ำหนักถึงจะคุ้มทุน



รูปที่ 3.5 Flow diagram แสดงการสร้างโอโซนโดยใช้ออกซิเจน

รูปที่ 3.5 แสดง flow diagram สำหรับการสร้างโอโซนโดยใช้ออกซิเจนเพิ่มเข้าไปในอากาศในการป้อนเพื่อกำเนิดโอโซน



รูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดโอโซนชนิด Tube - type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ในระบบสร้างโอโซนนั้นจะต้องระมัดระวังอย่างมาก เนื่องจากโอโซนมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูง (oxidized) วัสดุจำพวกยางหรือพลาสติกทุกชนิด, ซีโอฟริน, EPDM, และอลูมิเนียม ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ สิ่งที่เหมาะสมนำมาใช้คือ Stainless Steel , แก้ว , ไฮพาลอน , เทฟลอน และคอนกรีต

3.2 อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิก๊าซที่ป้อนเข้าเซลล์สร้างโอโซนจะทำให้อัตราการเกิดโอโซนลดลง ขณะที่อัตราการสลายตัวของโอโซนเพิ่มขึ้น นั่นคือว่าการระบายความร้อนให้เซลล์โอโซนเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกำเนิด โอโซน



บทที่ 4

การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

ก๊าซโอโซน (O_3) คือก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปรับปรุงโครงสร้างให้มีพลังงานมากขึ้นเมื่อถูกอัดให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น จะเป็นก๊าซที่มีสีน้ำเงินสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ก๊าซโอโซนมีแนวโน้มจะสลายตัวเองกลายเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนให้มีความหนาแน่นสูง ๆ และเก็บไว้ได้นาน ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการผลิตโอโซน ณ แหล่งที่จะใช้งานนั้นเลย คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของโอโซน คือ มันเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากโอโซนจะทำการออกซิไดซ์หรือเติมออกซิเจนให้กับสารประกอบทางเคมีได้หลายชนิด ซึ่งคุณสมบัติพิเศษนี้เองที่มีส่วนในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย , บำบัดน้ำสำหรับคั้ม , น้ำที่จะนำมาใช้ในกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ , น้ำในสาร โดยสารที่ไม่พึงต้องการจะถูกออกซิไดซ์และสามารถกำจัดออกไปได้ ประโยชน์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือสิ่งที่หลงเหลือในน้ำหลังการบำบัดด้วยโอโซนแล้วนั้นจะมีเพียงก๊าซออกซิเจนเท่านั้น นอกจากนี้โอโซนยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้และช่วยทำให้น้ำที่บำบัดมีรสดี ไม่มีกลิ่นและไม่มีสีหลงเหลืออยู่

4.1 คุณสมบัติของโอโซน

- เป็นก๊าซที่เกิดจาก Oxygen ที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) หรือรังสี Ultra Violet
- ไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุน
- พบมากในชั้นบรรยากาศ Stratosphere
- มีค่า Oxidation Potential สูงถึง 2.07 V แต่คลอรีนมีค่า Oxidation Potential เพียง 1.36 V
- การละลายน้ำของโอโซนเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- สามารถคงตัวได้นาน pH ต่ำ
- สามารถฆ่าไวรัส , แบคทีเรียได้
- สามารถออกซิไดซ์กับสารอื่น ได้เป็นอย่างดี
- มีน้ำหนักโมเลกุล 48.00 ความสามารถในการละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ 25 °c คือ 6 mg/l จุดเดือด - 112.0 °c จุดหลอมเหลว 192 °c

4.2 ข้อดีของการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน

4.2.1 ประหยัดพลังงานความร้อน ที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยา Ozonization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ดังนั้นปฏิกิริยา Ozonization ของโอโซนในน้ำเสียจึงเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ระบบจึงไม่ต้องเสียพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิเลย

4.2.2 ง่ายและสะดวกต่อการสลายโอโซนที่เหลือจากการใช้งาน

เนื่องจากโอโซนมีวงจรชีวิตสั้น จึงทำให้โอโซนสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย

4.2.3 โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน

เนื่องจากโอโซนมีค่า Oxidation Potential สูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่า ดังนั้นโอโซนจึงสามารถออกซิไดซ์สารประกอบเคมีที่มีพิษในน้ำเสียได้ดีกว่าคลอรีน โดยโอโซนจะสามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสารประกอบ Organic และ Inorganic

Oxidation of Organic

McGuire ได้ทำการทดลองโดยนำสาร Organic compounds ที่มีพิษ 16 ตัวมาทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ 3 ตัว คือ คลอรีน โพตัสเซียมเปอร์มันเกต โอโซน ในสภาวะเดียวกันแล้วทำการวัดเวลาที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ 50 % ของความเข้มข้นเริ่มต้น (Half Life) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

Compound	Chlorine	Permanganate	Ozone
Acetophenone	25 d	43 d	25 นาที
Benzaldehyde	> 3.2 d	36 นาที	28 นาที
Benzothiazole	3.2 min	> 58 d	22 นาที
1, 2-Bis (2-chloroethoxy) ethane	> 20 d	67 d	50 นาที
Bis (2-chloroethyl) ether	> 20 d	15 d	24 นาที
Borneol	1.4 d	7 d	33 นาที
Camphor	> 3.2 d	> 56 d	> 12 min
p-Dichlorobenzene	> 4.2 d	> 22 d	N/A
p-Nitrophenol	2.1 h	1.1 d	2 นาที
Methylene- <i>m</i> -toluate	> 20 d	22 d	3.5 นาที
p-Tolunitrile	> 20 d	28 d	5.4 นาที
Diacetone-L-sorbose	100 d	> 14 d	2.8 นาที
Diacetone-L-xylose	> 15 d	> 14 d	2.3 h
Toluene	N/A	N/A	2.5 นาที
Ethylbenzene	N/A	N/A	2.9 นาที
1, 2, 3-Trimethylbenzene	N/A	N/A	1.9 นาที

D : day

Min : minute

N/A : Non Application

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่าง ๆ

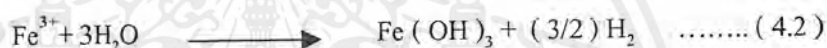
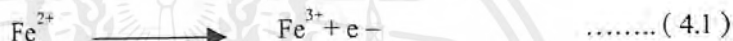
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า โอโซนมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารออกซิไดซ์ตัวอื่น

Oxidation of Inorganic

โอโซนสามารถออกซิไดซ์สาร Inorganic ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ โดยโอโซนจะออกซิไดซ์ไอออนของโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำให้มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แล้วเกิดเป็นสารประกอบตัวอื่นที่ไม่ละลายน้ำแล้วตกตะกอนแยกออกมาจากสารละลาย

เช่นการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วย Fe^{2+} ที่ละลายน้ำได้ โอโซนจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ไปเป็น Fe^{3+} จากนั้น Fe^{3+} จะถูก Hydrolyzed กลายเป็น $Fe(OH)_3$ ตกตะกอนออกมา ดังสมการ



4.2.4 สามารถกำจัดสีได้ดี

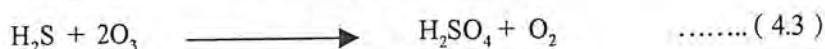
ในสารประกอบ Organic Compound ที่เป็น Polycyclic บางตัวมีหมู่โคโมรฟอร์ คือ เป็นหมู่ function group ที่ไม่อ้อมตัวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วง UV Visible ได้ ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์นี้ให้สีได้

เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์หมู่โคโมรฟอร์ได้ คือไปทำลายพันธะคู่ของมัน ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์ให้ไม่ได้อีกต่อไป ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้

4.2.5 สามารถกำจัดกลิ่นได้ดี

ในสารประกอบ Inorganic และ Organic บางตัวจะมี Sulphur และ Nitrogen ซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ทำให้สามารถกำจัดกลิ่นในน้ำเสียได้

เช่น H_2S เมื่อถูกโอโซนออกซิไดซ์จะกลายเป็น H_2SO_4 ดังสมการ



4.2.6 ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (Algae) ได้

พืชน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียนี้เป็นตัวก่อกวนกลิ่น ชอบอยู่ที่อุณหภูมิอุ่นประมาณ 35 - 40 องศาเซลเซียส และอาหารของมันคือ Organic Compound

โอโซนไม่สามารถกำจัดพวกพิษน้ำโดยตรงได้ เนื่องจากพิษน้ำสามารถสร้างภูมิคุ้มกันตัวมันเองตลอดเวลา แต่โอโซนนี้สามารถกำจัดได้โดยทางอ้อมคือ โอโซนสามารถออกซิไดซ์สาร Organic Compound ที่เป็นอาหารของพวกมัน ทำให้พิษน้ำหยุดการเจริญเติบโตและตายไปในที่สุด

4.2.7 สามารถแยกของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) ออกได้

ในน้ำเสียมีอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กเป็นประจุอยู่ตามผิว เมื่อกำหนดน้ำมีประจุเป็นกลาง อนุภาคพวกนี้ก็จะจับตัวเป็นกลุ่มลอยขึ้นมา ซึ่ง โอโซนจะทำหน้าที่เป็นตัว Flocculant ทำให้ผิวของน้ำที่ประจุเป็นกลาง อนุภาคต่าง ๆ ก็ลอยขึ้นมารวมกันเป็นกลุ่มและสามารถแยกออกมาได้โดยการตกตะกอน กรอง หรือ ช้อนออก

4.2.8 มีความปลอดภัยกว่าคลอรีน

เนื่องจากเมื่อคลอรีนไปออกซิไดซ์สาร Organic Compound บางตัวแล้วทำให้เกิดสารประกอบ Chlorinate ที่เป็นพิษขึ้น แต่เมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วจะไม่เกิดสารประกอบที่เป็นพิษแบบ Chlorinate ขึ้นเลย

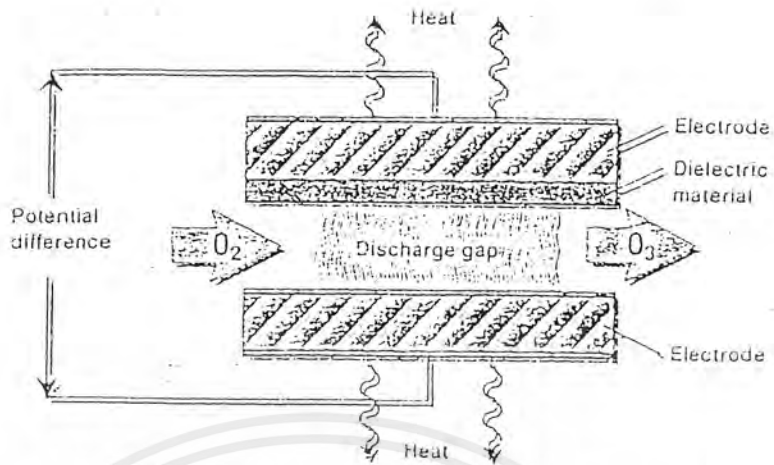
4.3 ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน แบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

4.3.1 Feed gas treatment

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่จำหน่ายอากาศ หรือก๊าซออกซิเจนไปยังหน่วยสร้างซึ่งจะมีการกำจัดพวกอนุภาคแปลกปลอม ละอองในอากาศ ความชื้นและสารไฮโดรคาร์บอนก่อนที่จะไปถึงหน่วยสร้าง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน จะถูกกำจัดออกมาโดยการ Feed gas เข้าไปที่ความดัน 2 บรรยากาศ จากนั้นทำการกรอง และนำไปอบแห้ง แล้วก็นำแยกออกมาที่ก๊าซออกซิเจนที่ผ่านส่วนนี้จะมีสารปนเปื้อนน้อยกว่าก๊าซออกซิเจนในอากาศปกติ แต่ถ้าจะให้สะอาดจริง ๆ เครื่องมือที่ใช้ควรจะสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนด้วย

4.3.2 Ozone generation

เป็นหน่วยสร้างโอโซน (O_3) จากก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยเครื่องมือที่ใช้คือ Corona - discharge ozone generator ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดง Corona discharge ozone generation

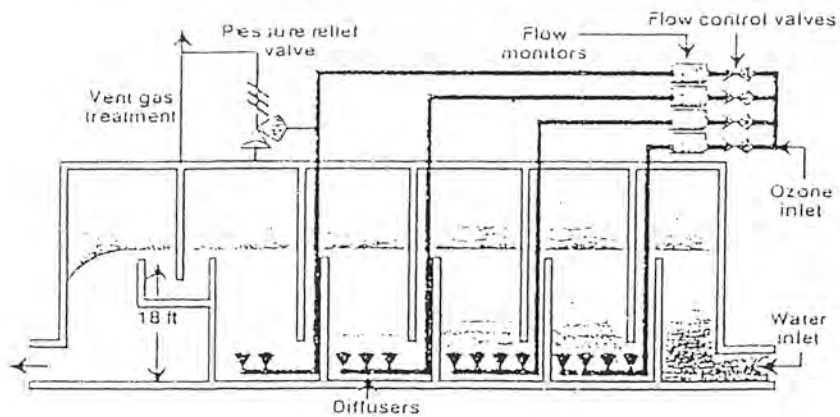
โดยทำการ feed ก๊าซออกซิเจนเข้าไประหว่าง electrode 2 ตัว ที่ความต่างศักย์ของสนามไฟฟ้าสูง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงระหว่างช่องว่างของ electrode ไปกระตุ้นโมเลกุลของ O_2 ให้สลายกลายเป็น O จากนั้น O จะไปรวมตัวกับ O_2 กลายเป็น O_3 ดังสมการ

ข้อควรระวังคือ 80% ของพลังงานที่ให้กับเซลล์จะกลายเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งถ้าร้อนมาก ๆ จะไปสลายโอโซนได้ ดังนั้นในหน่วยสร้างนี้จึงควรมีเครื่องทำความเย็นอยู่ด้วยโดยขนาดและชนิดของเครื่องนั้นควรเลือกให้เหมาะกับขนาดของ generator

4.3.3 Ozone contact

หน่วยนี้จะเป็นหน่วยเกิดปฏิกิริยา Ozonization ขึ้น ซึ่งโอโซนและน้ำเสียจะผสมกันโดยวิธีทางเชิงกลหลายวิธี เช่น Turbine, Diffusers, Injection เป็นต้น

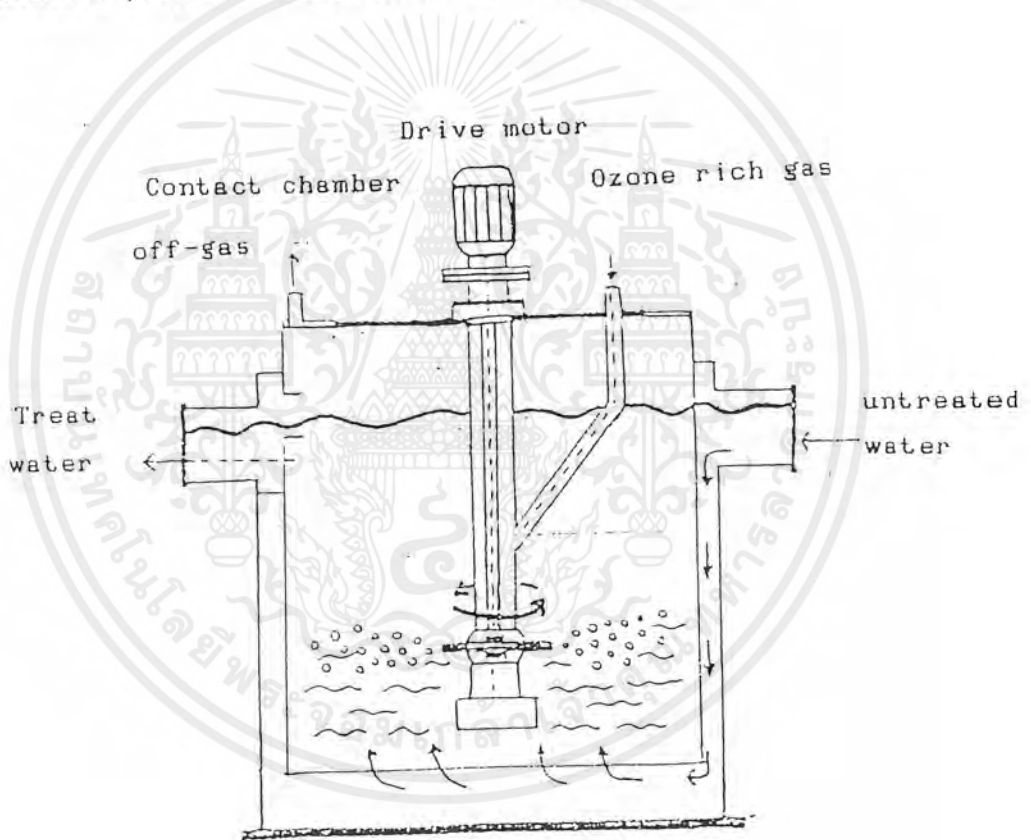
การผสมแบบ Diffusers เป็นวิธีที่มีการส่งผ่านก๊าซโอโซนอย่างรวดเร็วและใช้พลังงานต่ำ โดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.2 Ozone contact ชนิด Diffusers นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือประกอบด้วยถึง 4 ถัง มีตัว diffusers 13 ตัว ซึ่งอยู่ลึกลงมา 7 เมตร โดยจะทำการส่งก๊าซให้แพร่ออกมาทาง diffusers แล้วทำการปล่อยน้ำเสียเข้ามาบำบัดเป็นเวลา 5 - 15 นาที แต่การผสมโดยวิธี Diffusers นี้ยังมีข้อเสีย คือ อนุภาคขนาดใหญ่ในน้ำเสียจะเข้าไปติดในตัว diffusers ทำให้สกปรกได้ง่ายและการส่งผ่านของก๊าซไม่สะดวก

ดังนั้นจึงนิยมใช้การผสมแบบ Turbine (กังหันไอน้ำ) แทนเพราะมีประสิทธิภาพในการส่งก๊าซดีกว่า นอกจากนั้นการสัมผัสระหว่างน้ำกับโอโซนก็มีมากกว่า คือมีประสิทธิภาพถึง 90 % โดยโอโซนจะถูกส่งลงมาข้างส่วนล่างแล้วแพร่ออกสู่ส่วนกังหันใบพัด ซึ่งจะทำให้น้ำเสียกับโอโซนมีการสัมผัสกันหลาย ๆ รอบ โดยเครื่องมือการผสมแบบ Turbine เป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 Ozone contact ชนิด Turbine

4.3.4 Ozone destruction

หน่วยนี้เป็นหน่วยทำลายโอโซนเนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงสามารถกัดกร่อนโลหะและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้เมื่อมีความเข้มข้นสูงถึง 100 - 200 ppm ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายโอโซนที่เหลืออยู่ในระบบ ให้มีความเข้มข้นเหลือเพียง 0.1 ppm ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวิธีการทำลายของหน่วยนี้มีวิธีง่าย ๆ หลายวิธีคือ

1. reinfection (นำกลับมาใช้อีก)
2. การใช้ความร้อนเพื่อให้เกิด autodecomposition
3. dilution คือ ทำให้เจือจางกับอากาศ
4. catalytic reduction with metal oxide

โอโซนเป็นก๊าซที่มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูงสุด จึงเป็นที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำสำหรับดื่ม และระวายน้ำร่วมกับเครื่องกรองถ่านเพื่อช่วยดูดซับสารที่ถูกทำปฏิกิริยากับสารพิษหรือโลหะละลายให้หมดไป นอกจากนี้โอโซนยังมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคคลอรีนหลายเท่าโดยไม่ขึ้นกับ pH ของน้ำด้วย (ในการใช้คลอรีนต้องคำนึง pH ของน้ำด้วย)



บทที่ 5

หลักของวงจรสวิตชิง

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปไม่ว่าจะเป็นวงจรในระบบอนาล็อก หรือดิจิทัลก็ตามย่อมมีความจำเป็นที่จะต้องมีส่วนจ่ายไฟตรงเป็นภาคจ่ายกำลังโดยทั่วไปแล้วแหล่งจ่ายไฟตรงที่ดีจะต้องมีลักษณะสมบัติดังนี้

- สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยที่ยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ไว้ได้
- มีการแยกกันทางไฟฟ้า (Isolation)
- สามารถจ่ายแรงดันและกระแสออกมาหลายๆ ระดับ
- ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา
- ประสิทธิภาพสูง
- ราคาถูก

ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเห็นได้ว่าในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นนั้นถึงแม้จะง่ายต่อการออกแบบ และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพงนัก แต่ก็ยังมีข้อเสียคือถ้าต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ขนาดของภาคจ่ายไฟจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรเป็น หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่กว่าหม้อแปลงความถี่สูง ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงมาก และข้อเสียอีกข้อก็คือมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ

แต่ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิง จะใช้การเปลี่ยนระดับแรงดันจากระดับหนึ่งไปเป็นอีกระดับหนึ่ง ด้วยวงจร dc - to - dc Converter ซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต และอื่นๆ) ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อโดยอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องใช้งานในย่านแอมพลิฟ จึงทำให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นต่ำมาก การเพิ่มความเร็วในการสวิตซ์จะเป็นการเพิ่มขนาดของแรงดันและกระแส

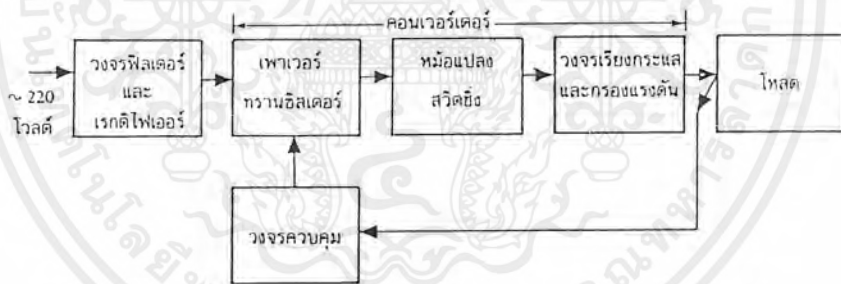
ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และต้องการขนาดที่เล็กกระทัดรัด เช่น คอมพิวเตอร์ , โทรทัศน์แม้กระทั่งในเครื่องมือวัดต่างๆ มักจะออกแบบภาคจ่ายไฟเป็นแบบสวิตชิง แต่อย่างไรก็ดีแหล่งจ่ายไฟตรงสวิตชิงก็ยังมีข้อเสียอีกหลายข้อเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นคือ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรราคาแพง และอุปกรณ์บางชิ้นหายาก โดยเฉพาะภายในประเทศ
- การออกแบบมีความยุ่งยากกว่า

5.1 หลักการเบื้องต้น

สวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5.1 หัวใจสำคัญของสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะเป็นทั้งตัวลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทด้วย ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ จะทำงานกันเป็นลำดับดังนี้

ตอนแรกจะเปลี่ยนแรงดัน ไฟสลับ 220 โวลต์ ไปเป็นแรงดันไฟตรงโดยจะผ่านเข้ามาทางวงจรเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณและถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูง เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดย เพาเวอร์มอสเฟทจะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 กิโลเฮิรตซ์จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตซ์ิ่งเพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่าต่ำลงที่เอาท์พุทของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสียก่อน จึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลด ได้การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาท์พุท ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันที่เอาท์พุทคงที่ได้



รูปที่ 5.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป

นอกจากนี้สวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังต้องมีส่วนประกอบอื่นๆอีก เช่นวงจรกรอง RFI วงจรป้องกันไฟกระชาก วงจรกำเนิดกระแส วงจรป้องกันแรงดันเอาท์พุทเกิน ฯลฯ ตอนนี้จะกล่าวถึงหลักการทฤษฎีและการออกแบบใช้งาน รวมทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของภาคเอาท์พุททำงานลักษณะของรีโซแนนซ์โดย สามารถปรับความถี่เพื่อให้ได้แรงดันหรือกระแสตามที่ต้องการ โดยที่ใช้การต่อรีโซแนนซ์สามารถทำได้หลายวิธี สำหรับโครงการนี้ใช้ RL แบบผสมเพื่อให้ได้แรงดันสูงสุด ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์

คิซึทึคิซึคอนเวอร์เตอร์ (DC - DC Converter) ในส่วนของคิซึทึคิซึคอนเวอร์เตอร์ที่จะประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง การเรกติไฟร์ ฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุตและวงจรควบคุม

วงจรควบคุมจะทำหน้าที่ป้อนพัลส์ที่เหลี่ยมความถี่สูง (20 kHz – 200 kHz) ที่จะสามารถควบคุมความกว้างของพัลส์ให้กับภาคอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะแปลงไฟตรงแรงดันสูง เป็นพัลส์ที่เหลี่ยมแรงดันสูง จากนั้นจึงทำการปรับขนาดของแรงดันตามต้องการ โดยหม้อแปลงความถี่สูงและส่งเข้าภาคเรกติไฟร์ และมีการฟิเตอร์ด้านเอาต์พุตเป็นไฟตรงตามต้องการคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้มากมีดังนี้

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช - พูลคอนเวอร์เตอร์ (Puch - Pull Converter)
4. ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Halfbridge Converter)
5. ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter)

5.1.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.2 (ก) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์ที่เหลี่ยมป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง TI จะกำหนดขดไฟปฐมาร์และเซคคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟปฐมาร์ของหม้อแปลง TI แทน เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก TI ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไฟปฐมาร์และเซคคันดารี D1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง พลังงานที่สะสมในขดไฟปฐมาร์ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังเซคคันดารีและมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C0 และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่การทำงานของ Q1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าแรงดันที่อินพุต

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ไ้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI / EMI ค่อนข้างสูงแต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อย และมีราคาถูก

5.1.2 ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์

ในรูปที่ 5.2 (ข) จะเห็นได้ว่าฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T1 จะกำหนดขดไฟรมารี่และขดเซคคันดารีให้มีฟลตรงกัน ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด D1 และตัวเหนี่ยวนำ L_o ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ขณะที่มีการกระแสไหลผ่าน L_o จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส ไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลจากขดเซคคันดารีสนามแม่เหล็กใน L_o จะยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ไดโอด D2 ก็ จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง L_o จะถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวมันและ D2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงาน ในช่วงเดียวกันแต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่าแต่ตัวอุปกรณ์มีราคาสูงกว่า

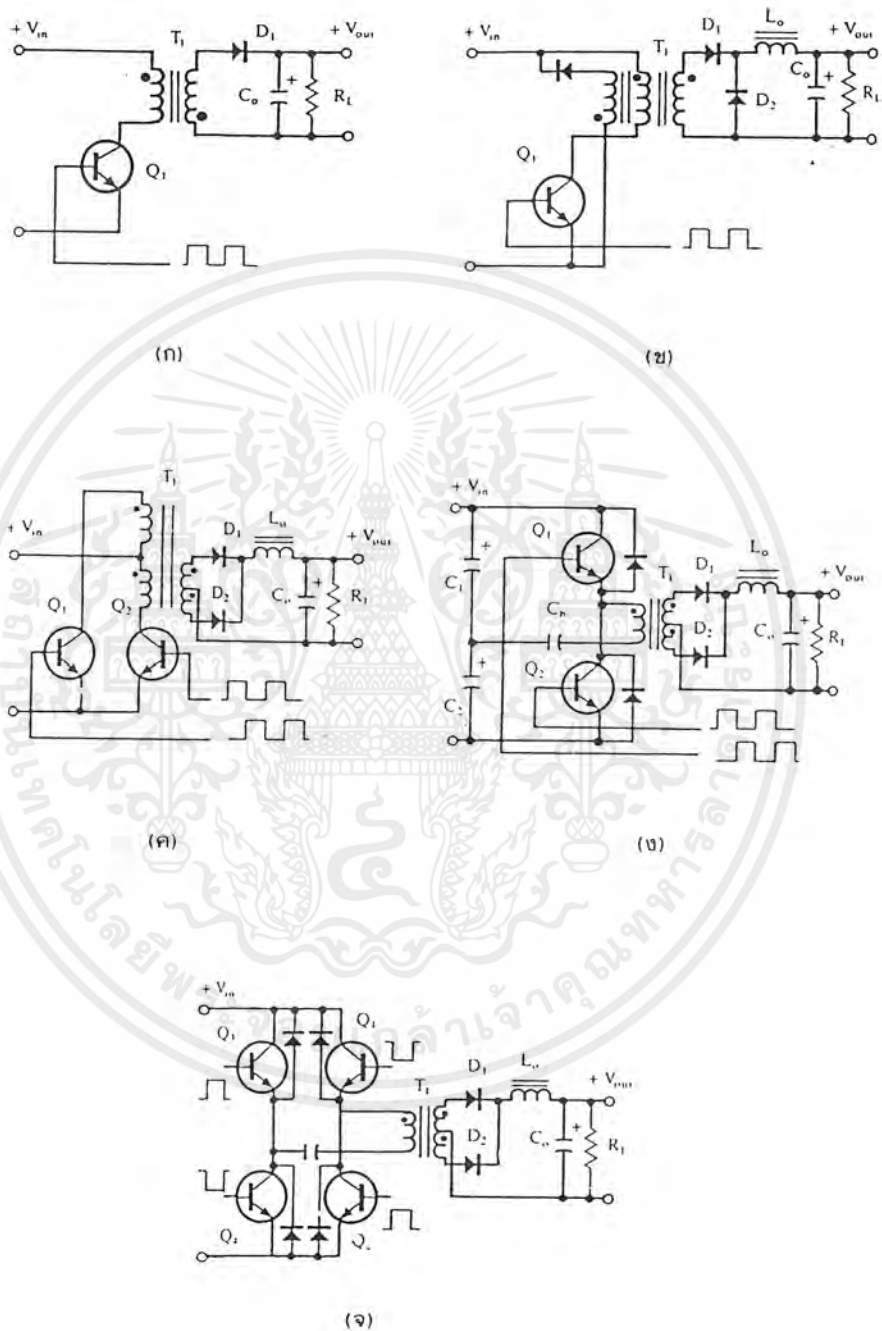
5.1.3 พุช – พูลคอนเวอร์เตอร์

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงาน ได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ ขึ้น ไปแต่มีข้อเสีย คือ มักเกิดการไม่สามารถนำฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย จากในรูปที่ 5.2 (ค) Q1 และ Q2 จะสลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบการทำงาน เมื่อ Q1 นำกระแส D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับ D2 จะถูกไบอัสตรง และนำกระแสผ่าน L_o ไปยังโหลดได้ เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส Q2 จะเริ่มนำกระแส D2 จะถูกไบอัสกลับ และ D1 ถูกไบอัสตรงและนำกระแสผ่าน L_o ไปยังโหลดได้เช่นกัน ดังนั้นโหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ

5.1.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุชพูลและให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง มีข้อดีคือเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสน้อยกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบและลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้ จากรูปที่ 5.2 (ง) จะเห็นได้ว่าหากทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำที่กระแสค่าแรงดันตกคร่อมตัวที่เหลือ จะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ Q1 และ Q2 สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเกี่ยวกับการทำงานของพุชพูลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งยกเว้นค่าแรงดันคร่อมขณะทำงานขดไฟรมารี่จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 (ก) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (ข) ฟอรวีคคอนเวอร์เตอร์ (ค) พูช - พูลคอนเวอร์เตอร์
(ง) ฮาต์ฟบริคคคอนเวอร์เตอร์ (จ) พูลบริคคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.2 (จ) มีทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 4 ตัวแต่ละจะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดยที่จะมี Q1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q4 และ Q2 จะนำกระแสพร้อมกับ Q3 กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แต่มีข้อได้เปรียบที่ขณะทำงาน ที่ขดไพรมารีจะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันที่อินพุท กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีจึงมีค่าต่ำกว่า แต่จ่ายกำลังงานได้สูงกว่า โดยจะทำงานได้ตั้งแต่ 500 – 1,000 วัตต์

5.2 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาต์พุทได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือก็คือ PWM ซึ่งเป็นหลักการใช้ PWM เมื่อควบคุมการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตในคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ ใช้ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมได้จากกระแส

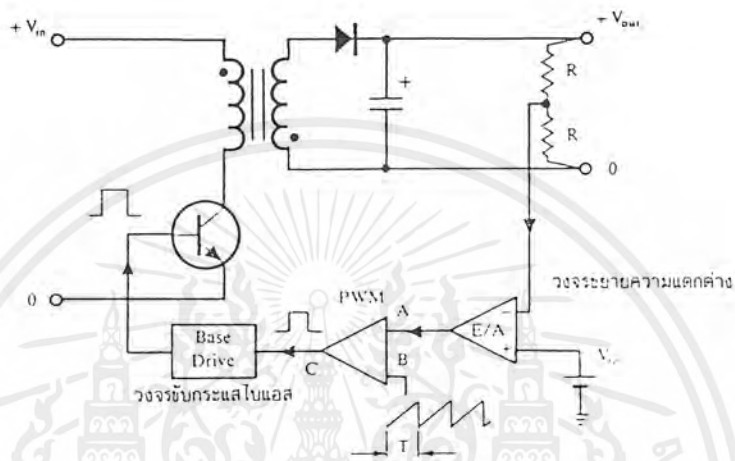
5.2.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่เอาต์พุทมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุทเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมใน โหมดควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังรูปที่ 5.3

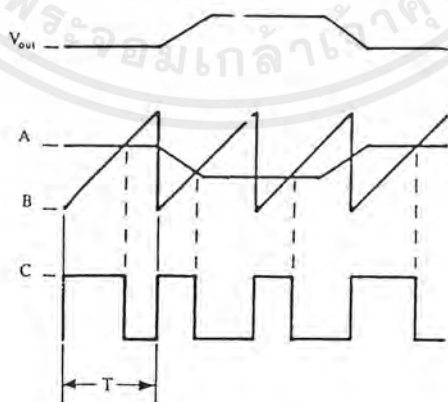
จากรูปวงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุท และมีการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุทซึ่งค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะมีการส่งไปยังที่วงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของวงจร PWM อีกครั้งหนึ่งซึ่งเอาต์พุทที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีคาบเวลาตามที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นั่นเอง ที่ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตในคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตซึ่งผลต่างของแรงดันเอาต์พุทและแรงดันอ้างอิงที่จุด A ซึ่งจะมีลักษณะที่กลับเฟสอยู่เป็นมุม 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุทมีค่ามากขึ้นแรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลงความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุทของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วยและช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต ก็จะมีค่าลดลง

แรงดันเอาต์พุตที่มีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น T_{on} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถที่จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้



รูปที่ 5.3 แสดงพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน

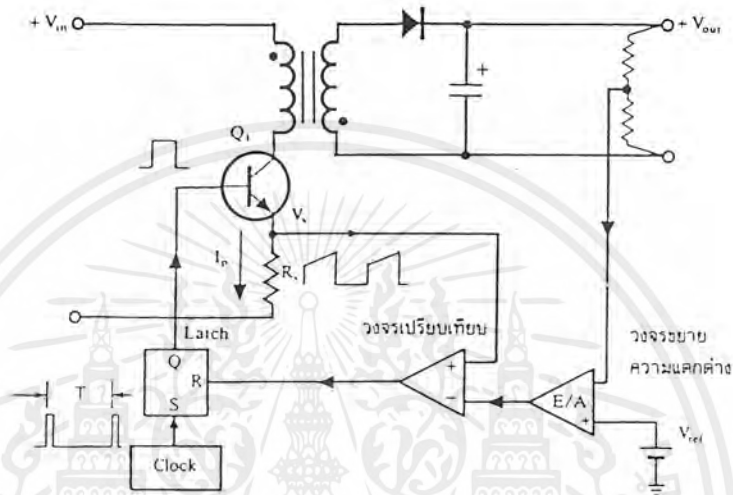


รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส (Current Mode Control)

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแสมีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมกระแส

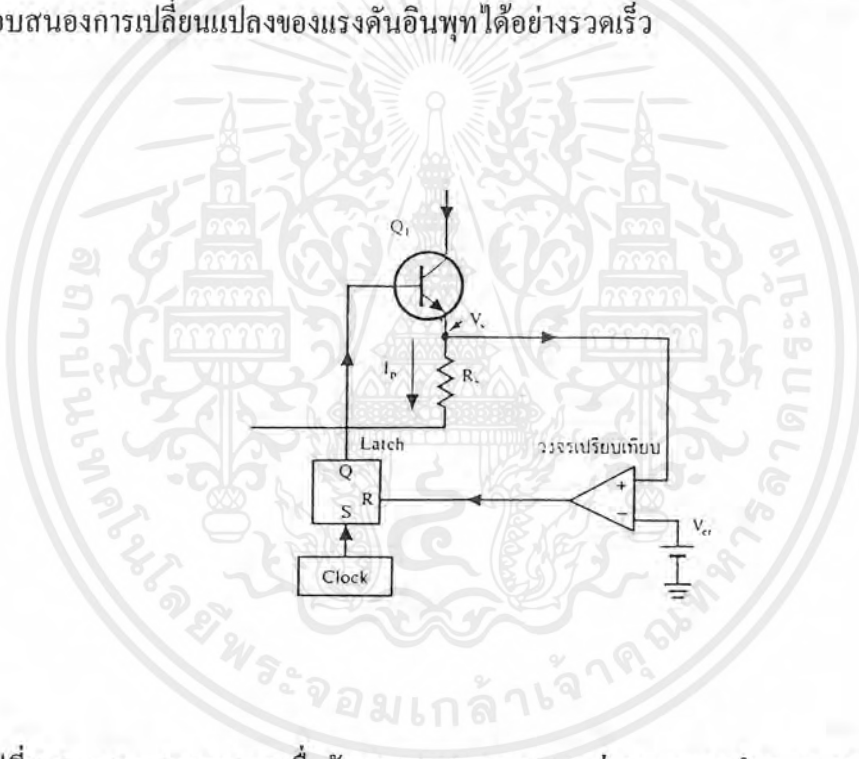
เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจากรูป 5.5 การทำงานของวงจรเราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อนและกำหนดขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง V_{ref} วงจร Latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร Latch จะมีสถานะเป็น High เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และ Q จะมีสถานะที่เป็น Low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R

เมื่อวงจรทำงานวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของซึ่งวงจร Latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น High เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ก็จะนำกระแส เมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟเหนี่ยวนำเป็นตัวต้านทาน R_s ที่ ต่ออนุกรมไว้เป็น Q_1 ทำให้เกิดแรงดัน V_s ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_s ด้วย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

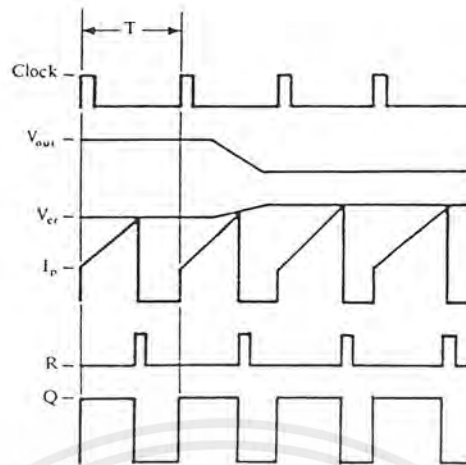
จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ ที่ขา Q ของวงจร Latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน V_s ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s นั้นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ได้เร็วขึ้นด้วย มีผลทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเวลานำกระแสได้น้อยลง โดยในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอเตอร์มีค่าลดลง ซึ่งแรงดันของ V_s จะเพิ่มขึ้น แต่มันก็จะมีผลให้เกิดได้ช้าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสได้มากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโหลดคงที่คอนเวอเตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอเตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5.6 แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัดวงจรขยายความแตกต่างออกและกำหนด V_{ref} ที่ขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบแทน

เมื่อค่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มเข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลา นำกระแสมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน V_s มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรที่ขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอเตอร์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลา นำกระแสลดลงด้วยลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะทำงานจะเป็นดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีกว่า วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน ดังนี้คือ

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดการานเซี่ยลและการกระเพื่อมของแรงดันไฟสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณการป้อนกลับจากเอาต์พุต
2. สามารถป้องกันกระแสไหลเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขีดไทม์มาร์กในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว
3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก
4. สามารถต่อขนาดคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

บทที่ 6

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายใน หลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลาและตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับตัวไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติมเช่น ไอซี 8255 หรือหน่วยความจำภายนอกเรายังสามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีให้เลือกใช้หลายเบอร์ดังแสดงในรูปที่ 6.1

Device Name	EPROM	ROM Bytes	RAM Bytes	16 BIT TIMER/COUNTER	INTERRUPT
8031	-	-	128 * 8	2	5
8031AH	-	-	128 * 8	2	5
8031BH	-	-	128 * 8	2	5
8032AH	-	-	256 * 8	3	6
8051	-	4K * 8	128 * 8	2	5
8051AH	-	4K * 8	128 * 8	2	5
8051BH	-	4K * 8	128 * 8	2	5
8052AH	-	8K * 8	256 * 8	3	6
8751H	4K * 8	-	128 * 8	2	5
8752H	8K * 8	-	256 * 8	3	6

รูปที่ 6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล

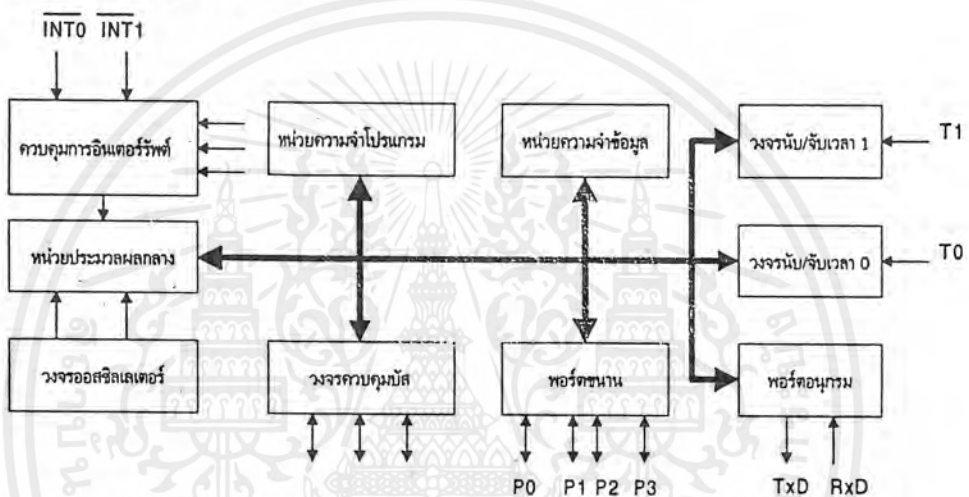
6.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 แสดงในรูปที่ 6.2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์ (Internal data memory 128 byte)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ (Internal program memory 4 Kbytes)
- อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)
- ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด (Timer / Counter0 and Timer / Counter1)
- พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้
- พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิต
- วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน



รูปที่ 6.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051

การทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะเป็นดังต่อไปนี้

6.1.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H - 0FFFH) ในহারใช้งาน เราสามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (EPROM) ที่อยู่ภายนอกก็ได้ การเลือกการติดต่อทำได้โดยการป้อนสัญญาณควบคุมให้ที่ขา EA (External Access) ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องขานี้กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกจะต้องขานี้กับลอจิก 0 การติด

เอกสารนี้อาจมีข้อผิดพลาดได้บ้าง หากพบข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งให้เราทราบได้ที่ info@mcu.com หรือ โทร 02-123-4567

ในกรณีที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับได้ 4 Kbytes (สำหรับเบอร์ 8051) หากตำแหน่งของโปรแกรม มีค่ามากกว่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน (โปรแกรมยาวเกินกว่า 4 Kbytes) ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ

6.1.2 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแตค (Stack) บางส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในของเบอร์ 8051 มีอยู่ 128 ไบต์ โดยอยู่ในตำแหน่ง 00H-7FH

6.1.3 อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขออินเทอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิดคือ สัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณจากตัว Timer0 , Timer1 และ Timer2 (เบอร์ 8051 มี Timer เพียง 2 ตัวดังนั้นจะมีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ 5 แหล่ง) และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นเราสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้ นอกจากนี้เรายังสามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt priority) จากสัญญาณต่างๆ ได้เป็น 2 ระดับแตกต่างกัน

6.1.4 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer / Counter)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ชุด คือ Timer0 และ Timer1 สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8052 จะมี Timer2 เพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว โดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะของตัวนับหรือตัวจับเวลาก็ได้

การทำงานในโหมดของตัวตั้งเวลา ค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุก ๆ แมกซ์ซินไซเกิดโดย 1 แมกซ์ซินไซเกิดประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2^{16}

การทำงานในโหมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วในการนับสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 จะมี Duty Cycle เท่าใดก็ได้

6.1.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ประกอบด้วยพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง (Bi-directional) จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลตซ์ข้อมูลและเอาต์พุตไครเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาต์พุตจะมีบัฟเฟอร์ (พอร์ตทั้ง 4 เป็นรีจิสเตอร์พิเศษชื่อ P0 , P1 , P2 และ P3) เราสามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง

ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะสามารถกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็กซ์คือเป็นทั้งพอร์ตตำแหน่งและพอร์ตข้อมูล โดย P0 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำ (Low byte) และ P2 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านสูง (High Byte)

6.2 สัญญาณต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไอซีขนาด 40 ขา ซึ่งมีสัญญาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 6.3

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	39	P0.0/AD0
P1.2	3	38	P0.1/AD1
P1.3	4	37	P0.2/AD2
P1.4	5	36	P0.3/AD3
P1.5	6	35	P0.4/AD4
P1.6	7	34	P0.5/AD5
P1.7	8	33	P0.6/AD6
RST	9	32	P0.7/AD7
RXD/P3.0	10	31	EA
TXD/P3.1	11	30	ALE
INT0/P3.2	12	29	PSEN
INT1/P3.3	13	28	P2.7/A15
T0/P3.4	14	27	P2.6/A14
T1/P3.5	15	26	P2.5/A13
WR/P3.6	16	25	P2.4/A12
RD/P3.7	17	24	P2.3/A11
XTAL1	18	23	P2.2/A10
XTAL2	19	22	P2.1/A9
VSS	20	21	P2.0/A8

รูปที่ 6.3 สัญญาณต่างๆ ของ MCS-51 เบอร์ 8051

สัญญาณต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถจำแนกตามการทำงานเป็น 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง เป็นตัวกำหนดของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลุ่มสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- กลุ่มสัญญาณข้อมูลเป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับหน่วยความจำ หน้าที่และการทำงานของสัญญาณต่างๆ เป็นดังนี้

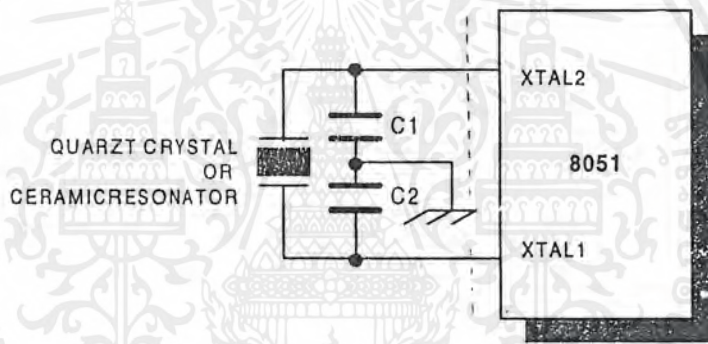
VCC สำหรับต่อกับไฟเลี้ยง 5 โวลต์

VSS สำหรับต่อกับกราวด์

XTAL1 เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรถอดสัญญาณนาฬิกา

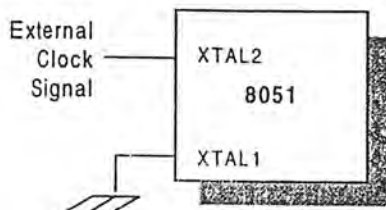
XTAL2 เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรถอดสัญญาณนาฬิกา

การต่อใช้งานของขา XTAL1 และ XTAL2 เพื่อสร้างวงจรถอดให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้คริสตัลสามารถทำได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2

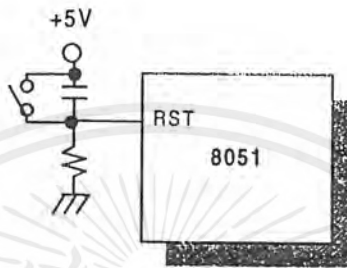
หากต้องการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะต่อ XTAL1 ลงกราวด์ และต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้าที่ขา XTAL2 ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RST สัญญาณรีเซ็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ตเมื่อสัญญาณที่ขา RST นี้มีค่าเป็นลอจิก 1 นาน ไม่ต่ำกว่า 2 แมกซ์ซีไนซ์เกิด การต่อขารีเซ็ตจะเป็นดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 การต่อสัญญาณรีเซ็ต

ALE/PROG (Address Latch Enable) เป็นสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งออกไปเป็นพัลส์เพื่อแลทช์ค่าตำแหน่ง ไบต์ค่าที่อยู่ทีพอร์ด P0 ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกข้ามไป 1 พัลส์เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) และสัญญาณนี้จะ ใช้เป็นอินพุตเพื่อควบคุมการโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

PSEN (Program Store Enable) เป็นเอาต์พุต สำหรับส่งสัญญาณสโตป (พัลส์ต่ำ) เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) เมื่อซีพียูอ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก จะส่งสัญญาณสโตปออกมา 2 ครั้งใน 1 แมกซ์ซีไนซ์เกิด แต่สัญญาณสโตปทั้ง 2 ครั้งจะถูกข้าม ไปหากเป็นช่วงที่ซีพียูติดต่อกับ External Data Memory

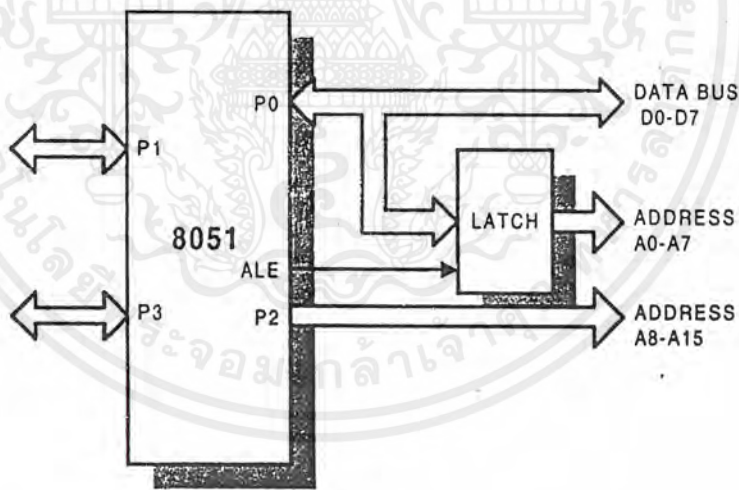
EA (External Access) เป็นสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขานี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการให้ซีพียูติดต่อ

กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก 0 หรือ VSS ถึงแม้ว่าเบอร์ 8031 ไม่มี EPROM ภายในก็ต้องต่อขาทางด้านเป็น 8751 AH แต่หากเป็น 8751 BH ต้องต่อกับ 12.75 V.

Port0 เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทางแบบ Open drain ขนาด 8 บิต P0.1 - P0.7 เมื่อใช้เป็นเอาต์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อให้ลอยซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูง

พอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณตำแหน่งด้านต่ำ และสัญญาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จะใช้การพูลอัพ (Pull up) จากภายในที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจาก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรม EPROM และเป็นตัวส่งข้อมูลออกมาในช่วงการตรวจสอบโปรแกรม

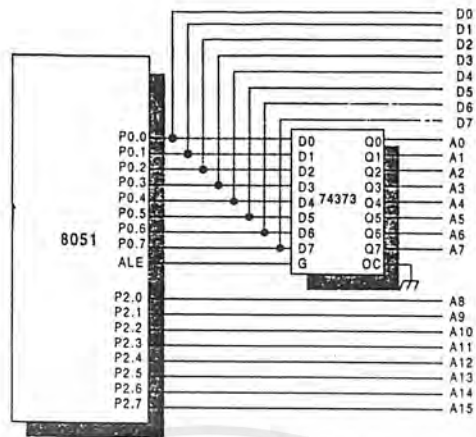
การสร้างสัญญาณตำแหน่ง A0 - A7 และสัญญาณข้อมูล D0 - D7 ทำโดยใช้อุปกรณ์แลตช์ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 การสร้างสัญญาณแอดเดรสและสัญญาณข้อมูล

อุปกรณ์ที่นำมาใช้แลตช์ตำแหน่ง A0 - A7 ที่ออกมาจากพอร์ต P0 คือ ไอซี 74LS373 ซึ่งเป็น 8 บิต แลตช์เราสามารถนำมาต่อใช้งานได้ดังแสดงในรูปที่ 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 การต่อวงจรแลชตำแหน่ง A0 - A7

- Port1 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัวเมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำในช่วงของการโปรแกรม EPROM และช่วงการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM หรือ EPROM อีกด้วย สำหรับเบอร์ 8032 AH และ 8052 AH ขา P1.0 และ P1.1 จะทำหน้าที่เป็น T2 และ T2EX อีกหนึ่งหน้าที่
- Port2 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพอยู่ภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายในอยู่ ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้การอ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต สัญญาณที่ขาของพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับปริจิสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูง ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM อีกด้วย
- Port3 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้ พอร์ต P3 ยังทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เป็นสัญญาณอื่นๆอีกดังนี้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
P3.0	RXD	อินพุตของพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	เอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 1
P3.4	TO	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 0
P3.5	T1	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	สัญญาณการเขียนข้อมูลออกไปภายนอก
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	สัญญาณการอ่านข้อมูลจากภายนอกเข้ามา

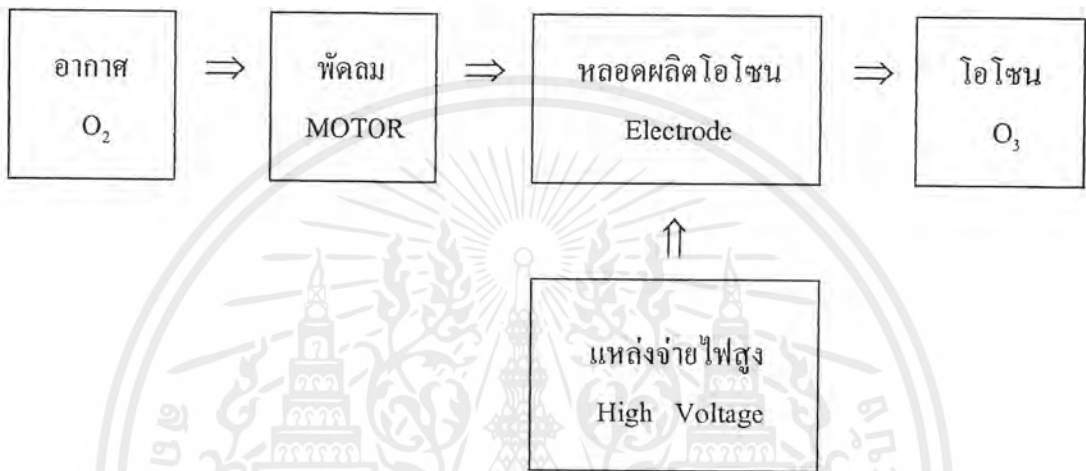
รูปที่ 6.9 สัญญาณต่างๆ ของพอร์ต P3

เมื่อต้องการใช้งานของพอร์ต P3 ให้ทำหน้าที่เป็นสัญญาณต่างๆ จะต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปแลตซ์ที่พอร์ต P3 ก่อนเพื่อให้เกิดการพูลอัฟภายใน หากเรากำหนดให้มีค่าลอจิก 0 จะทำให้สัญญาณที่ขาต่างๆ มีค่าเป็น 0 ตลอดเวลา

บทที่ 7

หลักการทํางาน และการออกแบบเครื่องผลิตโอโซน

7.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 7.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องผลิตโอโซน

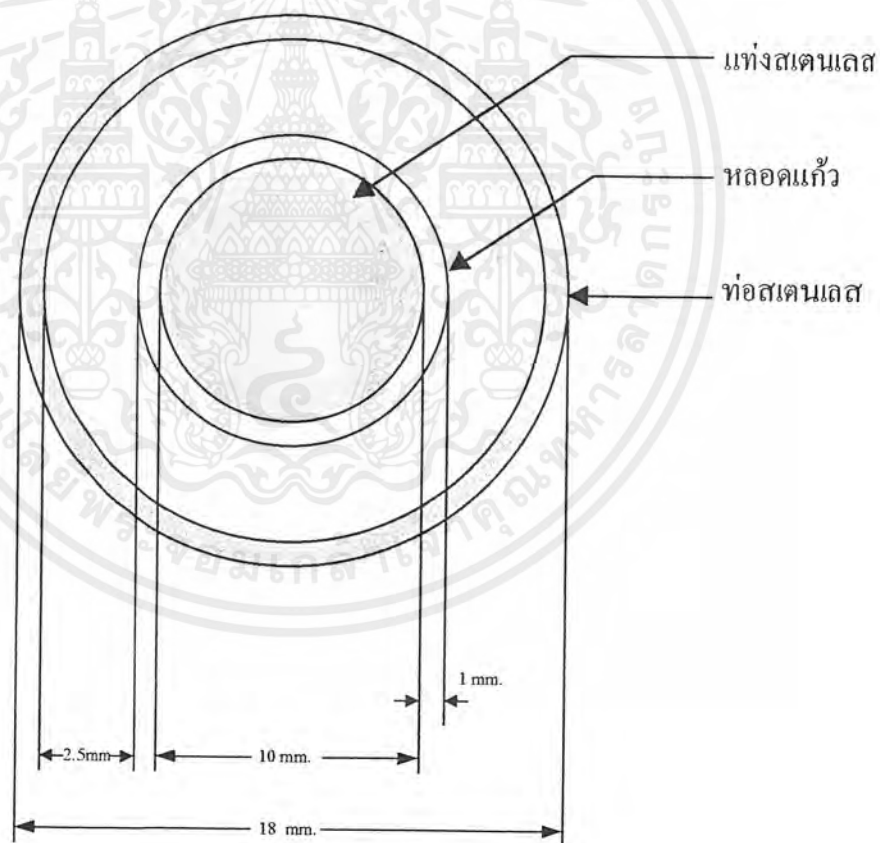
เครื่องกำเนิดโอโซนต้นแบบที่ใช้ในโครงการนี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 7.1 ลักษณะการทำงานคือ อากาศ (O_2) จะถูกดูดผ่านเข้าไปในเครื่องกำเนิดโอโซนต้นแบบโดยพัดลม โดยอากาศที่ผ่านเข้าพัดลม จะเป็นอากาศที่มีออกซิเจน (O_2) เป็นส่วนผสม โดยอากาศนั้นจะเข้าไปในหลอดผลิตโอโซน (Electrode set) โดยที่ขั้วของอิเล็กโทรดนั้นเราได้ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง ป้อนอยู่ระหว่างอิเล็กโทรด และอากาศที่ผ่านเข้าไปนี้เมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่สูง จะเกิดการแตกตัวและรวมตัวกันได้โอโซน (O_3) ออกมาและโอโซนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไป จะเห็นว่าส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดโอโซนต้นแบบนี้จะมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ

1. หลอดผลิตโอโซน (Electrode set)
2. แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High Voltage)

7.1.1 หลอดผลิตไอโซน (Electrode set)

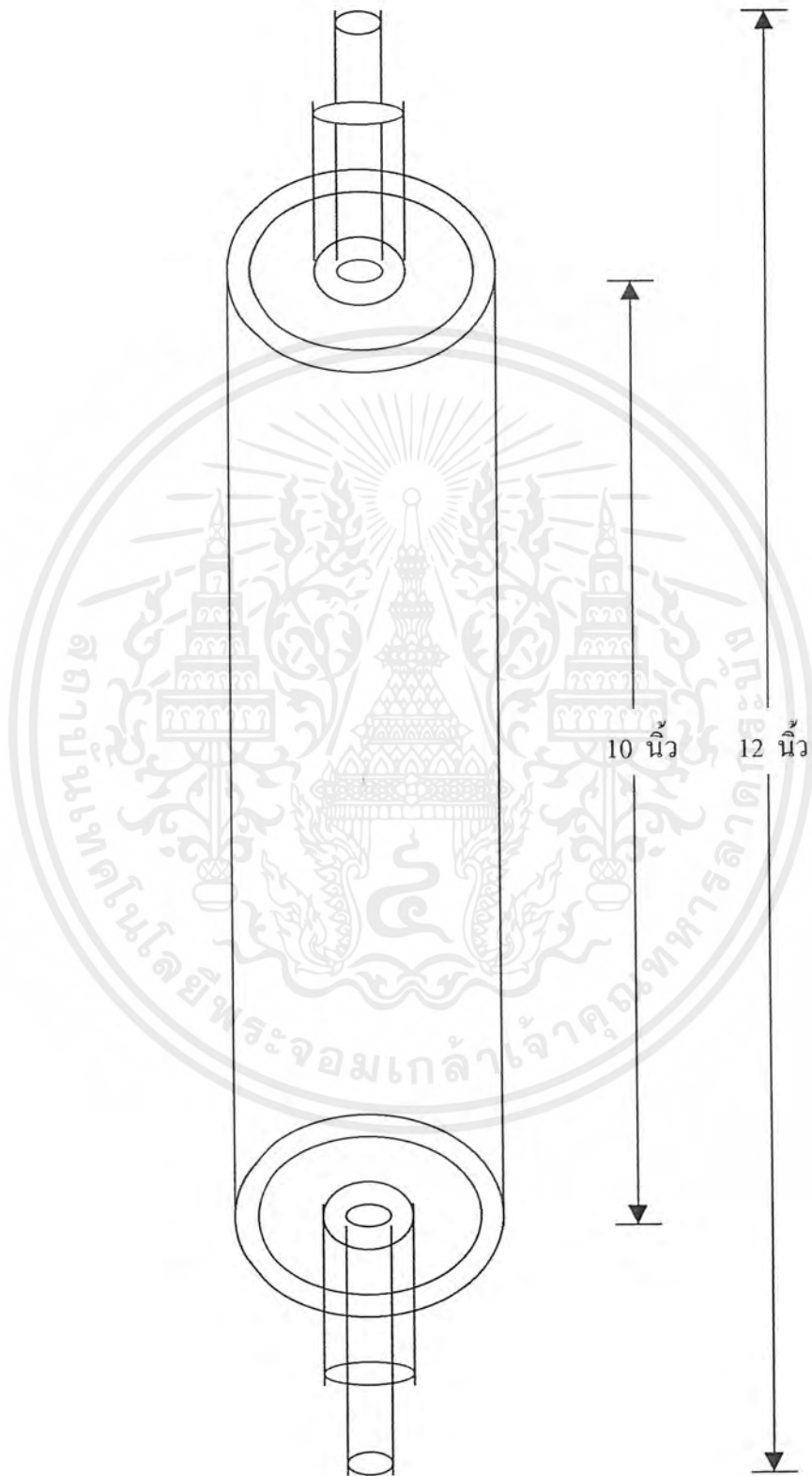
โครงสร้างของหลอดผลิตไอโซนจะประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ว โดยลักษณะของหลอดผลิตไอโซนจะเป็นรูปทรงกระบอกและสามารถแบ่งส่วนประกอบได้ 3 ส่วนคือ

1. ท่อสเตนเลส มีขนาดยาว 10 นิ้ว ความหนาของท่อ 1 มิลลิเมตร ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร
2. หลอดแก้ว มีขนาดยาว 14 นิ้ว ความหนาของหลอดแก้ว 1 มิลลิเมตร หลอดแก้วมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
3. แท่งสเตนเลส มีขนาดยาว 12 นิ้ว ความหนาของแท่งสเตนเลส 10 มิลลิเมตร



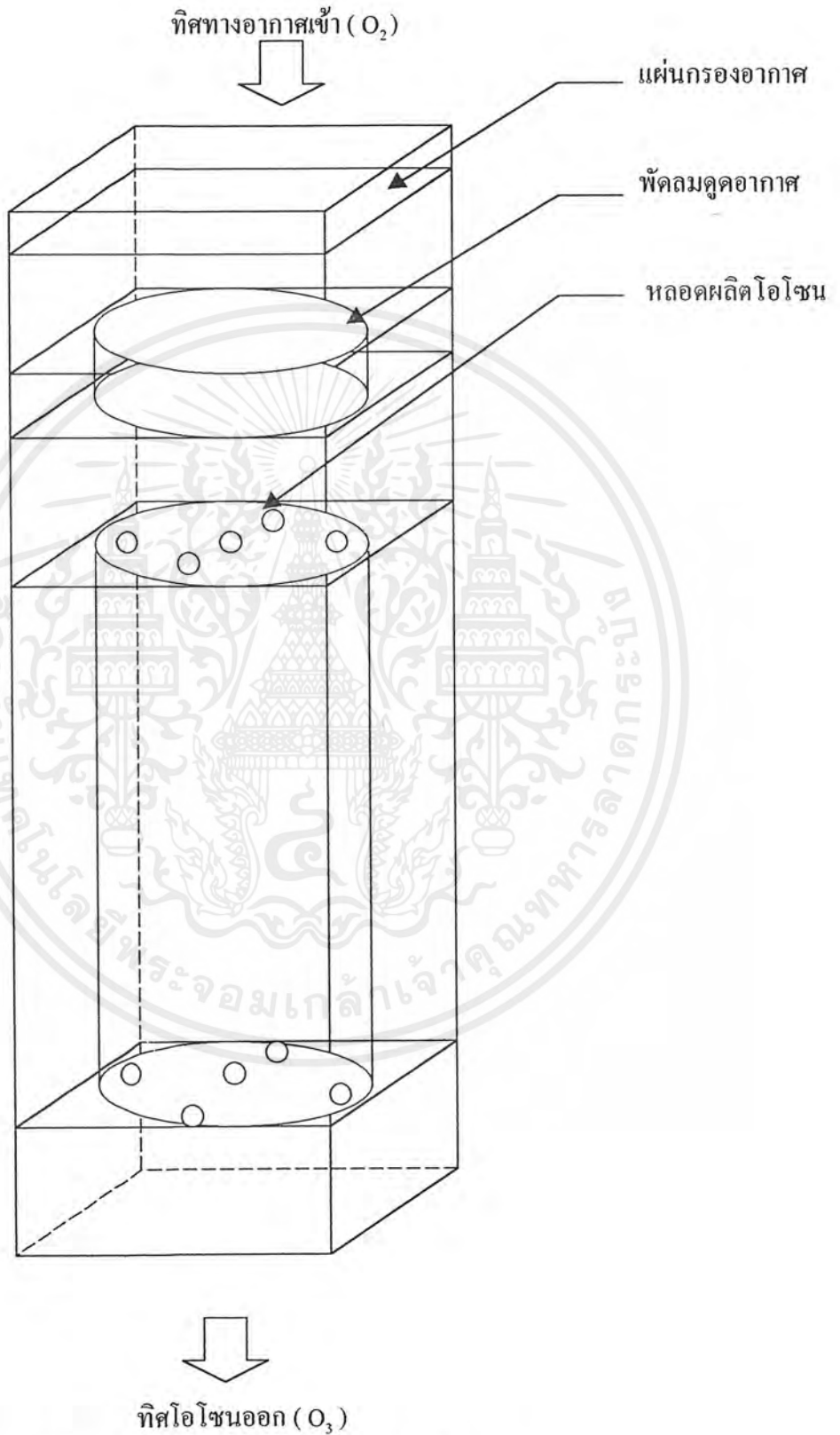
รูปที่ 7.2 โครงสร้างของหลอดผลิตไอโซน (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 โครงสร้างของหลอดผลิตไอโซน (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงโครงสร้างของเครื่องผลิตโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งนั้นเราจะแบ่งวงจรเป็น 2 วงจร โดยวงจรที่หนึ่งจะเป็นวงจรจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันของเอาต์พุตได้ ซึ่งแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่หนึ่งจะเป็นสัญญาณรูปขายน้และทำเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วแรงดันนี้จะจ่ายให้กับวงจรที่สองซึ่งจะเป็นจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่สามารถปรับความถี่ของเอาต์พุตได้ ดังนั้นแรงดันของเอาต์พุตจึงสามารถที่จะปรับแรงดันและความถี่ได้โดยถ้าจะปรับแรงดันจะต้องทำการปรับที่แรงดันที่วงจรแรก แต่ถ้าต้องการปรับความถี่เราจะต้องไปปรับที่วงจรที่สอง ดังนั้นเราจึงแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน

7.1.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้

หลักการการทำงานของวงจรที่หนึ่งจะสามารถอธิบายหลักการการทำงานได้ดังนี้ แรงดันที่รับเข้ามาจะเป็น แรงดันไฟฟ้าสลับ 220 V ความถี่ 50 Hz จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังวงจร Rectifier แบบบริดจ์ ซึ่งได้ใช้ไดโอดจำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสให้ได้แรงดัน ไฟตรงขนาด 310 V. และผ่านมายัง C พิลเตอร์เพื่อทำให้ระดับแรงดันเรียบ และยังทำหน้าที่ในการแบ่งแรงดัน ให้กับเพาเวอร์มอสเฟต ทั้งสองตัวให้เท่ากันด้วยเพราะ C มีค่าเท่ากันและต่อ R 120k เพื่อทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟตรงอินพุตให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันคือประมาณ 155 V ซึ่งคร่อมตัวมอสเฟตโดยมอสเฟตก็จะสลับกันทำงานทีละตัวตามลักษณะของวงจรฮาล์ฟบริดจ์และจังหวะที่จะให้มอสเฟตทำงานจะถูกควบคุมตามที่วงจรควบคุมที่ผลิตโดยวงจรถูก IC 494

วงจรถูกควบคุมจะอาศัย IC TL494 เป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวผลิตสัญญาณที่ไปควบคุม ทำให้มอสเฟตในวงจร คอนเวอร์เตอร์สลับกันนำกระแส โดยที่ IC TL494 เป็นวงจร PWM ที่ผลิตความถี่เอาต์พุต ออกมายังขา 8 และ 11 ซึ่งจะมีขนาดของเฟสต่างกัน 180 องศาโดยเราสามารถควบคุมความถี่ที่ผลิตขึ้นได้จาก R ที่ขา 6 และ C ที่ขา 5 และสัญญาณที่ผลิตออกมาจะต้องทำการเผื่อค่าของ DEAD TIME เพื่อเวลาส่วนนี้ไว้เพราะคุณสมบัติของมอสเฟตที่ว่ากรหน่วงของสัญญาณถ้าเราไม่เผื่อเวลาส่วนนี้อาจทำให้มอสเฟตเสียหายได้และเราสามารถกำหนดค่า DEAD TIME ได้ที่ขา 4 ส่วนขา 8 และ 11 จะเป็น output open collector เพราะฉะนั้นเราจึงต้องต่อ R 1 k Ω เพื่อให้กำหนดกระแสมากพอที่จะผ่านเข้าไปยัง IC 4049 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS จะทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังมอสเฟต IRF 9510 และ IRF 510 ที่ต่อในลักษณะ complementary โดยตัวมอสเฟตทั้งคู่นี้จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์นั้นเองจากนั้นแล้วจะส่งต่อไปยังหม้อแปลงเพื่อคัปปลิงสัญญาณส่งต่อไปยัง มอสเฟตซึ่งมอสเฟต โดยสัญญาณที่หม้อแปลงจะมีหน้าที่ไปขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเหตุการณ์ที่จะให้

มอสเฟสที่ทำงานผลัดกันที่ละตัวก็สามารถทำได้โดยการพันมือแปลงคัปปลิ่งให้มีจำนวนสองขด ซึ่งแต่ละขดจะต้องพันให้มีเฟสตรงกันข้ามกัน 180 องศา

วงจร feedback มีทั้ง feedback แรงดัน และ กระแส โดยที่การป้อนกลับแรงดันจะต่อร่วมอยู่กับการป้อนกลับ การป้อนกลับกระแสจะใช้หม้อแปลง T2 ดึงแรงดันจากเอาต์พุต มาทำการแปลงเป็นไฟตรงก่อนที่จะมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ IC LM324 แล้วส่งแรงดันที่เปรียบเทียบเข้าสู่ขา 6 ของ IC 494

ส่วนทางเอาต์พุตจะต่อวงจรเรโซแนนซ์ที่ขาของมอสเฟสที่ถูกควบคุมการสวิตช์ที่ขาเกตมา แล้วจะทำให้แรงดันส่วนนี้เป็นลักษณะสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ในกรณีที่เรานำวงจรเรโซแนนซ์มาต่อเพื่อทำปรับเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นรูปไซน์ โดยวงจรเรโซแนนซ์จะเป็นลักษณะของวงจรแบนด์พาสถ้าความถี่ที่รับเข้ามาไม่ใช่ความถี่เดียวกับความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์ จะทำให้แรงดันมีขนาดลดลง จากหลักการนี้จึงได้ว่า ถ้าวงจรควบคุมความถี่ผลิตความถี่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เราตั้งไว้จะทำให้แรงดันมีขนาดลดลงแต่ถ้าเราความถี่ที่วงจรควบคุมมีความถี่เดียวกับวงจรเรโซแนนซ์เราจะได้แรงดันที่มีขนาดสูงที่สุด จากการที่เราได้สัญญาณที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์แล้วซึ่งเป็นรูปไซน์จะถูกการส่งผ่านมาโดยหม้อแปลง L2 และถ้าเราต้องการแรงดันให้มีขนาดแรงดันเพิ่มหรือลดแรงดันเราสามารถพันจำนวนหม้อแปลงให้มีค่ามากหรือน้อยตามระดับแรงดันที่เราต้องการ และสัญญาณที่ผ่านหม้อแปลงมาจะเป็นสัญญาณไซน์ ดังนั้นเราจึงต้องแปลงให้เป็นแรงดันไฟตรงสามารถทำได้โดยต่อวงจรเรกติไฟร์เออร์ และฟิลเตอร์ต่อไปเพื่อให้ได้แรงดันตรง

หลักการออกแบบวงจรวงจรที่หนึ่ง

1. วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ให้โครงการนี้เป็นแบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์การทำงานของวงจรกำหนดจากค่าของตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเท่ากันค่อนอกันอยู่ทางคานอินพุต แรงดันตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เพาเวอร์มอสเฟส Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลา และพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟสูงความถี่สูงตามที่ต้องการเพื่อส่งต่อไปยังภาคเอาต์พุตตรีโชนันท์ต่อไป

2. วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลส์

วงจรที่ใช้สร้างและควบคุมความกว้างพัลส์โดยมี IC TL494 ทำหน้าที่หลักในการสร้างพัลส์ไปควบคุมคอนเวอร์เตอร์ และรับแรงดันจาก IC LM324 ซึ่งทำหน้าที่ในการป้อนกลับมา ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น จากการทำงานของ IC TL 494 เป็นวงจร PWM ซึ่งความถี่ควบคุมที่ออกจากรขา 6 คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ สามารถกำหนดได้จากค่า R_T และ C_T คาบเวลาการ

ทำงานที่ออกจากขา 5 และ ขา 6 ของ IC TL494 กำหนดได้จาก (การต่อ R_T และ C_T ดูได้จากภาคผนวก)

$$T = (R_T C_T) / 1.1 \quad \text{..... (7.1)}$$

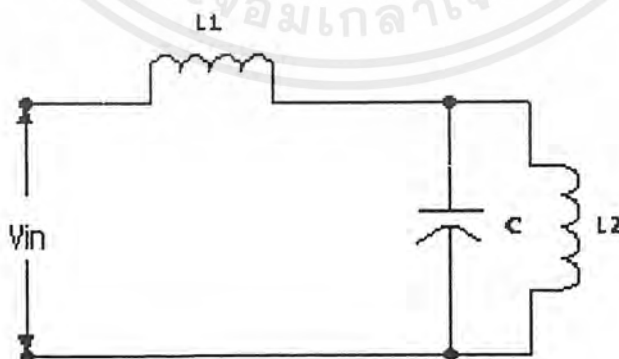
การกำหนดค่าเวลาเพื่อ (Dead time) TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนด ค่าเวลาเพื่อ ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 - 3.3 โวลต์เข้าที่ขา 4 ของ IC TL494 ซึ่งในโครงงานนี้การกำหนดความกว้างพัลส์จะสัมพันธ์กับค่าเวลาเพื่อ โดยความกว้างพัลส์จะควบคุมผ่าน VR10k กำหนดแรงดันให้ Op-Amp จาก IC LM 324 ซึ่งจะให้ไฟลบเข้ามาที่ขา 6 ของ IC TL494 เพื่อกำหนดให้ได้ความถี่ความต้องการและพัลส์ออกมาที่ขา 8 และขา 11 เพื่อนำไปควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์

3. วงจรควบคุมกระแส

วงจรควบคุมกระแสจากรูปวงจรควบคุมโดยการใช้หม้อแปลง T2 เป็นตัวป้อนกลับ และทำการแปลงแรงดันให้เรียบ เพื่อส่งผ่าน ไปยัง IC LM324 ทำการขยายและส่งต่อ ไปยัง IC494 เพื่อควบคุมความถี่ให้คงที่ต่อไป

4. วงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์

วงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นการต่อ LC แบบผสมดังรูปที่ 7.5 ซึ่งการต่อแบบนี้เพื่อส่งผลให้การควบคุมแรงดันเอาต์พุท สามารถควบคุมได้จากความถี่ ที่ป้อนให้กับส่วนของวงจรเอาต์พุทรีโซแนนซ์ซึ่งที่ความถี่ค่าหนึ่งจะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุทสูงสุดซึ่งการคำนวณ



รูปที่ 7.5 แสดงการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบ LC ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่รีโซแนนซ์นี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7.2

$$f_0 = (1/2\pi)\sqrt{(L1 + L2)/(C1 * L1 * L2)} \quad \dots\dots (7.2)$$

จากวงจรรีโซแนนซ์มีค่าต่างๆ ดังนี้

$$L1 = 0.47 \text{ mH}$$

$$L2 = 6.3 \text{ mH}$$

$$C1 = 0.1 \text{ uF}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} f_0 &= (1/2\pi) * \sqrt{(6.3\text{mH} + 0.47\text{mH}) / (0.1\text{uF} * 6.3\text{mH} * 0.47\text{mH})} \\ &= 24.06 \text{ kHz} \end{aligned}$$

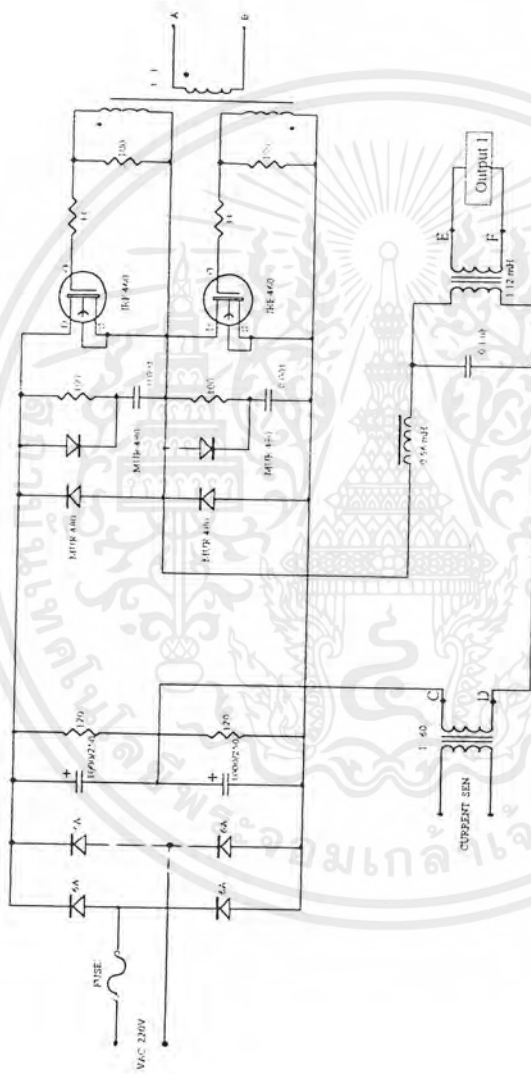
ดังนั้นความถี่รีโซแนนซ์เท่ากับ 24.06 kHz

7.1.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่สามารถปรับความถี่เอาท์พุทได้

หลักการการทำงานของวงจรที่หนึ่งจะสามารถอธิบายหลักการการทำงานได้ดังนี้ แรงดันที่รับเข้ามาจะได้มาจากวงจรแรกซึ่งแรงดันที่ได้จะเป็นสัญญาณรูปซายน์ และแรงดันนั้นจะถูกวงจรเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟตรง โดยใช้วงจรบริดจ์และวงจรฟิเดอเรอร์ที่ใช้ C ซึ่งผลที่ได้จะเป็นแรงดันไฟตรงที่สามารถเปลี่ยนได้ตั้งแต่ 30 – 300 V. และแรงดันจะถูกแบ่งเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุทโดย C และ R120 kΩ แรงดันนี้จะซึ่งตกคร่อมตัวมอสเฟตโดยมอสเฟตก็จะสลับกันทำงานทีละตัวตามลักษณะของวงจรฮาล์ฟบริดจ์และจังหวะที่จะให้มอสเฟตทำงานจะถูกควบคุมตามที่วงจรควบคุมที่ผลิตโดยวงจรถูก IC SG3526

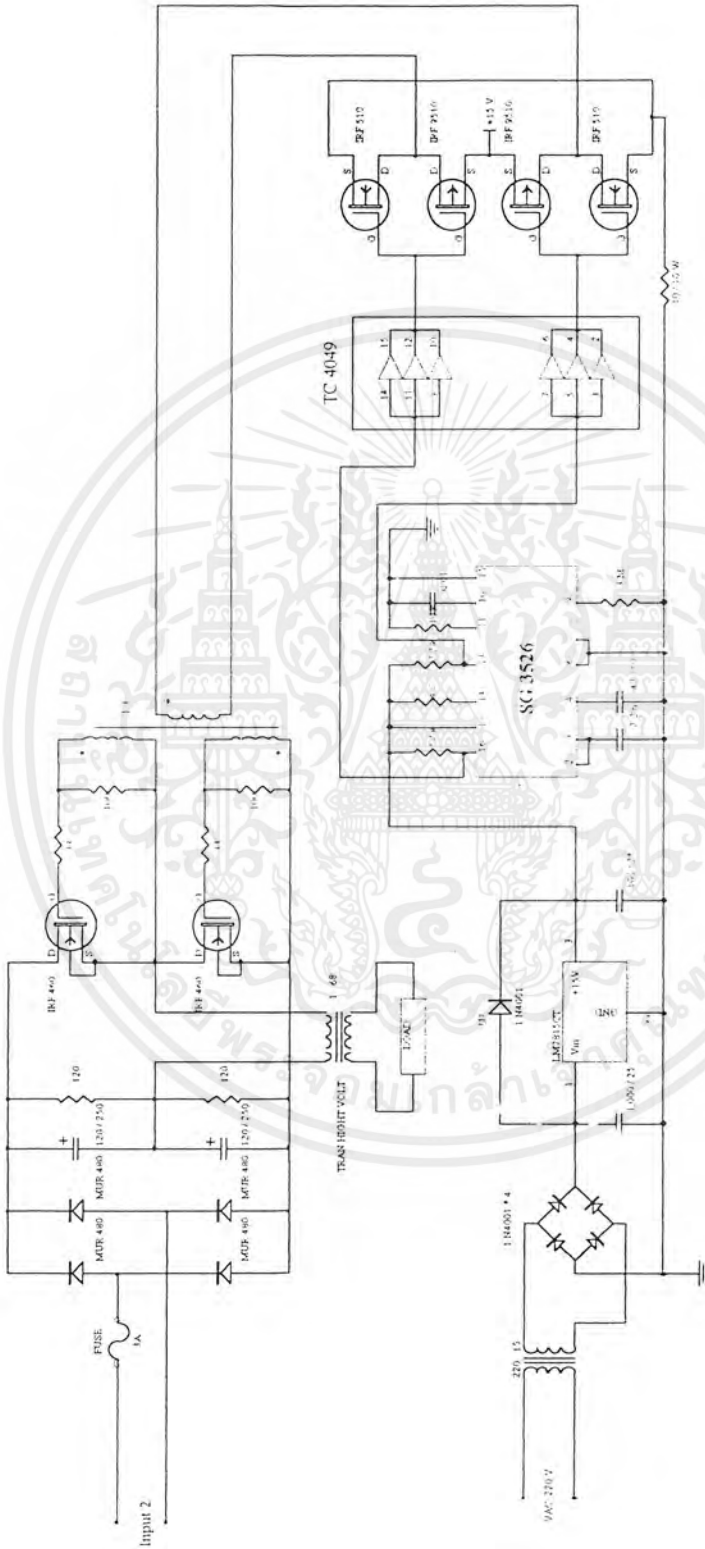
วงจรควบคุมจะอาศัย IC SG3526 เป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวผลิตสัญญาณที่ไปควบคุม ทำให้มอสเฟตในวงจร คอนเวอเตอร์สลับกันนำกระแส โดยที่ IC SG3526 เป็นวงจร PWM ที่ผลิตความถี่เอาท์พุท ออกมายังขา 13 และ 16 ซึ่งจะมีขนาดของเฟสต่างกัน 180 องศาโดยเราจะสามารถควบคุมความถี่ที่ผลิตขึ้นได้จาก R ที่ขา 9 และ C ที่ขา 10 และสัญญาณที่ผลิตออกมาจะต้องทำการเผื่อค่าของ DEAD TIME เพื่อเวลาส่วนนี้ไว้เพราะคุณสมบัติของมอสเฟตที่ว่ากรหน่วงของสัญญาณถ้าเราไม่เผื่อเวลาส่วนนี้อาจทำให้มอสเฟตเสียหายได้และเราจะสามารถกำหนดค่า DEAD TIME ได้ที่ขา 11 ส่วนขา 13 และ 16 จะเป็น output open collector เพราะฉะนั้นเราจึงต้องต่อ R 1 kΩ เพื่อให้กำหนดกระแสมากพอที่จะผ่านเข้า ไปยัง IC 4049 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS จะทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังหม้อแปลงเพื่อคัปปลิงและไปขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกตเพื่อ ทำการสวิตช์มอสเฟต IRF 460 แล้วส่งออกหม้อแปลงเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 วงจรภาค CONVERTER และ OUTPUT RESONANCE ของวงจรหม้อแปลงไฟปรับแรงดันได้ (วงจรที่หนึ่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับความถี่ได้ (วงจรที่สอง)

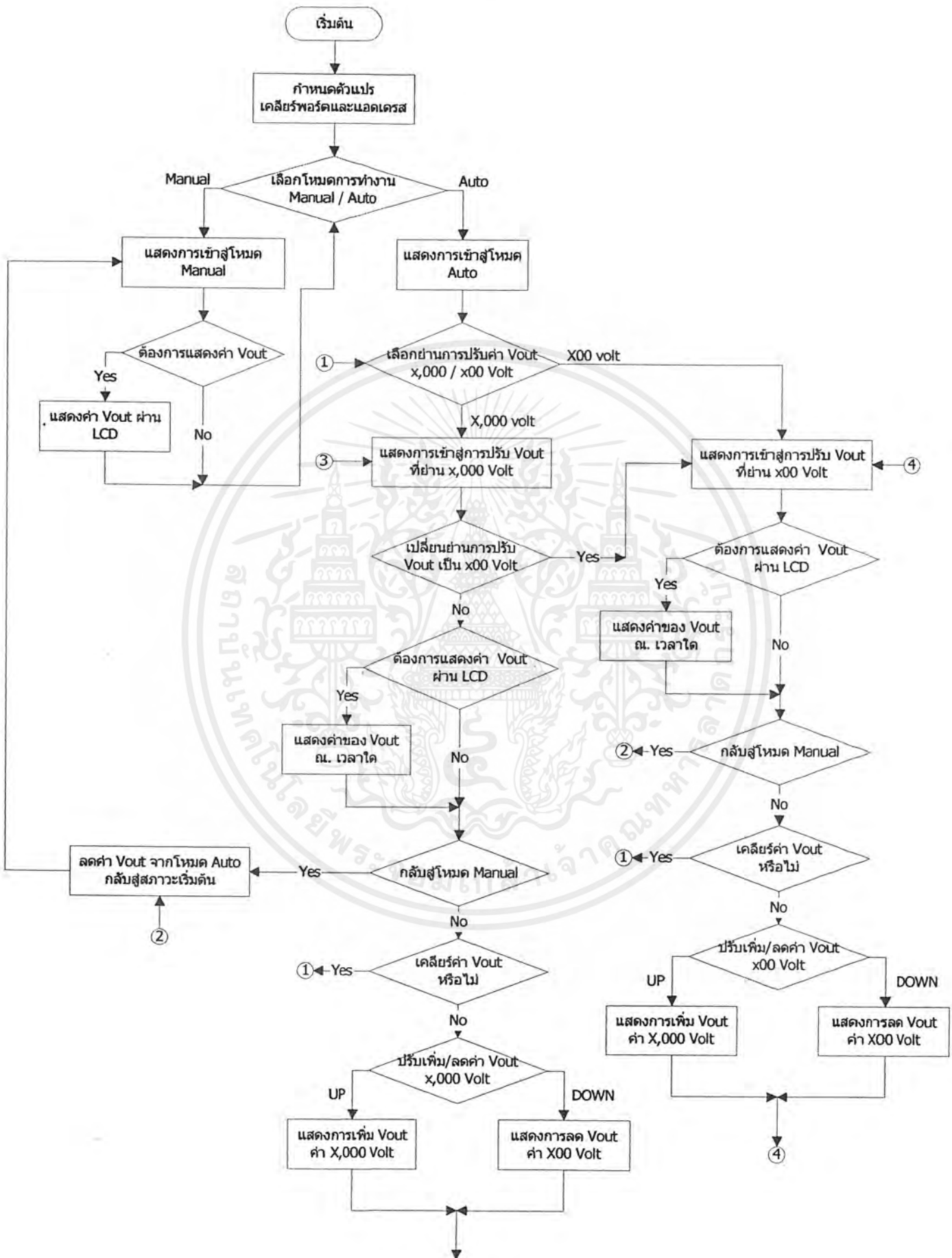
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.2.3 วงจรปรับแรงดันโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากการนำวงจรสวิทซ์ที่หนึ่งและที่สองมาประกอบ เราสามารถปรับแรงดันจากการปรับที่ความต้านทาน เนื่องจากการใช้งานในการปรับแรงดันค่าใดค่าหนึ่งเราไม่สามารถตั้งได้ ดังนั้นเราจึงออกแบบให้วงจรปรับระดับแรงดันให้สามารถควบคุมได้จากวงจรที่ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 เราเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด ในการออกแบบนั้นเราให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมแรงดันจากวงจรสวิทซ์ที่หนึ่งเพราะวงจรวจรสวิทซ์ที่หนึ่งจะเป็นส่วนปรับระดับแรงดัน โดยแรงดันจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความถี่ภาคคอนโทรล ซึ่งภาคคอนโทรลจะเป็นตัวผลิตความถี่ให้กับมอเตอร์เฟดภาคเพาเวอร์ เพราะฉะนั้นถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถปรับความถี่ของภาคคอนโทรลที่หนึ่งก็จะสามารถปรับแรงดันได้โดยเราจะป้อนแรงดันที่ได้จากการควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์มาเข้าที่ขาไอซี TL494 ขาที่ 6 ซึ่งเป็นขาที่ควบคุมการกำเนิดความถี่ของ TL494

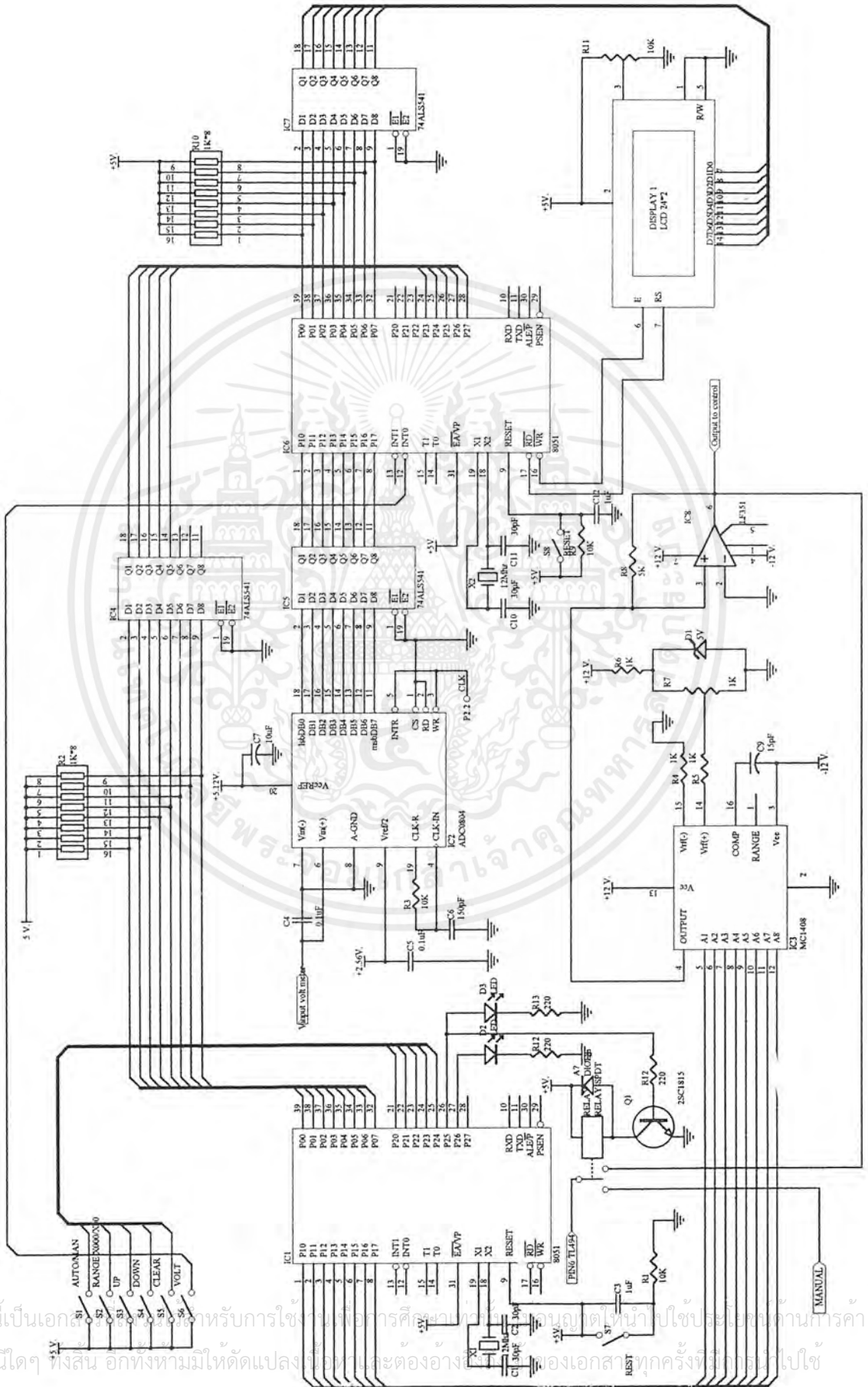
วงจรที่ควบคุมแรงดันผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวนสองตัวโดยตัวที่หนึ่งจะเป็นตัวที่รับค่าจากแป้นกดว่าต้องการสั่งงานทำอะไรถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณจากแป้นกดให้ทำคำสั่ง อัตโนมติไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่งจะทำการส่งแรงดันไฟไปขับรีเลย์ให้สวิทซ์ให้รับค่าแรงดันที่จะไปสู่ภาคคอนโทรลที่หนึ่งโดยแรงดันที่ส่งไปจะถูกควบคุมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์และแรงดันจะสามารถปรับได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่งจะรับสัญญาณจากแป้นกดว่าให้เพิ่มหรือลดระดับแรงดัน และจะไปควบคุมระดับแรงดันที่พอร์ทที่หนึ่ง เพื่อที่จะส่งไปให้ MC1408 ที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอะนาลอก โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจะเป็นสัญญาณขนาด 8 บิต เพราะฉะนั้นแรงดันจะสามารถปรับได้ 256 ระดับแรงดัน และนำแรงดันส่วนนี้ไปป้อนให้ภาคคอนโทรล TL494 เพื่อเปลี่ยนระดับค่าแรงดันเอาท์พุท

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองจะเป็นส่วนที่แสดงผลออกสู่ LCD โดยจะส่งข้อมูลไป LCD ทางพอร์ทที่ 0 และที่พอร์ท P3.6 และ P3.7 จะส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของ LCD ให้แสดงผล และอีกหน้าที่หนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองนั้นจะทำการวัดค่าแรงดันจาก เอาท์พุท ทำได้โดยรับค่าแรงดันที่ป้อนมาจากเอาท์พุททำการเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงแล้วป้อนแรงดันให้อยู่ในช่วย 0-5V. แรงดันที่รับเข้ามาจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยไอซี ACD 0804 และหลังจากการเปลี่ยนสัญญาณไปเป็นระดับทางดิจิตอลจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองทาง พอร์ทที่ 1 แล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผลออกทางจอแสดงผล LCD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 7.9 ไฟล์ซอร์สแสดงการทำงานของภาคควบคุม โดย MCS-51

รูปที่ 7.10 วงจรควบคุมแรงดันผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อการค้า
 ไม่ควรแก้ไข ฟังชั่น ออกห้หามให้ดัดแปลงให้ถูก และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้

โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่ง

```

FUNCTN EQU P2.2
CLEAR EQU P2.1
        ORG 0000H
        MOV P0,#00000000B
        MOV P1,#00000000B
        MOV P2,#00000000B
        MOV P3,#00000000B
M:      MOV R2,#7
        LCALL DTSEC
MAIN:   JNB P2.0,MAIN
        SETB P2.6
        SETB P0.1
L1:    SETB P2.7
        MOV R2,#20
        LCALL DTSEC
        CLR P2.7
        CLR P0.1
START: MOV 21H,#00H
        MOV 22H,#00H
        MOV 31H,#00H
        MOV 32H,#00H
        MOV 33H,#00H
        MOV P1,#00H
LOOP1K: MOV R2,#1
        LCALL DTSEC
STOP:  JB P2.0,STOP1
        MOV R2,#1
        LCALL DTSEC
        JMP L2
STOP1: CLR P2.6
        SETB P0.1
        MOV R2,#20
        LCALL DTSEC
        CLR P0.1
        JMP M
L2:    JB CLEAR,CLEAR1
        MOV R2,#1
        LCALL DTSEC
        JB FUNCTN,LOOP100

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    LCALL DTSEC
    JB    P2.3,ADDI1K
    MOV  R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB    P2.4,SUBB1K
    JMP  LOOP1K
NO_OVER1: MOV  21H,A
    CALL PDAC1K
    CALL SUMMARY
    JMP  LOOP1
ADDI1K:  SETB  P2.7
    SETB  P0.3
    MOV  R2,#20
    LCALL DTSEC
    CLR  P2.7
    CLR  P0.3
    MOV  A,31H
    CJNE A,#0FFH,SUBADDI1K
    JMP  SEMI1K
CLEAR1:  NOP
    NOP
    LJMP SUB_CLEAR
SUBADDI1K: MOV  A,21H
    INC  A
    CJNE A,#0AH,NO_OVER1
SEMI1K:  MOV  A,22H
    CJNE A,#00H,DECREASE1K
SUB_ADDI1K: MOV  A,#0AH
    MOV  21H,A
    CALL PDAC1K
    CALL SUMMARY
    JMP  LOOP1
DECREASE1K: MOV  22H,#00H
    MOV  32H,#00H
    JMP  SUB_ADDI1K
UNDER1:  CLR  A
    CLR  C
    MOV  21H,A
    CALL PDAC1K
    CALL SUMMARY
    JMP  LOOP1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOOP100: SETB  P3.0
          SETB  P0.2
          SETB  P2.7
          MOV   R2,#20
          LCALL DTSEC
          CLR   P2.7
          CLR   P0.2
          LJMP  SEMI_LOOP100
SUBB1K:  SETB  P0.4
          SETB  P2.7
          MOV   R2,#25
          LCALL DTSEC
          CLR   P2.7
          CLR   P0.4
          MOV   A,21H
          SUBB  A,#01H
          JC    UNDER1
          MOV   21H,A
          CALL  PDAC1K
          CALL  SUMMARY
          JMP   LOOP1
SEMI_LOOP100: JB  CLEAR,SUB_CLEAR
          MOV   R2,#1
          LCALL DTSEC
          JB   P2.3,ADDH100
          MOV   R2,#1
          LCALL DTSEC
          JB   P2.4,SUBB100
          JMP   SEMI_LOOP100
LOOP1:   MOV   P1,33H
          MOV   R2,#7
          LCALL DTSEC
          JB   P3.0,SEMI_LOOP100
          JMP   LOOP1K
SUB_CLEAR: SETB  P2.7
          SETB  P0.5
          MOV   R2,#20
          LCALL DTSEC
          CLR   P2.7
          CLR   P3.0
          CLR   P0.5

```

```

JMP START
SUB_ADDH100: MOV A,22H
INC A
CJNE A,#0AH,NO_OVER2
MOV A,#00H
MOV 22H,A
MOV 32H,A
JMP ADDH1K
NO_OVER2: MOV 22H,A
CALL PDAC100
CALL SUMMARY
JMP LOOP1
ADDH100: SETB P2.7
SETB P0.3
MOV R2,#20
LCALL DTSEC
CLR P2.7
CLR P0.3
MOV A,31H
CJNE A,#0FFH,SUB_ADDH100
MOV 22H,#00H
MOV 32H,#00H
CALL SUMMARY
JB P2.4,SUBB100
JMP LOOP1
SUBB100: SETB P2.7
SETB P0.4
MOV R2,#20
LCALL DTSEC
CLR P2.7
CLR P0.4
MOV A,22H
SUBB A,#01H
JC UNDER2
MOV 22H,A
CALL PDAC100
CALL SUMMARY
JMP LOOP1
DECREASE100: DEC A
MOV 21H,A
CALL PDAC1K

```

```

MOV    A,#09H
MOV    22H,A
CALL   PDAC100
CALL   SUMMARY
JMP    LOOP1
UNDER2: CLR    A
        CLR    C
        MOV    A,21H
        CJNE   A,#00H,DECREASE100
        MOV    21H,#00H
        MOV    31H,#00H
        MOV    22H,#00H
        MOV    32H,#00H
        MOV    33H,#00H
        JMP    LOOP1
SUMMARY: CLR    A
        MOV    A,31H
        ADD    A,32H
        CLR    C
        MOV    33H,A
        RET
PDAC1K: CJNE   A,#00H,THOU1
DAC1K:  MOV    DPTR,#DATA1K
        MOV    A,@A+DPTR
        MOV    31H,A
        RET
THOU1:  CJNE   A,#01H,THOU2
        JMP    DAC1K
THOU2:  CJNE   A,#02H,THOU3
        JMP    DAC1K
THOU3:  CJNE   A,#03H,THOU4
        JMP    DAC1K
THOU4:  CJNE   A,#04H,THOU5
        JMP    DAC1K
THOU5:  CJNE   A,#05H,THOU6
        JMP    DAC1K
THOU6:  CJNE   A,#06H,THOU7
        JMP    DAC1K
THOU7:  CJNE   A,#07H,THOU8
        JMP    DAC1K
THOU8:  CJNE   A,#08H,THOU9

```

```

        JMP     DAC1K
THOU9:  CJNE  A,#09H,THOUA
        JMP     DAC1K
THOUA:  JMP     DAC1K
DATA1K: DB     00H,6BH,94H,0AAH
        DB     0B8H,0C2H,0C9H,0D1H
        DB     0DBH,0E3H,0FFH
PDAC100: CJNE  A,#00H,HUND1
DAC100:  MOV   DPTR,#DATA100
        MOV   A,@A+DPTR
        MOV   32H,A
        RET
HUND1:  CJNE  A,#01H,HUND2
        JMP   DAC100
HUND2:  CJNE  A,#02H,HUND3
        JMP   DAC100
HUND3:  CJNE  A,#03H,HUND4
        JMP   DAC100
HUND4:  CJNE  A,#04H,HUND5
        JMP   DAC100
HUND5:  CJNE  A,#05H,HUND6
        JMP   DAC100
HUND6:  CJNE  A,#06H,HUND7
        JMP   DAC100
HUND7:  CJNE  A,#07H,HUND8
        JMP   DAC100
HUND8:  CJNE  A,#08H,HUND9
        JMP   DAC100
HUND9:  JMP   DAC100
DATA100: DB     00H,02H,05H,07H
        DB     0AH,0CH,0FH,11H
        DB     14H,16H
DTSEC:  MOV   R3,#179
DTSEC1: MOV   R4,#0
        DJNZ  R4,$
        NOP
        NOP
        DJNZ  R3,DTSEC1
        DJNZ  R2,DTSEC
        RET
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สอง

```

LCD_ADDR EQU 030H
LCD_DATA EQU 031H
LCD_EN BIT P3.6
LCD_RS BIT P3.7
ORG 0000H
MOV P0,#00H
MOV P1,#00H
MOV P2,#00H
MOV P3,#00H
INITIAL: SETB P3.6
CLR P3.7
LCALL INIT_LCD
START: LCALL SHOW_TITLE
JMP MANUAL
PRE_SH_VOLT: LCALL PRE_VOLT
LCALL LOOK
MOV R2,#2
LCALL DTSEC
JB P3.2,MANUAL
MOV R2,#2
LCALL DTSEC
JB P2.3,J_SH_AUTO
MOV R2,#2
LCALL DTSEC
JMP PRE_SH_VOLT
J_SH_AUTO: LJMP PRE_SH_AUTO
MANUAL: LCALL SHOW_MANUAL
JB P3.2,PRE_SH_VOLT
MOV R2,#2
LCALL DTSEC
JB P2.3,J_SH_AUTO
MOV R2,#2
LCALL DTSEC
JMP MANUAL
PRE_SH_VOLT1: LCALL PRE_VOLT
LCALL LOOK
MOV R2,#3
LCALL DTSEC
JB P2.3,PRE_MANUAL
MOV R2,#1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL DTSEC
JB P2.4,PRE_SH_X00
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.5,UP_RANGE_X000
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.6,DOWN_RANGE_X000
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.7,SH_CLEAR
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P3.2,SH_AUTO
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JMP PRE_SH_VOLT1
PRE_MANUAL: AJMP MANUAL
UP_RANGE_X000: LCALL SHOW_UP_X000
AJMP PRE_SH_VOLT1
DOWN_RANGE_X000: LCALL SHOW_DOWN_X000
AJMP PRE_SH_VOLT1
SH_CLEAR: LCALL SHOW_CLEAR
AJMP PRE_SH_VOLT1
PRE_SH_AUTO: LCALL SHOW_AUTO
SH_AUTO: LCALL SHOW_AU_X000
SH_AUTO1: LCALL SHOW_RANGE_X000
JB P2.3,PRE_MANUAL
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.4,PRE_SH_X00
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.5,UP_RANGE_X000
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.6,DOWN_RANGE_X000
MOV R2,#1
LCALL DTSEC
JB P2.7,SH_CLEAR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    LCALL DTSEC
    JB     P3.2,P_SH_VOLT1
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JMP    SH_AUTO1
P_SH_VOLT1: LJMP PRE_SH_VOLT1
PRE_SH_X00: AJMP SH_X00
PRE_SH_VOLT2: LCALL PRE_VOLT
    LCALL LOOK
    MOV    R2,#3
    LCALL DTSEC
    JB     P2.3,PRE_MANUAL1
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB     P2.4,PRE_SH_AUTO2
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB     P2.5,UP_RANGE_X00
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB     P2.6,DOWN_RANGE_X00
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB     P2.7,SH_CLEAR2
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JB     P3.2,SH_AUTO2
    MOV    R2,#1
    LCALL DTSEC
    JMP    PRE_SH_VOLT2
PRE_SH_AUTO2: LJMP SH_AUTO
PRE_MANUAL1: LJMP MANUAL
UP_RANGE_X00: LCALL SHOW_UP_X00
    JMP    PRE_SH_VOLT2
DOWN_RANGE_X00: LCALL SHOW_DOWN_X00
    JMP    PRE_SH_VOLT2
SH_CLEAR2:    LCALL SHOW_CLEAR
    JMP    PRE_SH_VOLT2
SH_X00: LCALL SHOW_AU_X00
SH_AUTO2: LCALL SHOW_RANGE_X00

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JB      P2.4,PRE_SH_AUTO2
MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JB      P2.5,UP_RANGE_X00
MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JB      P2.6,DOWN_RANGE_X00
MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JB      P2.7,SH_CLEAR2
MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JB      P3.2,P_SH_VOLT2
MOV     R2,#1
LCALL  DTSEC
JMP     SH_AUTO2
P_SH_VOLT2: LJMP PRE_SH_VOLT2
PRE_VOLT: SETB P2.2
MOV     R2,#0
MOV     R3,#5
LCALL  DMSEC
CPL    P2.2
MOV     R2,#0
MOV     R3,#2
LCALL  DMSEC
MOV     60H,#00H
MOV     61H,P1
MOV     62H,R2
MOV     63H,R3
HTOD:  CLR    A
MOV     DPL,61H
MOV     DPH,60H
MOV     R1,A
MOV     R2,A
MOV     R3,A
MOV     R4,#16
HTOD1: MOV    A,DPL
RLC     A
MOV     DPL,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    A,DPH
RLC    A
MOV    DPH,A
MOV    R5,#3
MOV    R0,#3
HTOD2: MOV    A,@R0
ADDC   A,ACC
DA     A
MOV    @R0,A
DEC    R0
DJNZ   R5,HTOD2
DJNZ   R4,HTOD1
MOV    50H,R2
MOV    51H,R3
DPOASCI: MOV   A,50H
ORL    A,#00110000B
MOV    52H,A
MOV    A,51H
SWAP   A
ANL    A,#00001111B
ORL    A,#00110000B
MOV    53H,A
MOV    A,51H
ANL    A,#00001111B
ORL    A,#00110000B
MOV    54H,A
MOV    R2,62H;
MOV    R3,63H;
RET

```

```

;*****

```

```

;SUB PROGRAM DELAY MILLI_SECOND

```

```

;*****

```

```

DMSEC: MOV    R4,#230
DMSEC1: NOP
        DJNZ   R4,DMSEC1
        DJNZ   R3,DMSEC
        MOV    A,R2
        CJNE  A,#0,DMSEC2
        RET
DMSEC2: DEC    R2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_1
LCALL WRLINE_LCD
LCALL DELAY_1S
RET

;*****
SHOW_AUTO: MOV LCD_ADDR,#00H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_2
ACALL WRLINE_LCD
ACALL DELAY_1S
ACALL DELAY_1S
ACALL LCD_OFF
RET

;*****
SHOW_AU_X000: MOV LCD_ADDR,#00H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_3
ACALL WRLINE_LCD
ACALL DELAY_1S
ACALL DELAY_1S
ACALL LCD_OFF
RET

;*****
SHOW_RANGE_X000: MOV LCD_ADDR,#00H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_4
ACALL WRLINE_LCD
ACALL DELAY_1S
RET

;*****
SHOW_UP_X000: MOV LCD_ADDR,#00H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_7
ACALL WRLINE_LCD
ACALL DELAY_1S
ACALL LCD_OFF
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สําคัญสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RET
```

```
*****
```

```
SHOW_DOWN_X00: MOV LCD_ADDR,#00H
```

```
ACALL SET_ADDR_LCD
```

```
MOV DPTR,#TITLE_8
```

```
ACALL WRLINE_LCD
```

```
ACALL DELAY_1S
```

```
ACALL LCD_OFF
```

```
RET
```

```
*****
```

```
SHOW_AU_X00: MOV LCD_ADDR,#00H
```

```
ACALL SET_ADDR_LCD
```

```
MOV DPTR,#TITLE_5
```

```
ACALL WRLINE_LCD
```

```
ACALL DELAY_1S
```

```
ACALL DELAY_1S
```

```
ACALL LCD_OFF
```

```
RET
```

```
*****
```

```
SHOW_RANGE_X00: MOV LCD_ADDR,#00H
```

```
ACALL SET_ADDR_LCD
```

```
MOV DPTR,#TITLE_6
```

```
ACALL WRLINE_LCD
```

```
ACALL DELAY_1S
```

```
RET
```

```
*****
```

```
SHOW_UP_X00: MOV LCD_ADDR,#00H
```

```
ACALL SET_ADDR_LCD
```

```
MOV DPTR,#TITLE_9
```

```
ACALL WRLINE_LCD
```

```
ACALL DELAY_1S
```

```
ACALL LCD_OFF
```

```
RET
```

```
*****
```

```
SHOW_DOWN_X00: MOV LCD_ADDR,#00H
```

```
ACALL SET_ADDR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#TITLE_10
ACALL  WRLINE_LCD
ACALL  DELAY_1S
ACALL  LCD_OFF
RET

```

```

;*****

```

```

SHOW_CLEAR: MOV    LCD_ADDR,#00H

```

```

ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR,#TITLE_11
ACALL  WRLINE_LCD
ACALL  DELAY_1S
ACALL  LCD_OFF
RET

```

```

;*****

```

```

;LCD INITIALIZE

```

```

;*****

```

```

INIT_LCD: ACALL  DELAY_100ms

```

```

CLR    LCD_RS
MOV    P0,#00111000B
ACALL  LCD_CLK
ACALL  DELAY_10ms
MOV    P0,#00111000B
ACALL  LCD_CLK
ACALL  LCD_OFF
ACALL  LCD_CLR
MOV    P0,#00000110B
ACALL  LCD_CLK
ACALL  LCD_HOME
RET

```

```

;*****

```

```

;LCD CLEAR DISPLAY

```

```

;*****

```

```

LCD_CLR: CLR    LCD_RS
MOV    P0,#00000001B
ACALL  LCD_CLK
RET

```

```
;LCD RETURN HOME
```

```
*****
```

```
LCD_HOME: CLR   LCD_RS
            MOV   P0,#00000010B
            ACALL LCD_CLK
            RET
```

```
*****
```

```
;LCD DISPLAY OFF
```

```
*****
```

```
LCD_OFF: CLR   LCD_RS
            MOV   P0,#00001000B
            ACALL LCD_CLK
            RET
```

```
*****
```

```
;LCD CLK
```

```
*****
```

```
LCD_CLK: SETB  LCD_EN
            ACALL LCD_DELAY
            CLR   LCD_EN
            ACALL LCD_DELAY
            RET
```

```
*****
```

```
;LCD DISPLAY ON
```

```
*****
```

```
LCD_ON: CLR   LCD_RS
            MOV   P0,#00001100B
            ACALL LCD_CLK
            RET
```

```
*****
```

```
;LCD CURSOR ON
```

```
*****
```

```
LCD_BLINK: CLR  LCD_RS
            MOV   P0,#00001111B
            ACALL LCD_CLK
            RET
```

```
;LCD LEFT SHIFT DISPLAY
```

```
*****
```

```
LCD_LSHF: CLR   LCD_RS
           MOV   P0,#00011000B
           ACALL LCD_CLK
           RET
```

```
*****
```

```
;LCD RIGHT SHIFT DISPLAY
```

```
*****
```

```
LCD_RSHF: CLR   LCD_RS
           MOV   P0,#00011100B
           ACALL LCD_CLK
           RET
```

```
*****
```

```
;SET LCD ADDRESS
```

```
*****
```

```
SET_ADDR_LCD: CLR   LCD_RS
              MOV   A,LCD_ADDR
              SETB  ACC.7
              MOV   P0,A
              ACALL LCD_CLK
              RET
```

```
*****
```

```
;WRITE CHARACTER TO SHOW LCD
```

```
*****
```

```
WRCHAR_LCD: SETB  LCD_RS
            MOV   P0,LCD_DATA
            ACALL LCD_CLK
            ACALL LCD_ON
            RET
```

```
*****
```

```
;WRITE LINE OF 16 CHARACTER FROM ROM
```

```
*****
```

```
WRLINE_LCD: MOV   R0,#0
WRLINE_LCD_1: SETB LCD_RS
              CLR   A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ A,@A+DPTR รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     P0,A
ACALL  LCD_CLK
INC     DPTR
INC     R0
CJNE   R0,#24,WRLINE_LCD_1

```

```

MOV     LCD_ADDR,#040H
ACALL  SET_ADDR_LCD

```

```

WRLINE_LCD_2: SETB  LCD_RS

```

```

CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     P0,A
ACALL  LCD_CLK
INC     DPTR
INC     R0
CJNE   R0,#48,WRLINE_LCD_2
ACALL  LCD_ON
RET

```

```

WRLINE_LCD_3: MOV   R0,#0

```

```

WRLINE_LCD_4: SETB  LCD_RS

```

```

CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     P0,A
ACALL  LCD_CLK
INC     DPTR
INC     R0
CJNE   R0,#24,WRLINE_LCD_4
ACALL  LCD_ON
RET

```

```

;*****
;DUMMY DELAY TIME I2C_DELAY,LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;*****

```

```

LCD_DELAY:  MOV   R7,#2

```

```

LCD_DELAY_1: MOV  R6,#0E6H

```

```

LCD_DELAY_2: NOP

```

```

NOP

```

```

DJNZ   R6,LCD_DELAY_2

```

```

DJNZ   R7,LCD_DELAY_1

```

```

RET

```

```

DELAY_10ms: MOV  R7,#10

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยได้

```

DELAY_10ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_10ms_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_10ms_2
DJNZ R7,DELAY_10ms_1
RET

```

```

DELAY_100ms: MOV R7,#100
DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP

```

```

NOP
DJNZ R6,DELAY_100ms_2
DJNZ R7,DELAY_100ms_1
RET

```

```

DELAY_1s: MOV R5,#100
DELAY_1s_1: ACALL DELAY_10ms
DJNZ R5,DELAY_1s_1
RET

```

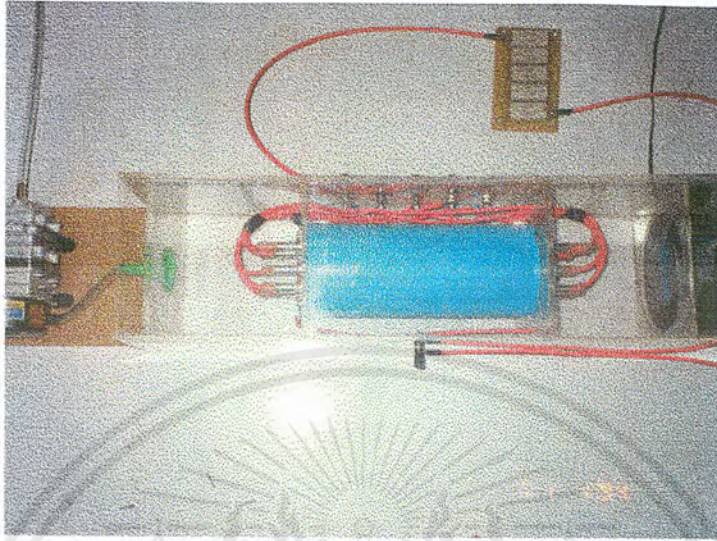
```

;*****
;DEFINE CONSTANT <STORE IN FLASH EEPROM PROGRAM MEMORY>
;*****
; 01234567890123456789012340123456789012345678901234
TITLE_0: DB ' << OZONE GENERATOR >> PROJECT BY LIKIT_BEAR..'
TITLE_1: DB ' INTO MODE MANUAL. CAN CHANGE TO MODE AUTO.'
TITLE_2: DB ' INTO MODE AUTOMATIC. CAN CHANGE VOLTAGE RANGE.'
TITLE_3: DB 'USE TO RANGE X,000 VOLT. CAN CHANGE TO X00 VOLT.'
TITLE_4: DB ' SELECT UP/DOWN X,000 V. OUTPUT VOLTAGE VALUES.'
TITLE_5: DB ' USE TO RANGE X00 VOLT. CAN CHANGE TO X,000 VOLT.'
TITLE_6: DB ' SELECT UP/DOWN X00 V. OUTPUT VOLTAGE VALUES.'
TITLE_7: DB ' UP VOLTAGE X,000 V. *****'
TITLE_8: DB ' DOWN VOLTAGE X,000 V. *****'
TITLE_9: DB ' UP VOLTAGE X00 V. *****'
TITLE_10: DB ' DOWN VOLTAGE X00 V. *****'
TITLE_11: DB ' CLEAR VOLTAGE NOW. *****'
TITLE_12: DB ' OUTPUT VOLTAGE VALUE '

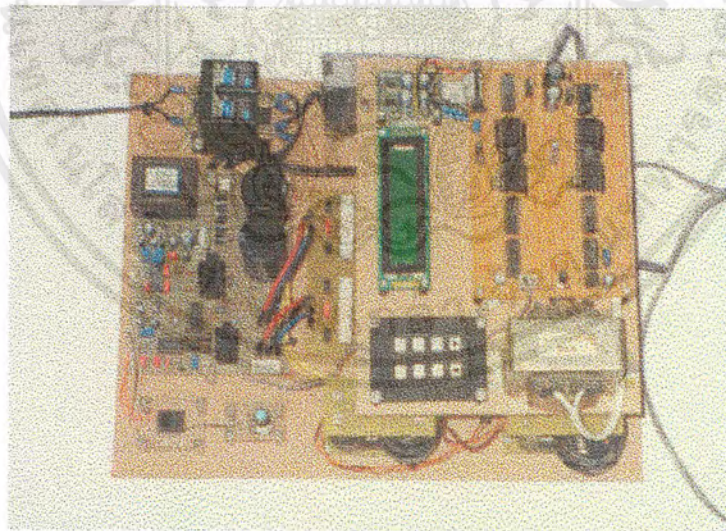
```

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

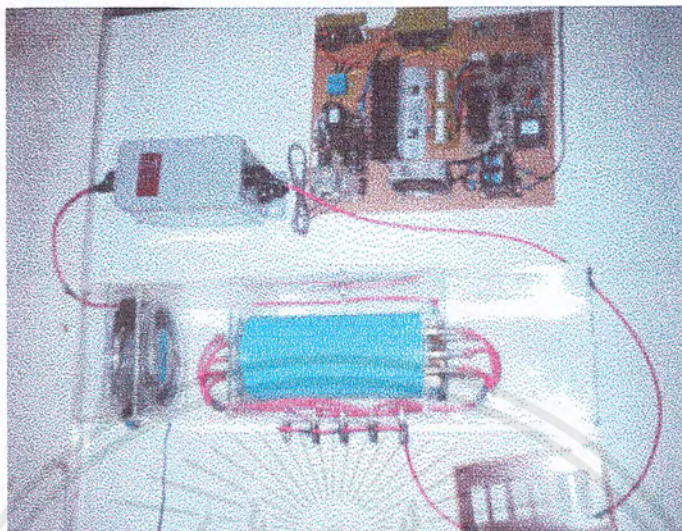


รูปที่ 7.11 รูปลักษณะหลอดผลิตไอโซน

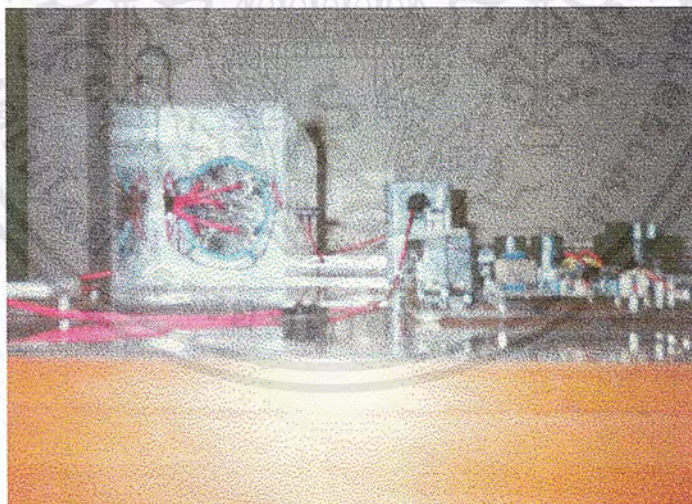


รูปที่ 7.12 แสดงรูปแหล่งจ่ายแรงดันแบบสวิทซ์ซึ่งที่ป้อนแรงดันให้หลอดผลิตไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

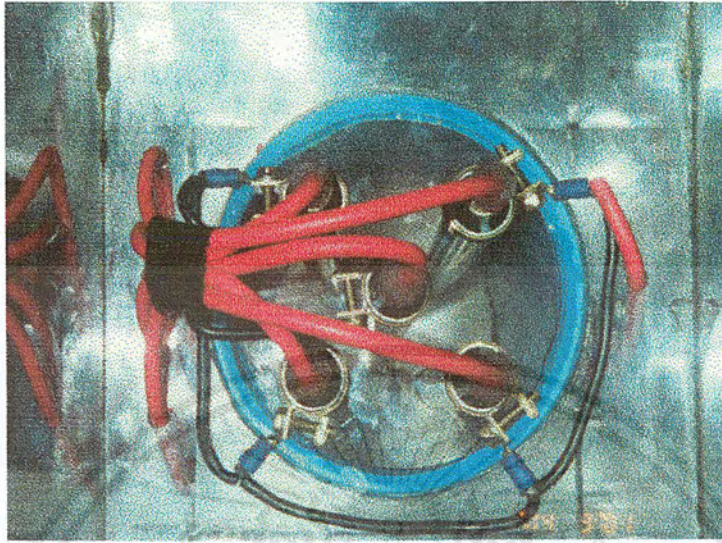


รูปที่ 7.13 แสดงการต่อเครื่องผลิตโอโซน (ด้านบน)

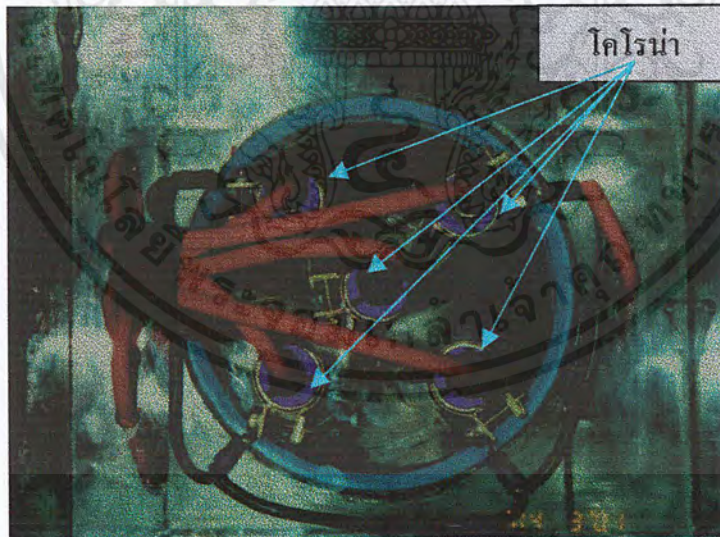


รูปที่ 7.14 แสดงการต่อเครื่องผลิตโอโซน (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.15 หลอดผลิตโอโซนด้านหน้า



รูปที่ 7.16 หลอดผลิตโอโซนด้านหน้าตอนที่เกิดปรากฏการณ์โคโรน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

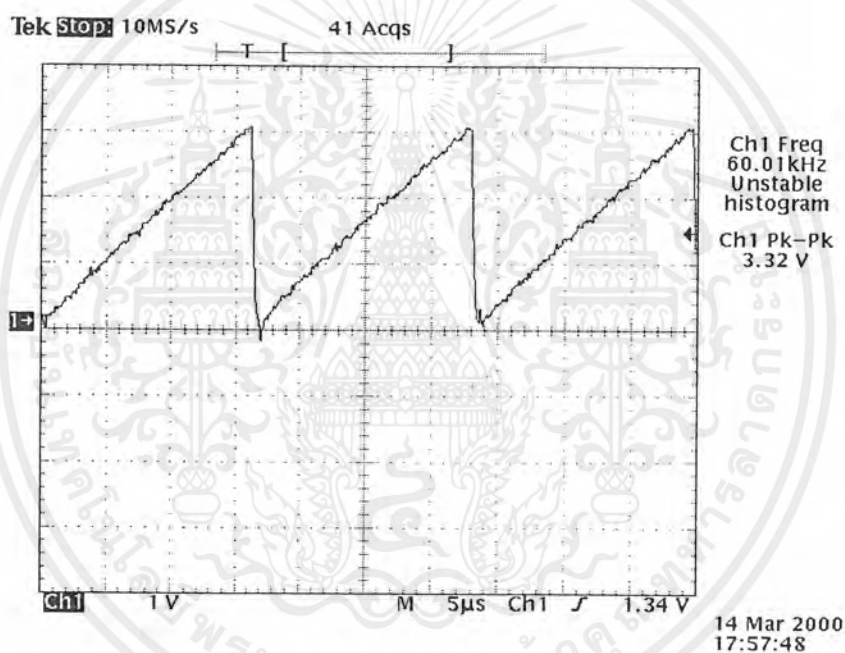
7.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

การทดลองนั้นเราได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองวงจร ดังนี้

7.2.1 การทดลองวงจรที่หนึ่ง

7.2.1.1 การทดลองวัดรูปสัญญาณตามส่วนต่างของวงจร (วงจรที่หนึ่ง)

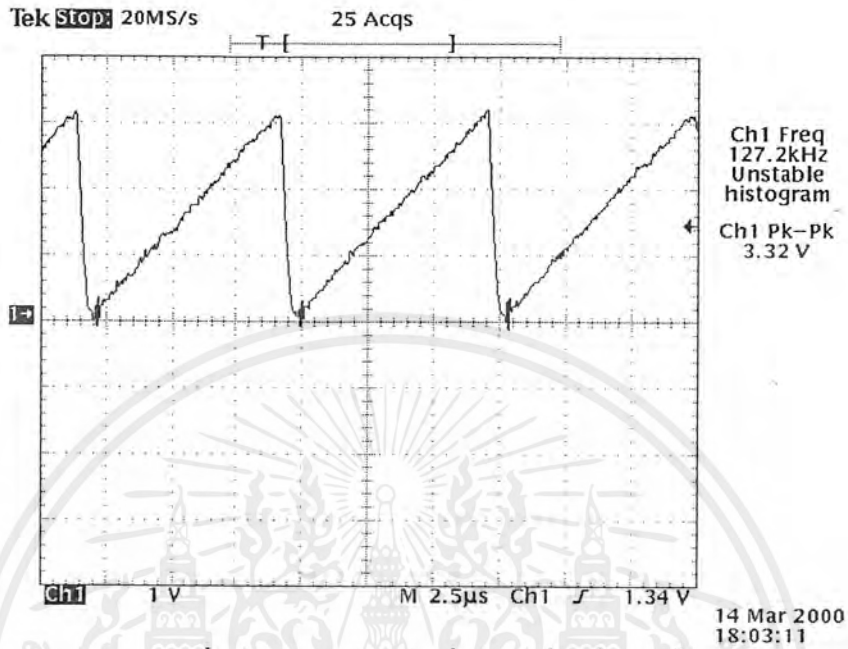
1. วัดสัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่ต่ำสุด



รูปที่ 7.17 สัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่ต่ำสุด

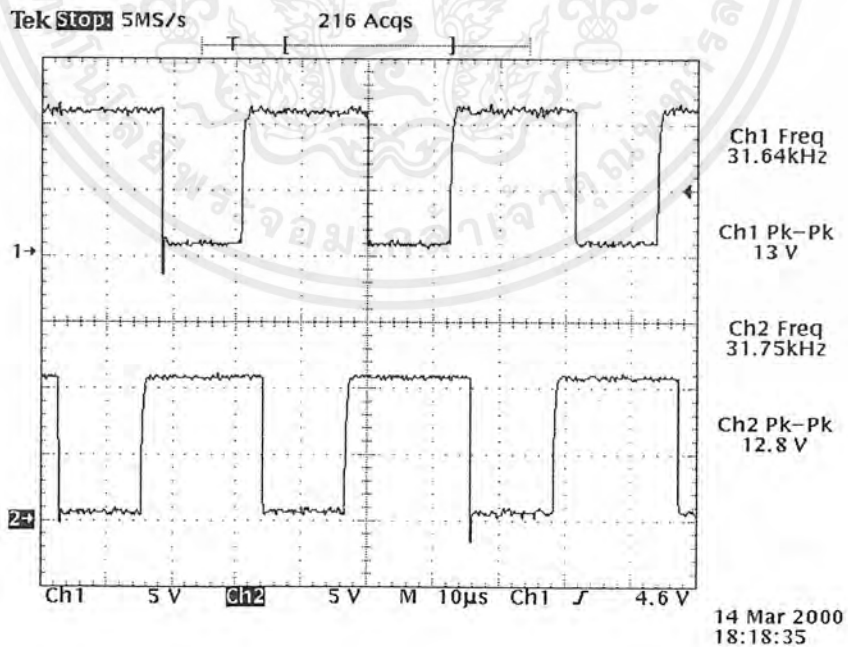
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดสัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่สูงสุด



รูปที่ 7.18 สัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่สูงสุด

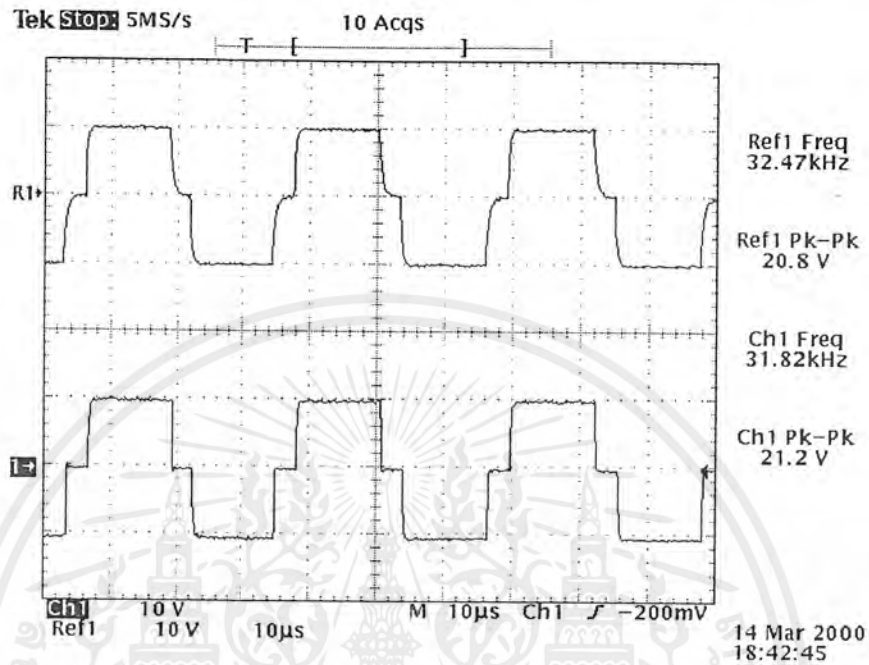
3. วัดสัญญาณ IC 494 ที่ขา 8 เทียบกับกราวด์ (CH 1) และสัญญาณที่ขา 11 เทียบกับกราวด์ (CH 2)



รูปที่ 7.19 สัญญาณที่ ขา 8 และขา 11

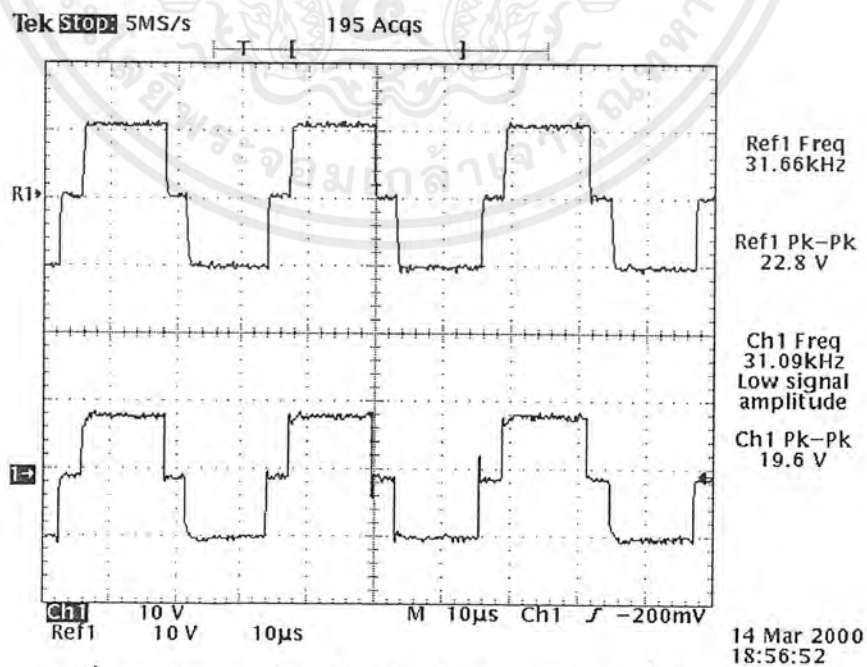
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วัดสัญญาณของ IC 494 ที่ขา 8 เทียบกับ ขา 11 (Ref1) และสัญญาณที่ผ่าน IC CMOS (CH1)



รูปที่ 7.20 สัญญาณที่ขา 8 เทียบกับขา 11 (ก่อนผ่าน CMOS) และ หลังผ่าน CMOS

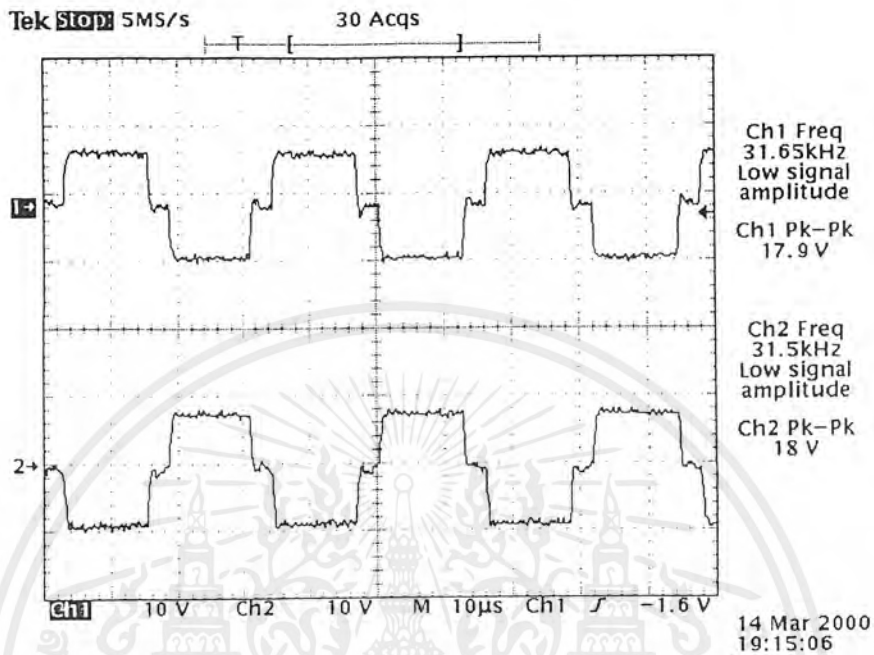
5. วัดสัญญาณหลังผ่าน CMOS (Ref1) และสัญญาณที่เข้าหม้อแปลง (CH1)



รูปที่ 7.21 สัญญาณก่อนเข้าหม้อแปลง และสัญญาณที่เข้าหม้อแปลง

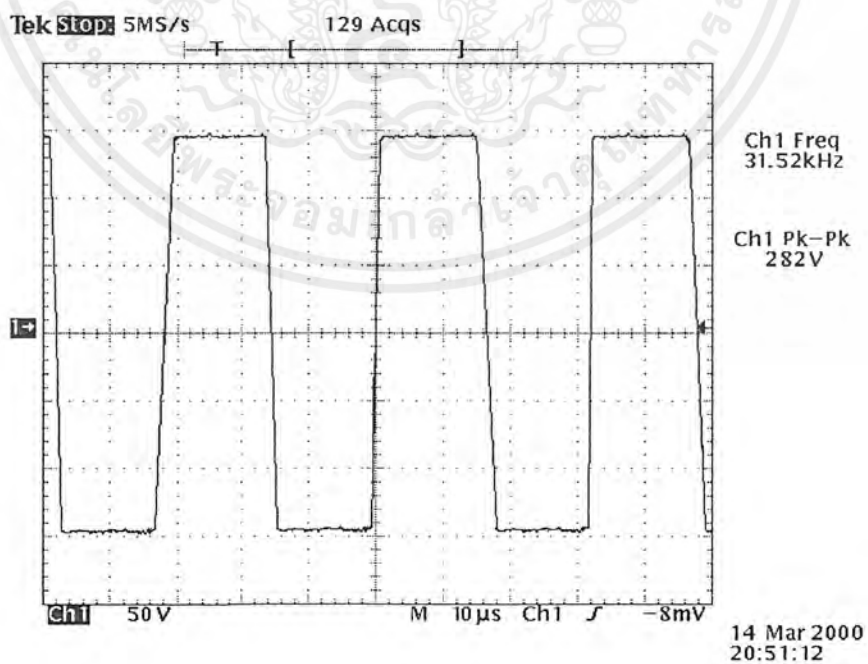
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วัดสัญญาณที่เข้าขาเกิดของเฟตตัวที่ 1 (CH 1) และสัญญาณที่เข้าขาเกิดของเฟตตัวที่ 2 (CH 2)



รูปที่ 7.22 สัญญาณขาเกิดของเฟตตัวที่ 1 และสัญญาณขาเกิดของเฟตตัวที่ 2

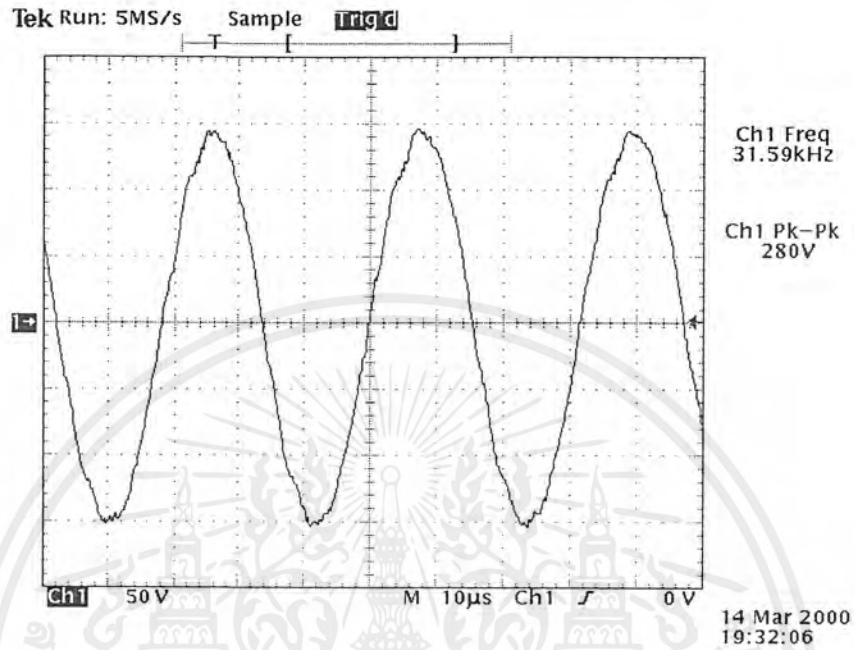
7. วัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตก่อนผ่านวงจรโซแนนซ์



รูปที่ 7.23 สัญญาณด้านเอาต์พุตก่อนผ่านวงจรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วัดสัญญาณหลังจากการผ่านวงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 7.24 สัญญาณแรงดันเอาพุทหลังการผ่านวงจรเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุทเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความถี่

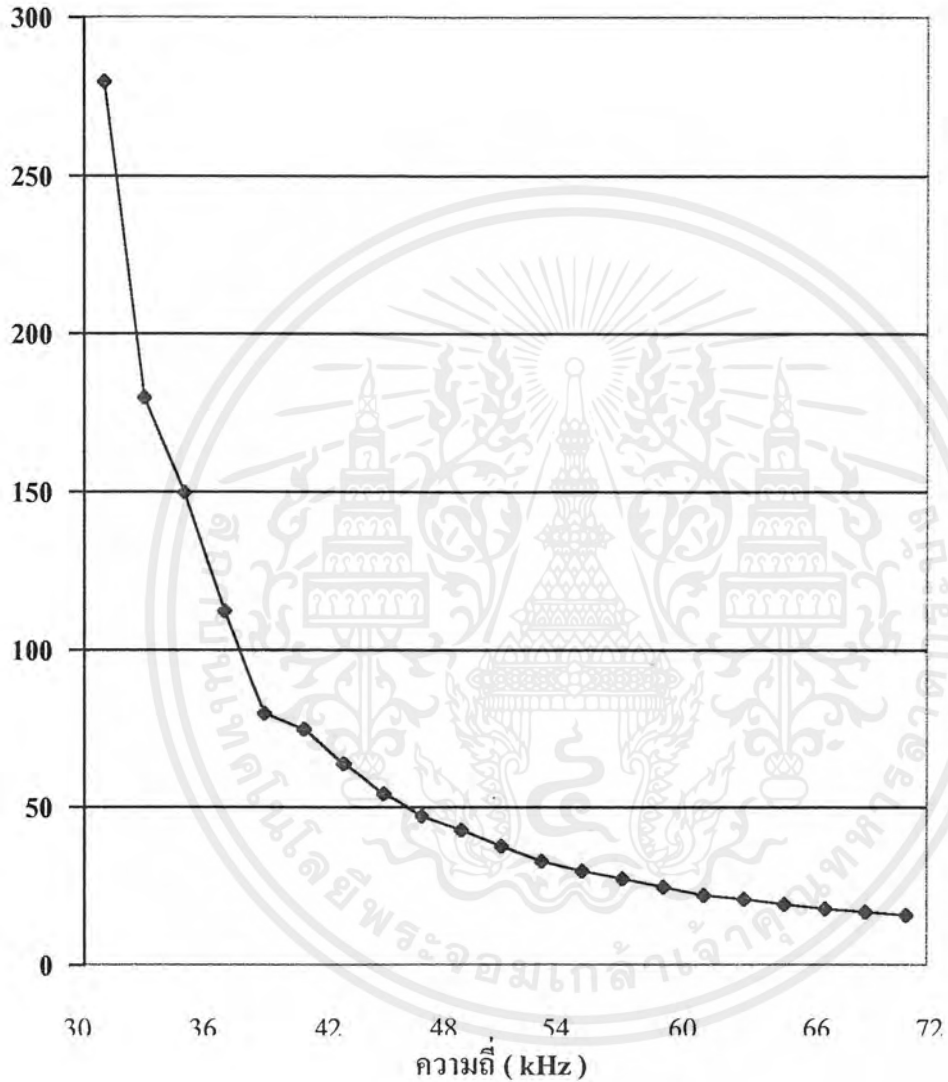
การทดลองในตอนนี้จะทำการวัดขนาดแรงดันที่เอาต์พุทที่เป็นกระแสไฟตรง เมื่อเราทำการเปลี่ยนค่าความถี่ใดๆ ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 7.1

ความถี่ (kHz)	แรงดัน (V _{dc})
70	16
68	17
66	18
64	19.5
62	21
60	22.5
58	25
56	27.5
54	30
52	33
50	38
48	43
46	47.5
44	54.5
42	64
40	75
38	80
36	112.5
34	150
32	180
30	280

ตารางที่ 7.1 แสดงผลการทดลองแสดงค่าเอาต์พุทเมื่อความถี่เป็นค่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน (Volt)

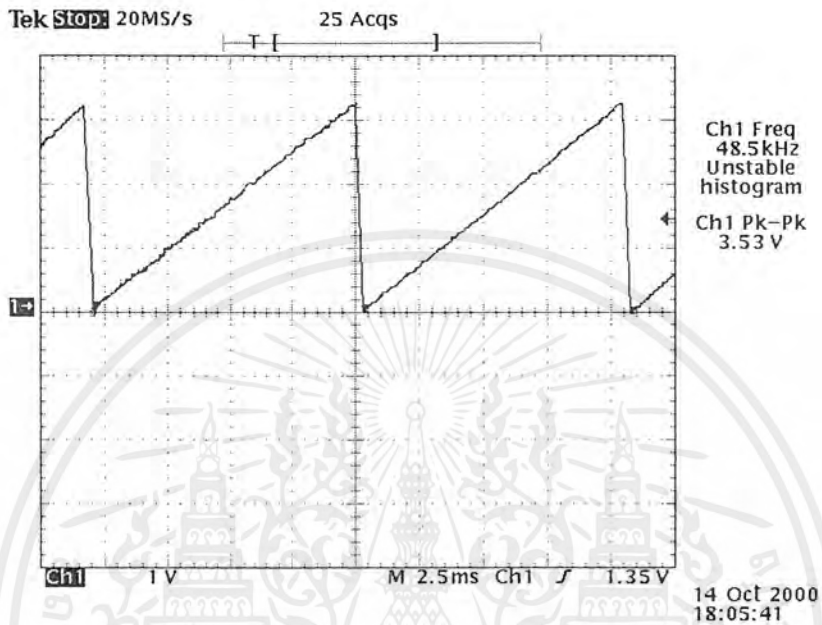


รูปที่ 7.25 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันเอาต์พุต ของวงจรที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

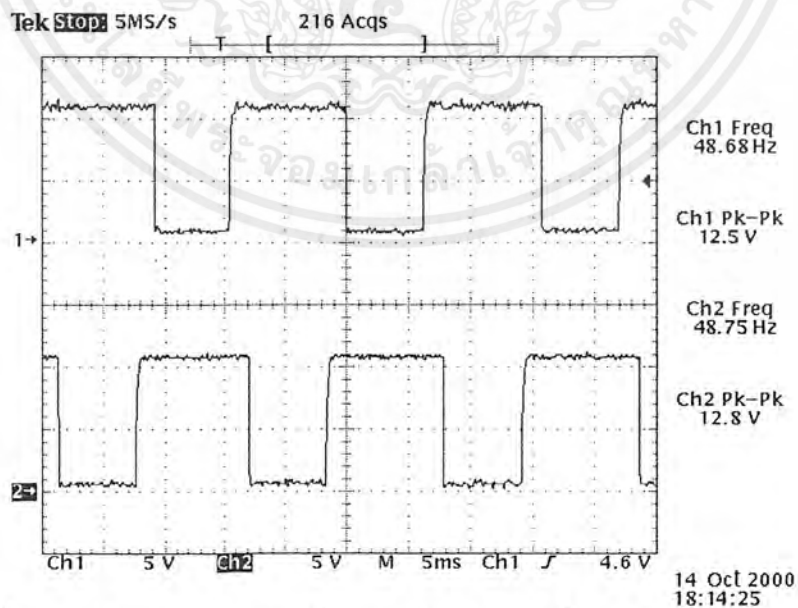
7.2.3 การทดลองวัดรูปสัญญาณตามส่วนต่างของวงจร (วงจรที่สอง)

1. วัดสัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่ที่ 50 Hz



รูปที่ 7.26 สัญญาณความถี่รูปฟันเลื่อยที่ความถี่ที่ 50 Hz

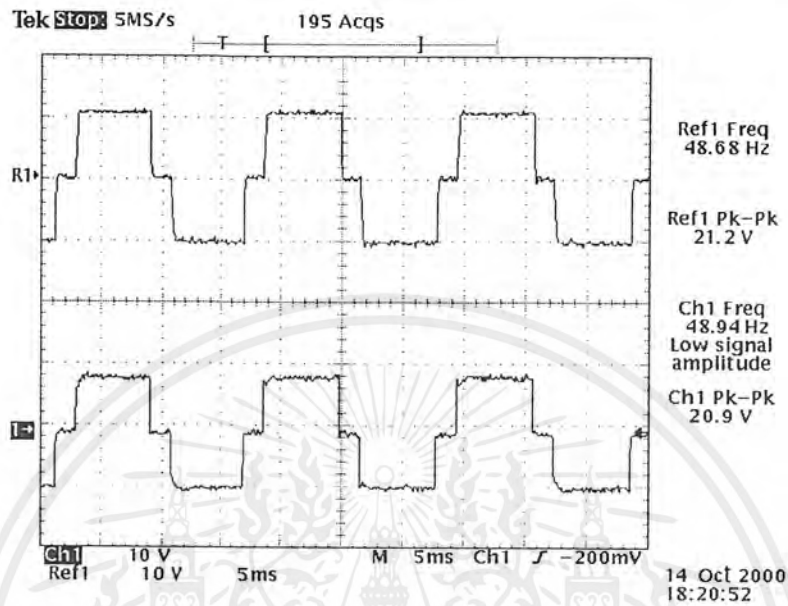
2. วัดสัญญาณ SG 3526 ที่ขา 13 เทียบกับกราวด์ (CH1) และสัญญาณที่ขา 16 เทียบกับกราวด์ (CH2)



รูปที่ 7.27 สัญญาณ SG 3526 ที่ขา 13 เทียบกับกราวด์ (CH1) และสัญญาณที่ขา 16 เทียบกับกราวด์ (CH2)

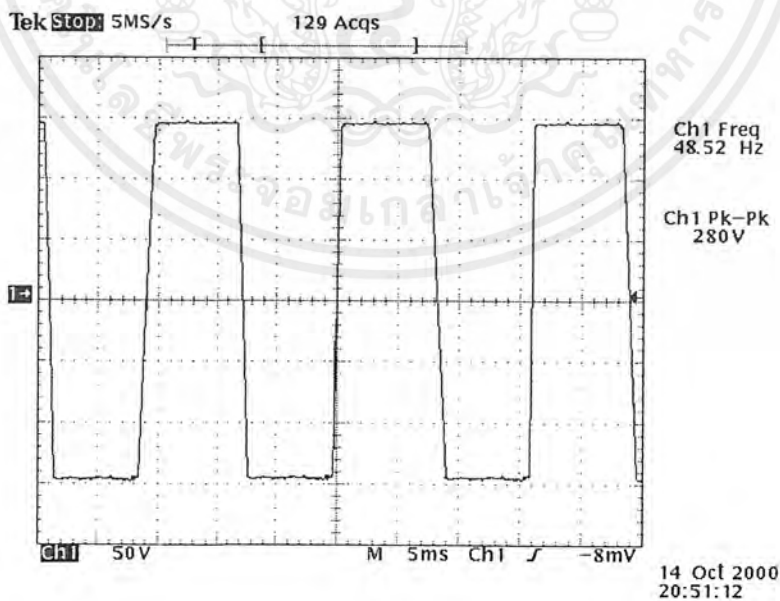
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดสัญญาณที่เข้าขาเกตของเฟตตัวที่ 1 (Ref 1)และสัญญาณที่เข้าขาเกตของเฟตตัวที่ 2 (CH2)



รูปที่ 7.28 สัญญาณที่เข้าขาเกตของเฟตตัวที่ 1 (Ref 1)และสัญญาณที่เข้าขาเกตของเฟตตัวที่ 2 (CH1)

4. สัญญาณทางด้านเอาต์พุตทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟดันสูง



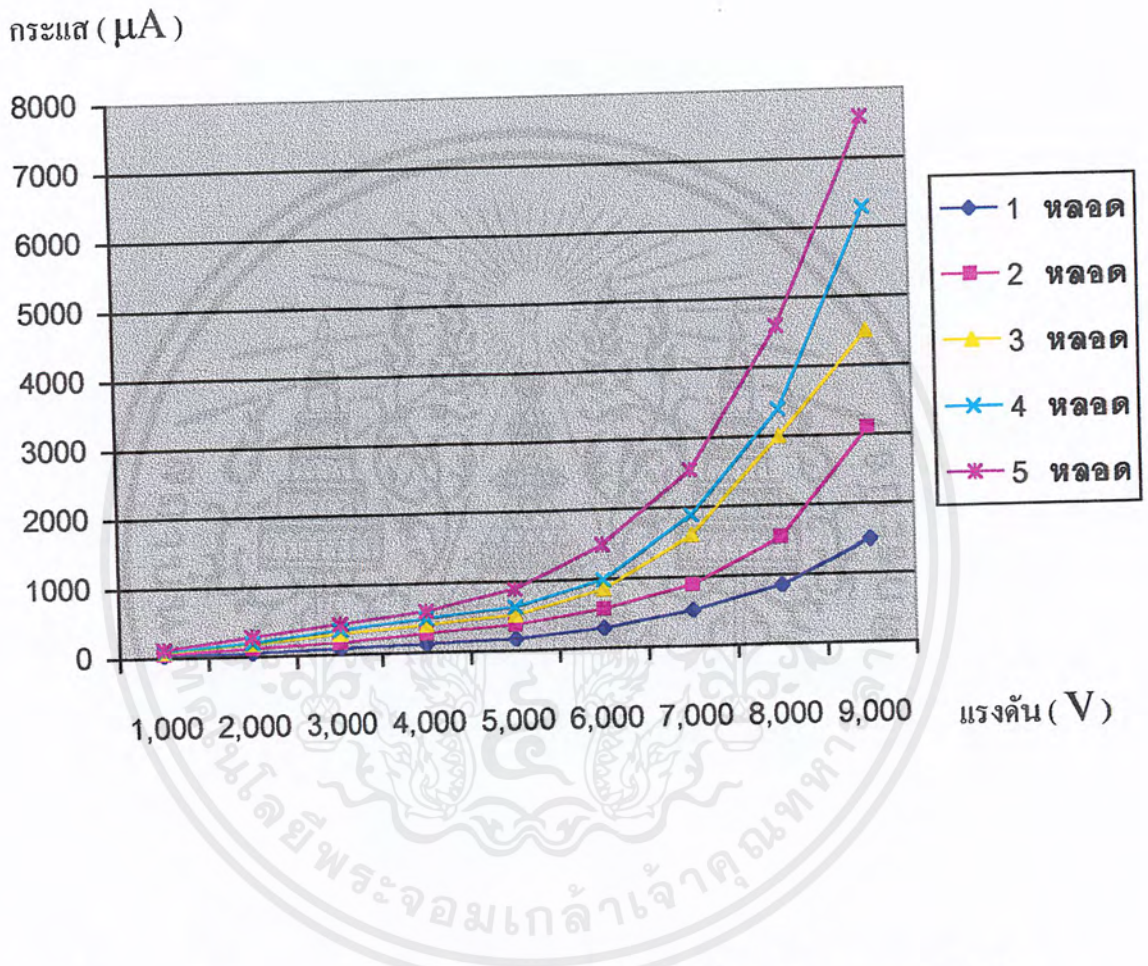
รูปที่ 7.29 สัญญาณทางด้านเอาต์พุตทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.4 การทดลองวัดแรงดันและกระแส ที่ป้อนให้กับหลอดผลิตไอโซนจำนวนต่างๆ กัน

จำนวนหลอด ผลิตไอโซน (หลอด)	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด	5 หลอด
แรงดัน Volt.	กระแส Amp.	กระแส Amp.	กระแส Amp.	กระแส Amp.	กระแส Amp.
1,000	35 μ A	55 μ A	80 μ A	100 μ A	120 μ A
2,000	60 μ A	120 μ A	185 μ A	200 μ A	290 μ A
3,000	95 μ A	175 μ A	300 μ A	360 μ A	440 μ A
4,000	130 μ A	280 μ A	400 μ A	500 μ A	600 μ A
5,000	175 μ A	380 μ A	520 μ A	640 μ A	900 μ A
6,000	300 μ A	570 μ A	850 μ A	1 mA	1.5 mA
7,000	530 μ A	900 μ A	1.6 mA	1.9 mA	2.55 mA
8,000	860 μ A	1.55 mA	3.1 mA	3.4 mA	4.6 mA
9,000	1.5 mA	3.1 mA	4.5 mA	6.3 mA	7.6 mA

ตารางที่ 7.2 แสดงผลการทดลองค่าแรงดันและกระแส ที่ป้อนให้กับหลอดผลิตไอโซน
จำนวนต่างๆ กัน



รูปที่ 7.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส ที่ป้อนให้กับหลอดผลิตไอโซนจำนวนต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดลองคุณสมบัติของโอโซน

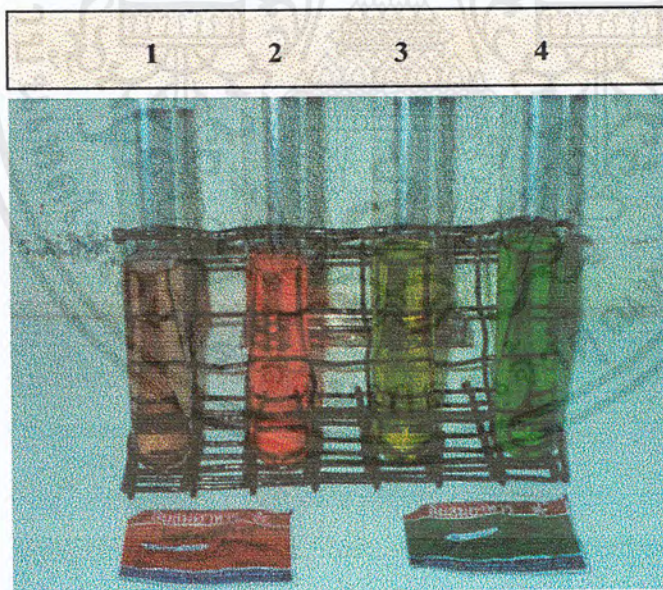
ในการทดลองคุณสมบัติของโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้นจะทำการทดสอบโดยการพ่นโอโซนลงไปใต้น้ำที่จะทดสอบจะแบ่งเป็นสองการทดลอง

7.3.1 การทดสอบเบื้องต้น

การทดลองตอนนี้จะเป็นการทดลองทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของโอโซน โดยจะทดสอบว่าจะสามารถบำบัดสี และกลิ่นในน้ำได้หรือไม่โดยน้ำที่ใช้การทดสอบจะใช้น้ำที่ผสมสีแดง , สีเขียว และเติมน้ำหวานลงไป โดยจะดูสีและกลิ่นของน้ำ ก่อนและหลังการพ่นโอโซนโดยจะใช้น้ำและสีดังนี้

น้ำเปล่าปริมาณ	500	มิลลิลิตร
น้ำตาลผสมสี	10	กรัม

การทดสอบจะใช้เวลาการพ่นโอโซนประมาณ 5 นาที ใช้แรงดัน 8,000 V. จำนวนหลอดโอโซน 5 หลอดจะได้สีดังรูป



รูปที่ 7.31 แสดงการทดลองสีการพ่นโอโซนลงในน้ำ

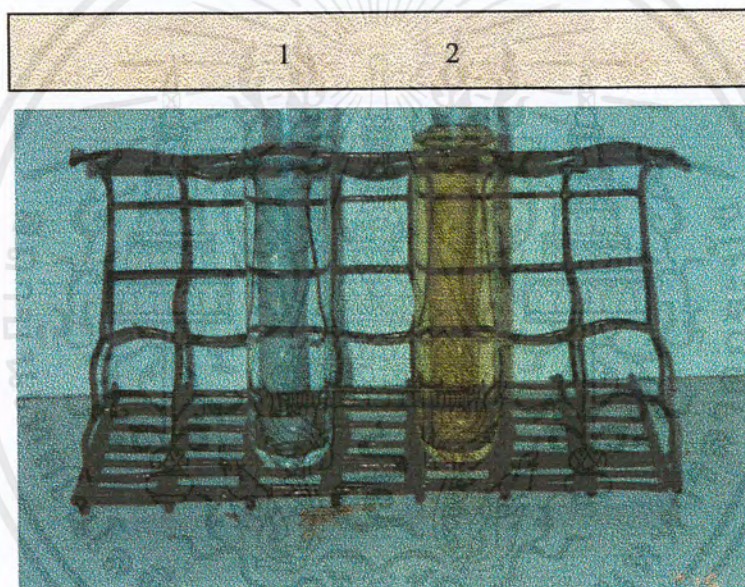
1. หลังการพ่นโอโซน (สีแดง)
2. ก่อนการพ่นโอโซน (สีแดง)
3. หลังการพ่นโอโซน (สีเขียว)
4. ก่อนการพ่นโอโซน (สีเขียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองนั้นจะพบว่าน้ำที่ถูกการฟ้นโอโซนจะมีสีที่จางลงอย่างเป็นได้ชัด และกลิ่นของน้ำหวานก็จางลงเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่โอโซนมีคุณสมบัติในการบำบัดสีและกลิ่นในน้ำ

7.3.2 การทดสอบปริมาณโอโซน

ในการทดสอบปริมาณของโอโซนสามารถทดสอบได้โดยทำการฟ้นลงในน้ำที่ผสมสารโพแทสเซียมไอโอไดน์ การทดสอบนี้จะทำการฟ้นโอโซนลงในน้ำที่ผสมสารประกอบเป็นเวลา 5 นาที ใช้แรงดัน 8,000 V. จำนวนหลอดโอโซน 5 หลอด โดยใช้น้ำปริมาณ 500 มิลลิตร และโพแทสเซียมไอโอไดน์ปริมาณ 10 กรัมผลการทดลองจะได้ดังรูป



รูปที่ 7.32 แสดงการทดลองสีการฟ้นโอโซนลงในน้ำผสม KI

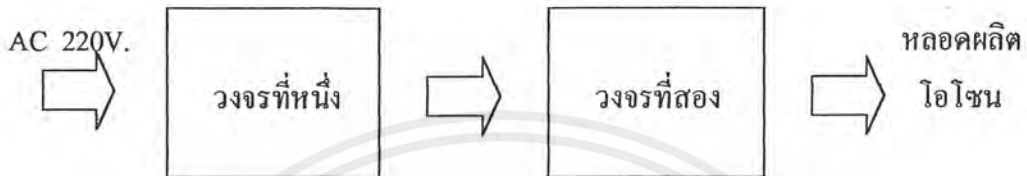
1. ก่อนการฟ้นโอโซนลงในน้ำผสม KI
2. หลังการฟ้นโอโซนลงในน้ำผสม KI

จากการทดลองนั้นจะพบว่าเมื่อเราทำการฟ้นโอโซนน้ำที่ผสมสารโพแทสเซียมไอโอไดน์นั้นก่อนการฟ้นโอโซน น้ำที่ผสมโพแทสเซียมไอโอไดน์จะมีสีใส แต่เมื่อทำการฟ้นโอโซนจะทำให้สีของน้ำจะเปลี่ยนไปโดยจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนเป็นสีเหลืองเข้มยิ่งใช้เวลานานทำไรน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มมากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการที่โอโซนทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดน์ดังนั้นในการวัดปริมาณของโอโซนจะทำการปริมาณสารละลายที่อยู่ในสารละลาย ก็จะ สามารถหาปริมาณโอโซนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การทดลองวัดหาค่าประสิทธิภาพของวงจร

ในการทดลองนั้นจะทำการวัดหาค่าประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งว่ามีประสิทธิภาพของวงจรเท่าใดเราสามารถทำการหาได้จาก ค่ากำลังทางด้านอินพุต และ กำลังทางด้านเอาพุต ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรที่ จำนวน 5 หลอด



7.4.1 ประสิทธิภาพวงจรที่หนึ่ง

1. กำลังทางด้านอินพุต

$$V_{in} = 220 \text{ Vac.}$$

$$I_{in} = 600 \text{ mA.}$$

โดย

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in}$$

จะได้

$$P_{in} = 220 \cdot 0.6 = 132 \text{ W.}$$

2. กำลังทางด้านเอาพุต

$$V_{out} = 300 \text{ Vdc.}$$

$$I_{out} = 300 \text{ mA.}$$

จะได้

$$P_{out} = 300 \cdot 0.3 = 90 \text{ W.}$$

3. ประสิทธิภาพวงจรที่หนึ่ง

$$\eta = P_{out} / P_{in}$$

จะได้

$$\eta_1 = 90 / 132 = 68.2 \%$$

7.4.2 ประสิทธิภาพวงจรที่สอง

1. กำลังทางด้านอินพุต

$$V_{in} = 300 \text{ Vdc.}$$

$$I_{in} = 300 \text{ mA.}$$

จะได้

$$P_{in} = 300 \cdot 0.3 = 90 \text{ W.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำลังทางด้านเอาต์พุต

$$V_{\text{out}} = 9,500 \text{ Vdc.}$$

$$I_{\text{out}} = 8.5 \text{ mA.}$$

จะได้ $P_{\text{out}} = 9,500 \cdot 8.5 \text{ mA} = 80 \text{ W.}$

3. ประสิทธิภาพวงจรที่สอง

$$\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}}$$

จะได้ $\eta_1 = 80 / 90 = 88.8 \%$

7.4.3 ประสิทธิภาพวงจรรวม

$$\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2$$

จะได้ $\eta_t = 68 \cdot 88 = 60.6 \%$

หรือ $= 80 / 132 = 60.6 \%$

บทที่ 8

บทสรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

8.1 สรุปผลการทดลอง และปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการทดลองที่ผ่านมาในวงจรแหล่งจ่ายไฟแรงสูง ซึ่งจะทำการจ่ายแรงดันให้กับขั้วอิเล็กโทโรด (หลอดผลิตไอโซน) วงจรแหล่งจ่ายไฟแรงสูงผลิตแรงดันเป็นสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมีความถี่ประมาณ 50 Hz และขนาดแรงดันสามารถปรับค่าได้ โดยวงจรในการทดลองจะสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ซึ่งมาสองวงจรต่อกัน ซึ่งในวงจรแรกจะเป็นการสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ซึ่งแบบที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ และในวงจรที่สองก็จะเป็นการสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ซึ่งแบบที่สามารถปรับค่าความถี่ได้

วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ซึ่งแบบที่สามารถปรับค่าแรงดัน (วงจรที่หนึ่ง) จะเป็นการสร้างโดยใช้หลักการของวงจรเรโซแนนซ์ หลักการทำงานของวงจรมันจะสร้างวงจร control ซึ่งสามารถปรับค่าของความถี่ในการสร้างสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมเพื่อที่จะไปทำการสวิทซ์มอดูเลตและแรงดันเอาต์พุตจะเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าของความถี่ได้ตามสัญญาณภาคcontrol โดยสัญญาณที่ได้จะไปผ่านวงจรเรโซแนนซ์คั้งรูปที่ 7.5 และสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณชานี่ ซึ่งวงจรเรโซแนนซ์จะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ 24 kHz จากการทดลองที่ 7.2.2 เป็นการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ พบว่าเมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความถี่ภาคcontrol จะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ถ้าความถี่มีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ค่าแรงดันจะมีค่าสูงสุด และถ้าความถี่มากกว่าความถี่ของเรโซแนนซ์ก็จะทำให้แรงดันมีค่าลดลง ซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 7.1

วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ซึ่งที่สองจะเป็นการรับแรงดันจากวงจรที่หนึ่งที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ โดยวงจรที่สองนี้จะเป็นการสร้างพัลส์ซึ่งจะทำการสร้างสัญญาณความถี่ที่ 50 Hz ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 Hz ที่สามารถปรับค่าแรงดันได้จากวงจรที่หนึ่ง จากนั้นสัญญาณที่ได้จะทำการทำให้แรงดันที่ค่าสูงขึ้นโดยใช้หม้อแปลง Step Up จากแรงดันประมาณ 30 – 300 Vp-p. ไปเป็น 2,000 - 18,000 Vp-p (1,000 – 9,000 Vrms.) และแรงดันนี้จะไปป้อนให้หลอดผลิตไอโซน

จากการทดลองวัดค่ากระแสและแรงดันโดยใช้จำนวนหลอดผลิตไอโซนต่างๆกันจะพบว่าแต่ละหลอดจะใช้ปริมาณกระแสที่เท่าๆกัน ที่ค่าแรงดันที่เท่ากันสามารถดูได้จากตารางที่ 7.2 เช่นที่ 9,000 V. แต่ละหลอดจะใช้ปริมาณกระแสหลอดละประมาณ 1.5 mA.

การวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรจะพบว่ามียค่าประสิทธิภาพเพียง 60 % ทั้งนี้เนื่องจากการที่เรานำวงจรสวิตซ์ซึ่งมาต่อกันสองวงจรจึงทำให้ประสิทธิภาพมีค่าลดลง เพราะประสิทธิภาพรวมคือประสิทธิภาพวงจรที่หนึ่งคูณกับประสิทธิภาพวงจรที่สอง ซึ่งเป็นผลให้วงจรมีค่าประสิทธิภาพลดลง

8.2 แนวทางการพัฒนา สรุปลและวิจารณ์

1. การสร้างหลอดผลิต โอโซนจะต้องทำการสร้างให้หลอดมีลักษณะสมมาตรกันระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว ถ้าหากทำการสร้างที่ไม่สมมาตรกันจะเป็นผลให้สนามไฟฟ้าภายในหลอดผลิตโอโซนมีค่าสนามไฟฟ้าแต่ละจุดที่ขั้วไฟฟ้าที่ค่าไม่เท่ากันเป็นผลให้ปริมาณโอโซนจะมีปริมาณน้อยดังนั้นในการสร้างจะต้องคำนึงถึงจุดนี้ และในการสร้างหลอดผลิตโอโซนวัสดุวางชนิดไม่สามารถนำมาใช้ได้เพราะเช่น เหล็ก อะลูมิเนียม เพราะโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาได้สูง ดังนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่นำมาใช้ด้วย
2. ในการทำงานของหลอดผลิตโอโซนจะพบว่าจะเกิดความร้อนขึ้นภายในหลอด ซึ่งความร้อนจะมีผลทำให้ปริมาณโอโซนลดลง ดังนั้นในการพัฒนาจึงควรทำการระบายความร้อนให้กับหลอดผลิตโอโซนอาจใช้น้ำหรือน้ำมันในการระบายร้อนของหลอดโอโซน
3. ประสิทธิภาพของวงจรมีค่าไม่สูงมากนักเนื่องจากการที่เรานำวงจรสวิตซ์ซึ่งมาต่อร่วมกัน 2 วงจร จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของวงจรโดยรวมลดลง
4. การนำโอโซนมาใช้งานยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนักเพราะแม้ว่าหลอดผลิตโอโซนจะสามารถผลิตปริมาณโอโซนได้มากก็ตามแต่ปริมาณโอโซนที่นำมาใช้งานได้ยังน้อยอยู่ เป็นผลเนื่องมาจากการนำโอโซนไปเค็มในการบำบัดน้ำเสีย นั้นจะต้องใช้ที่ดูดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจึงเป็นขีดจำกัดของการผลิตโอโซน เพราะปริมาณโอโซนจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทของปริมาณ อากาศที่ผ่านเข้ามายังหลอดผลิตโอโซนเพราะปริมาณโอโซนจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทของปริมาณ อากาศที่ผ่านเข้ามายังหลอดผลิตโอโซนถ้าเราให้ปริมาณอากาศไหลผ่านได้น้อยจะเป็นผลให้ปริมาณโอโซนน้อยลงด้วย
5. เนื่องจากการที่ปั๊มดูดปริมาณโอโซนในช่วงการทำงาน จะเกิดความร้อนขึ้นเป็นผลให้ปริมาณโอโซนลดลงด้วย เพราะปริมาณโอโซนจะสามารถสลายได้โดยความร้อน
6. ความชื้นของอากาศจะมีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น ถ้าความชื้นในอากาศสูงจะเป็นผลให้ปริมาณโอโซนลดลงด้วย
7. ในการวัดปริมาณโอโซนเราไม่สามารถวัดปริมาณที่แน่นอนได้เนื่องจากขาดเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาโครงการวิจัยที่สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะในการวัดปริมาณ โอโซนจะต้องทำการทดลองโดยการนำ โอโซนที่ได้จากการผลิต ไปพ่นในน้ำสารเคมีและนำไปหาปริมาณ โอโซนที่พ่นลงไปอย่างถูกต้องต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. สุวัฒน์ คั่น , “เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย” , เอนเทคไทย , 2538.
2. สมบูรณ์ มาลานนท์, “แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ิ่ง” , ฟิสิกส์เซนเตอร์ , 2537
3. Bruno Langlais ,David A. Reckhow , Peborah R. Brink , “ Ozone in water treatment Application and Engineering ”, Lewis Publisher ,inc ,1991
4. Harris Semiconductor , “ Power Mosfet ” , 1992
5. Motorola Inc. , “ Rectifier Device Data ” , 1995.
6. Plenum Press ,” Advanced Ozone Generation : Process Technologies for Water Treatment “, Kogelshatz ,U. ET AL 1988
7. R.G. Rich an A. Netzer ,” Handbook of Ozone Technolgy and Application ,Arbor Science Publichers,Inc ,1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
 TECHNICAL DATA

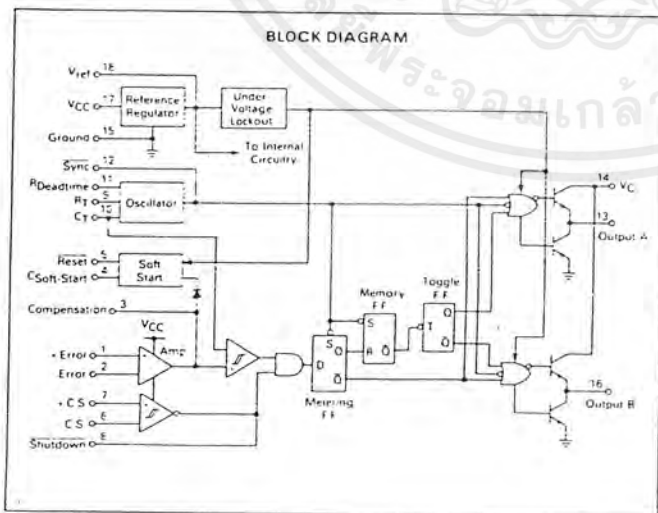
PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

The SG1526 is a high performance pulse width modulator integrated circuit intended for fixed frequency switching regulators and other power control applications.

Functions included in this IC are a temperature compensated voltage reference, sawtooth oscillator, error amplifier, pulse width modulator, pulse metering and steering logic, and two high current totem pole outputs ideally suited for driving the capacitance of power FETs at high speeds.

Additional protective features include soft start and undervoltage lockout, digital current limiting, double pulse inhibit, adjustable dead time and a data latch for single pulse metering. All digital control ports are TTL and B-series CMOS compatible. Active low logic design allows easy wired-OR connections for maximum flexibility. The versatility of this device enables implementation in single-ended or push-pull switching regulators that are transformerless or transformer coupled. The SG1526 is specified over the full military junction temperature range of -55°C to $+150^{\circ}\text{C}$. The SG2526 is specified over a junction temperature range of -40°C to $+150^{\circ}\text{C}$ while the SG3526 is specified over a range of 0°C to $+125^{\circ}\text{C}$.

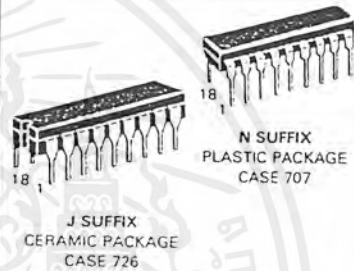
- 8.0 to 35 Volt Operation
- 5.0 Volt $\pm 1\%$ Trimmed Reference
- 1.0 Hz to 400 kHz Oscillator Range
- Dual Source/Sink Current Outputs ≈ 100 mA
- Digital Current Limiting
- Programmable Dead Time
- Undervoltage Lockout
- Single Pulse Metering
- Programmable Soft Start
- Wide Current Limit Common Mode Range
- Guaranteed 6 Unit Synchronization



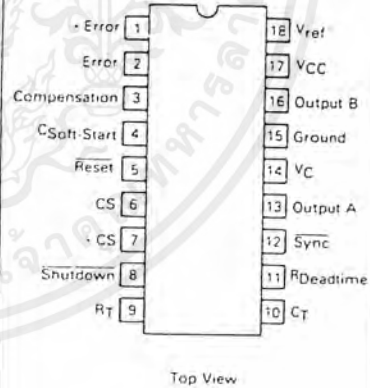
SG1526
SG2526
SG3526

PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS



PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Junction Temperature Range	Package
SG1526J	-55 to $+150^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
SG2526J	-40 to $+150^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
SG2526N	-40 to $+150^{\circ}\text{C}$	Plastic DIP
SG3526J	0 to $+125^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
SG3526N	0 to $+125^{\circ}\text{C}$	Plastic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15 \text{ Vdc}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 5] unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	SG1526/2526			SG3526			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
REFERENCE SECTION (Note 6)								
Reference Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_{ref}	4.95	5.00	5.05	4.90	5.00	5.10	V
Line Regulation ($+8.0 \text{ V} \leq V_{CC} \leq +35 \text{ V}$)	Reg_{line}	—	10	20	—	10	30	mV
Load Regulation, $0 \text{ mA} \leq I_L \leq 20 \text{ mA}$	Reg_{load}	—	10	30	—	10	50	mV
Temperature Stability	$\Delta V_{ref}/\Delta T_J$	—	15	—	—	10	—	mV
Total Reference Output Voltage Variation ($+8.0 \text{ V} \leq V_{CC} \leq +35 \text{ V}$, $0 \text{ mA} \leq I_L \leq 20 \text{ mA}$)	ΔV_{ref}	4.90	5.00	5.10	4.85	5.00	5.15	V
Short Circuit Current ($V_{ref} = 0 \text{ V}$, Note 2)	I_{SC}	25	80	125	25	80	125	mA
UNDERVOLTAGE LOCKOUT								
Reset Output Voltage ($V_{ref} = +3.8 \text{ V}$)	—	—	0.2	0.4	—	0.2	0.4	V
Reset Output Voltage ($V_{ref} = +4.8 \text{ V}$)	—	2.4	4.8	—	2.4	4.8	—	V
OSCILLATOR SECTION (Note 7)								
Initial Accuracy ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	—	—	-3.0	-8.0	—	-3.0	-8.0	%
Frequency Stability over Power Supply Range ($+8.0 \text{ V} \leq V_{CC} \leq +35 \text{ V}$)	$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta V_{CC}}$	—	0.5	1.0	—	0.5	1.0	%
Frequency Stability over Temperature ($\Delta T_J = T_{low}$ to T_{high})	$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta T_J}$	—	4.0	—	—	2.0	—	%
Minimum Frequency ($R_T = 150 \text{ k}\Omega$, $C_T = 20 \mu\text{F}$)	f_{min}	—	0.5	—	—	0.5	—	Hz
Maximum Frequency ($R_T = 2.0 \text{ k}\Omega$, $C_T = 0.001 \mu\text{F}$)	f_{max}	400	—	—	400	—	—	kHz
Sawtooth Peak Voltage ($V_{CC} = +35 \text{ V}$)	$V_{osc(P)}$	—	3.0	3.5	—	3.0	3.5	V
Sawtooth Valley Voltage ($V_{CC} = +8.0 \text{ V}$)	$V_{osc(V)}$	0.45	0.8	—	0.45	0.8	—	V
ERROR AMPLIFIER SECTION (Note 8)								
Input Offset Voltage ($R_S \leq 2.0 \text{ k}\Omega$)	V_{IO}	—	2.0	5.0	—	2.0	10	mV
Input Bias Current	I_{IB}	—	-350	-1000	—	-350	-2000	nA
Input Offset Current	I_{IO}	—	35	100	—	35	200	nA
DC Open Loop Gain ($R_L \geq 10 \text{ M}\Omega$)	A_{VOL}	64	72	—	60	72	—	dB
High Output Voltage ($V_{Pin 1} - V_{Pin 2} \geq +150 \text{ mV}$, $I_{source} = 100 \mu\text{A}$)	V_{OH}	3.6	4.2	—	3.6	4.2	—	V
Low Output Voltage ($V_{Pin 2} - V_{Pin 1} \geq +150 \text{ mV}$, $I_{sink} = 100 \mu\text{A}$)	V_{OL}	—	0.2	0.4	—	0.2	0.4	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 2.0 \text{ k}\Omega$)	CMRR	70	94	—	70	94	—	dB
Power Supply Rejection Ratio ($+12 \text{ V} \leq V_{CC} \leq +18 \text{ V}$)	PSRR	66	80	—	66	80	—	dB

Notes:

5 $T_{low} = -55^\circ\text{C}$ for SG1526

-40°C for SG2526

0°C for SG3526

$T_{high} = +150^\circ\text{C}$ for SG1526/2526

+125°C for SG3526

6 $I_L = 0 \text{ mA}$ unless otherwise noted

7 $f_{osc} = 40 \text{ kHz}$; $R_T = 4.12 \text{ k}\Omega$; $\pm 1\%$

$C_T = 0.01 \mu\text{F}$; $\pm 1\%$; $R_D = 0 \Omega$

8 $0 \text{ V} \leq V_{CM} \leq -5.2 \text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

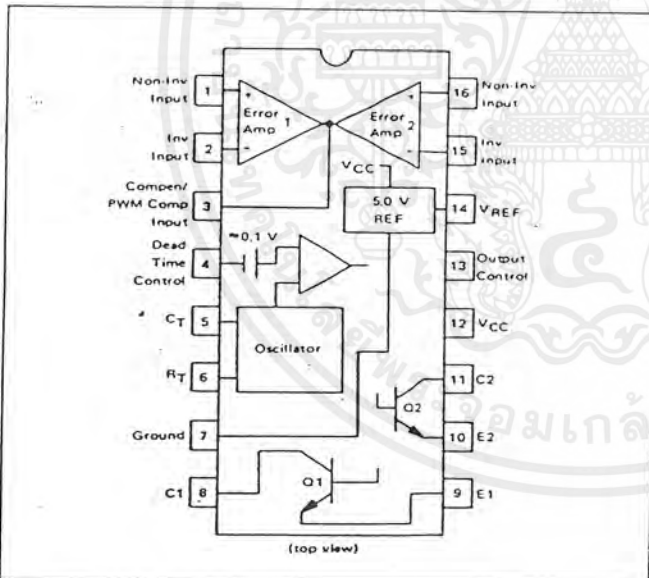
**SWITCHMODE
 PULSE WIDTH MODULATION
 CONTROL CIRCUITS**

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for Switchmode power supply control. This device features:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

**SWITCHMODE
 PULSE WIDTH MODULATION
 CONTROL CIRCUITS**

SILICON MONOLITHIC
 INTEGRATED CIRCUITS



J SUFFIX
 CERAMIC PACKAGE
 CASE 620



N SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 648

The TL494C is specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494I is specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494M is specified over the full military range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN TL494CJ	0° to +70°C	Plastic DIP Ceramic DIP
TL494IN TL494IJ	-25° to +85°C	Plastic DIP Ceramic DIP
TL494MJ	-55° to +125°C	Ceramic DIP

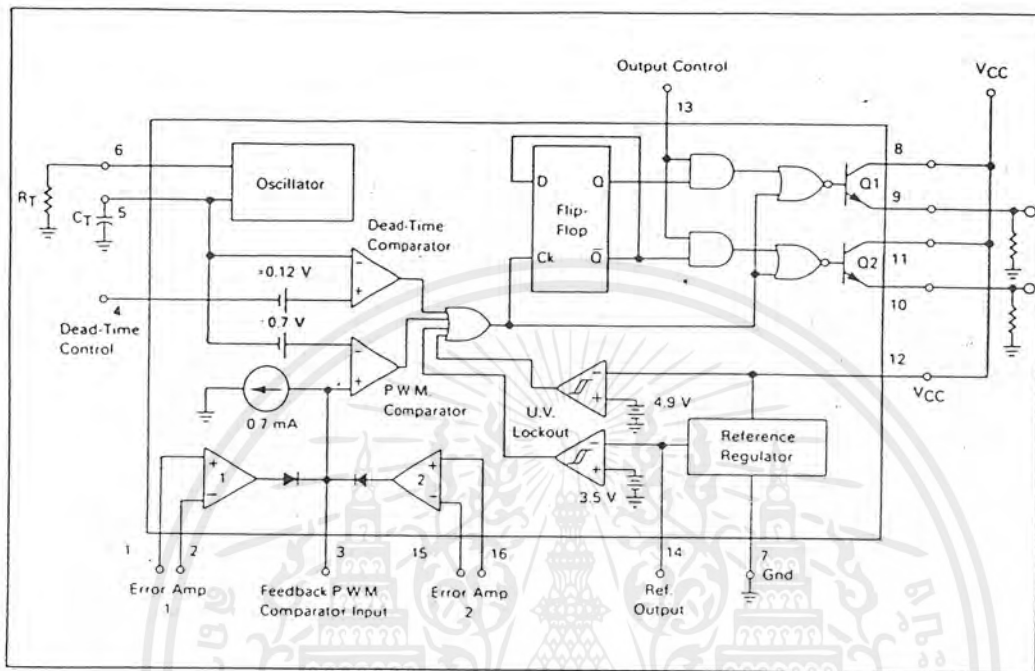
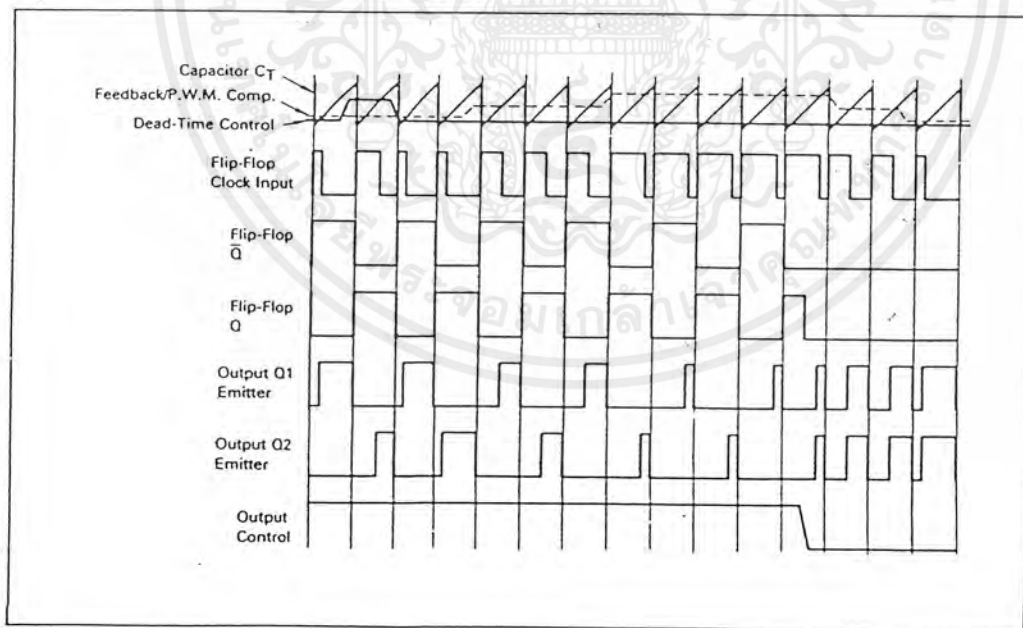


FIGURE 2 — TIMING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	TL494M	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42	42	42	V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42	42	42	V
Collector Output Current (each transistor) (1)	I _{C1} , I _{C2}	500	500	500	mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to 42	-0.3 to 42	-0.3 to 42	V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000	1000	1000	mW
Operating Junction Temperature	T _J				°C
Plastic Package		125	125	—	°C
Ceramic Package		150	150	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to 70	-25 to 85	-55 to 125	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}				°C
Plastic Package		-55 to 175	55 to 125	—	
Ceramic Package		65 to 150	65 to 150	-65 to 150	

NOTE 1: Maximum thermal limits must be observed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	N Suffix Plastic Package	J Suffix Ceramic Package	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	80	100	°C/W
Derating Ambient Temperature	T _A	45	50	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
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
Amplifier 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	kΩ
Timing Capacitor	C _T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f _{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)

For typical values T_A = 25°C, for min max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	

REFERENCE SECTION

Reference Voltage (I _O = 1.0 mA)	V _{ref}	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation (V _{CC} = 7.0 V to 40 V)	Reg _{line}	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Load Regulation (I _O = 1.0 mA to 10 mA)	Reg _{load}	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short-Circuit Output Current (V _{ref} = 0 V)	I _{SC}	15	35	75	15	35	75	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
OUTPUT SECTION								
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_{CE} = 40\text{ V}$)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0\text{ V}$)	$I_{E(off)}$	—	—	100	—	—	-150	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (2) Common-Emitter ($V_E = 0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) Emitter-Follower ($V_C = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$)	$V_{SAT(IC)}$	—	1.1	1.3	—	1.1	1.5	V
	$V_{SAT(IE)}$	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} = 0.4\text{ V}$) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL}	—	10	—	—	10	—	μA
	I_{OCH}	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_r	—	100	200	—	100	200	ns
		—	100	200	—	100	200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_f	—	25	100	—	25	100	ns
		—	40	100	—	40	100	ns

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
ERROR AMPLIFIER SECTIONS					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	—	0.1	1.0	μA
Input Common-Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	-0.3 to $V_{CC} - 2.0$	—	—	V
Open-Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_c	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_O^-	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_O^+	2.0	4.0	—	mA

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Threshold Voltage (Zero duty cycle)	V_{TH}	—	3.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin\ 3)} = 0.7\ \text{V}$)	I_{I-}	0.3	0.7	—	mA
DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{(Pin\ 4)} = 0\ \text{to}\ 5.25\ \text{V}$)	$I_{IB}\ (DT)$	—	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{(Pin\ 4)} = 0\ \text{V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{(Pin\ 4)} = 0\ \text{V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45 —	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{TH}	— 0	2.8 —	3.3 —	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	σf_{osc}	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\ \text{V}\ \text{to}\ 40\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta V)$	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}\ \text{to}\ T_{high}$) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta T)$	—	—	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} Increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All Other Inputs and Outputs Open) ($V_{CC} = 15\ \text{V}$) ($V_{CC} = 40\ \text{V}$)	I_{CC}	— —	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($V_{(Pin\ 4)} = 2.0\ \text{V}$) (See Figure 12) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{CC} = 15\ \text{V}$)	—	—	7.0	—	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, **

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 4.

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 dead-time control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The dead-time control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output dead time 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 dead time may be imposed on the output by setting the dead time-control input to a fixed voltage, ranging between 0 to 3.3 V.

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 dead time control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 to 3.5 V. Both error amplifiers have a common-mode input range from -0.3 V to $(V_{CC} - 2$ V), 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 non-inverting 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 dead-time 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 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 — FUNCTIONAL TABLE

Input	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Output Control		
Grounded	Single-ended P.W.M. at Q1 and Q2	1
At V_{ref}	Push-pull operation	0.5

IRF460 IRF462

N-Channel Power MOSFETs Avalanche-Energy Rated

August 1991

Features

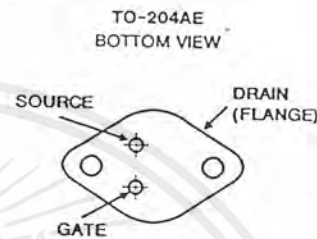
- 21A and 19A, 500V
- $r_{DS(on)} = 0.27\Omega$ and 0.35Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

Description

The IRF460 and IRF462 are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. These are n-channel enhancement-mode silicon gate power field-effect transistors designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

The IRF-types are supplied in the JEDEC TO-204AE metal package.

Package



Terminal Diagram

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



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

	IRF460	IRF462	UNITS
Continuous Drain Current			
$T_C = +25^\circ\text{C}$ I_D	21	19	A
$T_C = +100^\circ\text{C}$ I_D	14	12	A
Pulsed Drain Current (1) I_{DM}	84	76	A
Gate-Source Voltage V_{GS}	± 20	± 20	V
Maximum Power Dissipation			
$T_C = +25^\circ\text{C}$ P_D	300	300	W
Linear Derating Factor λ	2.4	2.4	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (2) E_{AS}^*	1200	1200	mJ
See Figure 14			
Avalanche Current, Repetitive or Non-repetitive (1) I_{AR}	21	21	A
Operating and Storage Junction Temperature Range T_J, T_{STG}	-55 to +150	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering T_L	300	300	$^\circ\text{C}$
(0.063" (1.6mm) from case for 10s)			

NOTES:

1. Repetitive rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5).
2. $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = +25^\circ\text{C}$, $L = 4.9\text{mH}$, $R_{GS} = 25\Omega$, Peak $I_L = 21\text{A}$.
3. Pulse Test: Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

IRF460, IRF462

ELECTRICAL CHARACTERISTICS At Case Temperature (T_J) = 25°C Unless Otherwise Specified

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
BV_{DSS} Drain-to-Source Breakdown Voltage	ALL	500	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250 \mu A$
$R_{DS(on)}$ Static Drain-to-Source On-State Resistance ①	IRF460	—	0.24	0.27	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 12A$
	IRF462	—	0.27	0.35		
$I_{D(on)}$ On-State Drain Current ②	IRF460	21	—	—	A	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)}$ Max. $V_{GS} = 10V$
	IRF462	19	—	—		
$V_{GS(th)}$ Gate Threshold Voltage	ALL	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 \mu A$
g_{fs} Forward Transconductance ③	ALL	13	20	—	S/W	$V_{DS} \geq 50V, I_{DS} = 12A$
I_{DSS} Zero Gate Voltage Drain Current	ALL	—	—	250	μA	$V_{DS} = \text{Max. Rating}, V_{GS} = 0V$
		—	—	1000		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Max. Rating}$ $V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$
I_{GSS} Gate-to-Source Leakage Forward	ALL	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
I_{GSS} Gate-to-Source Leakage Reverse	ALL	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g Total Gate Charge	ALL	—	120	190	nC	$V_{GS} = 10V, I_D = 21A$
Q_{gs} Gate-to-Source Charge	ALL	—	18	—	nC	$V_{DS} = 0.8 \times \text{Max. Rating}$
Q_{gd} Gate-to-Drain ("Miller") Charge	ALL	—	62	—	nC	See Fig. 16 (Independent of operating temperature)
$t_{D(on)}$ Turn-On Delay Time	ALL	—	23	35	ns	$V_{DD} = 250V, I_D = 21A, R_G = 4.3\Omega$ $R_D = 12\Omega$
t_r Rise Time	ALL	—	81	120	ns	
$t_{D(off)}$ Turn-Off Delay Time	ALL	—	85	130	ns	See Fig. 15
t_f Fall Time	ALL	—	65	98	ns	(Independent of operating temperature)
L_D Internal Drain Inductance	ALL	—	5.0	—	nH	Measured from the drain lead, 6mm (0.25 in.) from package to center of die.
L_S Internal Source Inductance	ALL	—	13	—	nH	Measured from the source lead, 6mm (0.25 in.) from package to source bonding pad.
C_{iss} Input Capacitance	ALL	—	4100	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V$
C_{oss} Output Capacitance	ALL	—	480	—	pF	$f = 1.0 \text{ MHz}$
C_{rss} Reverse Transfer Capacitance	ALL	—	84	—	pF	See Fig. 10
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case	ALL	—	—	0.42	$^\circ C/W$	
$R_{\theta JS}$ Case-to-Sink	ALL	—	0.10	—	$^\circ C/W$	Mounting surface flat, smooth, and greased
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Ambient	ALL	—	—	30	$^\circ C/W$	Typical socket mount

① Repetitive Rating; Pulse width limited by maximum junction temperature (see figure 5) Refer to current HEXFET reliability report

② Pulse width $\leq 300 \mu s$; Duty Cycle $\leq 2\%$

③ $V_{DD} = 50V$, Starting $T_J = 25^\circ C$,
 $L = 4.9 \mu H$, $R_G = 25\Omega$,
Peak $I_L = 21A$.

Modified MOSFET symbol showing the internal inductances.



SOURCE-DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S Continuous Source Current (Body Diode)	ALL	—	—	21	A	Modified MOSFET symbol showing the integral Reverse p-n junction rectifier.
I_{SM} Pulsed Source Current (Body Diode) ①	ALL	—	—	84	A	
V_{SD} Diode Forward Voltage ②	ALL	—	—	1.8	V	$T_J = 25^\circ C, I_S = 21A, V_{GS} = 0V$
t_{rr} Reverse Recovery Time	ALL	280	580	1200	ns	$T_J = 25^\circ C, I_F = 21A, dI/dt = 100 A/\mu s$
Q_{RR} Reverse Recovery Charge	ALL	3.8	8.1	18	μC	
t_{on} Forward Turn-On Time	ALL	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by $L_S + L_D$.				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF460, IRF462

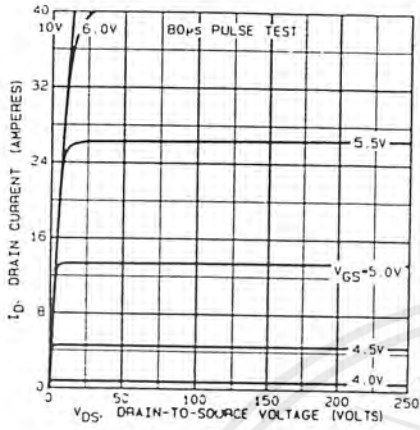


Fig. 1 - Typical output characteristics.

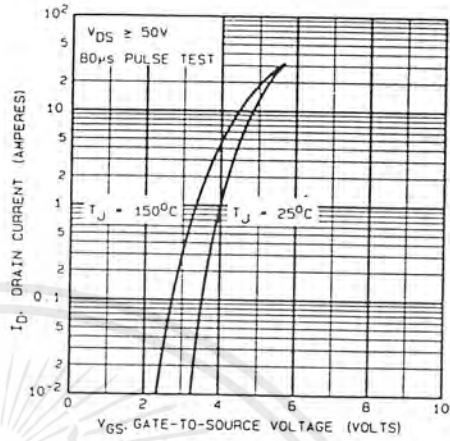


Fig. 2 - Typical transfer characteristics.

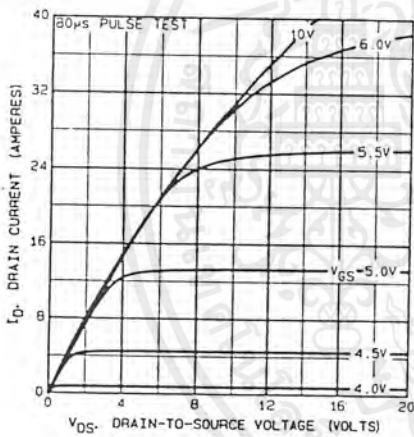


Fig. 3 - Typical saturation characteristics.

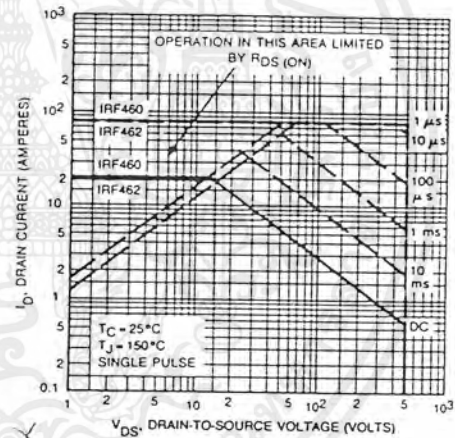
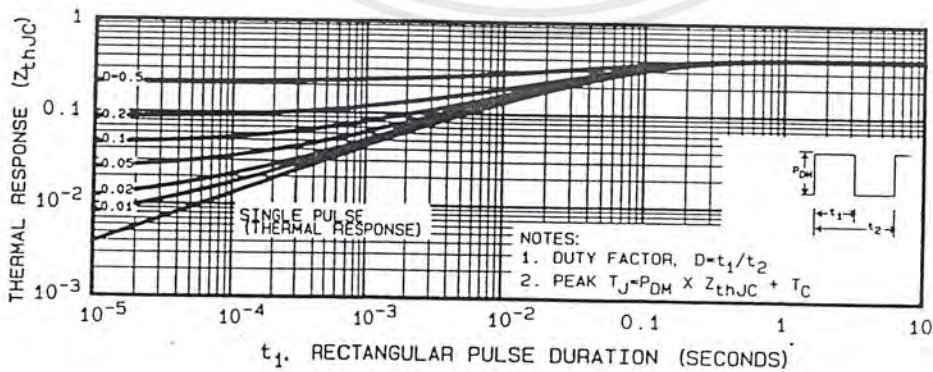


Fig. 4 - Maximum safe operating area.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF460, IRF462

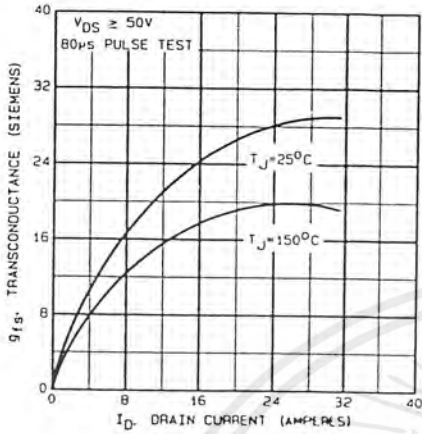


Fig. 6 - Typical transconductance vs. drain current.

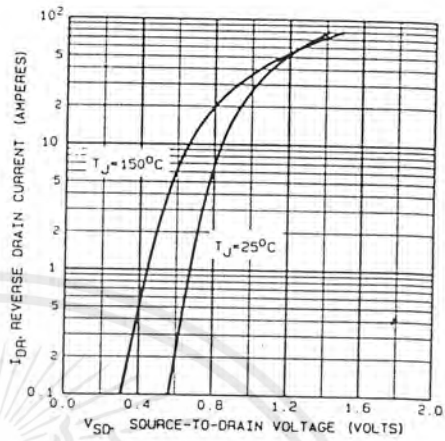


Fig. 7 - Typical source-drain diode forward voltage.

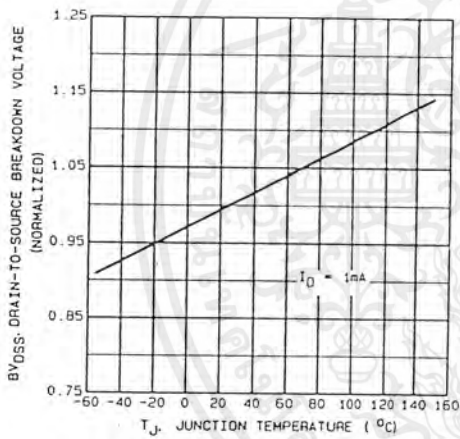


Fig. 8 - Breakdown voltage vs. temperature.

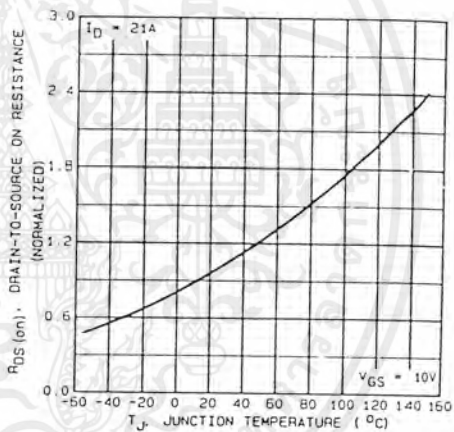


Fig. 9 - Normalized on-resistance vs. temperature.

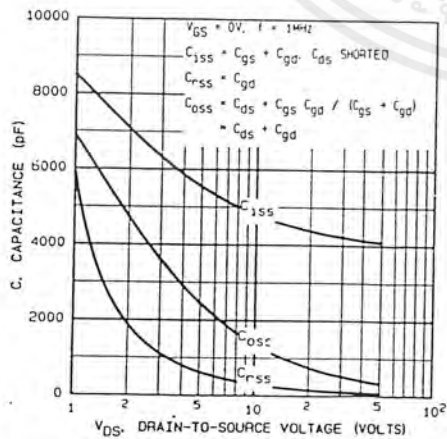


Fig. 10 - Typical capacitance vs. drain-to-source voltage.

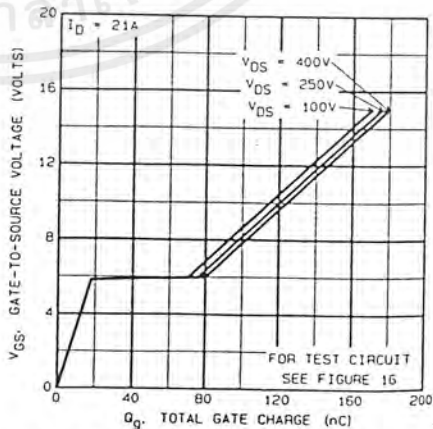


Fig. 11 - Typical gate charge vs. gate-to-source voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้