

เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

WASTE-WATER TREATMENT MACHINE WITH ELECTRICAL SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-589-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

WASTE – WATER TREATMENT MACHINE WITH ELECTRICAL SYSTEM



ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

SISEEROTM KETKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่.....

ISBN 974-622-589-8

เลขทะเบียน.....34558

วัน, เดือน, ปี 1.6...พ.ย. 2542

WASTE – WATER TREATMENT MACHINE WITH ELECTRICAL SYSTEM



The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, ornate structures resembling traditional Thai stupas or pagodas, each supported by a decorative base. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top of the border reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) and the text at the bottom reads 'กระทรวงศึกษาธิการ' (Ministry of Education).

SISEEROTM KETKAEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-622-589-8
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1999

เอกสาร **SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

WASTE – WATER TREATMENT MACHINE WITH
ELECTRICAL SYSTEM

นักศึกษา

นายศิธีโรดม เกตุแก้ว

รหัสประจำตัว

40061004

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2542

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของฟาราเดย์ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอิเล็กโทรดแผ่นราบเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย วัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าและคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะต้องได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ ขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรดและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ ซึ่งมีส่วนต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการจำลองน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่โดยใช้น้ำเกลือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย หลังการทดลองแล้วได้นำข้อมูลที่ได้นำไปสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจำลองขึ้นเพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการบำบัดน้ำเสียนี้จะได้นำไปใช้สร้างและพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้าให้สามารถนำมาใช้งานได้ต่อไปในอนาคต เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้าที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้เป็นเครื่องต้นแบบ สามารถบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนปริมาณ 60 ลิตร ภายในเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งระบบเพียง 0.26 kWh และเมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิดคือ โครเมียมปริมาณ 65.4 mg/4L ตะกั่วปริมาณ 342 mg/4L และทองแดงปริมาณ 205 mg/4L ปนอยู่ ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ผลที่ได้ก็คือ ปริมาณโครเมียมลดลงเหลือ 0.54 mg/4L ปริมาณตะกั่วลดลงเหลือ 0.75 mg/4L ส่วนปริมาณทองแดงไม่ปรากฏอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Waste – Water Treatment Machine with Electrical System
Student	Mr.Siseerotm Ketkaew
Student ID.	40061004
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Asst.Prof.Prapas Praisuwanna

ABSTRACT

The purpose of this research is to present “ Waste-Water Treatment Machine ” with Electrical System based on Faraday’s Electrolysis by putting direct current voltage in plate electrode in “Waste-Water Treatment. The most important purposes of the treatments are: saving energy used in this and the waste-water quality that was treated will have the standard according to the rule of Ministry of Industries. The first experiment are designing plate electrode and switching power supply which effects to the efficiency of the treatment. The heavy metals with catalyst will be put in the waste-water to increase the ability of the treatment. Then these data are simulated as a better Waste-Water Treatment Machine and used in treating waste-water from community sources. The experiments results and data of treating waste-water can be used in developing a better Waste-Water Treatment Machine with Electrical System in the future. This waste-water treatment machine with Electrical System is the original machine and it can treat 60 litres of waste-water in 2 hours by using electrical energy only 0.26 kWh And after treating the waste – water with 3 kinds of heavy metals , cromium 65.4 mg/4L , lead 342 mg/4L and copper 205 mg/4L from the industrial factory in 2 hours ; the experimental result shows that all of the 3 heavy metals are decreased in quanlity. There is only 0.54 mg/4L of cromium and 0.75 mg/4L of lead but there is no copper in the waste – water at all.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาส ไพรสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ช่วยให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุนทร เกตุแก้ว และอาจารย์ภิรมณ์ เกตุแก้ว ซึ่งเป็นบิดาและมารดาของผู้วิจัย ซึ่งท่านเป็นผู้ที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยและช่วยเหลือให้คำแนะนำในการใช้สำนวนภาษาไทยและภาษาอังกฤษเพื่อให้ถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ของภาษา และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและช่วยตรวจสอบคุณภาพน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณบริษัท POOL & FOUNTAIN ที่ให้ข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับเครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ โรงแรมโรเซอ์ปรีนเซส ที่ให้ความสะดวกในการศึกษาการทำงานเครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ และบริษัท เทคมาร์ จำกัด ที่ให้ข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเติมอากาศ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยเหลือตรวจสอบและแก้ไขทฤษฎีและอื่น ๆ ที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการในการบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.1 การบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.2 ปริมาณน้ำเสีย.....	4
2.2.1 ปริมาณน้ำเสียจากชุมชน.....	4
2.2.2 ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	6
2.3 คุณสมบัติของน้ำ.....	7
2.4 ลักษณะของน้ำเสีย.....	8
2.4.1 ความนำไฟฟ้าจำเพาะ.....	8
2.4.2 ความหนาแน่น.....	8
2.4.3 สี.....	8
2.4.4 กลิ่น.....	9
2.4.5 อุณหภูมิ.....	9
2.4.6 สารหรือตะกอนแขวนลอย.....	9
2.4.7 ความขุ่น.....	9
2.4.8 สารหรือของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด.....	10
2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์.....	10
2.6 หน่วยของการวิเคราะห์.....	11
2.7 แฟกเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่า specific conductance.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย.....	13
2.8.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย.....	14
2.8.2 หลักเกณฑ์ในการเลือกระบวนการต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย.....	15
2.9 การกำจัดน้ำทิ้งออก.....	16
2.10 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส	16
2.11 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส	17
2.12 ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน	17
บทที่ 3 ทฤษฎีการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่ง.....	20
3.1 วงจรส่วนอินพุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่ง.....	20
3.2 คอนเวอร์เตอร์.....	28
3.3 วงจรควบคุมสำหรับสวิตซ์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย.....	29
3.4 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	31
3.5 วงจรขับกระแสไบแอส.....	34
3.6 วงจรสับเบอร์	35
3.7 ไดโอดในสวิตซ์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย.....	39
บทที่ 4 การทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กทรอนิกส์.....	45
บทที่ 5 การออกแบบและการทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ชิ่ง	58
5.1 วงจรสวิตซ์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการออกแบบ.....	58
5.2 ผลการทดสอบ.....	68
บทที่ 6 การออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ.....	84
6.1 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ.....	84
6.2 ระบบการสกัดทองแดงออกจากแร่ที่พบอยู่ตามธรรมชาติ.....	85
6.3 เครื่องบำบัดน้ำเสียที่ทำการออกแบบ.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากท่านมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 การทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชน และน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรม พร้อมทั้งพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า.....	89
7.1 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน.....	89
7.2 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	89
7.3 การคิดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า.....	91
7.4 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลิตร ของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์ ทรานซิสเตอร์ กับการเติม อากาศ.....	91
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง.....	93
บรรณานุกรม.....	95
ภาคผนวก.....	96
ก ข้อเปรียบเทียบการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทรานซิสเตอร์ กับการเติม อากาศ.....	97
ข ภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ.....	99
ค โครงสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	103
ง ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด และบำบัดด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	107
จ รายการในการตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งจาก แหล่งชุมชน.....	110
ฉ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราช บัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจาก โรงงาน.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ช Wastewater Pathogens.....	124
ช ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เจือปนในน้ำเสีย.....	126
ฉ ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	128
ประวัติผู้เขียน.....	138



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	3
2.1	5
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	7
2.6	18
4.1	45
4.2	46
4.3	47
4.4	48
4.5	53
4.6	54
4.7	56
5.1	68
7.1	89
7.2	89
7.3	89
7.4	91
ผ – 1	98
ผ – 2	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริ ซึ่งเน้นเพื่อการศึกษเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประ โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าสารละลายน้ำทั้งหมด TDS.....	10
2.2 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl.....	17
3.1 แสดงวงจรแปลงแรงดันภาครับเป็นกระแสตรงและเรียงกระแส.....	21
3.2 แสดงค่าแรงดันที่ได้จากวงจรซึ่งขึ้นอยู่กับค่า R_s และกำลังงานที่จ่ายออกของ วงจรเรียงกระแส.....	22
3.3 แสดงรูปคลื่นการชาร์จประจุ และคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจรเรกติไฟเออร์.....	23
3.4 แสดงตัวอย่างการต่อวงจร LC ฟিলเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI.....	25
3.5 แสดงตำแหน่งการต่อตัวเก็บประจุชนิด "X" และตัวเก็บประจุชนิด "Y" ใช้งาน จะเห็น ได้ว่าหากมีการลัดทะลุในตัว C(X) ผู้ใช้อุปกรณ์ซึ่งสัมผัสอยู่กับตัวถังจะไม่ใช่ผ่านทาง ของกระแสลงดินและไม่เป็นอันตราย ส่วนตำแหน่ง C(Y) ซึ่งหากมีข้อบกพร่องในการต่อ สายดินของตัวถัง เมื่อ C(Y) ผ่านกระแสได้มากเกินไปหรือเกิดลัดทะลุในตัว ผู้ใช้ก็จะเป็น อันตรายเมื่อสัมผัสกับตัวถังเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	27
3.6 แสดงวงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	28
3.7 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมแรงดัน.....	30
3.8 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลต สัญญาณป้อนกลับและสัญญาณพื้นฐาน.....	31
3.9 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำ กระแสและเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรงจะเป็นส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูป ความร้อนได้สูง.....	33
3.10 แสดงวงจรขับกระแสเบสของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งจะเป็วงจรขับกระแสเบสของ ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์.....	34
3.11 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.12 แสดงการต่อวงจรสับเบอร์ช่วงหุคนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ.....	36
3.13 แสดงการต่อสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่จะตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหุคนำกระแส.....	38
3.14 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส กำลังงานสูญเสียในไดโอดในช่วงนี้จะมีค่า $P_D = V_F I_F$	40
3.15 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหุคนำกระแส.....	41
3.16 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟอสตริคัพเวอร์รี่ไดโอด และแสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของอุลตราฟอสตริคัพเวอร์รี่ไดโอด.....	42
3.17 แสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของซอดดักี้ไดโอด และค่ากระแสรั่วไหลของซอดดักี้ไดโอด.....	43
4.1 วงจรการทดลอง.....	47
4.2 แสดงน้ำหนักรเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวคเป็นอะลูมิเนียม.....	50
4.3 แสดงน้ำหนักรเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวคเป็นทองแดง.....	50
4.4 แสดงน้ำหนักรเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวคเป็นสแตนเลส.....	51
4.5 แสดงน้ำหนักรเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวคเป็นสังกะสี.....	51
4.6 แสดงน้ำหนักรเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อระยะห่างระหว่างเพลทลดลง.....	53
4.7 แสดงน้ำหนักรเพลทและกระแสไฟฟ้า ขณะขนาดเพลทเพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	55
4.8 แสดงน้ำหนักรเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ขณะแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลท์.....	56
4.9 แสดงน้ำหนักรเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 20 กรัม.....	57
5.1 แสดงหลักการทํางานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิคซึ่งที่ทำการออกแบบ.....	58
5.2 ส่วนภาคอินพุทประกอบด้วย วงจรไลน์ฟิลเตอร์, วงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์	59
5.3 แสดงส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง, หม้อแปลงกำลังความถี่สูง, วงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุท, วงจรป้อนกลับ.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.4 ส่วนขับเบส	63
5.5 ส่วนภาคควบคุม.....	65
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับกระแสเอาต์พุต.....	69
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แฟลคเตอร์กับโหลด.....	69
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับ โหลด.....	70
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุตกับ โหลด.....	70
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกระแสเพิ่มกับ โหลด.....	71
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ โหลด.....	71
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุตกับกำลังเอาต์พุต.....	72
5.13 แรงดันกระแสเพิ่มที่ไม่มีโหลด, 20 mV/div, Probe x 10, 20 usec.....	72
5.14 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ไม่มีโหลด, 0.2 V/div, 20 usec.....	73
5.15 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ที่ไม่มีโหลด, 5 V/div, 20 usec.....	73
5.16 แรงดันกระแสเพิ่มที่โหลด 20 % , 20 mV/div, 20 usec.....	74
5.17 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 20 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	74
5.18 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ที่โหลด 20 % , 5 V/div, 20 usec.....	75
5.19 แรงดันกระแสเพิ่มที่โหลด 40 % , 20 mV/div, 20 usec.....	75
5.20 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 40 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	76
5.21 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ที่โหลด 40 % , 5 V/div, 20 usec.....	76
5.22 แรงดันกระแสเพิ่มที่โหลด 80 % , 20 mV/div, 20 usec.....	77
5.23 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 80 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	77
5.24 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ที่โหลด 80 % , 5 V/div, 20 usec.....	78
5.25 แรงดันกระแสเพิ่มที่โหลด 100 % , 20 mV/div, 20 usec.....	78
5.26 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 100 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	79
5.27 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ที่โหลด 100 % , 5 V/div, 20 usec.....	79
5.28 แรงดันกระแสเพิ่มที่โหลด 110 % , 20 mV/div, 20 usec.....	80
5.29 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 110 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.30 แรงดันคอลลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ ที่โหลด 110 % , 5 V/div, 20 usec.....	81
5.31 แรงดันกระแสเฟืองที่โหลด 120 % , 20 mV/div, 20 usec.....	81
5.32 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่โหลด 120 % , 0.2 V/div, 20 usec.....	82
5.33 แรงดันคอลลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ ที่โหลด 120 % , 5 V/div, 20 usec.....	82
6.1 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ.....	84
6.2 ระบบการสกัดทองแดงออกจากแร่ที่พบอยู่ตามธรรมชาติ.....	85
6.3 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ทำการออกแบบ.....	86
7.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับ ปริมาณโลหะโครเมียม เมื่อบำบัดโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	90
7.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับ ปริมาณโลหะตะกั่ว เมื่อบำบัดโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	90
7.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับ ปริมาณโลหะทองแดง เมื่อบำบัดโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	90
7.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร ของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กโตรดแผ่นราบ กับการเติมอากาศ.....	92
7.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตรของ เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กโตรดแผ่นราบ กับการเติมอากาศ.....	92
ผ - 1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบลิเนียร์ให้กับแผ่นเพลทพลาทินัม.....	100
ผ - 2 แผ่นเพลทพลาทินัม.....	100
ผ - 3 ถังกรอง.....	101
ผ - 4 ตะแกรงคักขยะชั้นต้นก่อนเข้าถังกรอง.....	101
ผ - 5 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีนในสระว่ายน้ำ.....	102
ผ - 6 โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง.....	104
ผ - 7 โครงสร้างแผ่นเพลทอะลูมิเนียม.....	104
ผ - 8 โครงสร้างถังกรองที่มีแผ่นกรองอยู่ภายใน.....	105
ผ - 9 ถังบำบัดขณะทำงาน.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ผ- 10 โครงสร้างโดยรวมของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า.....	106
ผ- 11 ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด.....	108
ผ- 12 ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 1 ชั่วโมง.....	108
ผ- 13 ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 2 ชั่วโมง.....	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้สภาพแวดล้อมนับได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถ้าหากเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษมากขึ้นทุกวัน อาจเป็นสาเหตุให้มนุษย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษก็คือ น้ำเสียจากสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นจากอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่อื่นๆ ซึ่งในน้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งสกปรกต่างๆ เจือปนอยู่ รวมทั้งสารพิษต่างๆ ที่เป็นอันตราย เช่น สารตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยและเป็นการรักษาสภาวะสิ่งแวดล้อมไม่ให้เสียไปจึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นให้ได้มาตรฐานก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

วิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ใช้ระบบชีวภาพ ใช้สารเคมี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อเสีย และวิธีการในการดำเนินการที่แตกต่างกันไป โดยในบทวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของ ฟาราเดย์ คือการใช้ อิเล็กโทรดแผ่นราบ (Plate Electrode) ซึ่งอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อให้เกิดการคั่งประจุต่างๆ มาเกาะที่แผ่นอิเล็กโทรด สำหรับการทดลองตอนที่ 1 จะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด คือระยะห่างระหว่างเพลท ขนาดเพลท และผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตัวเร่งปฏิกิริยา และออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง เพื่อนำไปออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ตอนที่ 2 จะนำข้อมูลที่ได้ในตอนที่ 1 มาออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน จากนั้นจะนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้งตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบ กับการเติมอากาศ

ในบทวิจัยนี้ได้นำเสนอการบำบัดน้ำเสียในแบบ Static คือทำการบำบัดขณะน้ำนิ่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติต่างๆ ของระบบที่ถูกต้อง และนำคุณสมบัติต่างๆที่ได้มาทำการบำบัดน้ำเสียจริงในแบบ Dynamic คือให้มีอัตราการไหลของน้ำเพื่อความสะดวกในการบำบัด

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งเพื่อนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาจ่ายให้กับแผ่นอิเล็กโทรด ในวงจรไฟฟ้าทั่วไปไม่ว่าจะเป็นวงจรในระบบอนาล็อก (Analog) หรือดิจิทัล (Digital) ก็ตามย่อมมีความจำเป็นที่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟตรงเป็นภาคจ่ายกำลัง โดยทั่วไปแล้วแหล่งจ่ายไฟตรงที่ดี จะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยที่ยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต ให้คงที่
- มีการแยกกันทางไฟฟ้า

- สามารถจ่ายแรงดัน และกระแสออกมาหลายๆ ระดับ
- ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา
- ประสิทธิภาพสูง
- ราคาถูก

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเห็นได้ว่าในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นนั้นถึงแม้จะง่ายต่อการออกแบบ และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพงนัก แต่มีข้อเสียคือ ถ้าต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ขนาดของภาคจ่ายไฟจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรเป็นหม้อแปลงความถี่ต่ำ จึงมีขนาดใหญ่กว่าหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่งมาก และข้อเสียอีกข้อก็คือมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่ในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่ง จะใช้การเปลี่ยนระดับแรงดันจากระดับหนึ่งไปเป็นอีก ระดับหนึ่ง ด้วยวงจร “ดิซิจิตัลคอนเวอร์เตอร์” ซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต และอื่นๆ) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อโดยอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องใช้งานในย่านแอกติฟ จึงเป็นผลทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นต่ำมาก การเพิ่มความเร็วในการสวิตช์จะเป็นการเพิ่มขนาด ของแรงดันและกระแสในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และต้องการขนาดที่เล็ก กะทัดรัด เช่น คอมพิวเตอร์, โทรศัพท์ แม้กระทั่งในเครื่องมือวัดต่างๆ มักจะออกแบบภาคจ่ายไฟเป็นแบบสวิตชิ่ง แต่อย่างไรก็ดี แหล่งจ่ายไฟตรงสวิตชิ่งก็ยังมีข้อเสียอีกหลายข้อเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้นคือ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีราคาแพง และอุปกรณ์บางชิ้นหายาก โดยเฉพาะภายในประเทศ
- การออกแบบมีความยุ่งยากกว่า

ในหลักการใหม่ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องบับค่น้ำเสียด้วระบบไฟฟ้า โดยใช้แผ่นเพลาอะลูมิเนียม และได้นำแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้น มาใช้แทนแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบลิเนียร์เพราะมีข้อที่ดีกว่า แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบลิเนียร์กับแบบสวิตชิ่งได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบลิเธียมกับแบบสวิตชิง

แบบลิเธียม	แบบสวิตชิง
- มีขนาดตัวเครื่องใหญ่	- มีขนาดตัวเครื่องเล็ก
- มีน้ำหนักมาก	- มีน้ำหนักเบา
- มีประสิทธิภาพต่ำ	- มีประสิทธิภาพสูง
- มีการสูญเสียกำลังในรูปของความร้อน	- มีกำลังสูญเสียต่ำ
- การใช้งานที่กำลังต่ำจะมีราคาถูก แต่ถ้ากำลังปานกลาง , สูงจะมีราคาแพง	- การใช้งานที่กำลังต่ำๆ จะมีราคาแพง แต่ถ้ากำลังสูงจะมีราคาถูกกว่า
- ในส่วนของเร็กกูเลเตอร์มีลักษณะเป็นโพลต์ที่ดึงกระแสคงที่	- ในส่วนของเร็กกูเลเตอร์มีลักษณะเป็นโพลต์ที่ดึงกำลังคงที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการบำบัดเสีย
3. เพื่อบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่ได้กำหนดไว้
4. เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเดิมอากาศ

ขอบเขตการวิจัย

1. ตอนที่ 1 ทำการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กทรอนิกส์
 - การทดลองที่ 1 คูปฏิริยาที่เพลท
 - การทดลองที่ 2 หาชนิดของเพลท
 - การทดลองที่ 3 หาระยะห่างระหว่างเพลท
 - การทดลองที่ 4 หาขนาดเพลท
 - การทดลองที่ 5 หาผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิริยา
2. ตอนที่ 2 ทำการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า
 - เครื่องบำบัดน้ำเสียที่ทำการออกแบบ
 - การทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชน พร้อมทั้งคิดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า
 - การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลิตร ใน 1 วัน ระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเดิมอากาศ
 - สรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการในการบำบัดน้ำเสีย

2.1 การบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียเป็นน้ำที่ไหลมาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งเพาะปลูก แหล่งเลี้ยงสัตว์ การอุตสาหกรรมและชุมชนทั่วไป ลักษณะของน้ำเสียที่มาจากแหล่งต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันด้วย โดยปกติ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะสร้างปัญหาให้มากกับชุมชน เพราะบางโรงงานจะมีน้ำเสียประเภทสารพิษอันตรายไหลปะปนมาด้วย และยากแก่การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไหลมาจากบ้านเรือนทั่วไป สารและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดน้ำเสียมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เชื้อโรค สารพิษต่าง ๆ ตะกอน ดินและเกลือ ดังนั้นจำเป็นต้องเข้าใจสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ก่อนที่จะเลือกวิธีบำบัดน้ำเสียให้ได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ประหยัดที่สุด และเหมาะสมที่สุด

2.2 ปริมาณน้ำเสีย

ปริมาณน้ำเสียเป็นข้อมูลที่สำคัญมาก ก่อนที่จะออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมากปริมาณน้ำเสียที่ได้จะมาจากการประมาณหาโดยวิธีต่าง ๆ เช่น จากจำนวนพลเมืองจากการใช้น้ำประปา จากการผลิตสินค้าในโรงงาน เป็นต้น

2.2.1 ปริมาณน้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนเป็นน้ำทิ้งที่ได้ถูกใช้มาแล้ว โดยมากเป็นน้ำประปาที่ได้ถูกใช้มาแล้ว สำหรับชุมชนในที่นี้หมายถึง บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ต่าง ๆ และเขตอุตสาหกรรม น้ำเสียในที่นี้ไม่ได้รวมถึง น้ำฝนที่ตกลงมาไหลลงท่อระบายน้ำ ซึ่งในประเทศไทยน้ำเสียและน้ำฝนจะไหลลงท่อระบายน้ำทิ้งท่อเดียวกัน แต่ในหลายประเทศหรือบางแห่งในประเทศไทยจะมีท่อระบายน้ำทิ้ง 2 ท่อ คือ ท่อระบายน้ำฝน และท่อระบายน้ำเสีย

โดยมากการหาปริมาณน้ำเสีย เพื่อใช้ในการออกแบบระบบท่อระบายน้ำทิ้ง จำเป็นต้องใช้วิธีประมาณหาค่าปริมาณน้ำเสียจากชุมชน ใช้วิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำเสีย โดยใช้กล่องน้ำล้น (Weir Box) และเสริมด้วยข้อมูลการใช้น้ำประปาของชุมชนบริเวณที่ศึกษา ข้อมูลปริมาณน้ำเสียของอาคารประเภทต่าง ๆ และของเครื่องสุขภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่ในที่สาธารณะได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำเสียจากชุมชนของอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทของอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย.วัน)	ประเภทของอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย.วัน)
อาคารสำนักงาน	คน	70	สนามบิน	ผู้โดยสาร	15
โรงพยาบาล	เตียง	1000	โรงอาหาร	คน	60
โรงแรม	ห้อง	200	บ้านพักอาศัย	คน	300
โรงเรียน	นักเรียน	150	เรือนจำ	คน	450
โรงพยาบาล	คน	150	สโมสร	คน	350
ภัตตาคาร	คน	50	ร้านกาแฟ	คน	50
หอพัก	คน	340	ร้านตัดผม	คน	220
ศูนย์การค้า	คน	100	หอประชุม	ที่นั่ง	10
ห้องปฏิบัติการ	คน	50	สถานีบริการน้ำมัน	รถ	40

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของน้ำที่ใช้เครื่องสุขภัณฑ์

เครื่องสุขภัณฑ์	ปริมาณน้ำใช้
อ่างอาบน้ำ	60 – 190 ลิตร/ครั้ง
เครื่องล้างจาน	15 – 30 ลิตร/ครั้ง
น้ำทุกคืม	4 – 5 ลิตร/นาที่
รดสนามหญ้าด้วยสายยาง	15 ลิตร/นาที่
รดสนามหญ้าด้วยน้ำพุ	6 – 8 ลิตร/นาที่
ที่อาบน้ำแบบฝักบัว	90 – 110 ลิตร/ครั้ง หรือ 19 – 40 ลิตร/นาที่
อ่างล้างทั่วไป	4 – 8 ลิตร/ครั้ง
โถปัสสาวะชาย	55 ลิตร/นาที่
เครื่องดับเพลิงแบบใช้น้ำ	150 ลิตร/นาที่
ก๊อกน้ำที่ใช้ทั่วไปในบ้าน	10 – 20 ลิตร/นาที่
ก๊อกน้ำที่เกอร์ว่อกเป็นหยด ๆ	10 – 1000 ลิตร/วัน
โถส้วม (แบบใช้ถัง)	19 – 27 ลิตร/ครั้ง
โถส้วม (แบบใช้วาล์ว)	90 – 110 ลิตร/นาที่
เครื่องซักผ้า	110 – 200 ลิตร/ครั้ง

ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน คือ น้ำที่ถูกใช้แล้วจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในรูปของขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และขนาดเล็กมาก หรือ ขนาด

เล็กมาก ๆ จนไม่สามารถมองได้ด้วยสายตาของคนเรา และน้ำเสียยังมีสิ่งมีชีวิตเล็กมากอาศัยปะปนอยู่ด้วย ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และ โปรโตซัว

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป ทั้งนี้หมายถึงมีน้ำฝนไหลลงมาผสมด้วย

องค์ประกอบ	มก./ลิตร
BOD ₅	110-440
COD	1.75 x BOD ₅
Total Solids (TS)	350-1200
Total Suspended Solids (TSS)	100-350
Grit (สารอนินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม.)	-
Grease	50-150
Total Nitrogen, as N	20-85
Total phosphorus, as P	4-15
Total alkalinity as CaCO ₃	50-200
Chlorides as Cl	20-50
Sulfates as SO ₄	15-30
Nitrate as NO ₃	20-40
Phosphates as PO ₄	20-40
Sodium as Na	40-70
Potassium as K	7-15
Total Dissolved Solids	100-300

2.2.2 ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกันสำหรับประเภท หรือชนิดของโรงงาน บางโรงงานอาจต้องการน้ำเพียงสำหรับอุปโภคบริโภคของคนงานและเจ้าหน้าที่ของโรงงานเท่านั้น แต่บางโรงงานอาจต้องการน้ำใช้ช่วยในการผลิตสินค้า

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก็คือ น้ำเสียของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้ น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1) น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

- 2) น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (Wash Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่าง ๆ
- 3) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process Wastewater) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต
- 4) น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่น ๆ จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำ และอื่น ๆ

2.3 คุณสมบัติของน้ำ (ฉรงค์ วุทธเสถียร. 2540 : 9-10)

ตารางที่ 2.4 น้ำมีสูตรทางเคมี H_2O จะมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้ (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

น้ำหนักโมเลกุล		18.015
จุดหลอมเหลว	องศาเซลเซียส	0
จุดเดือด	องศาเซลเซียส	100
ความหนาแน่น	กรัมต่อมิลลิกรัม	0.998
อุณหภูมิความหนาแน่นสูงสุด	องศาเซลเซียส	3.98
ความตึงผิว	ไดน์ต่อเซ็นติเมตร	71.97
ความนำไฟฟ้า ohm-cm		<10E-8
ความนำความร้อน watt/(cm) (องศาเซลเซียส/cm)		5.98*10 (20 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่างของน้ำที่แปรผันทางอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิกรัม)	ปริมาณจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	ความหนืด centipoise
0	0.99987	1.00113	4.580	1.787
5	0.99999	1.00001	6.538	1.516
10	0.99973	1.00027	9.203	1.306
15	0.99913	1.00087	12.782	1.138
20	0.99823	1.00177	17.529	1.002
25	0.99707	1.00293	23.753	0.8903
30	0.99568	1.00434	31.824	0.7975
40	0.99224	1.00782	55.338	0.6531
50	0.98807	1.01207	92.56	0.5467
60	0.98324	1.01705	149.57	0.4666
70	0.97781	1.02270	233.81	0.4049
80	0.97183	1.02899	355.31	0.3554
90	0.96534	1.03590	525.92	0.3156
100	0.95838	1.04343	760.00	0.2829

2.4 ลักษณะของน้ำเสีย

2.4.1 ความนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Conductance)

ความนำไฟฟ้าจำเพาะเป็นเครื่องชี้บอกถึงปริมาณเกลือแร่ต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำโดยเฉพาะสารที่ละลายในน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid or TDS) ทั้งนี้เพราะน้ำบริสุทธิ์จะมีความนำไฟฟ้าต่ำ น้ำบริสุทธิ์ จะมีความนำไฟฟ้าตั้งแต่ 0.04 – 2.0 micromho/cm

หน่วยวัดความนำไฟฟ้าคือ ไมโคร โมห์ต่อเซนติเมตร ในบางครั้งถ้าน้ำมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือแอมโมเนียละลายอยู่การหาความนำไฟฟ้าจะต้องมีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากกราฟด้วย โดยใช้อ่านค่า correction factor

2.4.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของน้ำหาได้โดยการชั่งน้ำที่มีปริมาตรจำนวนหนึ่ง ณ ที่อุณหภูมิอันหนึ่ง น้ำบริสุทธิ์จะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.000 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส ถ้ามีแร่ต่างๆ ละลายปนอยู่ 1,000 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือร้อยละ 0.1 เท่านั้น น้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ยังถือว่ามีความหนาแน่นใกล้เคียงน้ำ

2.4.3 สี (Color)

น้ำจากแหล่งน้ำได้ชีวิติน โดยเฉพาะส่วนที่ไหลผ่านพื้นที่ที่เป็นไร่นาจจะมีสีที่เกิดจากสารจำพวกแทนนินกรดฮิวมิก และสารที่สลายตัวจากลิกนินของพืชเป็นเหตุให้น้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะที่จะใช้งานทางอุตสาหกรรมสีในน้ำจะเกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบที่สามารถจับได้ โดยการจับตัวตกตะกอน (coagulation) โดยการใช้เกลือของโลหะที่มีวาเลนซ์สาม เช่น อะลูมิเนียมและเหล็ก สีที่เกิดเนื่องจากมีสารแขวนลอยอยู่มากเรียกว่า สีปรากฏ (apparent color) เช่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ในฤดูฝนน้ำที่ไหลมาจากทางเหนือจะละลายเอาดินเป็นตะกอนสีแดง ทำให้น้ำขุ่นมากกว่าปกติ สีแท้ (true color) เป็นสีที่เกิดเนื่องจากการสลายตัวของพืชหรือสารอินทรีย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปคอลลอยด์ นอกจากนี้สียังเกิดจากของเสียทั้งหลายที่มีอยู่ในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งชุมชน การวัดสีให้วัดสีของน้ำตัวอย่างเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน ซึ่งเตรียมจากโพแทสเซียมคลอโรแพลทินेट (K_2PtCl_6) และโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2 + 6H_2O$) 1 หน่วยสี จะมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัม Pt ต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 กลิ่น

กลิ่นจากน้ำเสีย ส่วนมากแล้วมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก๊าซส่วนใหญ่จะเป็น H_2S ซึ่งเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนได้ทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์

2.4.5 อุณหภูมิ

น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยมากจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ และเมื่อปล่อยทิ้งไปยัง แม่น้ำ ลำคลอง จะทำให้สิ่งแวดล้อมของแม่น้ำลำคลองนั้น ๆ เปลี่ยนไปได้ ดังนี้

- น้ำในแม่น้ำลำคลองนี้จะมีปริมาณของออกซิเจนน้อยลงกว่าปกติ เพราะค่าอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจะลดลง เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

- เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาของพวกจุลินทรีย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

- เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าปกติ การเจริญเติบโตของพืชที่ไม่ต้องการในน้ำจะมีมากกว่าปกติ

2.4.6 สารหรือตะกอนแขวนลอย

สารหรือตะกอนแขวนลอย คือสารหรือของแข็งส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดความขุ่น (Turbidity) เป็นของแข็งส่วนที่กรองได้โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองชนิด Glass - fiber Filter แล้วอบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2.4.7 ความขุ่น

ความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่เป็นต้นเหตุทำให้น้ำไม่ใส อีกนัยหนึ่งความขุ่นหมายถึง ปริมาณเนื้อแห้งของสารที่มีอยู่ในน้ำ แต่ความขุ่นเป็นการวัดทางด้านที่เกี่ยวกับแสงเสียมากกว่า เพราะหน่วยวัดความขุ่นนั้น บ่งบอกถึงความหยาบละเอียด สีและรูปร่างของอนุภาคสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ หน่วยวัดความขุ่นที่เคยใช้กันมา ได้แก่ความขุ่นพีพีเอ็มเมื่อเทียบกับซิลิกา

ความขุ่น 1 พีพีเอ็ม (mg/l) = ความขุ่นของน้ำใสสะอาดที่มีซิลิกา (SiO_2)
อยู่ 1 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร

หน่วยวัดความขุ่นที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 หน่วยคือ

JTU = Jackson Turbidity Unit

FTU = Formazin Turbidity Unit

NTU = Nephelometric Turbidity Unit

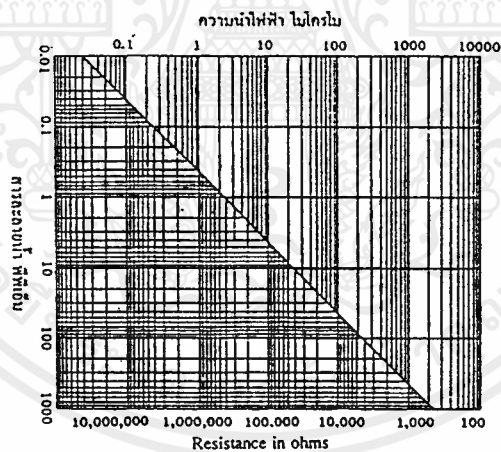
ค่าความขุ่นทั้งสามหน่วยนี้จะให้ค่าเป็นตัวเลขที่เท่ากัน

2.4.8 สารหรือของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด

สารหรือของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด คือสิ่งที่อยู่ในน้ำทั้งหมดทั้งในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ตรวจสอบได้โดยการระเหยตัวอย่างน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีวิธีการประมาณปริมาณ TDS ได้จากการวัดค่าความนำไฟฟ้า ค่านี้จะบอกถึงความสามารถที่น้ำตัวอย่างจะนำไฟฟ้าได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า (Ionized) อยู่ในน้ำ พวกสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น แม้ว่าความนำไฟฟ้าจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการคือ คุณสมบัติของไอออนชนิดต่าง ๆ ปริมาณ และความเข้มข้นของประจุ (Ionic Strength) การวัดค่าความนำไฟฟ้า ถือได้ว่าเป็นวิธีการประมาณค่าสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมาก

ปริมาณ TDS (หน่วย mg/l) = ค่าคงที่ x ความนำไฟฟ้า

ค่าคงที่ = 0.55 – 0.80



ภาพที่ 2.1 กราฟแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าสารละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

โครเมียม สารประกอบของโครเมียมประจุบวกสามไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบของโครเมียมประจุบวกหกทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนังเป็นพิษต่อร่างกาย การสูดดมไอกรดโครมิกเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดง เป็นโลหะที่ร่างกายต้องการเป็นปริมาณเล็กน้อย ผู้ใหญ่ต้องการปริมาณ 2 มิลลิกรัม/วัน ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกายได้ เช่นรับประทาน CuSO_4 ในปริมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้ ถ้ารับประทานในปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และลำไส้

ตะกั่ว เป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการแต่ร่างกายคนเราสามารถทนต่อปริมาณตะกั่วได้โดยคนทั่วไปสามารถมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm โดยไม่เป็นพิษ ถ้าได้รับในปริมาณมากในทันทีทันใด เช่น พบในเลือดมากกว่า 0.8 ppm เกิดเป็นพิษจับปลั่งได้

นิเกิล สารประกอบของนิเกิลไม่มีผลทางสรีระของสัตว์และพืช หรือเป็นพิษในเกณฑ์ที่ต่ำมาก สังกะสีในรูปของธาตุไม่ปรากฏความเป็นพิษแต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นพิษอย่างแรง ระบายเล็งต่อระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เสียชีวิตได้

2.6 หน่วยของการวิเคราะห์

การวิเคราะห์น้ำมักเกี่ยวข้องกับสารละลายเจือจาง ดังนั้นผลที่ได้จะบอกอยู่ในรูปของน้ำหนักต่อน้ำหนักแต่เนื่องจากการวัดน้ำมักเป็นปริมาตร ไม่ใช่ น้ำหนักจึงเป็นการสะดวกที่จะบอกผลที่ได้ในเชิงน้ำหนักต่อปริมาตร

parts per million (ppm)

เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักต่อน้ำหนักโดยถ้าใช้น้ำเป็นตัวอย่าง ค่าที่ใช้ ppm ก็นับว่าใช้ได้ เพราะน้ำหนักของน้ำหนึ่งลิตร เท่ากับ 1000 กรัม หรือ 1000000 มิลลิกรัม ดังนั้น 1 mg/L จึงประมาณเท่ากับ 1 ppm

ต่อมาเมื่อมีการสำรวจน้ำโสโครก (polluted water) เช่นน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนก็ยังคงถือว่า 1 mg/L = 1 ppm เพราะความถ่วงจำเพาะของอาคารบ้านเรือนเท่ากับของน้ำ ต่อมาเมื่อมีการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial waste) พบว่าความถ่วงจำเพาะต่างไปจากน้ำ ดังนั้นความสัมพันธ์ของ ppm กับ mg/L จึงไม่ถูกนำมาใช้ โดยนิยมใช้ mg/L มากกว่า

milligrams per litre (mg/L)

เทอมนี้เป็นความสัมพันธ์ของน้ำหนักต่อน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นที่นิยมใช้กันเพราะการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเป็นการเกี่ยวข้องกับของเหลวมากกว่าเพราะการวัดเป็นปริมาตรสะดวกกว่า การชั่ง โดยอาจเปลี่ยนหน่วยจาก mg/L หรือ ppm มาเป็น Lb/million gallon ได้ดังนี้ $\text{mg/L} \times 8.34 = \text{Lb/million gallon}$ เมื่อของเหลวมีความถ่วงจำเพาะเท่า 1 ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เป็น mg/L มากกว่า ppm เพราะศัคปัญหาเกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะ สำหรับสีและความขุ่นจะมีหน่วยเฉพาะ ในกรณีความเข้มข้น

ชั้น > 10000 mg/L ควรจะใช้เป็น % มากกว่า (เพราะว่า 10000 mg/L = 1 % เมื่อความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

BOD (5 days 20 °C) maximum	20 ppm
Suspended solids maximum	30 ppm
Dissolved solids maximum	2000 ppm
PH value	5 – 9
Permanganate value maximum	60 ppm
Sulphide (as H ₂ S) maximum	1 ppm
Cyanide (as HCN) maximum	0.2 ppm
Oil and grease	none
Tar	none
Formaldehyde – maximum	1 ppm
Phenols and cresols maximum	1 ppm
Free chlorine – maximum	1 ppm
Zinc, Chromium, Arsenium, Selenium, Silver, Lead, Nickel	individually or in total maximum 1 ppm
Insecticides	none
Radioactive materials	none
temperature	maximum 49 °C
Taste and odour	not disagreeable

2.7 แฟกเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่า specific conductance

1. Dissolved solid ยิ่งสารเหล่านั้นละลายได้ดีมากเพียงใดก็ยังมีค่า specific conductance สูง เพราะเกี่ยวกับ ionic mobility

2. pH ถ้าน้ำนั้นมีค่า pH >9 หรือ <5 จะมีผลต่อค่า specific conductance มากทั้งนี้เพราะ H⁺ และ OH⁻ มี ionic mobility สูงกว่าไอออนตัวอื่น กล่าวคือ ionic mobility ของ H⁺ = 350, OH⁻ = 278 และ Na⁺ = 20 – 60 เป็นต้น ดังนั้น ค่าที่ได้จาก H⁺ และ OH⁻ ซึ่งเนื่องมาจาก pH ของน้ำมากกว่าไอออนตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นมา ionic mobility ของไอออนก็จะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เพราะสารต่างๆ จะแตกตัว (ionise) ที่อุณหภูมิสูง ๆ จึงทำให้ค่า $\text{specific conductance}$ เพิ่มขึ้น พบว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 2 % ของ $\text{specific conductance}$ ต่อองศาเซนติเกรด

2.8 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย

การตกผลึก เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำให้อยู่ในรูปของแข็ง สามารถทำได้ โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. การเติมสารเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรงเกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ
2. การเปลี่ยนสมมูลของปฏิกิริยาเคมีโดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับพีเอช
3. การเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบของโลหะนั้นมีค่าความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยลง

การรวมตะกอน เป็นกระบวนการในการทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็ว

การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำ ด้วยสารประกอบโลหะหนักจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำสามารถตกตะกอนได้เร็วโดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการรวมตะกอน

การกรอง เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำเนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยได้ ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

ออกซิเดชันและรีดักชัน เป็นขบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนค่าเลขประจุเพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น โซยาไนต์ และ โครเมียมประจุบวกหก

กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ เป็นกระบวนการทางเคมีน้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีประจุบวกหรือสารประกอบที่มีประจุลบเมื่อผ่านเรซินก็จะถูกจับไว้ในเรซิน ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีแต่หลังจากใช้งานซักระยะประสิทธิภาพจะต่ำลงต้องมีการฟื้นฟูประสิทธิภาพ และได้น้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนัก หรือสารประกอบสูงมากอาจนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น

การระเหย เป็นการใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไปทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้นหรือกลายเป็นกากตะกอน พลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง การถ่ายเทความร้อน หรือใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเวอร์ออสโมซิส เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ ซึ่งเยื่อนี้จะมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและสารบางตัวผ่านไปได้ ดังนั้นจะได้น้ำที่มีความสะอาด และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง กระบวนการนี้จะต้องใช้พลังงานมาก และต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้า

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนมากมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสียจะทำให้มลสารต่าง ๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนต่าง ๆ ทำให้น้ำทิ้งสะอาด แต่ถ้าถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วไม่ควรกำจัดโดยการเผา

2.8.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย จะมีหลายวิธี และหลายกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยทั้งความรู้ทางชีวเคมี ทางจุลชีววิทยา ทางเคมี และทางกายภาพ ในบทความวิจัยนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบ ซึ่งเป็นการนำไฟฟ้ามาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit Operations) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (Screening) การบดตัด (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) เป็นต้น

2. กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกแอมลสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การทำให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น

3. กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลชีพที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ และจะได้จุลชีพเพิ่มจำนวนขึ้น ได้แก่ Activatead Sludge, Trickling Filter, Aerated Lagoon, naerobic Filter, Anaerobic Pond, Stbilization Pond เป็นต้น

4. กระบวนการทางกายภาพ - เคมี (Physicochemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพ และทางเคมีมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ และสาร

อินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ Ion Exchange, Carbon Adsorption, Reverse Osmosis, Electrodialysis เป็นต้น

ถ้าต้องการแบ่งออกเป็นขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียก็สามารถแยกออกเป็นขั้นตอน ได้ดังนี้

1. ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นแรก ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การทำให้ลอย เป็นต้น

2. ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นที่ต้องการแยกสารตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การตกตะกอน เป็นต้น

3. ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นระบบที่แยก และกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีววิทยา

4. ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) เป็นระบบที่แยก และกำจัดสารตะกอนแขวนลอยที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง กำจัดสารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ออกจากน้ำเสียได้มาก และกำจัดสารอื่น ๆ ที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะทำการบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพของน้ำที่ปล่อยทิ้งออกดี ขนาดไหน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเห็นได้ว่ามีอยู่ด้วยกันหลายวิธี และนับวันจะมีกระบวนการการบำบัดน้ำเสียใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้ต้องการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้น ดังนั้นวิศวกรจำเป็นต้องเลือกกระบวนการที่เหมาะสม โดยต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ทั้งทางด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ สังคม และการเมือง

2.8.2 หลักเกณฑ์ในการเลือกกระบวนการต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย

1. ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
2. คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการ
3. พื้นที่ที่ต้องใช้ทั้งหมด
4. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบคุณภาพ
5. ความยากง่ายในการเดินระบบ และความปลอดภัย
6. ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือกากที่ต้องกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การกำจัดน้ำทิ้งออก (Effluent Disposal)

การกำจัดน้ำทิ้งที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียเรียบร้อยแล้ว จะทำการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ภายนอก ซึ่งมีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

- (1) การระเหยน้ำโดยธรรมชาติ (Natural Evaporation)
- (2) การเติมน้ำลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge)
- (3) การรดน้ำ (Irrigation Uses)
- (4) การปล่อยทิ้งลงทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ (Recreational Lakes)
- (5) การปล่อยลงบ่อน้ำเพื่อการปลูกพืชน้ำและเลี้ยงสัตว์น้ำ (Aquaculture)
- (6) การปล่อยลงอ่างเก็บน้ำที่ใช้น้ำสำหรับการผลิตน้ำประปา (Municipal Uses)
- (7) การนำกลับมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอีกครั้ง (Industrial Uses)
- (8) การปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป (Discharge into Natural Waters)

วิธีต่าง ๆ ทั้งหมดนี้จะสามารถใช้ได้และเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิประเทศ ความต้องการในการใช้น้ำทิ้ง และระดับคุณภาพน้ำที่ต้องการใช้

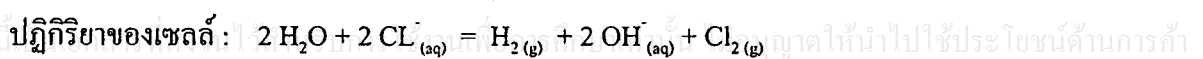
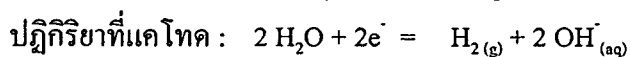
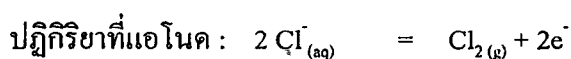
2.10 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส หมายถึง กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก (ชัชววัฒน์ เจนวานิชย์, 2530)

ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสคือแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า อิเล็กโทรดสองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า “ เซลล์อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis Cell) ” สำหรับอิเล็กโทรดทั้งสองนี้ คือ

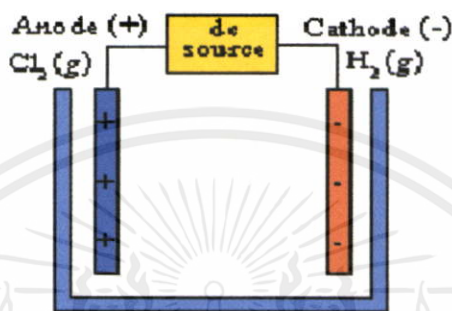
1. แอโนด คือ อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น
2. แคโทด คือ อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้น

พิจารณากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีความเข้มข้นพอประมาณในน้ำ โดยใช้แท่งแกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดแก๊ส Cl_2 ที่แอโนดและแก๊ส H_2 ที่แคโทด



แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกลับไปพิจารณากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl ในน้ำ เราพบว่าถ้าจะให้เกิดปฏิกิริยา $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Na} + \text{Cl}_2$ ความต่างศักย์ที่ต่ำที่สุดที่จะต้องใช้ คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์ เท่ากับ $-2.71 - 1.35 = -4.06$ โวลต์ จะเห็นว่าต้องใช้ความต่างศักย์สูงมาก เมื่อเทียบกับปฏิกิริยา $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^- + \text{Cl}_2$, $\Delta E^\circ = -2.19$ โวลต์ ซึ่งใช้ความต่างศักย์ต่ำสุดคือ 2.19 โวลต์ ดังนั้นกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl จึงเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่แคโทด มากกว่าที่จะเกิดโลหะโซเดียม ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl

2.11 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส (Faraday's Laws of Electrolysis)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michel Faraday) เป็นคนแรกที่ได้ค้นพบความสัมพันธ์แบบปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ความมากน้อยของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ดังนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้เรียกว่า “กฎอิเล็กโทรลิซิสของฟาราเดย์” ดังนี้

1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่อโนดหรือแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรลิซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์
2. มวลของสารต่างๆ กันที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

2.12 ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน (Standard electrode potential)

ค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์หนึ่งๆ จะเท่ากับความต่างศักย์ของครึ่งเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน (ΔE°) ที่ได้จากการต่อครึ่งเซลล์นั้นๆ กับครึ่งเซลล์ SHE ($E^\circ = 0$) โดยกำหนดให้ E° ของครึ่งเซลล์ที่เป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอนจาก SHE มีเครื่องหมายเป็นบวก และเป็นลบ ถ้าครึ่งเซลล์นั้นเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอนจาก SHE

ค่า E° ของครึ่งเซลล์ใดๆ ก็ตามจะเป็นค่าแสดงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของครึ่งเซลล์นั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ SHE ($E^\circ = 0$) และเรียกค่า E° นี้ว่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potential)

(หมายเหตุ SHE คือ ขั้วแก๊สไฮโดรเจน (standard hydrogen electrodes))

ตารางที่ 2.6 ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์ที่ 25°C

ครึ่งปฏิกิริยา	E° (โวลต์)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- = \text{Li}$	-3.05
$\text{K}^+ + \text{e}^- = \text{K}$	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Ba}$	-2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Ca}$	-2.76
$\text{Na}^+ + \text{e}^- = \text{Na}$	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Mg}$	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Al}$	-1.67
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Mn}$	-0.83
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$	-0.76
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Cr}$	-0.74
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$	-0.44
$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Ni}$	-0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Sn}$	-0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Pb}$	-0.13
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Fe}$	-0.04
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$	0.00
$\text{AgCl} + \text{e}^- = \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ครึ่งปฏิกิริยา	E° (โวลต์)
$\text{Cu}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cu}$	0.34
$\text{I}_2(\text{aq}) + 2\text{e}^- = 2\text{I}^-$	0.54
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$	0.77
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$	0.80
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{Br}^-$	1.09
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.28
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- = 2\text{Cl}^-$	1.36
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- = \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1.47
$8\text{H}^+ + \text{MnO}_2 + 5\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.51
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.69
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$	1.77
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{F}^-$	2.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

หลักการเบื้องต้นของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงทั่วไปซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนด้วยกันคือ (สุวัฒน์ คั่น. 2538)

- ภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านอินพุท
- ภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง
- ภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุท
- วงจรควบคุม

ไฟกระแสสลับแรงดันสูงจะต่อเข้าภาคเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ทางด้านอินพุทเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง จากนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟตรงเป็นพัลส์ที่ถี่สูง ความถี่สูง ในช่วง 20 kHz – 500 kHz ซึ่งในวงจรสวิตชิงนี้อาจจะสร้างได้จากอุปกรณ์หลายชนิดเช่น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เอสซีอาร์ และอื่นๆ พัลส์ที่ถี่สูงจากวงจรสวิตชิงจะส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้แรงดันเอาต์พุทตามต้องการ และแยกกราวด์ไปในตัว แรงดันที่ได้นี้จะส่งเข้าภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุทอีกครั้งเป็นไฟตรงตามระดับแรงดันที่ต้องการ ส่วนหนึ่งจะถูกส่งกลับเข้ามาวงจรควบคุมเพื่อคอยตรวจสอบและควบคุมแรงดันเอาต์พุทให้คงที่ไม่ว่าแรงดันไฟสลับด้านอินพุท หรือ โหลดที่เอาต์พุทจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม

ในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่เพื่อป้อนแก่วงจรพัลส์สวิตช์มอดูเลเตอร์, วงจรขยายความผิดพลาด และแรงดันอ้างอิงที่เที่ยงตรง เมื่อแรงดันเอาต์พุทเปลี่ยนแปลงวงจรขยายความผิดพลาดนั้นไปทำการปรับความกว้างของพัลส์ของ PWM ขบวนการพัลส์ที่ได้จะส่งมาควบคุมวงจรสวิตชิงให้สวิตช์ปิด – เปิด ปลดปล่อยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยไปสู่โหลด ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุทให้คงที่

นอกจากนี้ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังต้องมีส่วนประกอบอื่นๆ อีก เช่น วงจรกรอง RFI , วงจรป้องกันไฟกระชาก , วงจรจำกัดกระแส , วงจรป้องกันแรงดันเอาต์พุทเกิน ฯลฯ

3.1 วงจรส่วนอินพุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

3.1.1 ภาคเรียงกระแสอินพุท (Input rectifier)

ในการใช้งานจะมีข้อจำกัดต่างๆดังนี้

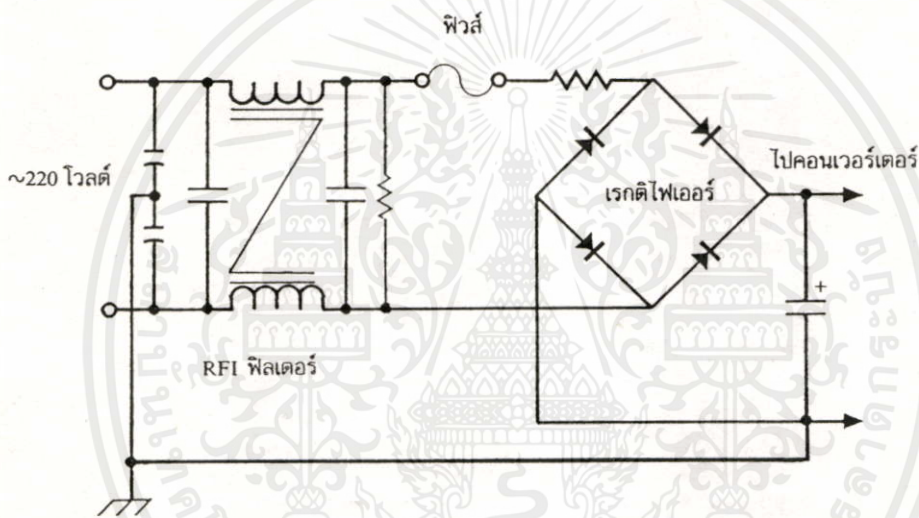
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทางสน ออกทงห้าม ให้คิดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไดโอดที่ทนกระแสได้ไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของ กระแสภาวะคงที่ (Steady state)

- ข้อจำกัดในการทนต่อแรงดันเมื่อได้รับไบแอสกลับ (Peak Inverse Voltage)

- ขีดจำกัดในการทนกระแสกระชาก (High Surge Current): กระแสนี้จะมีค่าสูงเมื่อไดโอดนำกระแส

สวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ แรงดันไฟสลับจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟตรงเสียก่อนด้วยวงจรในส่วนอินพุทของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อส่งต่อไปให้คอนเวอร์เตอร์ลดทอนและคงค่าแรงดันอีกทีหนึ่ง ตัวอย่างการจัดวงจรที่อินพุทของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย อาจเป็นได้ดังนี้ที่แสดงไว้ในภาพที่ 3.1 โดยวงจรส่วนอินพุทอาจแบ่งออกได้เป็นส่วนสำคัญ 2 ส่วน ดังนี้คือ

1. เรกติไฟเออร์ (Rectifier)
2. RFI ฟิลเตอร์ (Radio Frequency Interrupt Input Filter , RFI filter)



ภาพที่ 3.1 แสดงวงจรแปลงแรงดันภาครับเป็นกระแสตรงและเรียงกระแส

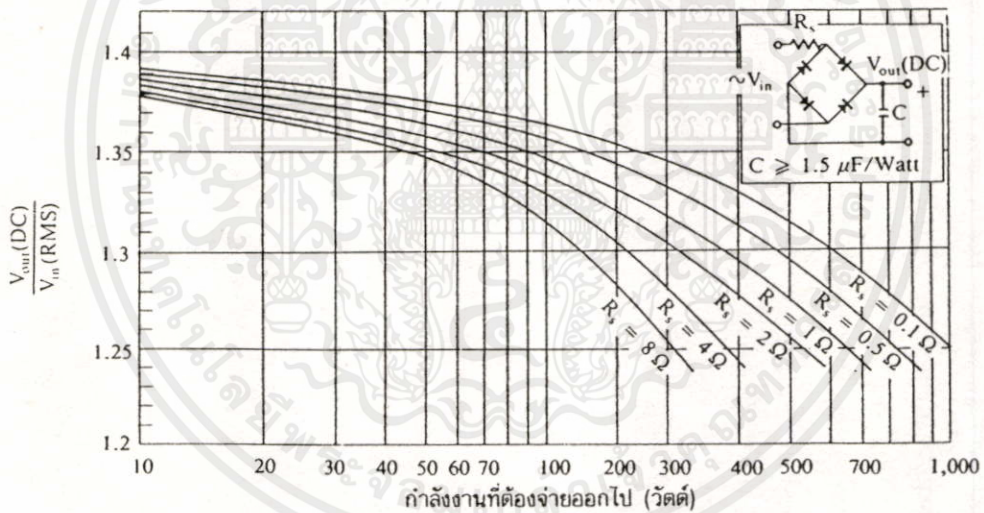
3.1.2 เรกติไฟเออร์ (Rectifier)

เรกติไฟเออร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจร ในส่วนอินพุทของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และจะเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์และ RFI ฟิลเตอร์ จึงจะขอกกล่าวถึงเป็นอันดับแรก เรกติไฟเออร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัวคือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C และไดโอดเรกติไฟเออร์ $D_1 - D_4$ มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุทให้กับคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะมีประโยชน์มากในวงจรเรกติไฟเออร์ R_s จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่เกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขั้วชาร์จ์ประจุจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ไว้ในวงจรจะทำให้การไหลของกระแสขณะเปิดเครื่องเป็นไปได้อย่างช้าๆ และลดกระแสกระชาก ตัวต้านทาน R_s ในวงจรเรกติไฟเออร์จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าอย่างเหมาะสม เนื่องจากในวงจรเรกติไฟเออร์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์นั้น ค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าของ R_s และกำลังงานที่วงจรเรกติไฟเออร์จะต้องจ่ายออกไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงค่าแรงดันที่ได้จากวงจรซึ่งขึ้นอยู่กับค่า R_s และกำลังงาน ที่จ่ายออกของวงจรเรียงกระแส

การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะทำให้ประสิทธิภาพของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายลดลง

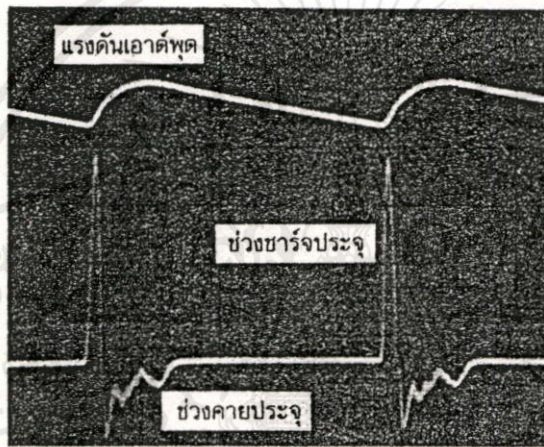
เนื่องจากการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_s การกำหนดค่าของ R_s จึงต้องพิจารณาจาก ความเหมาะสมระหว่างการลดกระแสกระชาก และประสิทธิภาพการทำงานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุท (Input filter capacitor)

ในการใช้งานการเลือกชนิดและขนาดของตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุทจะส่งผลโดยตรงกับการกระเพื่อม (Ripple Voltage) ของแรงดันเอาต์พุทได้ โดยทั่วไปตัวเก็บประจุที่ใช้มักจะเป็นแบบตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) แบบคุณภาพสูงสามารถทนกระแสกระเพื่อมสูงได้ และค่าความต้านทานอนุกรมเสมือนต่ำ (ESR)

ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด $D_1 - D_4$ ให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่คอนเวอร์เตอร์ต้องการ การทำงานของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C ในวงจรเรกติไฟเออร์จะเป็นไปในลักษณะของการชาร์จประจุและคายประจุ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นการชาร์จประจุ และคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจรเรกติไฟเออร์

การพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C สำหรับวงจรเรกติไฟเออร์

หากพิจารณาจากรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุทที่ได้จากวงจรฟูล - บริดจ์เรกติไฟเออร์ที่ค่ากำลังงานต่างๆ ของวงจร ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ในวงจรจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 ไมโครฟารัดต่อวัตต์ อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงแล้วการกำหนดตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ ด้วยเงื่อนไขเพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอ เมื่อวงจรเรกติไฟเออร์นั้นใช้กับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย การพิจารณาเลือกค่าตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จำเป็นจะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. อัตราทนกระแสระลอกของตัวเก็บประจุ (RMS Ripple Current Rating)
2. ค่าแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุทของวงจรเรกติไฟเออร์ (Ripple Voltage)
3. ช่วงเวลาโฮลด์อัปที่ต้องการ (Holdup Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ไดโอดเรกติไฟเออร์

ได้เลือกใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์ขนาดไดโอดบริดจ์ 25 แอมป์ 600 โวลต์ ซึ่งมีข้อควรพิจารณาค้างต่อไปนี้

1. ค่ากระแสกระชาก I_{FSM} (Maximum Surge Current)

กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์จะเกิดขึ้นขณะเปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดอาจคำนวณได้จาก

$$I_{FSM} = V_{peak} / (R_s + ESR) \quad (3.1)$$

เมื่อ V_{peak} คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุท

ESR คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้ว ไดโอดเรกติไฟเออร์จะมีค่าอัตราทนกระแส I_{FSM} ประมาณ 20-30 เท่าของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน ไดโอดเรกติไฟเออร์ที่ใช้จะต้องมีค่าอัตราทนกระแสกระชากมากกว่าที่คำนวณได้จากสมการด้านบน ค่าของกระแสกระชาก I_{FSM} อาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ R_s แต่ประสิทธิภาพของสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลายจะลดลงเนื่องจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานจำกัดกระแส

2. ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FRM} (Maximum Forward Current)

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรกติไฟเออร์ จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์มีการเก็บประจุอีกครั้ง หลังจากคายประจุออกไปให้ไหลลง ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไดโอดเรกติไฟเออร์ I_{FRM} จึงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์

3. ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FM} (Maximum Average Forward Current)

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรกติไฟเออร์จะได้รับขณะทำงาน ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด I_{FM} ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่า จากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และยืดอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

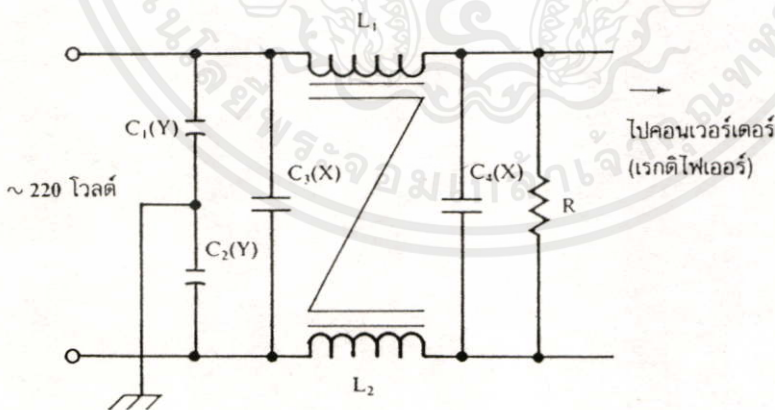
เพื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด I_{FM} ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่า จากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และยืดอายุการใช้งาน

4. อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด V_{RRM} (Maximum Reverse Voltage)

ในสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ปกติเรกติไฟเออร์ต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้น อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดของไดโอด V_{RRM} จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาเพื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีนี้อาจเกิดทรานเซียนต์ขึ้นได้ในสายไฟสลับ

3.1.6 RFI อินพุทฟิลเตอร์

การทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายเป็นการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันที่ค่ากระแสสูงๆ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI ได้อย่างดี ดังนั้นสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอก ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวน RFI จะออกไปภายนอกที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายก็คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์ กันที่อินพุทกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI ทั้งที่สัญญาณโหมดความแตกต่าง (differential mode) และที่สัญญาณโหมดร่วม (common mode) การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์อาจทำได้ดังภาพ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการต่อวงจร LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร RFI ฟิลเตอร์ในภาพที่ 3.4 นั้น ควรกำหนดค่าของตัวเก็บประจุและค่าของตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าดังนี้

$C3, C4 = 0.1$ ถึง 2 ไมโครฟารัด และเป็นตัวเก็บประจุชนิด “X”

$C1, C2 = 2,200$ พิโกฟารัด ถึง 0.033 ไมโครฟารัด และเป็นตัวเก็บประจุชนิด “Y”

$L1, L2 = 1.8$ มิลลิเฮนรี่ ที่ 25 มิลลิแอมป์ ถึง 47 มิลลิเฮนรี่ ที่ 0.3 แอมป์

การกำหนดค่าอุปกรณ์ต้องให้แน่ใจว่า ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความถี่การทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ตัวต้านทาน R ที่ต่ออยู่ในวงจรมีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุชนิด “X” คายประจุทิ้งไปได้ ตามมาตรฐานความปลอดภัยทั่วไปกำหนดว่า ถ้าค่าตัวเก็บประจุชนิด “X” มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัดขึ้นไป ตัวต้านทาน R จะต้องมีค่าเท่ากับ

$$R = t / (2.21 C) \quad (3.2)$$

โดยกำหนดให้ t มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ C คือ ผลรวมของค่าตัวเก็บประจุชนิด “X” ในวงจรฟิลเตอร์เป็นฟารัด

ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิลเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุทของฟิลเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับ และค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุทของฟิลเตอร์กับอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวน RFI จะเป็นไปได้มากด้วย

ปกติคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ส่วนแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับมักมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RFI ฟิลเตอร์ที่อินพุทต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำๆ และเอาต์พุทของวงจร RFI ฟิลเตอร์ต้องมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ๆ เพื่อให้อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนมีค่าสูงการต่อ $C1(Y)$ และ $C2(Y)$ ที่ด้านอินพุทของวงจรจะทำให้อินพุทของวงจรฟิลเตอร์มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ $L1$ และ $L2$ จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่เอาต์พุทของวงจรฟิลเตอร์มีค่าสูง $C(X)$ ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดทรานเซียนต์ โดย $C3(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟสลับไม่ให้ผ่านเข้าหาคอนเวอร์เตอร์ ส่วน $C4(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังสายไฟสลับได้

3.1.7 ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”

ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y” เป็นตัวเก็บประจุสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวน ใช้กับแรงดันไฟสลับ 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ การต่อตัวเก็บประจุเพื่อลดทอนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

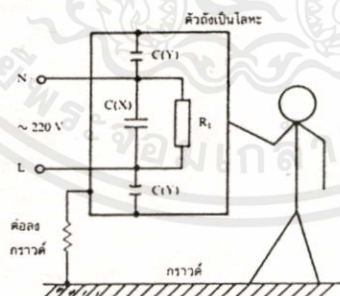
สัญญาณรบกวนตามมาตรฐานความปลอดภัยของ IEC ได้กำหนดให้ต่อใช้งานแยกประเภท ตามตำแหน่งการใช้งานดังต่อไปนี้

3.1.7.1 ตัวเก็บประจุชนิด “X” (X – capacitor)

ให้ใช้ต่อได้เฉพาะตำแหน่งที่ไม่ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูด หากตัวเก็บประจุเกิดลัดทะเล หรือทำงานผิดพลาด การใช้ตัวเก็บประจุชนิด “X” จะไม่มีการจำกัดค่าความจุสูงสุดของตัวเก็บประจุไว้ ตัวเก็บประจุชนิด “X” ยังแบ่งออกได้อีกเป็นชนิด “X1” และชนิด “X2” ตามอัตราทนแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุ โดยตัวเก็บประจุชนิด “X1” มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานมากกว่า 1,200 โวลต์ ส่วนตัวเก็บประจุชนิด “X2” มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานต่ำกว่า 1,200 โวลต์ลงมา

3.1.7.2 ตัวเก็บประจุชนิด “Y” (Y – capacitor)

ยอมให้ใช้ได้ตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูด ถ้าตัวเก็บประจุเกิดลัดทะเลหรือทำงานผิดพลาด ตัวเก็บประจุชนิด “Y” จัดเป็นอุปกรณ์ที่เสี่ยงกับความปลอดภัย จึงต้องมีมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยสูง และต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการลัดทะเลได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิด “Y” ต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหลหรือจำกัดกระแสดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุชนิด “Y” ลงดิน (ตามมาตรฐานความปลอดภัยเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไปจะต้องมีค่ากระแสรั่วลงดินน้อยกว่า 0.5 มิลลิแอมป์) ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุ ชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y” แสดงไว้ในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการต่อตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y” ใช้งาน จะเห็น

ได้ว่าหากมีการลัดทะเลในตัว C(X) ผู้ใช้อุปกรณ์ซึ่งสัมผัสอยู่กับตัวถังจะไม่เป็นทางผ่านของกระแสลงดินและไม่เป็นอันตราย ส่วนตำแหน่ง C(Y) ซึ่งหากมีข้อบกพร่องในการต่อสายดินของตัวถัง เมื่อ C(Y) ผ่านกระแสได้มากเกินไปหรือเกิดลัดทะเลในตัว ผู้ใช้ก็จะ

เป็นอันตรายเมื่อสัมผัสกับตัวถังเครื่องใช้ไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ใน รูปแบบต่างๆ ขึ้นมามากมาย แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะ ตัวฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ใน โครงการงานสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในการทดลอง

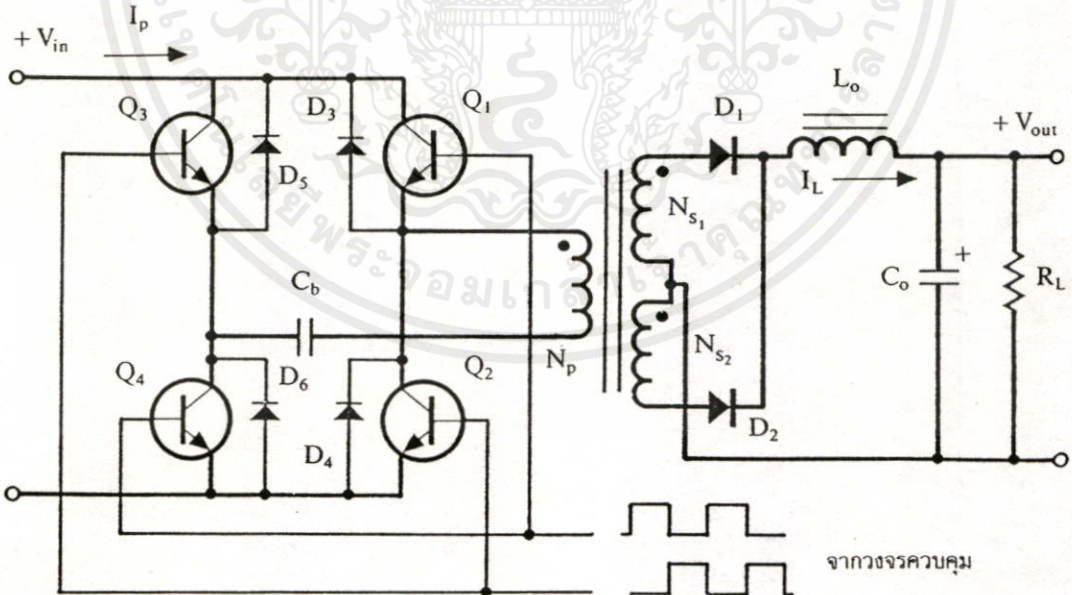
3.2.1 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full – Bridge Converter) ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไฟโพรมารี่เท่ากับแรงดันอินพุท แต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุทเท่านั้น และค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดน้อยลง กำลังงานสูงสุดที่จะได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูงได้ตั้งแต่ 500 วัตต์ จนถึง 1,000 วัตต์

3.2.1.1 พื้นฐานการทำงานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในภาพที่ 3.6 ซึ่งการทำงานเป็น

ดังนี้



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแส และหยุดนำกระแส สลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q_1 และ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q_2 และ Q_3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป แรงดันตกคร่อมขดไฟรมมีรีจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{ce(sat)}$ จะเห็นได้ว่า แรงดันที่ตกคร่อม Q_1 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแส จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ceQ2(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceQ3(sat)}$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q_2 และ Q_3 ขณะหยุดนำกระแสก็จะมีค่า $V_{in} - V_{ceQ1(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceQ4(sat)}$ ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด $D_3 - D_6$ ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด ให้กับวงจรเพื่อป้องกัน $Q_1 - Q_4$

3.2.1.2 ค่าเวลาเมื่อ t_D สำหรับฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เมื่อพิจารณาจากวงจรจะเห็นว่า Q_1 กับ Q_2 และ Q_3 กับ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิด การลัดวงจรของแรงดันอินพุตและทรานซิสเตอร์จะพังเสียหายได้ การกำหนดค่าเวลาเมื่อ t_D จึงมีความจำเป็น ถ้ากำหนดค่าเวลาเมื่อ t_D ไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าครึ่งคาบเวลา ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ $t_{ON(MAX)}$ ก็จะมีค่าได้ไม่เกิน

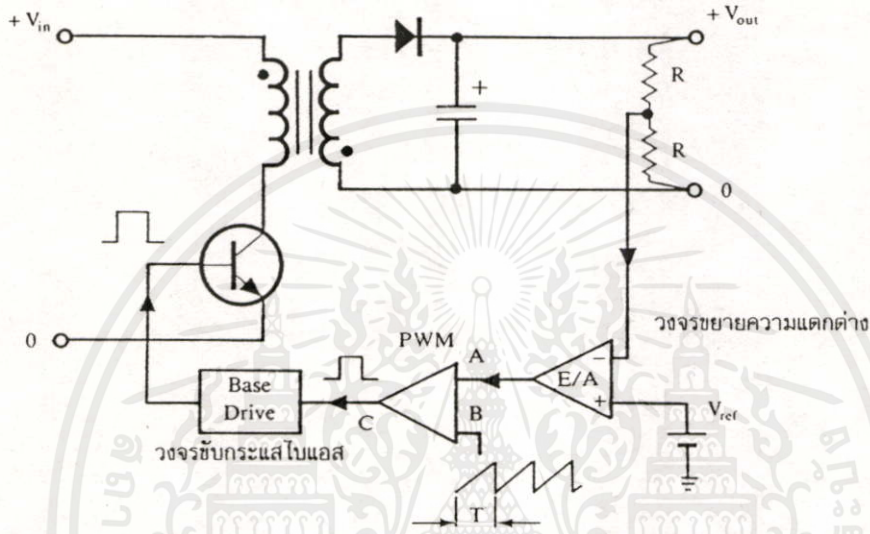
$$t_{ON(MAX)} = 0.4T \quad (3.3)$$

3.3 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส (t_{ON}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วidthมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก การใช้ PWM เมื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมกระแส

3.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังภาพที่ 3.7

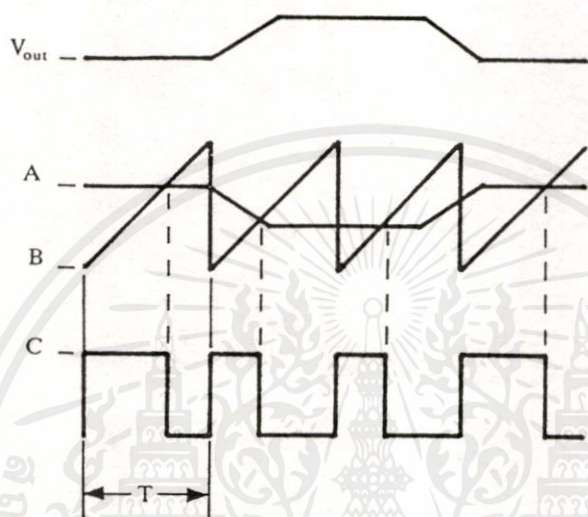


ภาพที่ 3.7 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ใน โหมดควบคุมแรงดัน

จากภาพที่ 3.7 วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุต (Output) และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชัน (Modulation) ของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ติง (Inverting) ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟส (Phase) อยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่ได้นั้นด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{ON} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาท์พุทของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{ON} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทเอาไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงานจะเป็นดังภาพที่ 3.8 ตัวอย่างไอซี (Integrated Circuit, IC) ที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่ เบอร์ MC 34060, MC 34166 และ TL 494 เป็นต้น



ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะของความกว้างเอาท์พุทพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลต สัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อย ตามภาพที่ 3.7

3.4 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Power Transistor)

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จะมีการทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์และมีโหนดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากโหนดที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะของตัวมันเมื่อจะเริ่มนำกระแส (turn on) และเมื่อจะหยุดนำกระแส (turn off) รวมทั้งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังมีแรงดันตกคร่อมตัวมันขณะนำกระแส ($V_{CE(sat)}$) อีกด้วย การเปลี่ยนสถานะและแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสจะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อน (Power Dissipation) ขึ้นในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นก่อนจะนำเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะการเกิดกำลังงานสูญเสียและเทคนิคการลดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อยืดอายุการใช้งานและให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มากที่สุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน เวลาสำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor)

ปัจจุบันไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ถูกเพาเวอร์มอสเฟต (Power Mosfet) เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตใช้เวลาในช่วงเปลี่ยนสถานะสั้น จึงเกิดกำลังงานสูญเสียต่ำและใช้งานที่ความถี่สูง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงมีข้อดีอยู่คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงและมีราคาถูกกว่า รวมทั้งการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้นเพื่อให้ใช้งานได้ที่ความถี่สูง ๆ และลดกำลังงานสูญเสีย ยังคงมีกระทำได้ในปัจจุบัน ดังนั้นไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงยังคงมีใช้งานในสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่มีผลิดจำหน่ายในตลาดอุตสาหกรรม และมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาให้เข้าใจ ลักษณะการทำงานและการเกิดกำลังงานสูญเสียของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาไว้ด้วย

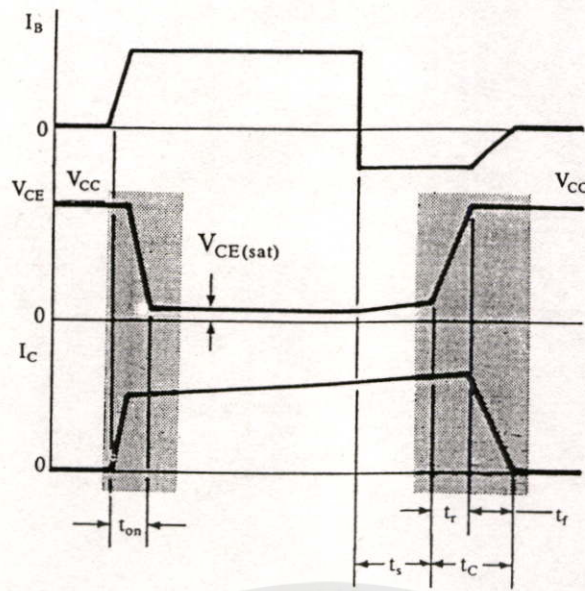
3.4.1.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

กำลังงานสูญเสียในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นไปได้ใน 2 ลักษณะคือ กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (switching loss) และกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (saturation loss) สำหรับการเปลี่ยนสถานะของการทำงานของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะที่จะนำกระแสและขณะเริ่มหยุดนำกระแส แต่กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นสูงสุดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นหลัก

เมื่อเริ่มให้กระแสไบแอส (Bias Current) ที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์และอีมีตเตอร์ (V_{CE}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{CC} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่ง คือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{CE(sat)}$ (ดูภาพที่ 3.12 ประกอบ) กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้เนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ

เมื่อหยุดให้กระแสไบแอสและป้อนกระแสไบแอสค่าลบให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา t_s ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_s นี้เรียกว่า ช่วงเวลาสะสม (storage time) และในขณะช่วงเวลา t_s นี้ แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้น และเกิดกำลังงานสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบแอสอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรงจะเป็นส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนได้สูง

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (voltage rise time) เมื่อประจุสะสมในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเล็กเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ t_f (current fall time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา t_r และ t_f มีค่าสูง และเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุด ขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_f$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (turn off time) กำลังงานสูญเสียในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส นั้นอาจประมาณได้จาก

$$P_{Dsw} = (0.5V_{CC}I_{PK}t_c) / T \text{ วัตต์} \quad (3.4)$$

เมื่อ P_{Dsw} คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส

V_{CC} คือ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และหยุดนำกระแส

I_{PK} คือ ค่ากระแสสูงสุดเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส

T_c คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ($t_c = t_r + t_f$)

T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส P_{Dsw} มีค่าน้อยที่สุด จะทำให้การใช้งานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงานด้วย

3.4.1.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

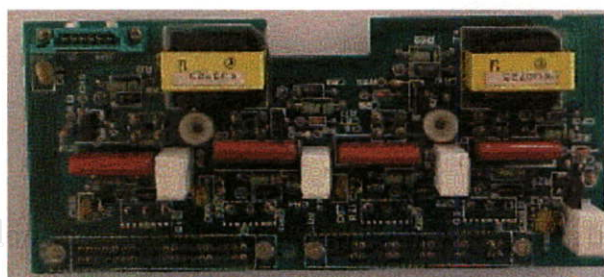
การเลือกใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สำหรับคอนเวอร์เตอร์นั้น มีข้อควรพิจารณาดังนี้

1. อัตราทนแรงดันและกระแสสูงสุด
2. ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
3. อัตราทนกำลังสูญเสีย

3.5 วงจรขับกระแสไบแอส

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแสไบแอสที่ขาเบส เพื่อให้ นำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน

วงจรขับกระแสไบแอสนั้น โดยทั่วไปจะทำได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive) และวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์ (Proportional Base Drive) สำหรับคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปที่ใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และมีกำลังต่ำกว่า 500 วัตต์ มักนิยมใช้วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ โดยวงจรขับกระแสจะให้กระแสเบสที่มีค่าคงที่ ด้วยค่ากระแสที่มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่จุดอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา แต่วิธีนี้จะให้ค่าประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสค่อนข้างสูง และใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส ในขณะที่วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนนั้น ค่ากระแสไบแอสที่ขาเบสจะขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดขึ้นน้อย การหยุดนำกระแสจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า จึงมักนิยมใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูง ๆ เท่านั้น ภาพที่ 3.10 แสดงวงจรขับกระแสเบสที่ใช้ในวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ถือว่าหนังสือนี้เป็นของสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำออกไปใช้

ภาพที่ 3.10 แสดงวงจรขับกระแสเบสของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งจะเป็นวงจรขับกระแสเบสของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

3.6 การระบายความร้อนสำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำให้เกิดความร้อนที่รอยต่อ และอุณหภูมิที่รอยต่อ (T_j) ของสารกึ่งตัวนำภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น หากไม่มีการระบายความร้อนออกไปจากตัวถังแล้ว อุณหภูมิที่รอยต่อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดที่รอยต่อจะทนได้ ทำให้เกิดการพังเสียหายขึ้นในที่สุด

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีค่าอุณหภูมิที่รอยต่อ T_j สูงสุดขณะทำงานประมาณ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำและลักษณะของตัวถัง วิธีที่ง่ายที่สุดในการระบายความร้อน คือการติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยตรง การระบายความร้อนออกจากตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเลือกขนาดและชนิดของแผ่นระบายความร้อนได้เหมาะสม แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและกินเนื้อที่มาก ในทางตรงข้าม แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กจะไม่สามารถระบายความร้อนได้เพียงพอ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะร้อน และอายุการใช้งานจะสั้นลง

การลดความร้อนที่รอยต่อสามารถทำได้โดยการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นออกจากรอยต่อผ่านตัวถังของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และเมื่อติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับตัวถัง ความร้อนจะถูกถ่ายเทผ่านแผ่นระบายความร้อนออกไปสู่อากาศรอบข้างจนเกิดสมดุลความร้อน ความร้อนที่รอยต่อก็จะลดลงได้ และได้ใช้พัดลมระบายความร้อนช่วยระบายความร้อนด้วย ซึ่งจะทำให้การระบายความร้อนดีขึ้น

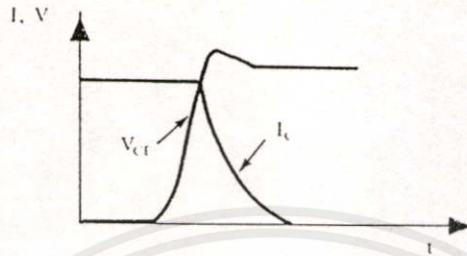
3.7 วงจร snubber (Snubber Network)

วงจร snubber เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะทำงานปกติ วงจร snubber ในที่นี้อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ วงจร snubber ช่วงหยุดนำกระแส และวงจร snubber ป้องกันแรงดันเกิน วงจร snubber โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและไดโอด ในบางครั้งจึงเรียกว่า วงจร RCD snubber

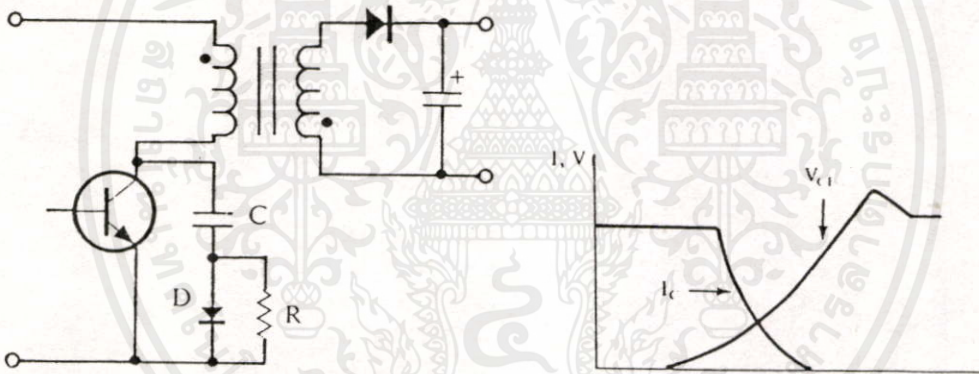
3.7.1 วงจร snubber ช่วงหยุดนำกระแส

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กำลังงานสูญเสียที่เกิดในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเป็นไปได้สูงขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแสสิ้นนั้น กระแสจะลดลงอย่างช้า ๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันอินพุทอย่างรวดเร็ว (ดูภาพที่ 3.11 ประกอบ) กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นสูง

เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้ อาจทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอร์เข้ากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์และอีมีเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำการกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ ลักษณะของการต่อวงจรสับเบอร์อาจทำได้ดังในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส



ภาพที่ 3.12 แสดงการต่อวงจรสับเบอร์ช่วยหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

การทำงานของวงจร RCD สับเบอร์ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้คือ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q, เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C, และไดโอด D, ของวงจรสับเบอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C, ด้วยแรงดันที่ตกคร่อม C, จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นถ้าให้ C, มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงออกไป เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงจนมีค่าน้อย ๆ ได้ทันกัน และจะลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแสอีกครั้ง C_1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_1 ที่ไป แรงดันตกคร่อม C_1 จึงลดต่ำลงได้อีกครั้ง และสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป ค่าของ C_1 และ R_1 ที่เหมาะสมอาจหาได้จาก

$$C_1 = (I_{p(PK)} \times t_{OFF}) / (2V_{in}) \quad (3.5)$$

$$R_1 = t_{ON(min)} / (2 \cdot 3 C_1) \quad (3.6)$$

เมื่อ $I_{p(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

V_{in} คือ ค่าแรงดันอินพุทของคอนเวอร์เตอร์

T_{ON} คือ ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

T_{OFF} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การคายประจุของ C_1 จะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_1 สูง ตัวต้านทาน R_1 จะต้องทนกำลังได้สูง โดยค่ากำลังงานสูญเสียใน R_1 อาจหาได้จาก

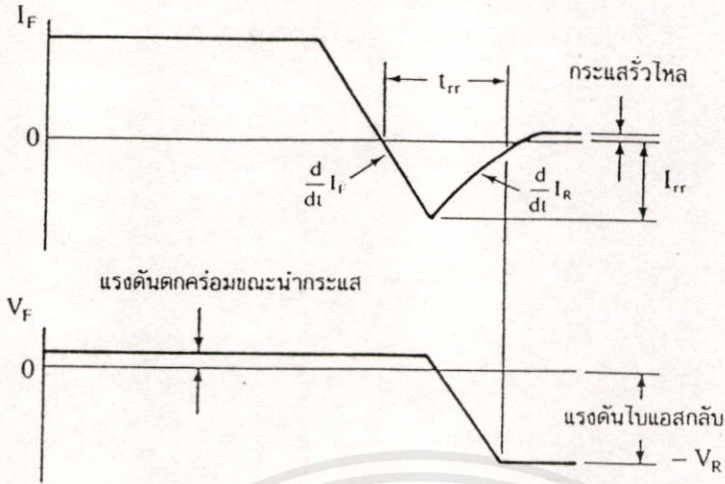
$$P_D = [C_1(2V_{in})^2] / (2T) \quad \text{วัตต์} \quad (3.7)$$

เมื่อ T คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

3.6.2 วงจรสับเบอร์ดป้องกันแรงดันเกิน

ปกติการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน มักมีสาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินพิสัยปลอดภัย RBSOA แรงดันสไปค์ (Spike) ขณะหยุดนำกระแส มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันจะทนได้ และเกิดการพังเสียหายขึ้น วงจรสับเบอร์ดป้องกันแรงดันเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันค่าแรงดันสไปค์ที่เกิดขึ้นไม่ให้เกินค่าปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ การต่อวงจร RCD สับเบอร์ดเพื่อป้องกันแรงดันเกินนี้ อาจทำได้ดังภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แสดงการต่อสับเบอ์ป้องกันแรงดันเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่จะตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส

การทำงานของวงจรสับเบอ์ป้องกันแรงดันเกินจะเป็นดังนี้คือ ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะถูกชาร์จประจุผ่านไดโอด D จากค่าแรงดันสไปค์ ค่าของ R จะทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าต่ำกว่าแรงดันสไปค์ และมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการเกิดแรงดันสไปค์ ค่าแรงดันสูงสุดที่คอลเล็กเตอร์จะเกิดสไปค์จึงถูกกันไว้ด้วยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C และเนื่องจากแรงดันสไปค์จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังนั้นขณะที่แรงดันสไปค์มีค่าลดลง C จะคายประจุออกมาผ่านตัวต้านทาน R แรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์จะกลับสู่ค่าแรงดันตามการทำงานปกติ

อาจกล่าวได้ว่า วงจรสับเบอ์ป้องกันแรงดันเกินนั้น ทำงานโดยการถ่ายเทพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ไปไว้ที่ตัวเก็บประจุ C แทน นั่น คือ

$$0.5CV_C^2 = 0.5L_I I_{p(PK)}^2 \tag{3.8}$$

เนื่องจาก V_C จะมีค่าได้ไม่เกิน $V_{CEO} - V_{clamp}$ ดังนั้น

$$C = [L_I I_{p(PK)}^2] / (V_{CEO} - V_{Clamp})^2 \tag{3.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อ L_I คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดจากปลั๊กซ์รั่วของขดไฟปฐมารี (Primary) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงนอกราย และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่นำมาไปใช้
 [Leakage inductance]

$I_{p(PK)}$	คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
V_{CEO}	คือ อัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
V_{Clamp}	คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมให้เกิดได้เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

ค่าของ R อาจหาได้จาก

$$R = t_{OFF(min)} / (2 \cdot 3C) \quad (3.10)$$

กำลังงานสูญเสียใน R มีค่าเท่ากับ

$$P_D = [0.5L_p I_{p(PK)}^2] / T \quad \text{วัตต์} \quad (3.11)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

t_{OFF} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

3.7 ไดโอดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

3.7.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ไม่อาจมองข้ามการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขณะมันทำงานได้ เนื่องจากต้องทำงานที่ความถี่สูง กำลังงานสูญเสียในไดโอดจะเกิดได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสีย ขณะนำกระแส และกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้งานที่ความถี่ต่ำ ๆ กำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่จะเกิดจากกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่ที่ความถี่สูงกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะของไดโอดจะมีค่าสูงขึ้นด้วย และมีผลต่อค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดที่เกิดในไดโอด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของไดโอดให้ถูกต้องเพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะนั้นด้วย

ขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อขึ้น ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแสซึ่งจะมีค่าขึ้นกับค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมัน ภาพที่ 3.14 จะแสดงตัวอย่างกราฟค่าของแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านมัน โดยไดโอดในช่วงนี้จะมีกำลังงานสูญเสียเท่ากับ

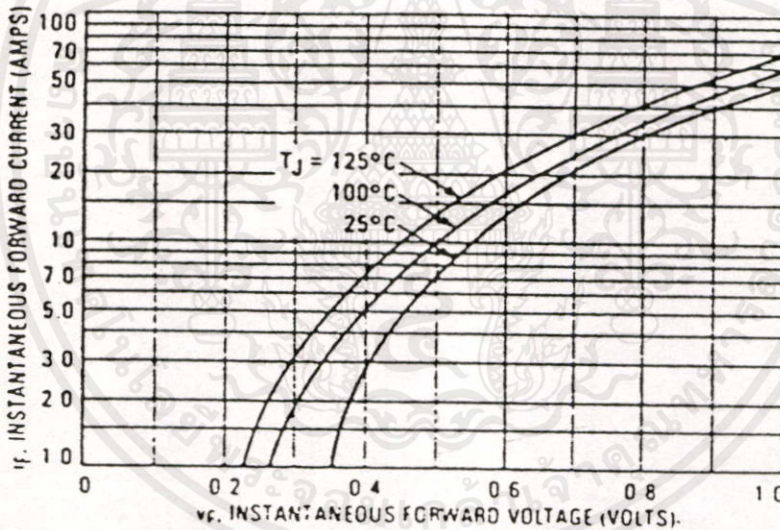
$$P_D = V_F I_F \quad (3.12)$$

เมื่อ P_D คือ ค่ากำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอดขณะนำกระแส

V_F คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดขณะนำกระแส

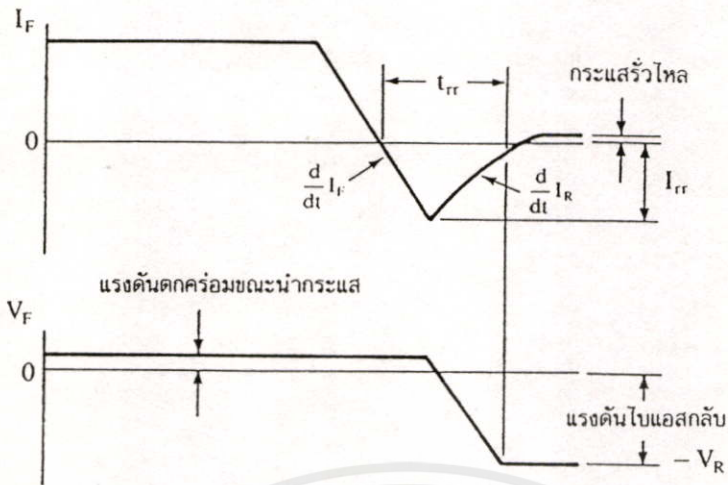
I_F คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด

ไดโอดจะเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากที่สุดขณะเปลี่ยนสถานะเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งมีผลมาจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในตัวขณะนำกระแส โดยก่อนที่ไดโอดจะตอบสนองต่อแรงดันไบแอสกลับและกันไม่ให้เกิดกระแสไหลย้อนทางได้ ไดโอดจะต้องลดประจุสะสมเหล่านี้ออกไปเสียก่อน ประจุสะสมจะมีผลทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับผ่านตัวไดโอดได้ในขณะที่มีแรงดันไบแอสกลับตกคร่อมตัวมันอยู่ และไดโอดต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งเพื่อลดประจุสะสมออกไปจึงจะสามารถหยุดกระแสไบแอสกลับได้ เวลาที่ใช้ในการลดประจุนี้เรียกว่า ช่วงเวลาคืนตัว (reverse recovery time) หรือ t_{rr} ลักษณะตอบสนองต่อแรงดันและกระแสของไดโอดจะเป็นดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส กำลังงานสูญเสียในไดโอดในช่วงนี้จะมีค่า $P_D = V_F I_F$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

ช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} จะขึ้นกับค่าประจุสะสม ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการที่มีกระแสไหลผ่านไดโอดขณะถูกไบแอสตรง รวมทั้งการใช้งานไดโอดในลักษณะต่าง ๆ กันจะให้ค่า t_{rr} ที่แตกต่างกันออกไปด้วย จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา t_{rr} นี้ ไดโอดจะมีกระแสไหลขณะที่มีแรงดันตกคร่อมสูง และจะเกิดกำลังงานสูญเสียขึ้นสูงเมื่อใช้งานไดโอดที่ความถี่สูงขึ้น

ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไดโอดก็คือ ความนุ่มนวลในการคืนตัว (softness recovery) ที่ความถี่สูง ๆ ลักษณะการคืนตัวของไดโอดจะมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวน RFI ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ค่าความนุ่มนวลในการคืนตัวของไดโอดจะกำหนดโดยค่าความชันที่ขอบขาขึ้นของกระแสในช่วงเวลาดำเนินตัว dI_R/dt ไดโอดที่มีค่าความชัน dI_R/dt น้อย ๆ จะมีลักษณะการคืนตัวอย่างนุ่มนวลและให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI เกิดขึ้นต่ำ ๆ แต่จะมีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} มากและเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากด้วย

3.7.2 ชนิดและการเลือกใช้ไดโอด

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่การทำงานของวงจรตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ไดโอดที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้ คือ (1) มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ (2) มีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} สั้น และ (3) สามารถทนกำลังได้สูง ซิลิคอนไดโอดที่ใช้ในวงจรเรกติไฟเออร์ทั่ว ๆ ไปจะไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ได้ เนื่องจากมีค่า

ช่วงเวลาดำเนินตัวมาก กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะเกิดขึ้นสูง และมีประสิทธิภาพต่ำ ปกติไดโอดที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรเลือกใช้จากไดโอด 3 ชนิดดังต่อไปนี้ คือ

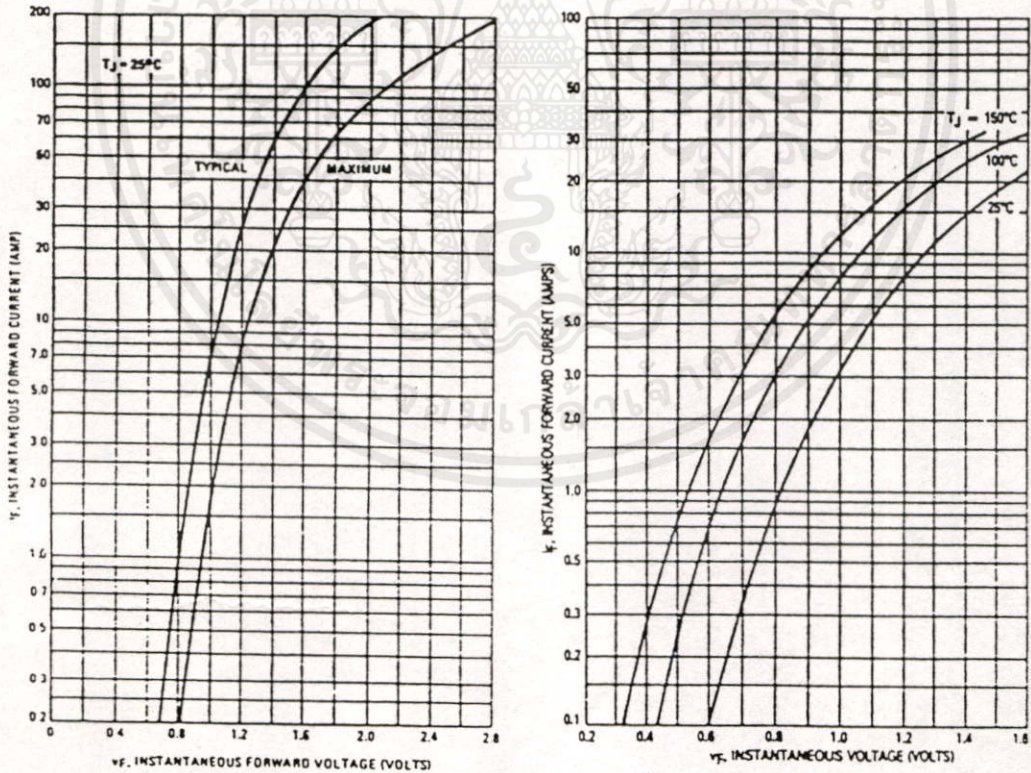
1. ฟาสต์-รีคัฟเวอรี ไดโอด (Fast Recovery Diode)

2. อุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรี (Ultra Fast Recovery Diode)
3. ชอตต์กีไดโอด (Schottky Diode)

3.7.2.1 ฟาสต์-รีคัฟเวอรีและอุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอด

ฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอดมีช่วงเวลาคืนตัว t_r ประมาณ 200 ถึง 750 นาโนวินาที ซึ่งสั้นกว่าซิลิคอนไดโอดมาก และฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1,000 โวลต์ ส่วนอุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอดจะมีช่วงเวลาคืนตัว t_r ประมาณ 25 ถึง 100 นาโนวินาที และมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1,000 โวลต์เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส V_f ของไดโอดทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันคือ ประมาณ 0.6 ถึง 1.5 โวลต์ ตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์-รีคัฟเวอรีและอุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรี แสดงไว้ในภาพที่ 3.16

เนื่องจากแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์-รีคัฟเวอรี และอุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอดมีค่าค่อนข้างสูง ไดโอดทั้งสองชนิดนี้จึงเหมาะกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าแรงดันตั้งแต่ 12 โวลต์ขึ้นไป

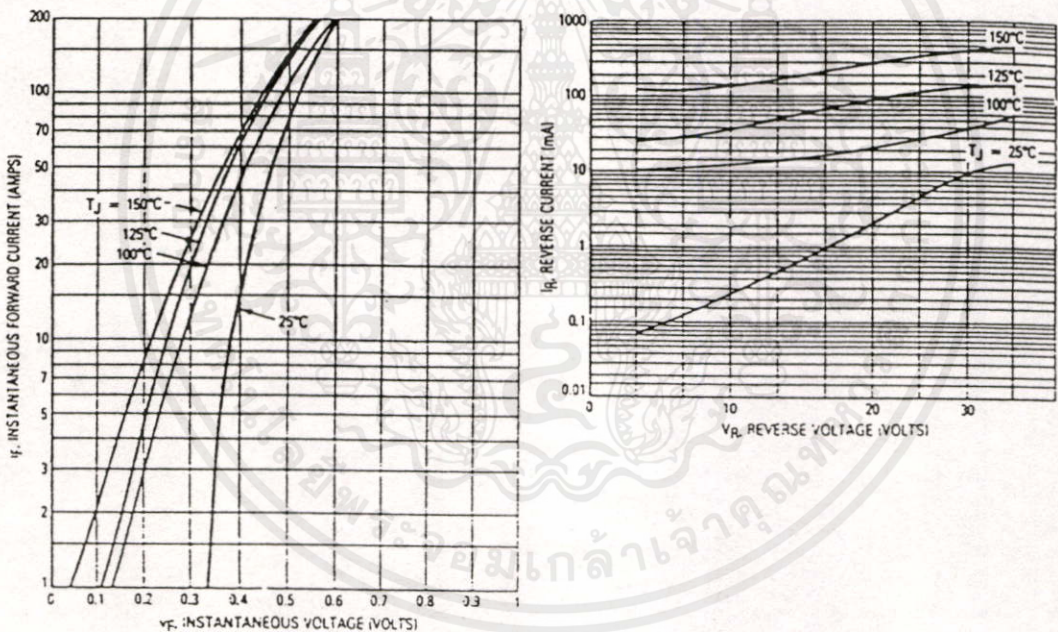


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 3.16 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์รีคัฟเวอรีไดโอด และแสดง
 ไม่ว่ากรณใดทางสั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของอุลตราฟาสต์รีคัฟเวอรีไดโอด

3.7.2.2 ขอตักไดโอด

ขอตักไดโอดมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างต่ำที่ประมาณ 0.5 โวลต์ (ดูภาพที่ 3.17 ประกอบ) จึงเหมาะสมกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำ ๆ และกระแสสูง เช่น ที่ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 5 โวลต์ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างจากฟอสต์-รีคัพเวอร์และอุตราฟอสต์-รีคัพเวอร์ไดโอด ขอตักไดโอดจะไม่เกิดประจุสะสมขึ้นภายในตัวมัน ขณะนำกระแส ช่วงเวลาคืนตัว t_r ของขอตักไดโอดจึงมีค่าสั้นมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 นาโนวินาที และอาจถือว่าขอตักไดโอดไม่มีกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้ได้

อย่างไรก็ตาม ขอตักไดโอดมีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ ขอตักไดโอดที่ผลิตในปัจจุบัน มีอัตราทนแรงดันขณะไบแอสกลับได้สูงสุดที่ 100 โวลต์เท่านั้น และขอตักไดโอดมีกระแสรั่วไหลสูง (ดูภาพที่ 3.17 ประกอบ) ทำให้มีกำลังงานสูญเสียขณะถูกไบแอสกลับค่อนข้างสูง และยังมีปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อนำขอตักไดโอดมาใช้ในคอนเวอร์เตอร์อีกประการหนึ่งก็คือ ขอตักไดโอดจะให้ทรานเซียนต์ (transient) ขณะเริ่มหยุดนำกระแสสูง



ภาพที่ 3.17 แสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของขอตักไดโอด และค่ากระแสรั่วไหลของขอตักไดโอด

3.7.3 การระบายความร้อนสำหรับไดโอดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

ขณะที่ไดโอดนำกระแสสูง ๆ จะเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขึ้นเนื่องจากไดโอดมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อ การใช้งานไดโอดจะต้องตัดแผ่นระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้กับไดโอดด้วย ปกติไดโอดจะมีค่าอุณหภูมิที่รอยต่อสูงสุด T_j อยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส ผู้ผลิต

มักจะให้กราฟแสดงความสามารถในการนำกระแสที่อุณหภูมิตัวถังต่าง ๆ ของไดโอดมาในแผ่นดาตาชีต (Data sheet) ก่อนการใช้งานไดโอดจะต้องพิจารณาขนาดของแผ่นระบายความร้อนที่เหมาะสมให้มันด้วย เพื่อป้องกันการพังเสียหายเนื่องจากความร้อน และขีดอายุการทำงานของไดโอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด

4.1 การเตรียมการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการหาคุณสมบัติของเครื่องทั้งหมดของเพลทที่ใช้ ระยะห่างระหว่างเพลท ขนาดของเพลท เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดความเข้มข้นของสารละลาย CuSO_4 ที่กำหนดที่ค่าความเข้มข้นหนึ่ง

4.1.1 การเตรียมสารละลาย CuSO_4 ที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติของธาตุต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ขนาดน้ำหนักของธาตุต่างๆเป็นไปตามตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของธาตุต่างๆใน $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 250 กรัม

ธาตุ	น้ำหนัก (กรัม)
Cu	63.546
S	32
4O	64
5H2	90
รวม	249.546

เมื่อใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 249.545 กรัม หรือประมาณ 250 กรัม ผสมน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้นของ CuSO_4 1 mol/L หรือได้ $\text{CU} = 63.546 \text{ g/L}$

แต่เนื่องจากการทดลองนี้มีการทดลองจำนวนหลายครั้ง การใช้ CuSO_4 250 g จะเป็นการสิ้นเปลืองอย่างมากจึงใช้ CuSO_4 เพียง 50 g ซึ่งขนาดน้ำหนักของธาตุต่างเป็นตามตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของธาตุต่างๆใน $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 50 กรัม

ธาตุ	น้ำหนัก (กรัม)
Cu	12.7
S	6.4
4O	12.8
5H ₂	18
รวม	49.9

ในการทดลองจะใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 50 \text{ g}$ ต่อน้ำ 3 ลิตร

$$= 50 \text{ g}/3\text{L} = 0.33 \text{ mol/L}$$

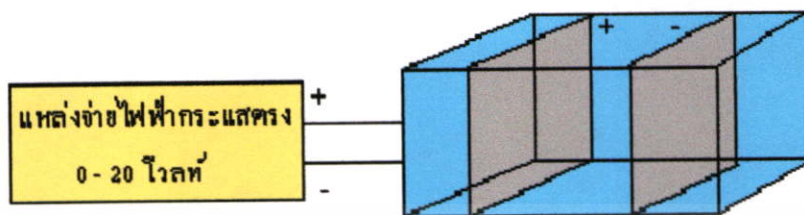
$$\text{Cu} = (12.7 \text{ g})/3\text{L} = 4.23 \text{ g}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ตู้พลาสติกใส ขนาด กว้าง 5 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว สูง 6 นิ้ว
2. เครื่องชั่งแบบดิจิทัล
3. แผ่นเพลทอิเล็กโทรด ประกอบด้วย
 - แผ่นทองแดง
 - แผ่นอะลูมิเนียม
 - แผ่นสังกะสี
 - แผ่นสแตนเลส
4. สารละลาย CuSO_4
5. สารละลาย NaCl
6. น้ำกลั่น
7. วาริแอก
8. บริดจ์เร็กติไฟเออร์
9. โวลท์มิเตอร์
10. แอมป์มิเตอร์
11. วัตต์มิเตอร์
12. C ฟิลเตอร์
13. บีกเกอร์ขนาด 1000 mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์ของเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทดลองตอนที่ 1



ภาพที่ 4.1 วงจรการทดลอง

4.2 การทดลองที่ 1 ดูปฏิกิริยาที่เพลา

4.2.1 ไม่เติมเกลือ

1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิทัล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้
3. นำเพลาขนาด 6*6 ตารางนิ้วทั้ง 4 ชนิดชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าน้ำหนักที่วัดได้
4. นำเพลาทั้ง 4 ชนิดจุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้ทิ้งไว้ 10 นาที
5. หลังจากทิ้งไว้ครบกำหนดเวลา นำเพลาแต่ละชนิดมาชั่งดูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการทดลองแบบไม่เติม NaCl

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจุ่มเพลาในสารละลายที่ไม่เติมเกลือ

ชนิดของเพลา	นน.ก่อนการทดลอง (กรัม)	นน.หลังการทดลอง (กรัม)	นน.ที่เปลี่ยน (กรัม)
อะลูมิเนียม	33.16	33.43	0.27
ทองแดง	70.15	70.2	0.05
สแตนเลส	55.12	55.15	0.03
สังกะสี	39.51	39.64	0.13

4.2.2 เติมเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิทัล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้

3. เติม NaCl 10 g ลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
4. นำเพลทขนาด 6*6 ตารางนิ้วทั้ง 4 ชนิดซึ่งน้ำหนักแล้วจค่าน้ำหนักที่วัดได้
5. นำเพลททั้ง 4 ชนิดจุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้ทิ้งไว้ 10 นาที
6. หลังจากทิ้งไว้ครบกำหนดเวลา นำเพลทแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการทดลองแบบเติม NaCl

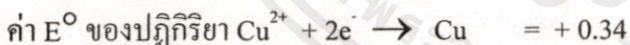
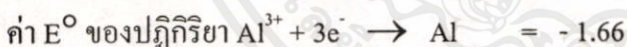
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองจุ่มเพลทในสารละลายที่เติมเกลือ

ชนิดของเพลท	นน.ก่อนการทดลอง (กรัม)	นน.หลังการทดลอง (กรัม)	นน.ที่เปลี่ยน (กรัม)
อะลูมิเนียม	35.67	36.51	0.84
ทองแดง	70.65	70.68	0.03
สแตนเลส	54.94	54.97	0.01
สังกะสี	39.05	39.38	0.33

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลททุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงโดยสามารถ วิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ตามชนิดของเพลทดังนี้

1. อะลูมิเนียม จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลทอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยา ได้ดังนี้ คือ

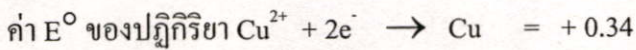
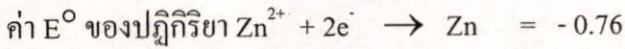


ซึ่งจะพบว่าค่า E° ของอะลูมิเนียมน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นเพลทอะลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จ่ายอิเล็กตรอน) ส่วนสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเพลทอะลูมิเนียมจ่ายอิเล็กตรอนให้สารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง ทำให้เกิดทองแดงมาเกาะที่แผ่นเพลทอะลูมิเนียมทำให้น้ำหนักของเพลทอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

2. ทองแดง จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลททองแดงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย เนื่องจากเพลทที่ใช้คือทองแดงและสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลองที่ใช้ ดังนั้นจึงไม่มีปฏิกิริยาเคมีใดๆ เกิดขึ้นเลย

3. สแตนเลส จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลทเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย แสดงว่าสแตนเลสซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมมีค่า E° ใกล้เคียงกับทองแดง

4. สังกะสี จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลทสังกะสีเพิ่มมากขึ้นแต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าอะลูมิเนียมสามารถอธิบายปฏิกิริยา ได้ดังนี้



ซึ่งจะพบว่าค่า E° ของสังกะสีน้อยกว่าทองแดง ดังนั้น เพลทสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จ่ายอิเล็กตรอน) และสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่า เพลทสังกะสีจ่ายอิเล็กตรอนให้สารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง ทำให้เกิดทองแดงมาเกาะที่แผ่นสังกะสีทำให้น้ำหนักของเพลทสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเพลทอะลูมิเนียมเพราะค่า E° ของอะลูมิเนียมต่ำกว่าสังกะสี

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองจะพบว่าโลหะที่มีค่า E° ต่ำจะเป็นโลหะที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย ส่วนโลหะที่มี E° มากจะเป็นโลหะที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ยาก สำหรับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีผลเร่งปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วขึ้น

4.3 การทดลองที่ 2 หาชนิดของเพลท

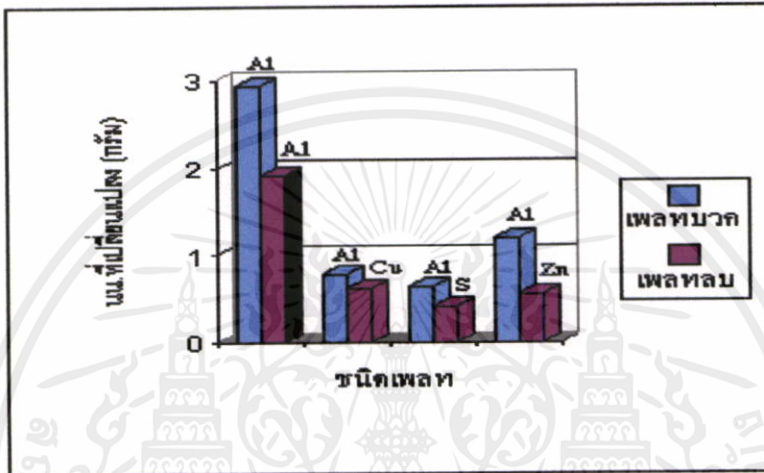
1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิตอล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้
3. เติม NaCl 10 g ลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
4. ต่อบังคับตามรูปการทดลองโดยกำหนดขนาดแรงดัน 20 โวลต์
5. นำเพลทขนาด 6*6 ตารางนิ้วทั้ง 4 ชนิดชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าน้ำหนักที่วัดได้
6. นำเพลทที่จะทดลองวางไว้ในตู้พลาสติกจากนั้นนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ได้เตรียมไว้เทลงในตู้ แล้วเริ่มทำการทดลอง
7. บันทึกผลของแรงดันและกระแสทางด้านกระแสตรง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึง 10 นาที

เอกสารนี้เป็น 8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำเพลทไปชั่งค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผลไว้

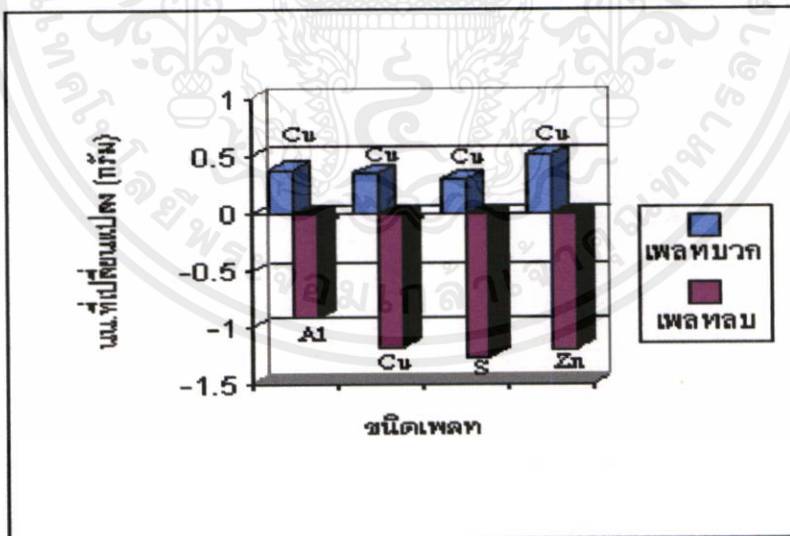
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เปลี่ยนชนิดของเพลทบวกและเพลทลบจากชนิดของสารที่ให้จบครบทุกการทดลอง ซึ่งจะมีทั้งหมด 16 การทดลอง บันทึกผลการทดลองทุกๆการทดลอง

ผลการทดลองที่ 2 หาชนิดของเพลท ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นอะลูมิเนียม, ภาพที่ 4.3 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นทองแดง, ภาพที่ 4.4 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นสแตนเลส, ภาพที่ 4.5 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นสังกะสี

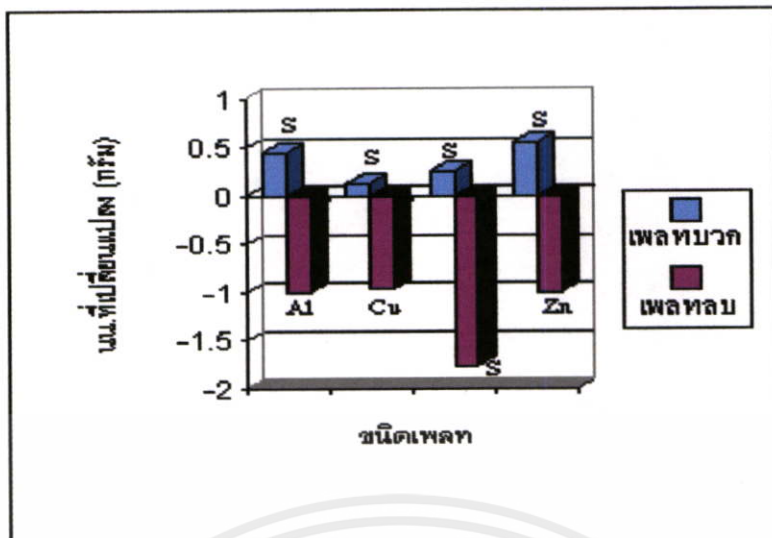


ภาพที่ 4.2 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นอะลูมิเนียม

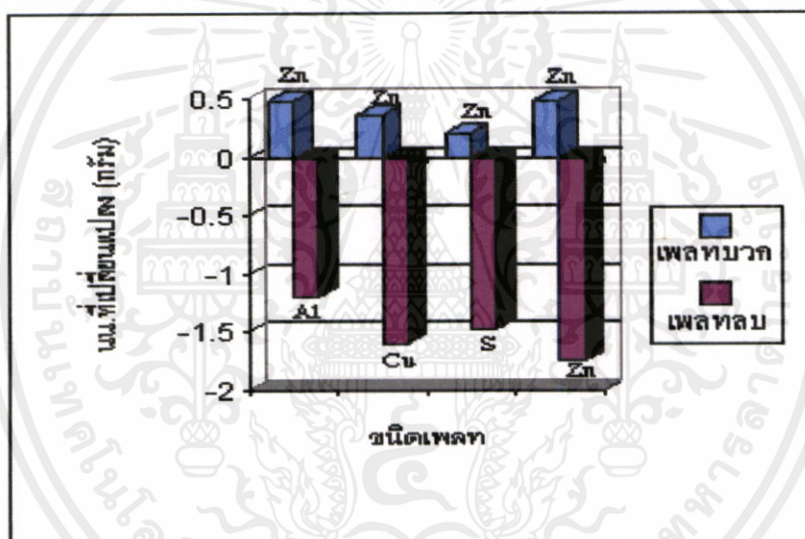


ภาพที่ 4.3 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงน้ำหนักเพลตที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลตบวกเป็นสแตนเลส



ภาพที่ 4.5 แสดงน้ำหนักเพลตที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลตบวกเป็นสังกะสี

(หมายเหตุ จากภาพที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 สัญลักษณ์ Al คือ อะลูมิเนียม, Cu คือ ทองแดง, S คือ สแตนเลส, Zn คือ สังกะสี)

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 เมื่อเราเปลี่ยนเพลตชนิดต่าง ๆ กันซึ่งได้แก่ อะลูมิเนียม, ทองแดง, สแตนเลส และสังกะสี สลับกันทั้งขั้วบวกและขั้วลบ สามารถวิเคราะห์การทดลองได้ดังนี้

1. จากการทดลองพบว่าเพลตบวกของโลหะทุกชนิดยกเว้นอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักลดลง โดยโลหะที่มีน้ำหนักลดลงมากที่สุดคือสังกะสี รองลงมาคือสแตนเลส และทองแดงตามลำดับ สำหรับอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีทองแดงจากน้ำเสียจำลองมาเกาะ

2. จากผลการทดลองพบว่าเพลทลของโลหะทุกชนิดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุดคืออลูมิเนียม แสดงว่าที่เพลทลที่เป็นอลูมิเนียมมีสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลองมาเกาะและกลายเป็นทองแดงมากที่สุด

สรุปผลการทดลองที่ 2

1. ที่เพลทลวโลหะจะเกิดการกร่อนเนื่องจากที่เพลทลวหรืออานอดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สูญเสียอิเล็กตรอน) ทำให้โลหะเพลทลวเกิดการกร่อนขึ้น แต่อะลูมิเนียมที่มีค่า E° ต่ำกว่าโลหะชนิดอื่นมากทำให้มีทองแดงซึ่งมีค่า E° สูงกว่ามากไปเกาะที่เพลทลอะลูมิเนียม ทำให้น้ำหนักเพลทลเพิ่มขึ้น

2. ที่เพลทลล จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยโลหะที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุดคืออะลูมิเนียม เนื่องจากอะลูมิเนียมมีค่า E° ต่ำที่สุดทำให้จ่ายอิเล็กตรอนให้สารละลายทองแดงที่มีอยู่ในน้ำเสียจำลองได้มากที่สุดทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด ดังนั้นเพลทลที่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนโลหะเจือปนได้ดีที่สุดคือ โลหะที่มีค่า E° ต่ำที่สุดซึ่งจากการทดลองก็คืออะลูมิเนียม

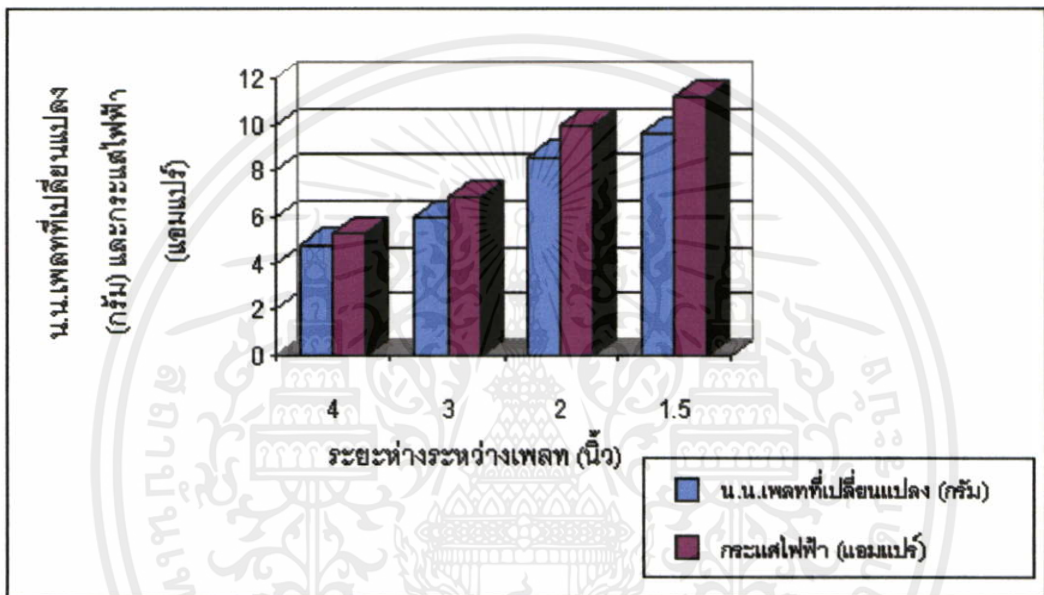
4.4 การทดลองที่ 3 หาระยะห่างระหว่างเพลทล

1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิทัล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้
3. เติมน้ำ NaCl 10 g ลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
4. ต่อวงจรตามรูปการทดลอง โดยกำหนดขนาดแรงดัน 20 โวลท์
5. นำเพลทลที่เลือกใช้จากการทดลองที่ 1 ขนาด 6*6 ตารางนิ้ว ชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าน้ำหนักที่วัดได้
6. นำเพลทลที่จะทดลองวางไว้ในตู้พลาสติกโดยให้ระยะห่างระหว่างเพลทลเริ่มต้นที่ 4 นิ้ว จากนั้นนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ได้เตรียมไว้เทลงในตู้ แล้วเริ่มทำการทดลอง
7. บันทึกผลของแรงดันและกระแสทางด้านกระแสตรง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึง 10 นาที
8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำเพลทลไปชั่งค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผลไว้
9. เปลี่ยนระยะห่างของเพลทลเป็น 3,2,1.5 นิ้ว ตามลำดับ บันทึกผลการทดลองทุกๆ การทดลอง

ผลการทดลองที่ 3 หาระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทล ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 ซึ่งแสดงน้ำหนักเพลทลและกระแสไฟฟ้า เมื่อระยะห่างระหว่างเพลทลลดลง ขณะแรงดันไฟฟ้าคงที่

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาระยะห่างระหว่างเพลท

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	อุณหภูมิ (C)		Vac (V)	Iac (A) ที่นาที่			Idc (A) ที่นาที่			นน.เพลท ก่อนการ ทดลอง (กรัม)		นน.เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)		นน.เพลท ที่ เปลี่ยน (กรัม)	
	ก่อน	หลัง		0	5	10	0	5	10	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ
4	30.0	36.5	25.0	6.3	6.6	6.8	4.8	5.2	5.3	32.97	33.61	38.79	39.30	5.82	5.69
3	30.0	38.0	25.0	7.5	8.1	8.4	6.0	6.5	6.9	33.43	33.09	40.42	38.89	6.99	5.80
2	30.0	40.5	25.0	10.4	11.0	11.7	8.6	9.4	10.0	33.42	33.55	40.23	39.54	6.81	5.99
1.5	30.0	42.5	25.0	11.4	12.2	13.0	9.6	10.5	11.2	33.49	33.58	40.37	39.53	6.88	5.95



ภาพที่ 4.6 แสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อระยะห่างระหว่างเพลทลดลง

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3

เมื่อระยะห่างระหว่างเพลทลดลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของน้ำ ($R = \rho L/A$) ลดลง ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ และน้ำหนักเพลทก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามกระแสไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างเพลทลดลงกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักเพลทก็จะเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลองที่ 3

ระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดคือต้องให้ระยะห่างระหว่างเพลทน้อยที่สุดเท่าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถจ่ายได้ เพราะฉะนั้นจากผลการทดลองระยะห่างระหว่างเพลทที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.5 นิ้ว แม้ว่ากรณีเมื่อถึงบัพขนาด $5 \times 10 \times 6$ ลูกบาศก์นิ้ว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองที่ 4 หาขนาดเพลา

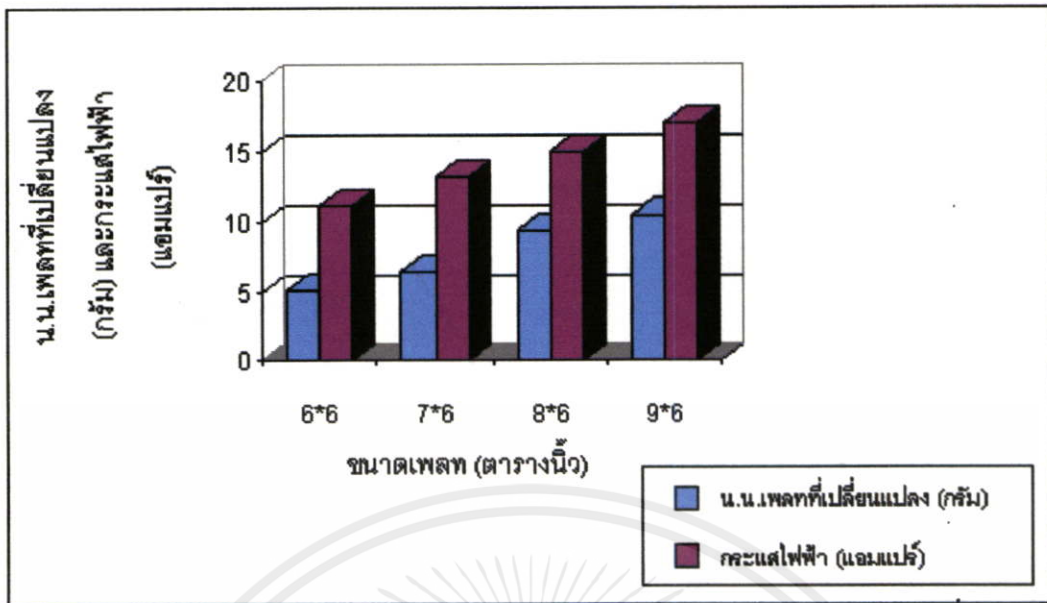
1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิตอล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้
3. เติม NaCl 10 g ลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
4. ต่อวงจรตามรูปการทดลองโดยกำหนดขนาดแรงดัน 20 โวลต์
5. นำเพลทที่เลือกใช้จากการทดลองที่ 1 และ 2 ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่วัดได้
6. นำเพลทที่จะทดลองวางไว้ในตู้พลาสติกโดยให้ขนาดเพลทเริ่มต้นเท่ากับ 6*6 ตารางนิ้ว จากนั้นนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ได้เตรียมไว้เทลงในตู้ แล้วเริ่มทำการทดลอง
7. บันทึกผลของแรงดันและกระแสทางด้านกระแสตรง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึง 10 นาที
8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำเพลทไปชั่งค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผลไว้
9. เปลี่ยนขนาดของเพลทเป็น 7*6, 8*6, 9*6 ตารางนิ้ว ตามลำดับ บันทึกผลการทดลองทุกๆ การทดลอง

ผลการทดลองที่ 4 หาขนาดเพลา ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ซึ่งแสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า ขณะขนาดเพลทเพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าคงที่

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาขนาดเพลา

ขนาดเพลท (ตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (C)		Vac (V)	Iac (A)			Idc (A)			นน.เพลท ก่อนการ ทดลอง (กรัม)		นน.เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)		นน.เพลท ที่ เปลี่ยน (กรัม)	
	ก่อน	หลัง		0	5	10	0	5	10	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ
6*6	30.0	42.5	25.0	11.4	12.2	13.0	9.6	10.5	11.2	33.49	33.58	35.95	35.09	2.46	1.51
7*6	30.0	44.5	25.0	12.7	14.2	15.0	10.8	12.3	13.2	38.99	38.99	41.85	40.54	2.86	1.55
8*6	30.0	46.0	25.0	14.6	16.0	17.0	12.6	14.0	15.0	44.30	44.43	47.59	46.22	3.29	1.79
9*6	30.0	51.0	25.0	16.8	18.2	19.0	14.8	16.0	17.0	50.45	50.34	55.93	52.75	5.48	2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า ขณะขนาดเพลทเพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าคงที่

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4

เมื่อขนาดเพลทใหญ่ขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของน้ำ ($R = \rho L/A$) ลดลง ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ และเมื่อขนาดเพลทใหญ่ขึ้นน้ำหนักของเพลทจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามกระแสตามกฎของฟาราเดย์ ดังนั้นเมื่อขนาดเพลทใหญ่ขึ้นกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักของเพลทก็จะเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลองที่ 4

ขนาดเพลทที่เหมาะสมที่สุดคือต้องให้ขนาดเพลทใหญ่ที่สุดเท่าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถจ่ายได้ เพราะฉะนั้นจากผลการทดลองขนาดเพลทที่เหมาะสมที่สุดคือ 9*6 ตารางนิ้ว เมื่อถึงบัพัดขนาด 5 x 10 x 6 ลูกบาศก์นิ้ว

4.6 การทดลองที่ 5 หาผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิกิริยา

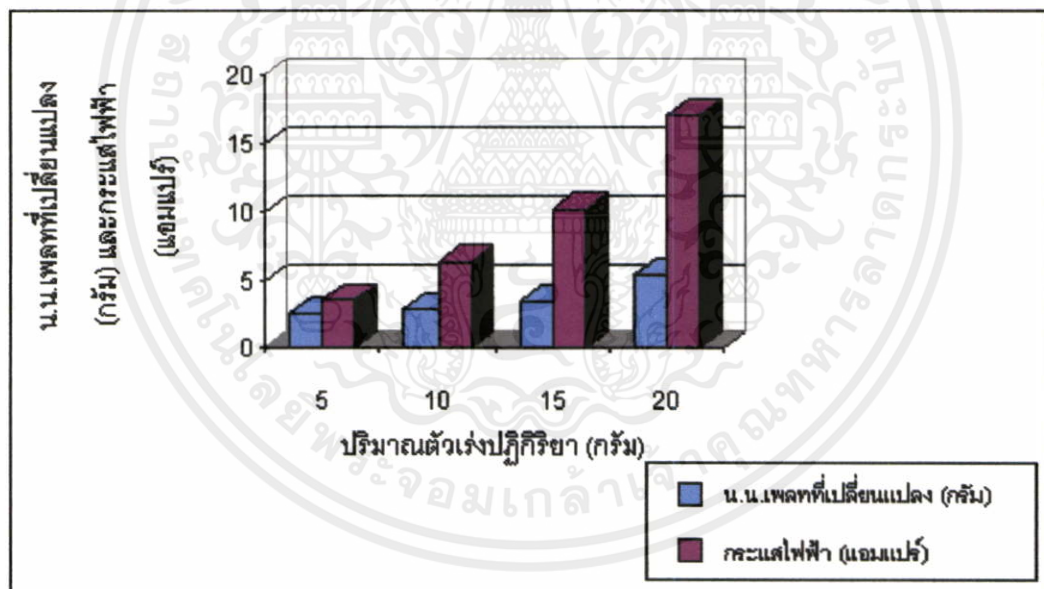
1. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 50 กรัม โดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิตอล
2. นำน้ำกลั่น 3 ลิตรผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ได้เตรียมไว้
2. เปลี่ยนความเข้มข้นของเกลือ ดังนี้คือ 5,10,15,20 กรัม
3. ปรับโวลต์เตจโดยปรับค่าต่างๆ ดังนี้ 5,10,15,20 โวลต์
4. สังเกตลักษณะของน้ำหนักและกระแส บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 5 หาผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิกิริยา ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.8 แสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ขณะแรงดันไฟฟ้าคงที่ และภาพที่ 4.9 แสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคงที่

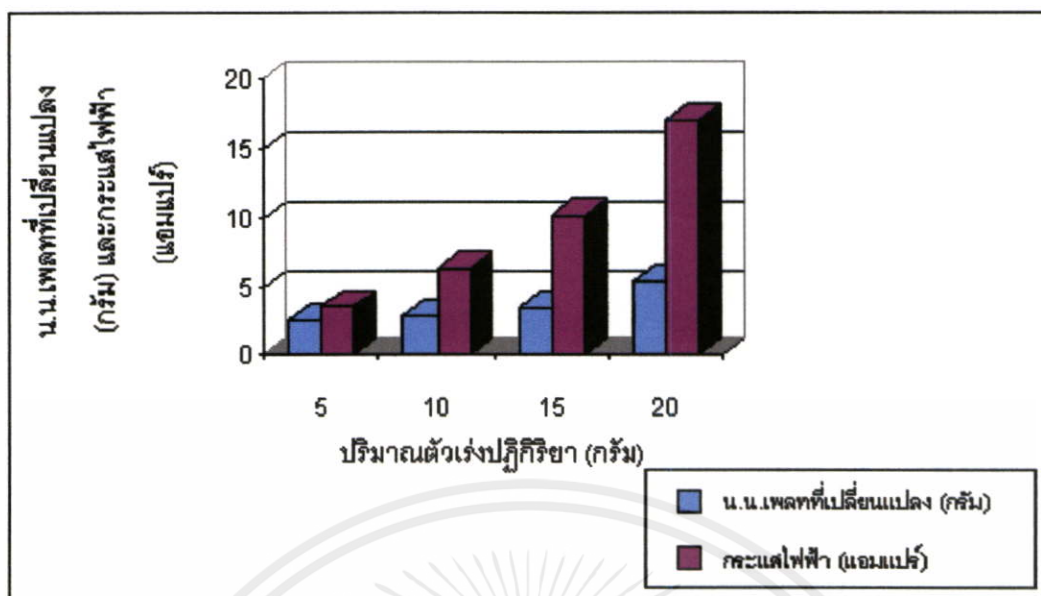
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองหาผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และตัวเร่งปฏิกิริยา

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	อุณหภูมิ (C)		Vac (V) ที่นาที			Iac (A) ที่นาที			Idc (A) ที่นาที			นน.เพลท ก่อนการทดลอง (กรัม)		นน.เพลท หลังการทดลอง (กรัม)	
	ก่อน	หลัง	0	5	10	0	5	10	0	5	10	บวก	ลบ	บวก	ลบ
	5	28.0	29.5	8.2	8.0	8.0	4.2	4.6	4.7	3.0	3.4	3.6	49.52	49.94	52.01
10	28.0	32.5	14.3	14.0	14.0	6.7	7.1	7.6	5.4	5.9	6.4	50.36	49.46	52.37	51.83
15	28.0	37.0	20.0	19.8	19.8	10.3	11.2	11.8	8.6	9.6	10.2	49.79	49.75	53.28	51.71
20	28.0	49.0	27.0	24.8	16.8	16.8	18.2	19.0	14.8	16.0	17.0	50.45	50.34	55.93	52.75



ภาพที่ 4.8 แสดงน้ำหนักเพลทและกระแสไฟฟ้า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ขณะแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดงน้ำหนักเพลิงและกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 20 กรัม

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 5

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่คงที่ ค่าของกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักที่เพลิงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มเข้าไปจะแตกตัวกลายเป็นไอออนอิสระทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น และเมื่อมีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่าเดิม ค่ากระแสไฟฟ้าและน้ำหนักที่เพลิงจะเพิ่มขึ้นตามค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

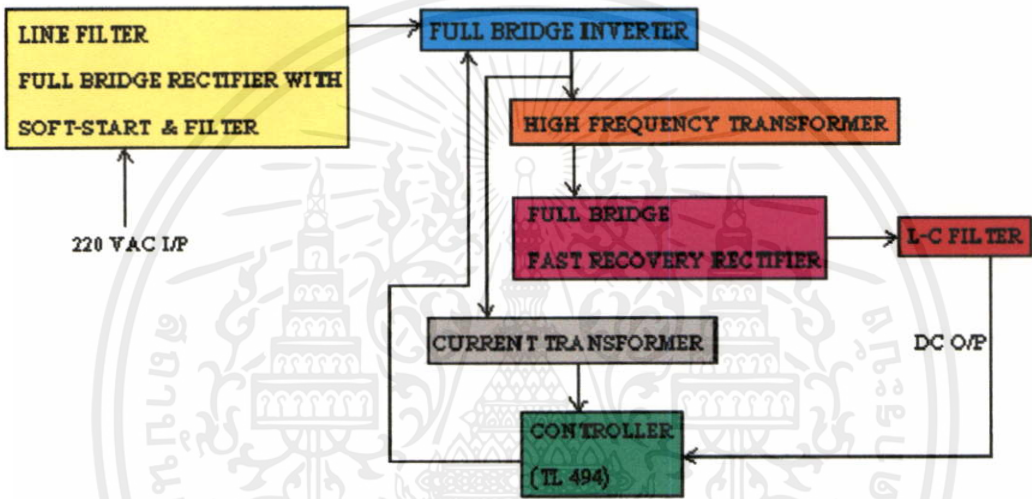
สรุปผลการทดลองที่ 5

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมก็ควรจะเป็นค่าที่มากที่สุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าที่มากที่สุด แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยว่ามีพิกัดกำลังที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เท่าใด เพราะฉะนั้นจากผลการทดลองปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดคือ 20 กรัม และเมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคงที่ ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดก็ควรจะมีค่ามากที่สุดที่ทำให้ได้กระแสไฟฟ้ามากที่สุด แต่ก็ขึ้นกับพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เพราะฉะนั้นจากผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดคือ 20 โวลต์ เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 20 กรัม โดยตั้งบัพขนาด 5 x 10 x 6 ลูกบาศก์นิ้ว

บทที่ 5

การออกแบบและการทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แบบสวิตชิง

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงเพื่อนำมาใช้จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นเพลท
ดั่งภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แสดงหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิงที่ทำการออกแบบ

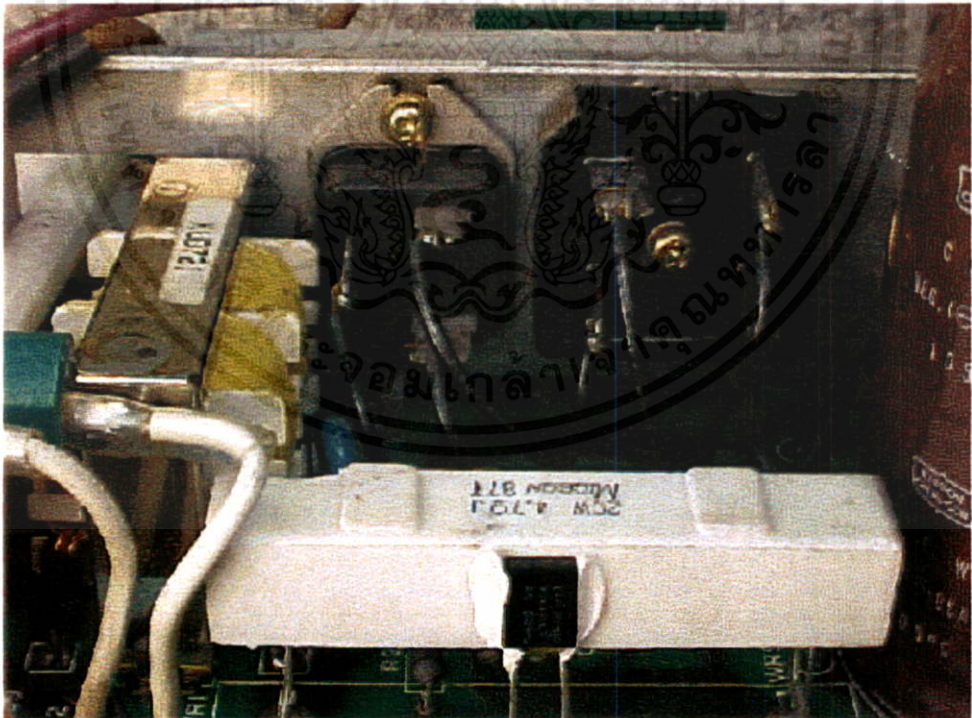
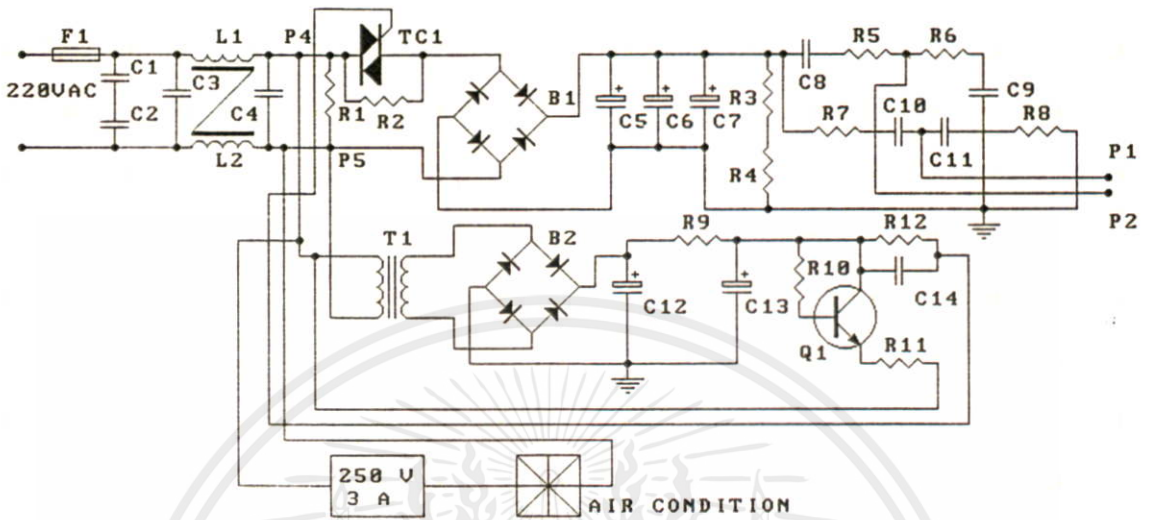
5.1 วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการออกแบบ

5.1.1 ส่วนภาคอินพุต ประกอบด้วย วงจรไลน์ฟิลเตอร์, วงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์

วงจรไลน์ฟิลเตอร์ใช้สำหรับลดสัญญาณรบกวนจากเครื่องสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ออกไปในไลน์ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยการต่อ LC คั่นอินพุตกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V_{ac} และวงจรเรียงกระแสทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 V_{dc} โดยใช้วงจรบริดจ์ไดโอด พร้อมการชอฟตสตาร์ทด้วยไดรแอก และทำการกรองรูปคลื่นที่ได้ให้เรียบยิ่งขึ้นด้วยตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลติก ตัวต้านทาน R3 และ R4 ต่อขนานกับตัวเก็บประจุเพื่อใช้สำหรับคายประจุเมื่อแหล่งจ่ายไฟไม่ได้ทำงาน โดยอีกส่วนหนึ่งได้ต่อพัดลมระบายอากาศ (AIR CONDITION) เพื่อระบายความร้อนให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ภาคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงดั่งภาพที่ 5.2

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.2 ส่วนภาคอินพุตประกอบด้วย วงจรไลน์ฟิลเตอร์, วงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคอินพุท

$$F1 = 250V / 5A$$

$$TC1 = TRIAC$$

$$B1 = 600V / 25A$$

$$B2 = 250V / 5A$$

$$R1 = 4.7\Omega / 20W$$

$$R2 = 20\Omega / 5W$$

$$R3 = R4 = 22\text{k}\Omega / 3W$$

$$R5 = R6 = R7 = R8 = 100\text{k}\Omega / 20W$$

$$R9 = 470\Omega \text{ } 1/2\text{ W}$$

$$R10 = R12 = 1\text{k}\Omega \text{ } 1/4\text{ W}$$

$$R11 = 10\Omega \text{ } 1/2\text{ W}$$

$$C1 = C2 = C8 = C9 = C10 = C11 = 0.0022\ \mu\text{F}$$

$$C3 = C4 = 0.0015\ \mu\text{F}$$

$$C5 = C6 = C7 = 820\ \mu\text{F} / 400V$$

$$C12 = 100\ \mu\text{F} / 50V$$

$$C13 = 2,200\ \mu\text{F} / 10V$$

$$C14 = 0.1\ \mu\text{F}$$

$$Q1 = DV8D$$

$$T1 = TRANSFORMER$$

5.1.2 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง, หม้อแปลงกำลังความถี่สูง, วงจรเรียงกระแสและฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุท, วงจรป้อนกลับ

วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงประกอบด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 310 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต โดยในที่นี้ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ 2SC3498

หม้อแปลงกำลังความถี่สูงทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟสลับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่สูง 20 กิโลเฮิร์ต ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่มีค่า 310 โวลต์ เป็นแรงดันที่มีขนาดต่ำลงทางด้านทุติยภูมิที่มีค่าประมาณ 25 โวลต์ ในที่นี้เราจะใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ 3C8 ขนาด EE80/2 แกนขนาน โดยมีอัตราส่วนขดปฐมภูมิต่อขดทุติยภูมิเท่ากับ 44 : 3

รายการอุปกรณ์ภาคคอนเวอร์เตอร์

Q6 = Q7 = Q8 = Q9 = 2SC3498

Q10 = D288

D9 = D10 = D11 = D12 = 8G15D

B3 = 61MQ40

B4 = 250V /15A

T4 = HIGH FREQUENCY TRANSFORMER

T5 = CURRENT TRANSFORMER

T6 = TRANSFORMER

R29 = 330Ω /2W

R30 = R31 = 180Ω $\frac{1}{2}$ W

R32 = R33 = 2.7Ω /20W

R34 = $3.3 k\Omega$ $\frac{1}{2}$ W

C23 = C24 = $2.2 \mu F$

C25 = $69,000 \mu F$ /50V

C26 = C27 = $0.1 \mu F$

C28 = $1,000 \mu F$ /63V

C29 = $100 \mu F$ /50V

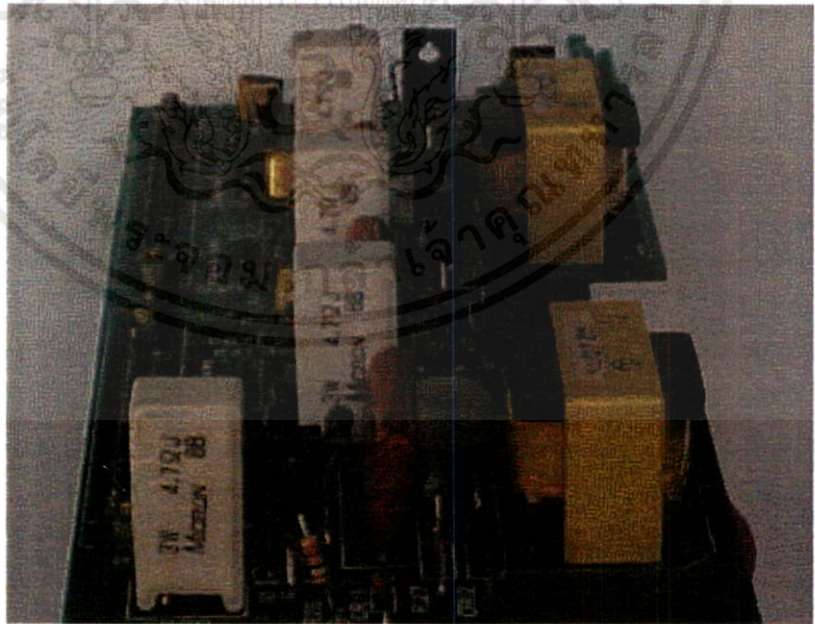
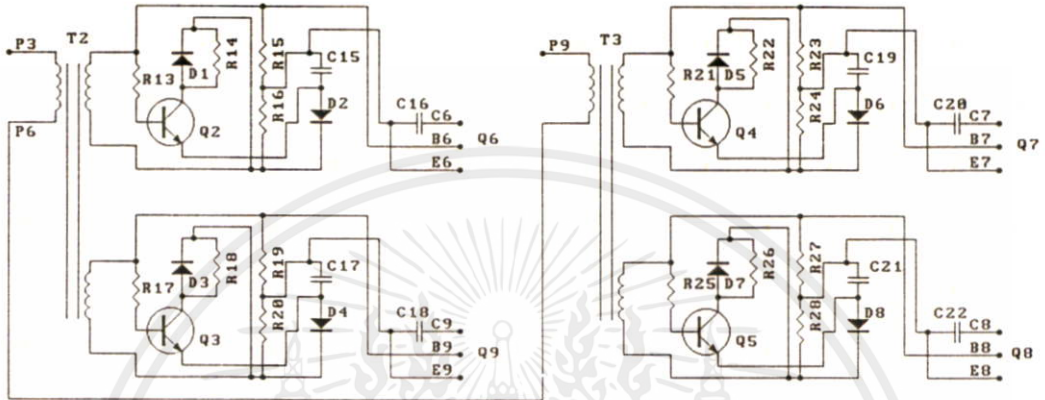
C30 = $0.22 \mu F$

L3 = INDUCTOR

5.1.3 ส่วนขั้วเบส

วงจรขั้วเบสโดยใช้ทรานซิสเตอร์ D1691 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากไอซี MB3759 ของภาคควบคุมเพื่อให้ได้กระแสในการขั้วเบสให้ทรานซิสเตอร์กำลัง 2SC3498 ในภาคภาคคอนเวอร์เตอร์ ในที่นี้จะสร้างสัญญาณขั้วเบสทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งการทำงานจะทำงานเป็นคู่ ๆ สลับกัน โดยมีหม้อแปลงพัลส์ T2 และ T3 ทำหน้าที่แยกกราวด์ของภาคควบคุมออกจากภาคคอนเวอร์เตอร์ แสดงดังภาพที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารภาพที่ 5.4 ส่วนขั้วเบสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคขับเบส

$$D1 = D3 = D5 = D7 = 8F2108$$

$$D2 = D4 = D6 = D8 = 21D804$$

$$R13 = R17 = R21 = R25 = 100 \Omega \frac{1}{4} W$$

$$R14 = R18 = R22 = R26 = 33 \Omega \frac{1}{4} W$$

$$R15 = R19 = R23 = R27 = 47 \Omega \frac{1}{4} W$$

$$R16 = R20 = R24 = R28 = 1 \Omega \frac{1}{2} W$$

$$C15 = C17 = C19 = C21 = 0.1 \mu F$$

$$C16 = C18 = C20 = C22 = 0.047 \mu F$$

$$Q2 = Q4 = Q5 = Q6 = D1691$$

$$T2 = T3 = PULSE TRANSFORMER$$

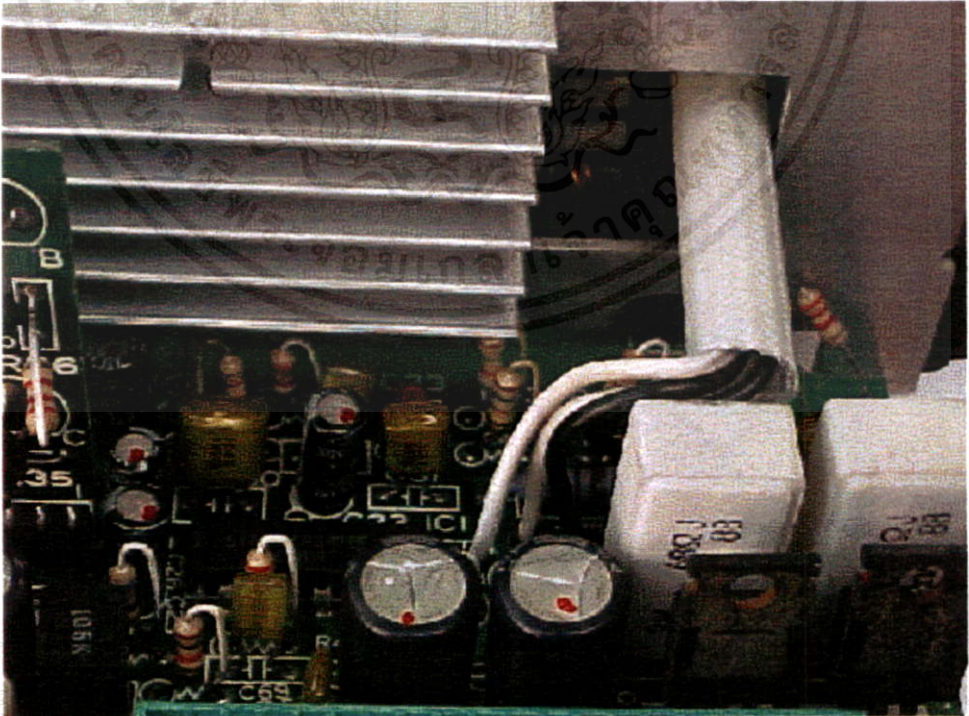
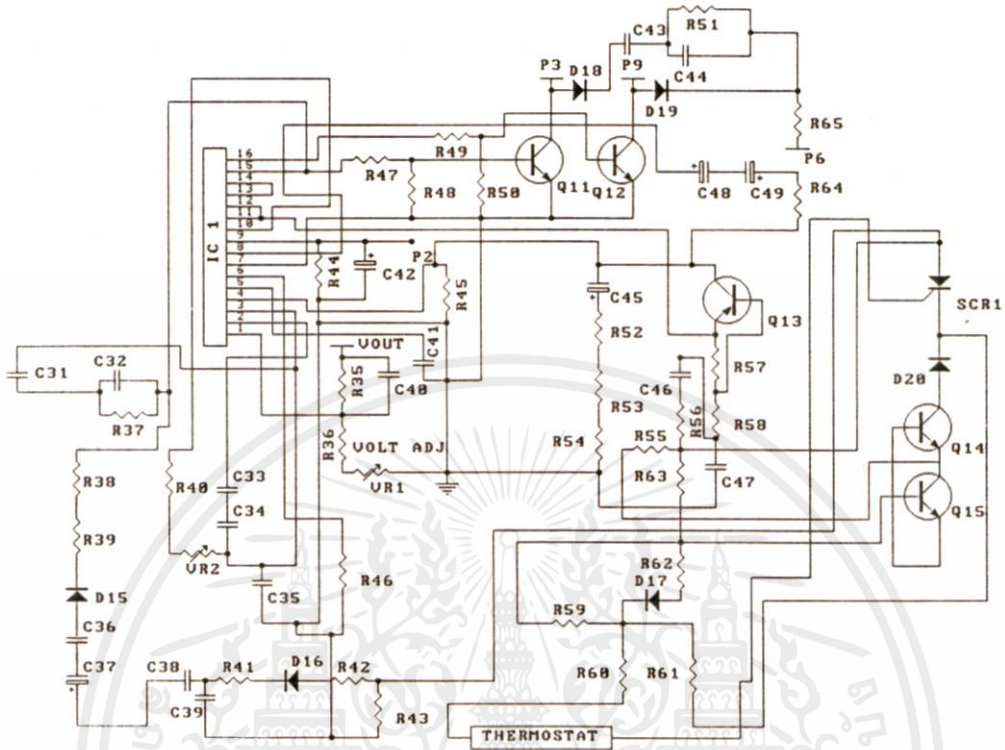
5.1.4 ส่วนภาคควบคุม

วงจรควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยมีการสร้างสัญญาณพัลส์ด้วยไอซี MB3759 ไปยังวงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แล้วส่งผ่านไปยังหม้อแปลงพัลส์เพื่อทำการแยกกรวดภาคควบคุมออกจากภาคคอนเวอร์เตอร์ โดยที่ไอซี MB3759 สามารถทำงานด้วยโหมคควบคุมจากแรงดัน ซึ่งวงจรของ MB3759 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ และการกำหนดคาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์สามารถกำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

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

การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยกับแรงดันเอาต์พุตที่ป้อนเข้าวงจรขยายความแตกต่างเพื่อควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลง ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น และการกำหนดคาบเวลาเพื่อ T_D สามารถกำหนดได้ ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี แสดงดังภาพที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม

งานการคำ
ไปใช้

ภาพที่ 5.5 ส่วนภาคควบคุม

รายการอุปกรณ์ภาคควบคุม

$$C40 = C31 = C32 = 0.1 \mu\text{F}$$

$$C35 = C36 = C38 = C41 = C46 = 0.001 \mu\text{F}$$

$$C33 = 0.033 \mu\text{F}$$

$$C34 = 4.7 \mu\text{F}$$

$$C39 = C37 = 70 \mu\text{F} / 10\text{V}$$

$$C42 = 0.47 \mu\text{F} / 50\text{V}$$

$$C47 = C43 = C44 = 0.01 \mu\text{F}$$

$$C45 = 3.3 \mu\text{F} / 50\text{V}$$

$$C48 = C49 = 3.3 \mu\text{F} / 50\text{V}$$

$$R37 = 10 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R38 = R40 = R53 = R54 = 2.2 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R39 = 68 \Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R41 = R43 = 15 \Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R42 = 1 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R44 = 22 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R45 = 3.3 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R46 = 12 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R47 = R49 = R52 = R56 = 100 \Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R48 = R50 = 150 \Omega \text{ } \frac{1}{2} \text{ W}$$

$$R51 = R65 = 68 \Omega \text{ } \frac{3}{4} \text{ W}$$

$$R55 = 21 \Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R57 = R58 = 470 \Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R59 = 5.8 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R60 = 4.7 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R61 = 1.2 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R62 = R63 = 3.9 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$R64 = 47 \text{ k}\Omega \text{ } \frac{1}{4} \text{ W}$$

$$D15 = D16 = D17 = D18 = D19 = D20 = 21\text{D}804$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกลงเนื้อหา และต้องแจ้งชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q11 = Q12 = K357

Q13 = A1015

Q14 = Q15 = C1213

SCR 1 = P2M

VR1 = 1 k

VR2 = 2 k

IC1 = MB 3759

THERMOSTAT = OHD3 – 85M

จากการทดสอบผลของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ในการทดสอบกระทำโดยการเปลี่ยนค่าของโหลดไปเรื่อย ๆ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าโหลดที่พิกัด คือ 10 % , 20 % , 40 % เป็นต้น โดยจะพิจารณาถึงการคงค่าของแรงดันที่ด้านเอาต์พุตที่จุดโหลดต่าง ๆ และการปฏิบัติงานเมื่อ จุดการทำงานดำเนิน ไปจนถึงจุดเกินพิกัด (Over load)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่

1. ถังน้ำเกลือ
2. สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย
3. มัลติมิเตอร์
4. ความต้านทานเพื่อวัดกระแส ขนาด 150 A / 100 mV
5. แผ่นเพลทอะลูมิเนียม
6. สุกแอมป์
7. ออสซิลโลสโคป

วิธีทำการทดลอง

1. ใส่ น้ำ และเกลือลงในถังน้ำเกลือ ผสมให้เข้ากันเพื่อให้เป็นตัวนำกระแสที่ดี แล้วใส่แผ่นเพลทลงในน้ำเกลือ 2 แผ่น โดยวางไว้ให้ห่างกันมากที่สุด (ติดขอบถึงคนละด้าน)
2. ต่อสายไฟจากด้านเอาต์พุตของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย เข้าสู่แผ่นเพลททั้ง 2 แผ่น
3. ต่อตัวต้านทานวัดกระแสอนุกรมกับสายไฟด้านเอาต์พุตก่อนจะถึงแผ่นเพลท
4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานวัดกระแส ให้แน่ทั้งไว้เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ออสซิลโลสโคปและสคูแอมป์วัดค่าต่าง ๆ ที่โหลดค่าต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่ ค่ากระแส ะลอก กำลังขาเข้า กำลังงานขาออก กระแสขาเข้าและขาออก เป็นต้น

6. ในการเปลี่ยนค่าโหลด ให้ทำการขยับแผ่นเพลทเข้าหากันเพื่อเพิ่มโหลด ถ้าค่าโหลดที่ได้ ยังไม่เท่ากับที่ต้องการ ก็ให้ทำการเดิมเกลื่อเข้าไปอีก หรือ ให้แผ่นเพลทจุ่มลงไปใต้น้ำเกลืออีกมาก ขึ้นไปอีก ก็จะได้ค่าโหลดที่เพิ่มขึ้น

5.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้น โดยทำการเปลี่ยนค่าโหลดไปเรื่อยๆ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าโหลดที่พิกัด คือ 10% , 20% , 30% เป็นต้น โดยพิจารณาจากค่าแรงดันที่ เอาท์พุทที่โหลดต่างๆ และ โหลดเกินพิกัด ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้น

% load	V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (kW)	$\cos\phi$	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (kW)	Eff (%)	Ripple (V _{pp})
0	224	1.23	0.16	0.59	24	0	0	0	0.44
20	222	2.78	0.38	0.61	24	10	0.24	63.16	0.48
40	221	4.62	0.68	0.67	24	20	0.48	70.59	0.54
80	219	8.77	1.32	0.69	24	40	0.96	72.73	0.48
100	215	10.24	1.56	0.71	24	50	1.2	76.92	0.48
110	215	11.69	1.81	0.72	22	50	1.1	60.77	0.52
120	215	7.86	1.15	0.68	18	50	0.9	78.26	0.64

โดยที่ V_{in} คือ แรงดันอินพุท หน่วยเป็น โวลท์ (V)

V_{out} คือ แรงดันเอาท์พุท หน่วยเป็น โวลท์ (V)

I_{in} คือ กระแสอินพุท หน่วยเป็นแอมป์ (A)

I_{out} คือ กระแสเอาท์พุท หน่วยเป็นแอมป์ (A)

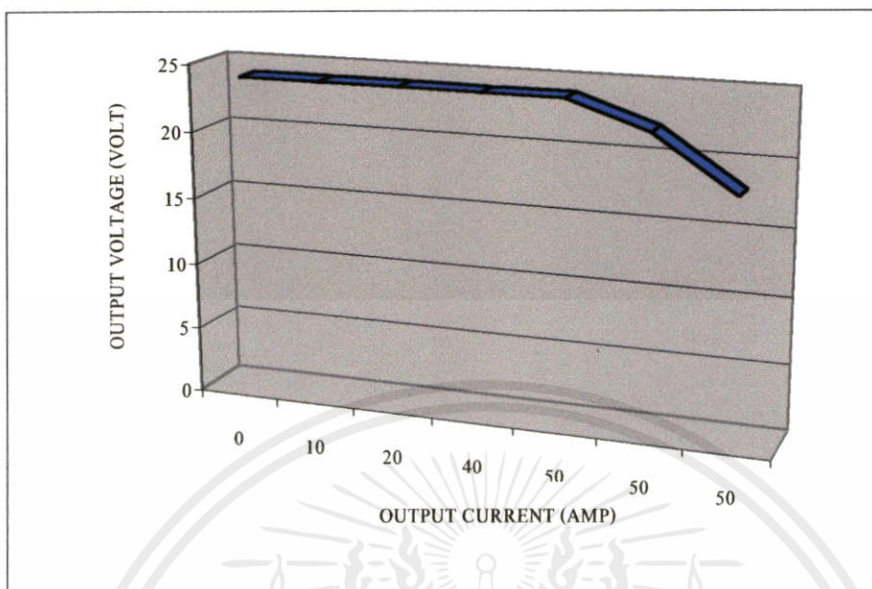
P_{in} คือ กำลังงานอินพุท หน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

P_{out} คือ กำลังงานเอาท์พุท หน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

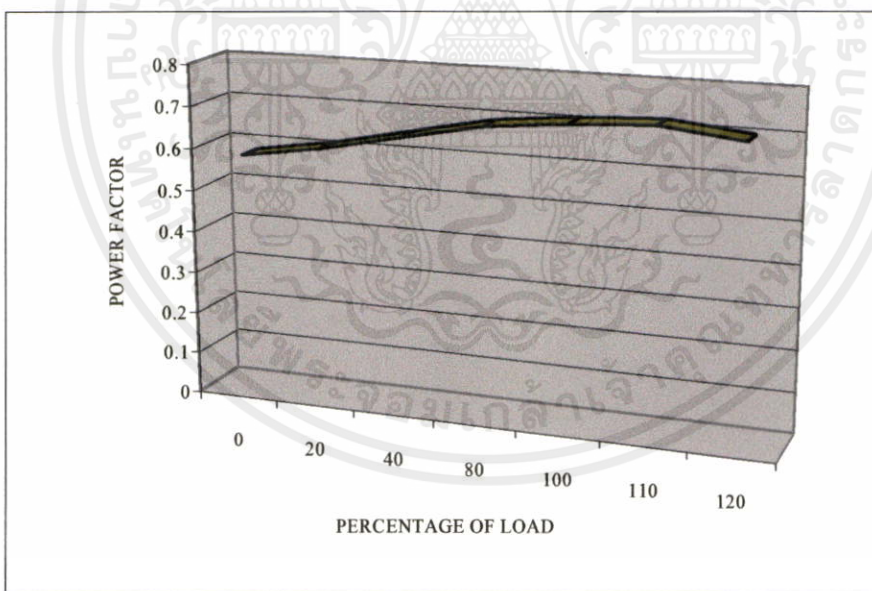
Eff คือ ประสิทธิภาพ (%)

Ripple Voltage คือ แรงดันกระเพื่อม (V_{P-P})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้จัดแปลงเป็นภาษาอื่นโดยไม่แจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

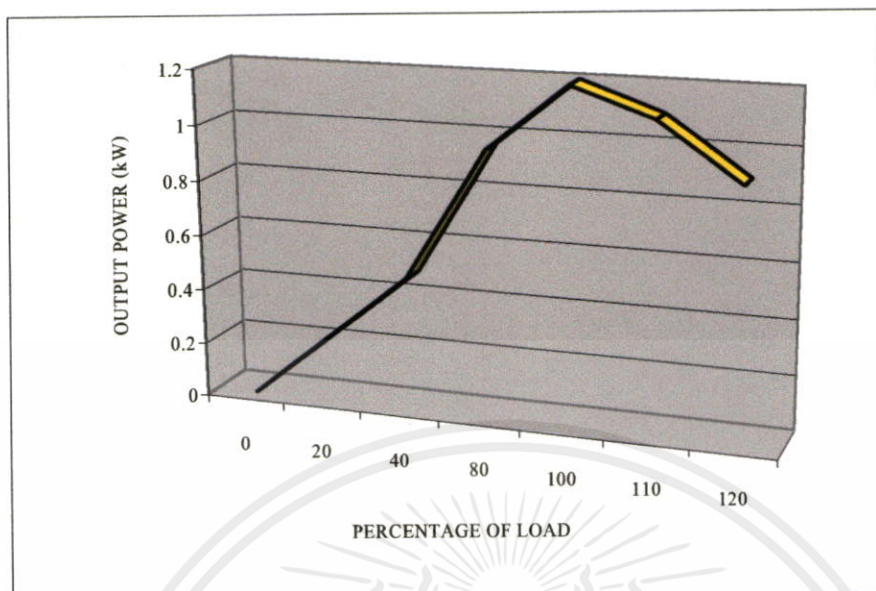


ภาพที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับกระแสเอาต์พุต

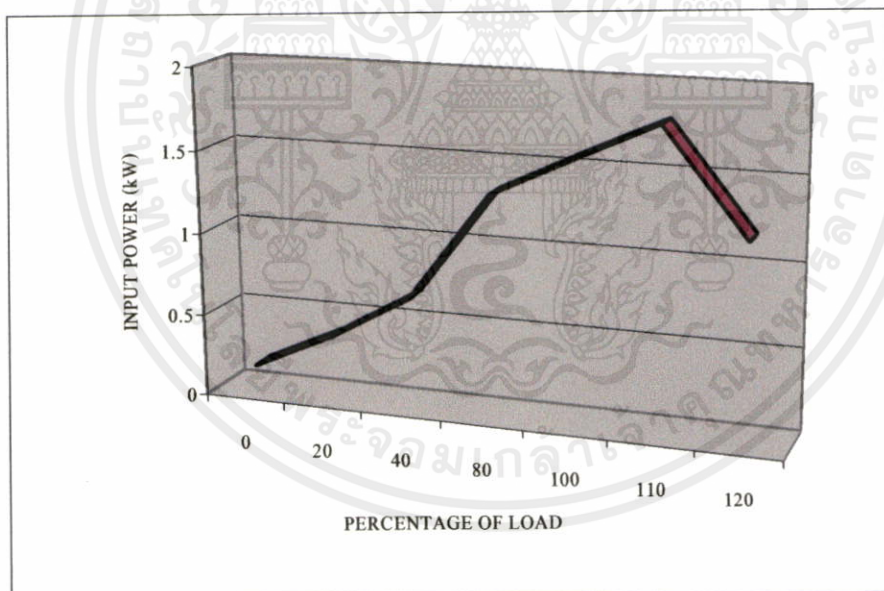


ภาพที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แฟคเตอร์กับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

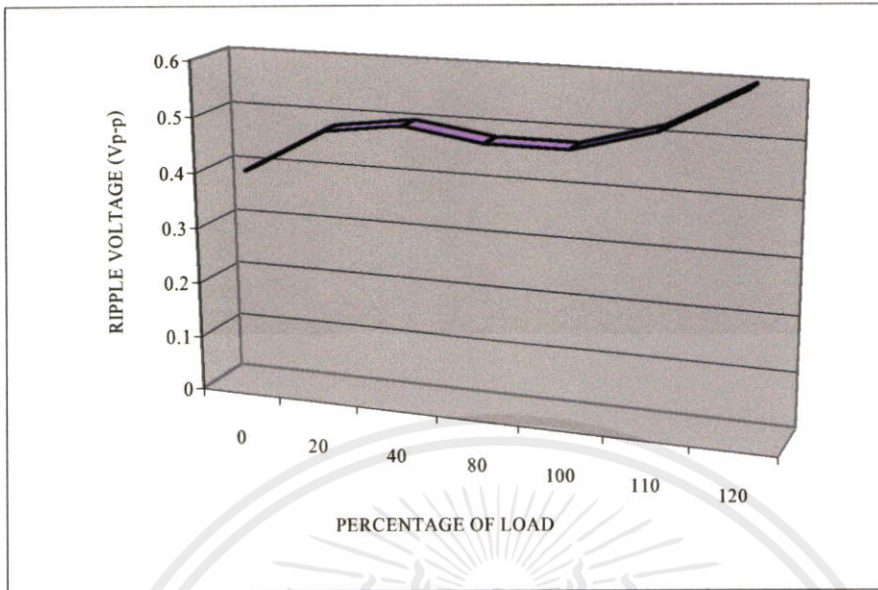


ภาพที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับโหลด

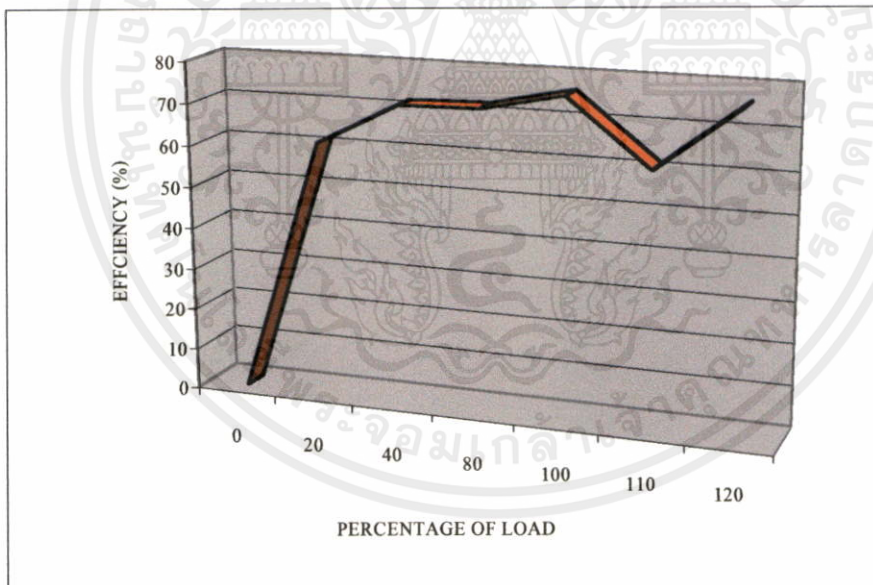


ภาพที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุตกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

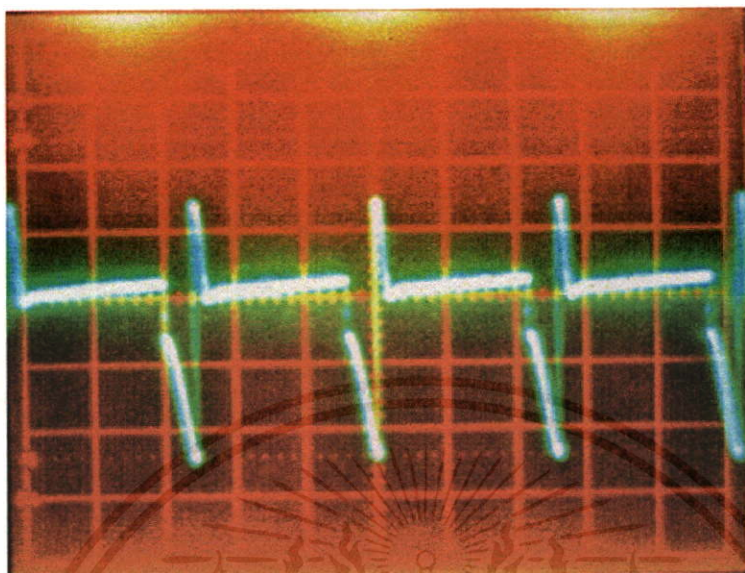


ภาพที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกระเพื่อมกับโหลด

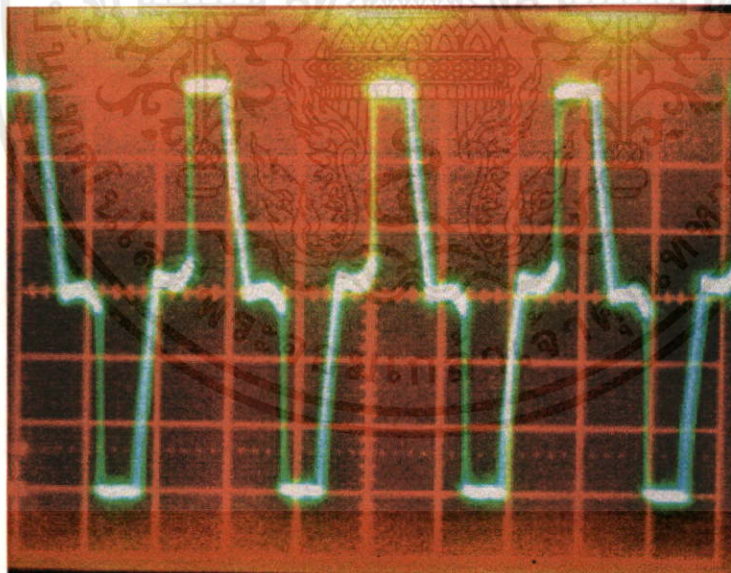


ภาพที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

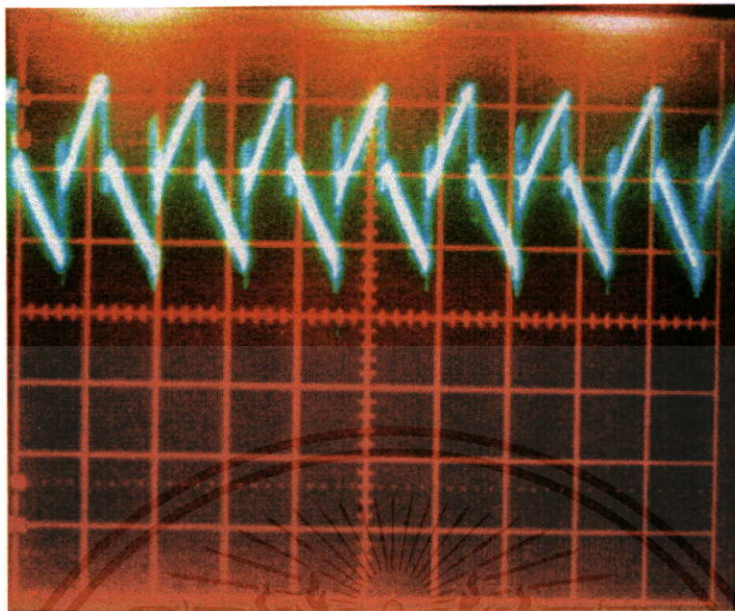


ภาพที่ 5.14 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะไม่มีโหลด ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10

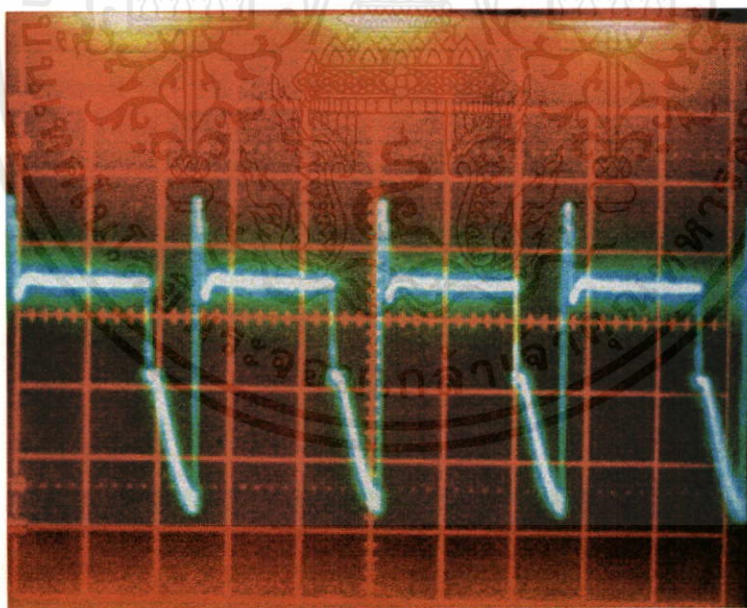


ภาพที่ 5.15 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะไม่มีโหลด ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์, 10 V/div, 20 usec, probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

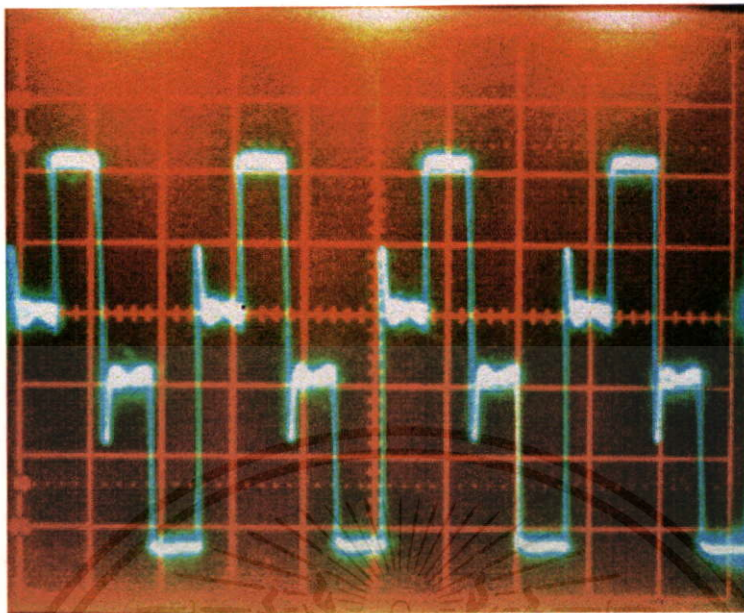


ภาพที่ 5.16 แรงดันกระแสที่ต่อทางด้านเอาต์พุตที่มีค่า $0.48 V_{p-p}$ ขณะโหลด 20 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 10 แอมแปร์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

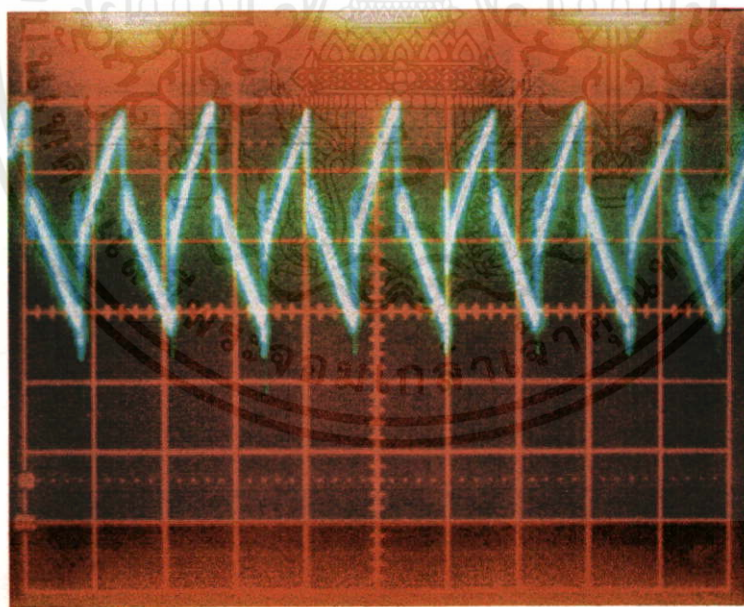


ภาพที่ 5.17 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 20 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 10 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

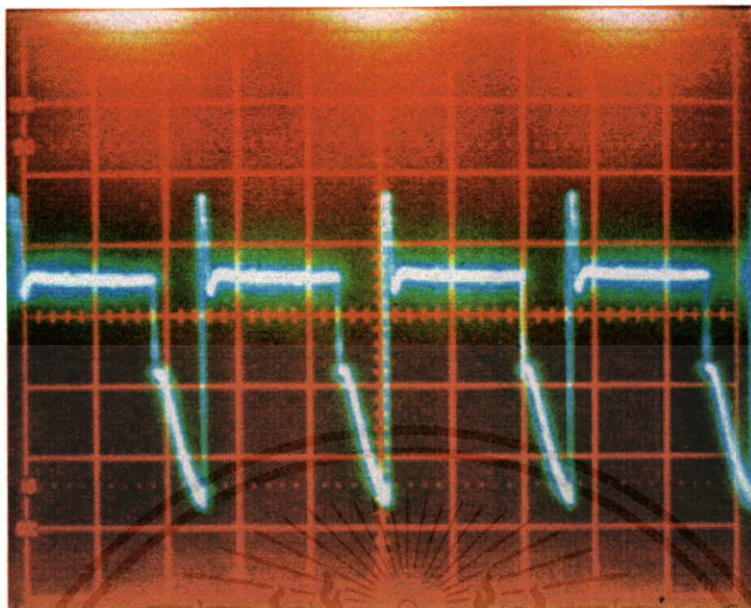


ภาพที่ 5.18 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 20 %
ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 10 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec

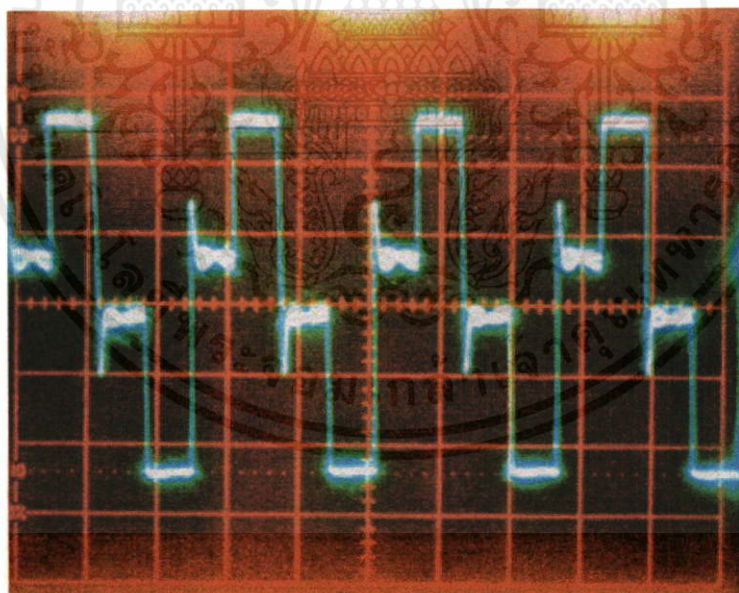


ภาพที่ 5.19 แรงดันกระแสเฟืองทางด้านเอาต์พุตมีค่า $0.54 V_{p-p}$ ขณะโหลด 40 % ที่แรงดันเอาต์พุต
24 โวลต์ กระแสโหลด 20 แอมป์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

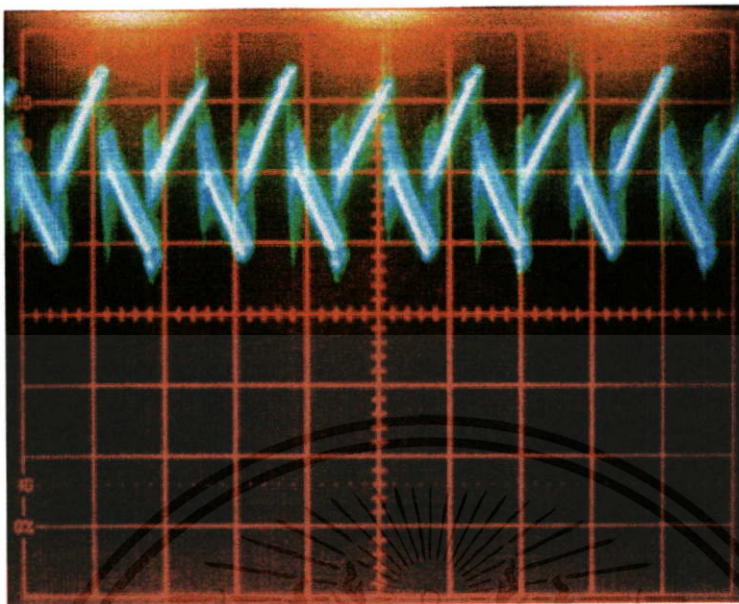


ภาพที่ 5.20 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะ โหลด 40 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 20 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10

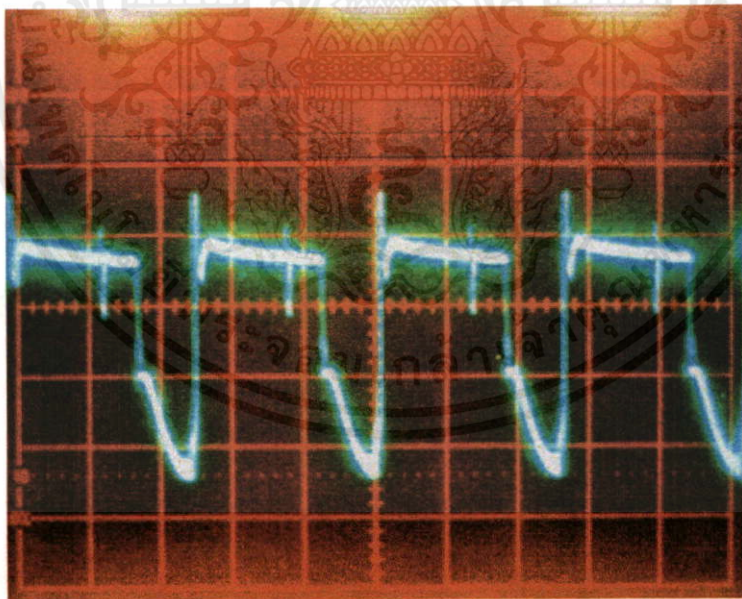


ภาพที่ 5.21 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะ โหลด 40 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 20 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

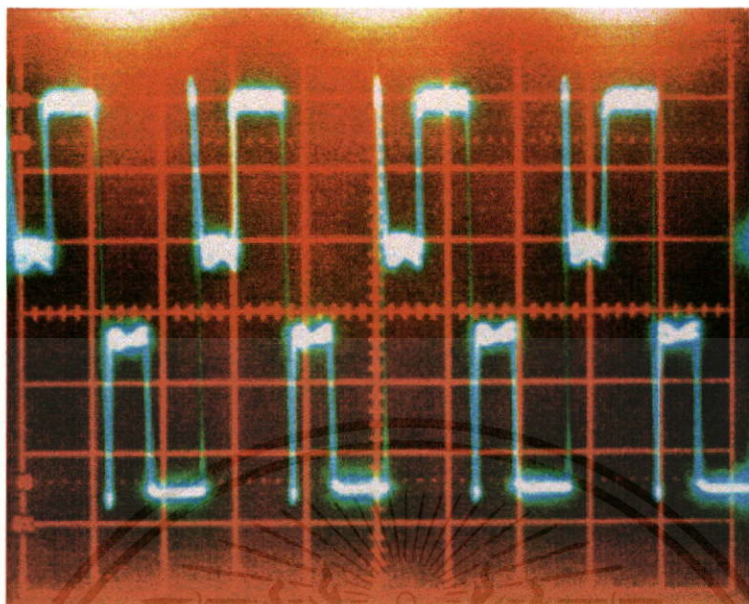


ภาพที่ 5.22 แรงดันกระแสเพื่อมทางด้านเอาต์พุตมีค่า $0.48 V_{p-p}$ ขณะโหลด 80 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 40 แอมแปร์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

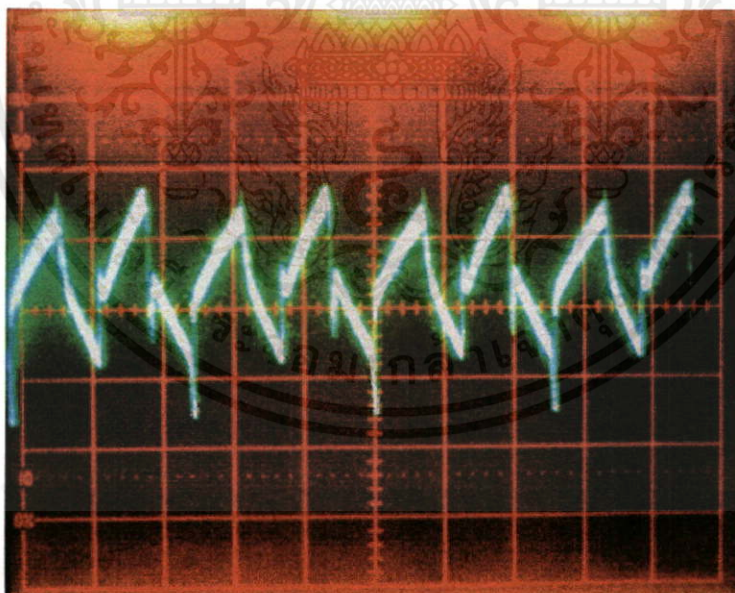


ภาพที่ 5.23 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 80 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 40 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

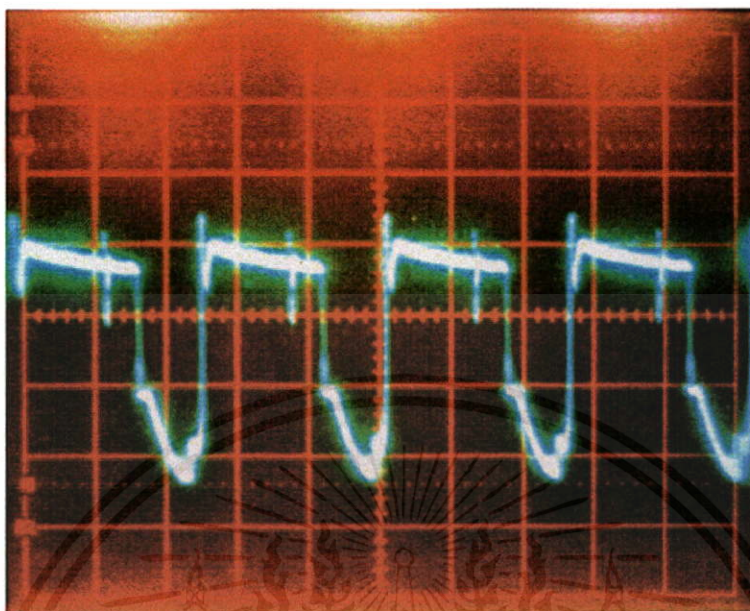


ภาพที่ 5.24 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 80 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 40 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec, Probe x 10

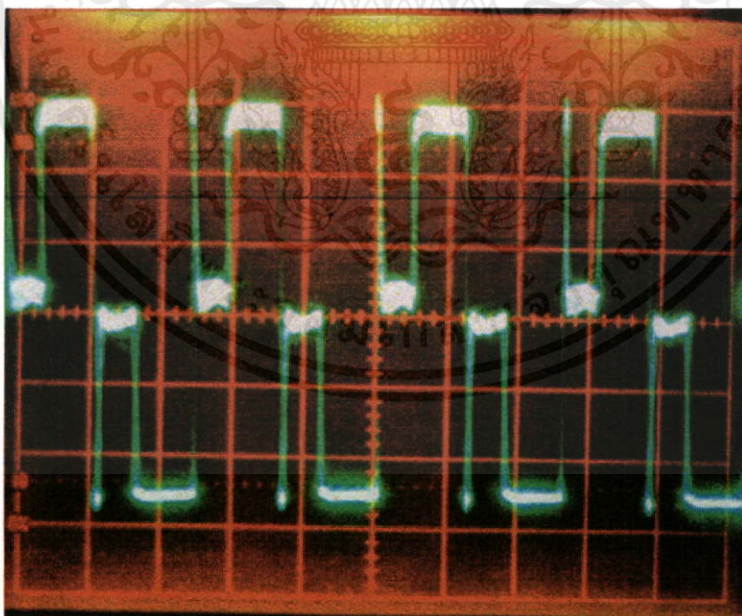


ภาพที่ 5.25 แรงดันกระแสเฟืองทางด้านเอาต์พุตมีค่า $0.48 V_{p-p}$ ขณะโหลด 100 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

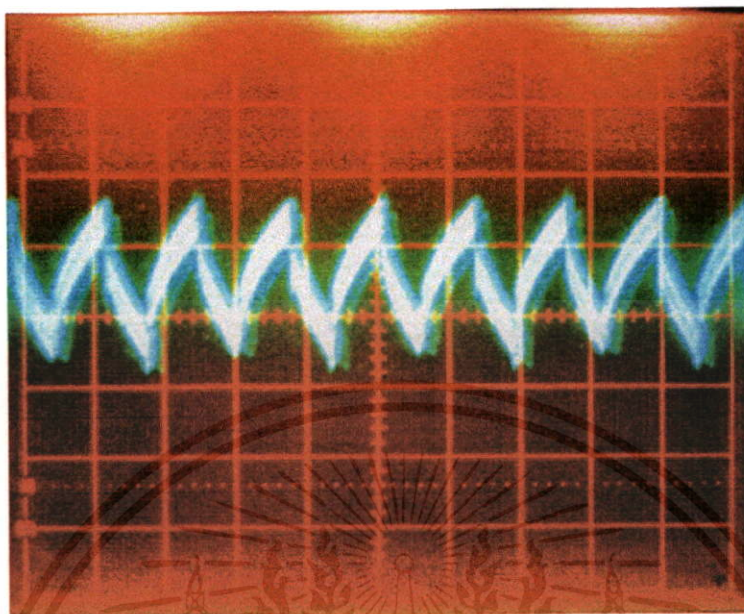


ภาพที่ 5.26 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 100 % ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10

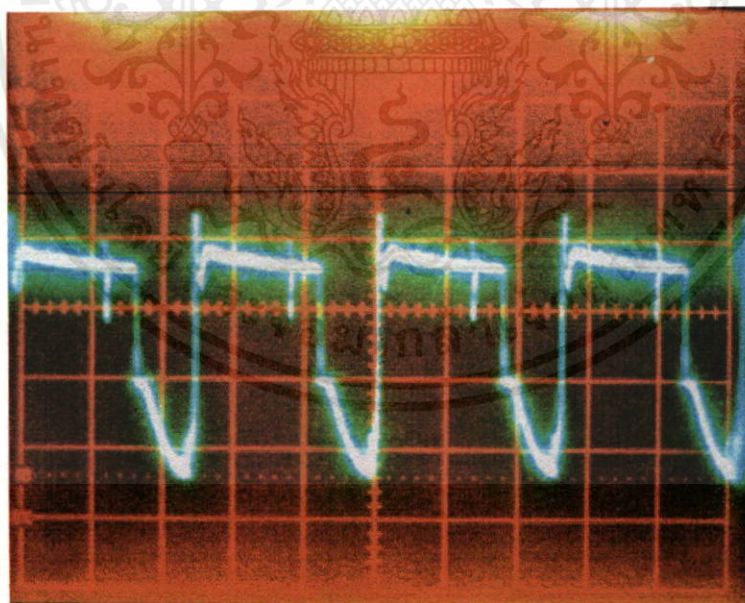


ภาพที่ 5.27 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 100 %

ที่แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec, Probe x 10
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำ
ไปทำกำไรหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

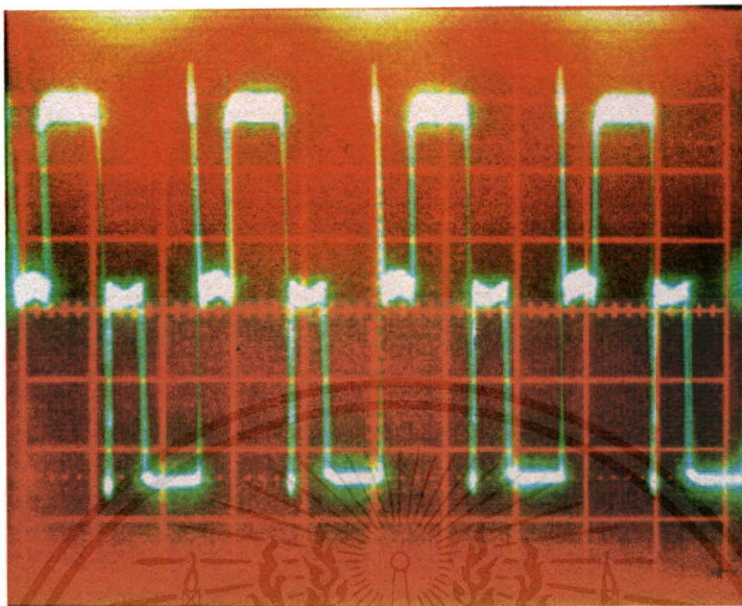


ภาพที่ 5.28 แรงดันกระแสเพิ่มทางด้านเอาต์พุตมีค่า $0.52 V_{p-p}$ ขณะโหลด 110 % ที่แรงดันเอาต์พุต 22 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

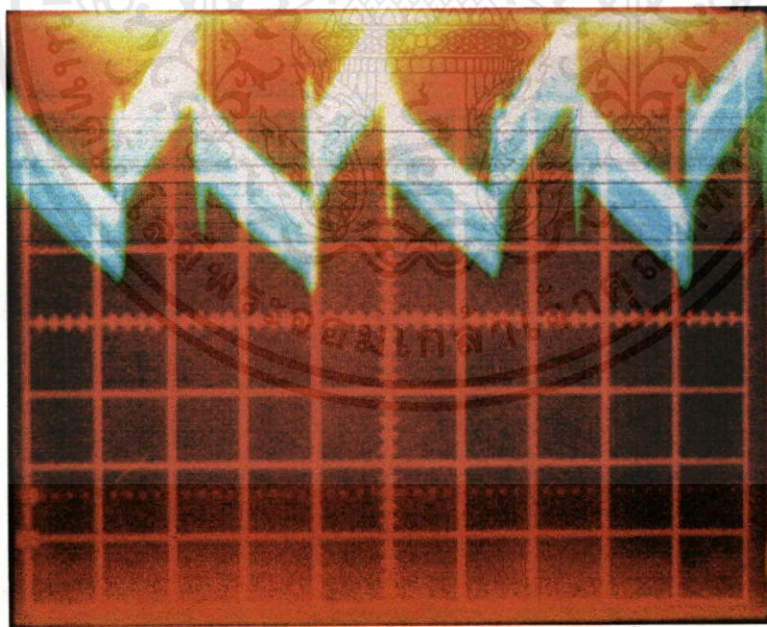


ภาพที่ 5.29 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 110 % ที่แรงดันเอาต์พุต 22 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



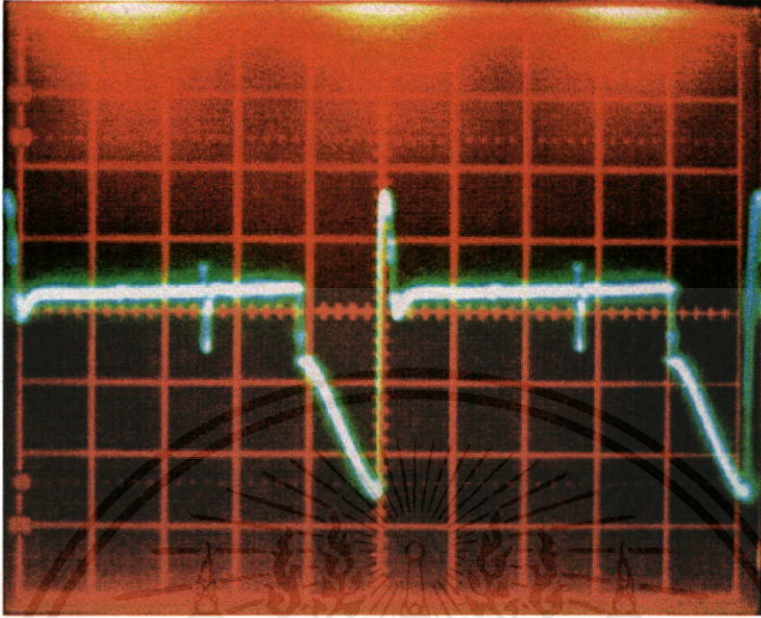
ภาพที่ 5.30 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะโหลด 110 %
ที่แรงดันเอาต์พุต 22 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec, Probe x 10



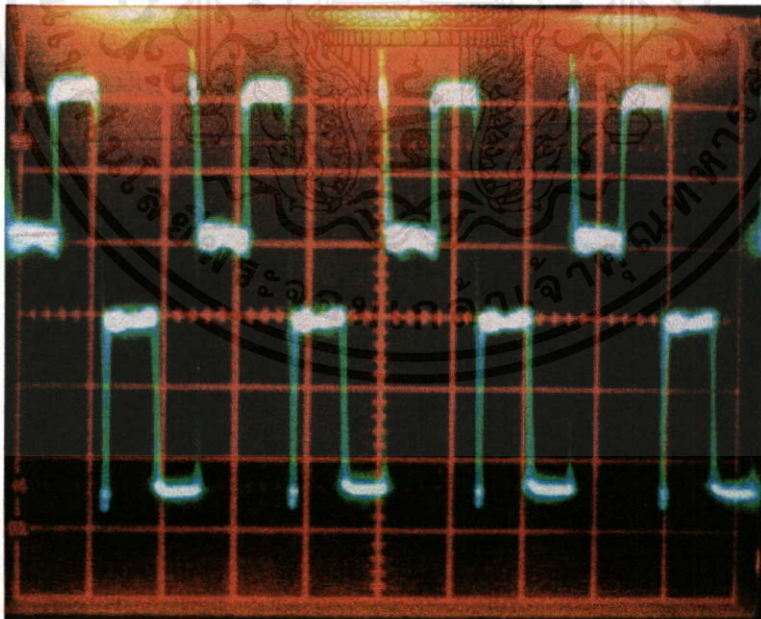
ภาพที่ 5.31 แรงดันกระแสเพิ่มทางด้านเอาต์พุตมีค่า $0.64 V_{p-p}$ ขณะโหลด 120 % ที่แรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
18 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 20 mV/div, 20 usec, Probe x 10

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.32 กระแสเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะ โหลด 120 % ที่แรงดันเอาต์พุต 18 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 0.2 V/div, 20 usec, Probe x 10



ภาพที่ 5.33 แรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 ขณะ โหลด 120 %

ที่แรงดันเอาต์พุต 18 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์, 10 V/div, 20 usec, Probe x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

สำหรับสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการออกแบบนี้ ได้ทำการทดลองกับโหลดซึ่งเป็นน้ำเกลือ เนื่องจากเครื่องนี้มีกำลังสูง จึงต้องใช้โหลดความต้านทานที่มีค่าต่ำ เปลี่ยนค่าได้และทนกำลังได้สูง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ น้ำเกลือสามารถใช้ได้ดี ในการทดลองไม่ได้มีการวัดความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ผสมลงในน้ำแต่อย่างใด จะทำการผสมเกลือลงไปจนกว่าจะได้รับความต้านทานที่ต้องการเท่านั้น จากวิธีการทดลองในถังน้ำเกลือจะมีแผ่นเพลทแช่น้ำเกลืออยู่ 2 แผ่น ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบ ในการที่เพิ่มโหลดหรือลดความต้านทานลงนั้นสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. ขยับแผ่นเพลททั้งสองเข้ามาใกล้กันมากยิ่งขึ้น
2. จุ่มแผ่นเพลททั้งสองลงไปใต้น้ำให้ลึกยิ่งขึ้น
3. เติมเกลือ และเติมน้ำ

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการออกแบบนี้จะให้แรงดันกระแสเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตค่อนข้างต่ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์รีกกูเลชันของแรงดันที่ได้มีค่าน้อย ซึ่งถือว่ายอมรับได้ พร้อมทั้งสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายยังให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงพอสมควร วงจรส่วนคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบฟูลบริดจ์ เพราะสามารถจ่ายกำลังงานได้สูง วงจรควบคุมการทำงานได้เลือกไอซี MB3759 เพราะเป็นไอซีในโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุม ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2SC3498 อินพุตของเครื่องสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายสามารถรับไฟฟ้ากระแสสลับขนาดแรงดัน 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ ± 20 เปอร์เซ็นต์ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่สร้างขึ้นมีการขั้วนำสวิตซ์ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต ให้กำลังเอาต์พุต 1,200 วัตต์ แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมแปร์ ประสิทธิภาพของเครื่อง 76.92 %

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายแทนลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายเพราะ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายมีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา กว่าลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย เพราะลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก และขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่อินพุตของหม้อแปลงจะมีค่าสูง การคงค่าแรงดันของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายส่วนใหญ่จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำ ส่วนสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายอุปกรณ์จะไม่นำกระแสตลอด จะทำงานในลักษณะสวิตซ์คือ ทำงานในช่วงอิมพัลส์และคัตออฟ อุปกรณ์สวิตซ์นี้จะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันน้อยมาก จึงมีกำลังงานสูญเสียต่ำมาก ประสิทธิภาพจึงสูงประมาณ 65% - 80%

ไม่ว่ากรณีใดๆทางสน. อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

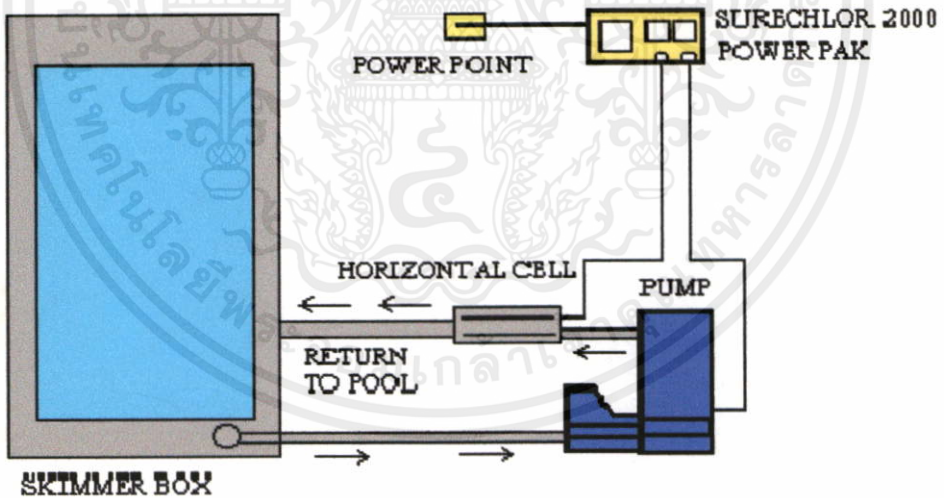
การออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้และจากการทดลองที่ได้ผ่านมา จึงได้ทำการรวบรวมเอาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาทำการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสีย ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะใช้นำมาช่วยในการออกแบบเพลทที่ใช้ในการบำบัดและรูปแบบของถังบำบัด ส่วนตัวเครื่องโดยรวมและรูปแบบการไหลเวียนของน้ำในระบบนั้นจะออกแบบจากข้อมูลที่ได้ศึกษาหลักการของเครื่องบำบัดน้ำเสียนี้คือการบำบัดน้ำเสียให้ได้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อปริมาณน้ำที่บำบัดได้ต่ำที่สุดและให้ได้คุณภาพของน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ โดยการออกแบบตัวเครื่องได้แนวความคิดมาจาก

6.1 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ ดังภาพที่ 6.1

6.2 ระบบการสกัดทองแดงออกจากแร่ที่พบอยู่ตามธรรมชาติ ดังภาพที่ 6.2

6.1 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ ดังภาพที่ 6.1



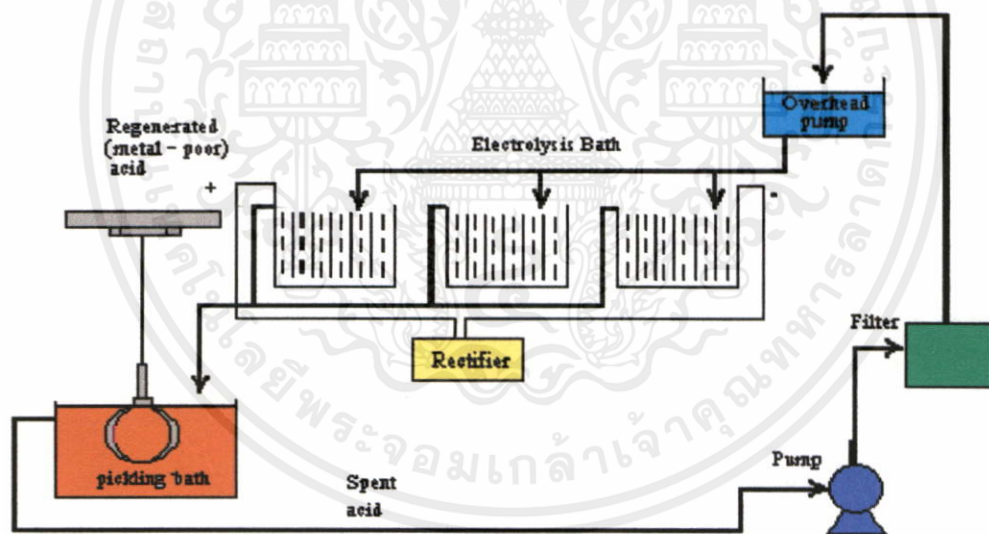
ภาพที่ 6.1 เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ

จากภาพที่ 6.1 สามารถจะอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้

หลักการทำงานสามารถแยกอธิบายได้ 2 ส่วนคือ Electrolytic cell (เซลล์ประจุไฟฟ้า) และ Power pak (ตัวจ่ายไฟ) ตัวเซลล์จะตั้งติดกับท่อน้ำที่กลับจากปั๊มไปสู่สระและตัว Power pak จะตั้งอยู่ใกล้กับเครื่องกรองต่อกับเซลล์โดยสายไฟ วิธีการง่ายๆ: ใส่เกลือธรรมดาลงในสระให้ความเค็ม

อยู่ระหว่าง 0.6 - 0.7 % (น้ำทะเลเค็มประมาณ 3.5 %) (ซึ่งดูจากปริมาณกระแสไฟฟ้า) น้ำนี้จะผ่าน มาที่เซลล์เวลาปั้มทำงาน ประจุไฟฟ้าในเซลล์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกลือกลายเป็นคลอรีนเหลว หรือ โซเดียมคลอไรด์และไฮโดรเจน ซึ่งจะฆ่าเชื้อโรค เช่นเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา ทำให้น้ำ บริสุทธิ์และใสสะอาด และจะกลับเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ออกไปแต่อย่างเดียว จะไม่มีคลอรีนผสมออก ไปเลย จึงไม่มีกลิ่นและไม่ทำให้สบวมและสบตา เกลือจะเติมครั้งต่อไป เมื่อน้ำล้นจากสระตอน ฝนตก หรือมีผู้ใช้สระน้ำจำนวนมาก ทำให้ต้องเติมน้ำใหม่หรือการ Back wash เพื่อล้างเครื่องกรอง ซึ่งราคาเกลือประมาณ กิโลกรัมละ 3 บาท ในขณะที่คลอรีนกิโลกรัมละ 100 บาท และต้องเติมทุก วัน ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ในสระที่มีความจุ 200,000 ลิตร จะต้องเติมคลอรีนเฉลี่ย วันละ 1 กิโลกรัม เดือนหนึ่งจะมีค่าใช้จ่ายถึง 3,000 บาท หรือ ปีละ 36,000 บาท เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบ เกลือแทนคลอรีน SALT CHLORINATOR นี้สะดวกต่อการติดตั้งดูแล บำรุงรักษา และทำความสะอาด สิ่งสำคัญ คือ ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าคลอรีน

6.2 ระบบการสกัดทองแดงออกจากแร่ที่พบอยู่ตามธรรมชาติ ดังภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 ระบบการสกัดทองแดงออกจากแร่ที่พบอยู่ตามธรรมชาติ

จากภาพที่ 6.2 ระบบนี้เป็นการทำงานแบบวงรอบปิด (Closed – loop) ซึ่งในการทำงานจะนำเอา CuO ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่พบอยู่ตามธรรมชาติมาผสมกับ H_2SO_4 ซึ่งเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

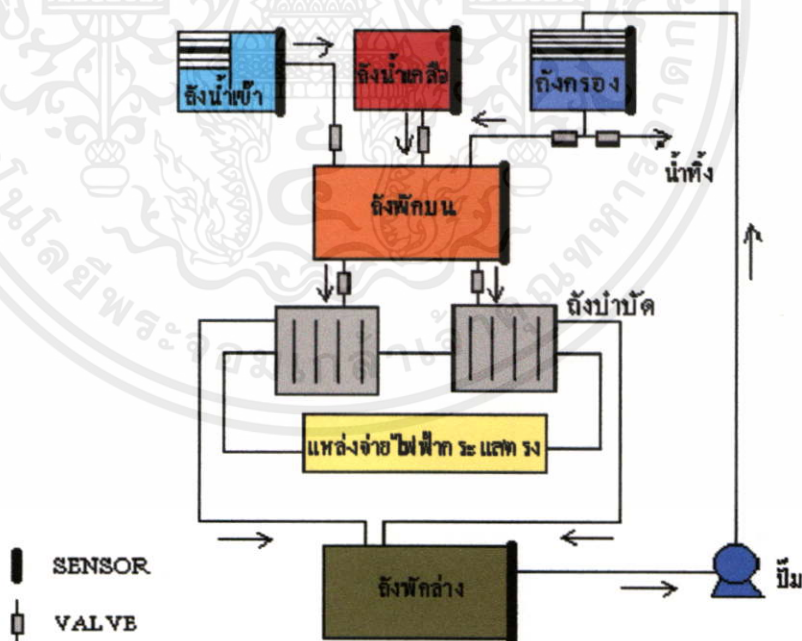
$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเราจะได้ คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และน้ำ จากนั้นจึงแยกทองแดงออกมาโดยใช้หลักการอิเล็กโทรลisis ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันกับที่เราใช้ในเครื่องบำบัดน้ำเสีย การทำงานจะเกิดขึ้นที่ส่วนของ ELECTROLYSIS BATH ซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้



จะเห็นว่าการทำงานจะได้ทองแดงออกมารวมถึงกรดซัลฟูริกและก๊าซออกซิเจนด้วยทองแดงที่ได้จะไปพักอยู่ที่ PICKLING BATH ส่วน CuSO_4 ที่ไม่ถูกแยกออกและกรดซัลฟูริกที่ได้มาหลังจากการบำบัดจะถูกใบพัดตีผสมและกลับขึ้นไปทำงานใหม่อีกครั้ง จะเห็นว่าจะมีกรดวนเวียนอยู่ในระบบตลอดโดยไม่ต้องเติมกรดเพิ่มเข้าไปอีก ในเครื่องบำบัดน้ำเสียที่เราได้ออกแบบสร้างขึ้นมา ได้ออกแบบให้ใช้การไหลเวียนของน้ำในลักษณะเดียวกันนี้ แต่จะมีรายละเอียดของตัวเครื่องที่แตกต่างกันไป เนื่องจากมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 6.3 ต่อไป

6.3 เครื่องบำบัดน้ำเสียที่ทำการออกแบบ ดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 6.3 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเครื่อง ซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่และการทำงานได้ดังนี้

1. ถังน้ำเข้า เป็นที่รับน้ำเสียปริมาณ 60 ลิตร ซึ่งจะแยกตะกอนขนาดใหญ่และไขมันที่ลอยน้ำออกก่อนที่น้ำจะไหลเข้าไปยังตัวเครื่อง และมีเซนเซอร์ควบคุมการไหลของน้ำเสีย
2. ถังน้ำเกลือ เป็นที่เก็บน้ำเกลือและมีเซนเซอร์ควบคุมการไหลของน้ำเกลือ
3. ถังพักบน เป็นตัวผสมน้ำเสียที่เข้ามาในระบบกับน้ำเกลือ และมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของน้ำปริมาณ 5 ลิตร เข้าสู่ถังบำบัด
4. ถังบำบัด เป็นส่วนที่ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียโดยบรรจุเพลทไว้ภายในถังซึ่งปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะเกิดขึ้นที่ถังนี้ เมื่อบำบัดเสร็จแล้วน้ำจะไหลออกจากถังโดยการล้นออกไปเอง (Dynamic) โดยจะมีอัตราการไหลปริมาณ 3 ลิตรต่อนาที อย่างต่อเนื่องไปสู่ถังพักด้านล่างต่อไป ซึ่งถังบำบัดจะถูกออกแบบไว้ 2 ถัง เนื่องจากส่วนนี้จะมีการซ่อมบำรุงบ่อย สาเหตุเพราะแผ่นเพลทที่ใช้จะมีสารมาเกาะและจะมีการกร่อนตามอายุการใช้งานจึงต้องมีการเปลี่ยนหรือทำความสะอาด เพื่อให้ได้การทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นเครื่องจะทำงานได้ตลอดโดยอาจใช้ถังเดียว ในเวลาที่มีการซ่อมบำรุงและปริมาณน้ำเสียในระบบน้อยเกินไป

การทำงานของถังบำบัดน้ำเสีย มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

- 4.1 เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคลอรีน ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำเสีย
- 4.2 เกิดการดึงโลหะหนักให้มาติดที่แผ่นเพลท
- 4.3 การรวมตัวกันของตะกอนขนาดเล็กเพื่อให้เกิดการตกตะกอนที่ถังพักล่าง
- 4.4 สิ่งสกปรกขนาดเล็กในน้ำเสียจะเกาะที่แผ่นเพลท
5. ถังพักล่าง จะเป็นถังที่พักน้ำหลังจากที่ออกจากส่วนบำบัดซึ่งจะมีหน้าที่หลักๆ อยู่สองอย่างคือ
 - ลดอุณหภูมิของน้ำเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากถังบำบัด
 - ตกตะกอนสารที่แยกได้จากน้ำและปนออกมากับน้ำที่ออกมาจากถังบำบัดรวมถึงเป็นที่เก็บกักตะกอนไว้

6. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ให้กับแผ่นเพลทในถังบำบัดน้ำเสีย ซึ่งแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายไฟหรือตัดไฟจะมีชุดควบคุมปริมาณน้ำ คือถ้าปริมาณน้ำน้อยกว่า 3 ลิตร ก็จะตัดการจ่ายไฟ

7. บั๊มจะสูบน้ำจากถังพักล่างที่มีอัตราการไหลปริมาณ 3 ลิตรต่อนาที ไปสู่ถังกรองโดยมีชุดควบคุมการสูบน้ำ

8. ถังกรอง ทำหน้าที่กรองสารเจือปน ก่อนที่จะเข้าสู่ถังพักบนเพื่อวนรอบการทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ไม่เผยแพร่ไปยังภายนอกหน่วยงานต้นทาง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

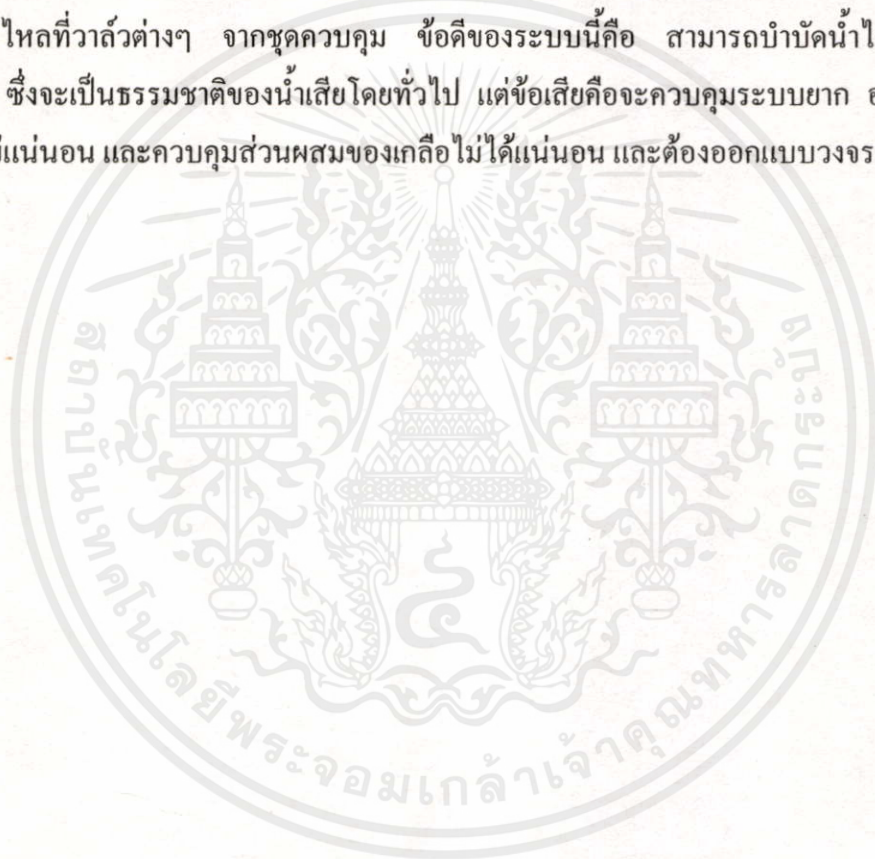
การทำงานของระบบโดยรวม ดังต่อไปนี้

- วงรอบปิด (CLOSE LOOP)

- วงรอบเปิด (OPEN LOOP)

1. วงรอบปิด จะทำงานโดยเติมน้ำเข้าไปในส่วนต่างๆ ของระบบให้เต็ม และทำงานโดยปิดวาล์วน้ำออกและเติมน้ำเกลือลงไปในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นเดินเครื่องตามเวลาที่ควบคุมเมื่อครบเวลาก็เปิดวาล์วน้ำออกและปิดวาล์วอีกครั้ง มีข้อดีคือจะได้ส่วนผสมของเกลือที่แน่นอนและได้คุณภาพน้ำเป็นไปตามที่กำหนด ส่วนข้อเสียคือจะเห็นได้ว่ามีบางส่วนของระบบที่ต้องมีปริมาณน้ำคงที่ไว้ เช่น ถังพักล้าง ถังบำบัด ทำให้น้ำที่บำบัดได้มีปริมาณที่น้อย

2. วงรอบเปิด จะทำงานโดยมีทั้งน้ำเข้า และน้ำออก ให้ไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยมีการควบคุมการไหลที่วาล์วต่างๆ จากชุดควบคุม ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถบำบัดน้ำได้ต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งเป็นธรรมชาติของน้ำเสียโดยทั่วไป แต่ข้อเสียคือจะควบคุมระบบยาก อาจได้คุณภาพน้ำที่ไม่แน่นอน และควบคุมส่วนผสมของเกลือไม่ได้แน่นอน และต้องออกแบบวงจรควบคุมที่ยุ่งยาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พร้อมทั้งพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

7.1 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัด

เวลาในการบำบัด	สี	กลิ่น	pH	ลักษณะทั่วไป	อุณหภูมิ (°C)
1. เริ่มต้น	น้ำตาลเข้ม	มีกลิ่นเหม็นมาก	8.05	ขุ่นมีตะกอนมาก	31.6
2. ผ่านการบำบัด 1 ชั่วโมง	เกือบใส	มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย	8.478	มีตะกอนเล็กน้อย	30.1
3. ผ่านการบำบัด 2 ชั่วโมง	ใส	ไม่มีกลิ่นเหม็น	8.135	ไม่มีตะกอน	29.6

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองหาค่าสารแขวนลอย, ค่าคลอไรด์ และ ค่าซีโอดี

เวลาในการบำบัด	สารแขวนลอย (mg/L)	ค่าคลอไรด์ (mg/L)	ค่าซีโอดี (mg/L)
1. เริ่มต้น	95.8	0.009766	604.8064
2. ผ่านการบำบัด 1 ชั่วโมง	57.5	0.009581	573.6569
3. ผ่านการบำบัด 2 ชั่วโมง	19.4	0.009253	314.9362

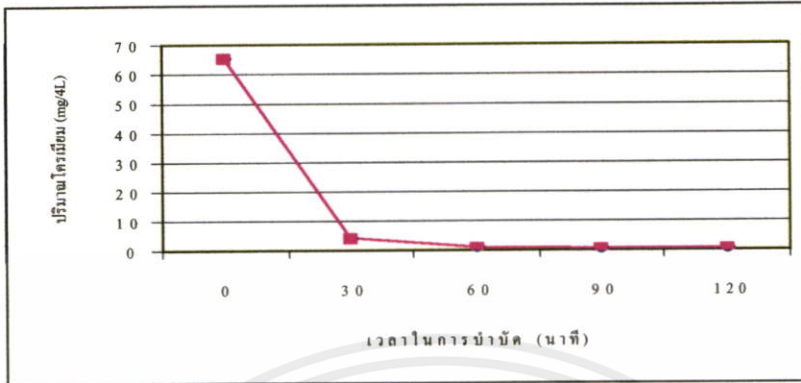
7.2 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 7.3 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

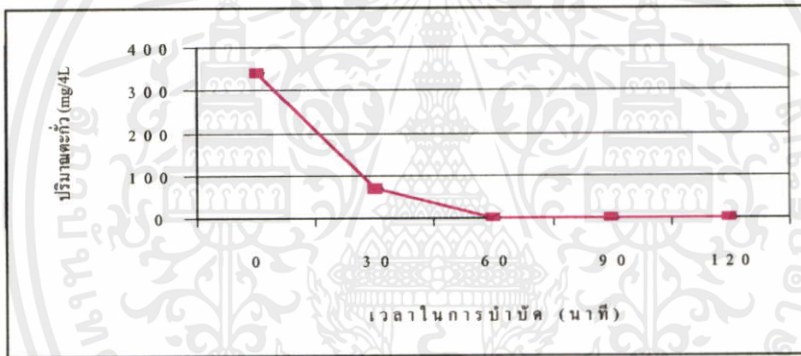
เวลาในการบำบัด / ปริมาณโลหะหนัก	โครเมียม (mg/4L)	ตะกั่ว (mg/4L)	ทองแดง (mg/4L)
1. เริ่มต้น	65.4	342	205
2. ผ่านการบำบัด 1/2 ชั่วโมง	4.1	70	21.6
3. ผ่านการบำบัด 1 ชั่วโมง	0.72	1.13	5.5
4. ผ่านการบำบัด 1 1/2 ชั่วโมง	0.64	0.83	0.3
5. ผ่านการบำบัด 2 ชั่วโมง	0.54	0.75	ไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

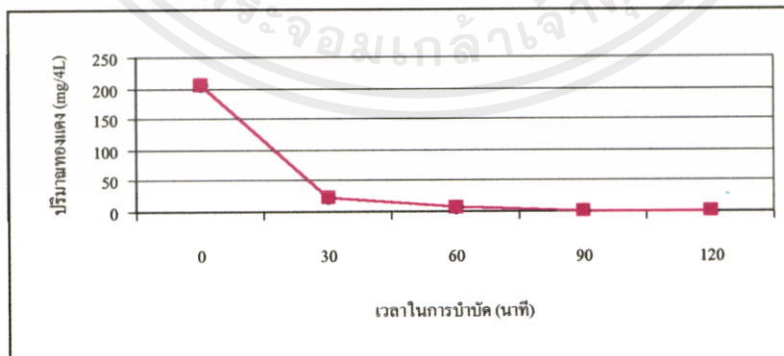
กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับ ปริมาณ โลหะ โครเมียม ตะกั่ว และทองแดง เมื่อบำบัด โดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 7.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับปริมาณ โลหะ โครเมียม เมื่อบำบัด โดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 7.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กับปริมาณ โลหะตะกั่ว เมื่อบำบัด โดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 7.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กับปริมาณ โลหะทองแดง เมื่อบำบัด โดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การคิดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 60 ลิตรด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ โดยต่อมิเตอร์เพื่อทำการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งจะได้ผลดังนี้

เมื่อผ่านการบำบัด 1 ชั่วโมง มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าได้ 0.13 kWh

เพราะฉะนั้นเมื่อผ่านการบำบัด 2 ชั่วโมง มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าได้ 0.26 kWh จึงจะได้ น้ำที่มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้

ดังนั้นเมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร มิเตอร์วัดพลังงานได้ 4.33 kWh

เพราะฉะนั้นการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 4.33 kWh และเมื่อคิดค่าไฟฟ้ายูนิิตละ 2 บาท จะเสียค่าไฟฟ้า $(4.33 \times 2) = 8.66$ บาท / ลูกบาศก์เมตร

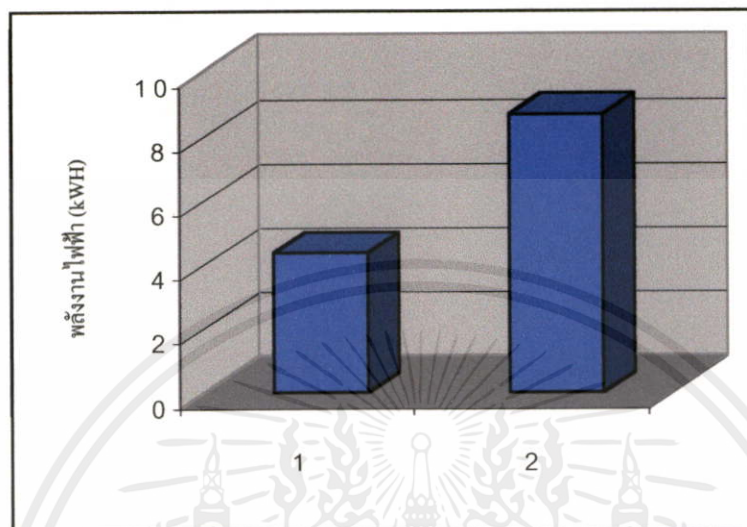
7.4 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร ระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยใช้การเติมอากาศ

ตารางที่ 7.4 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร ระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยใช้การเติมอากาศ

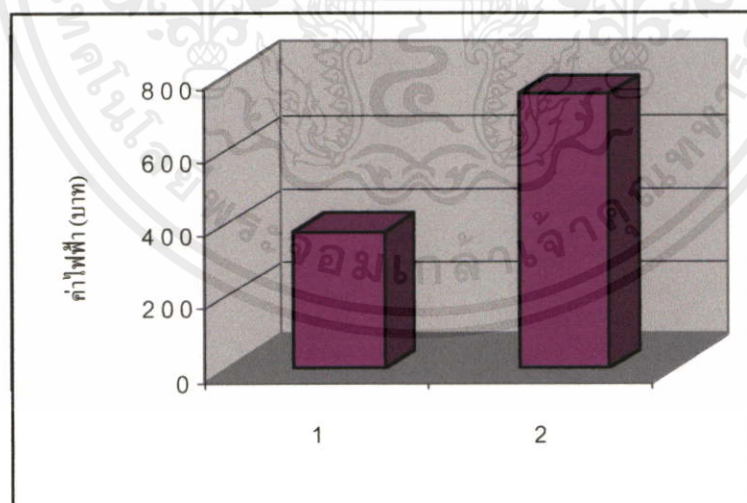
ข้อเปรียบเทียบ	อิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ	เติมอากาศ
พลังงานที่ใช้, หน่วย kWh	4.33	373
ค่าไฟฟ้า, บาท	8.66	746

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเล็กโตรลิติกแผ่นราบ กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเติมอากาศ ดังภาพที่ 7.4 และ 7.5



ภาพที่ 7.4 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า (1 คือเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเล็กโตรลิติกแผ่นราบ และ 2 คือเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเติมอากาศ)



ภาพที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า (1 คือเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเล็กโตรลิติกแผ่นราบ และ 2 คือเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเติมอากาศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้ได้ทราบถึงองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรดแผ่นราบ ซึ่งมีอยู่หลายประการด้วยกัน คือ

1. ขนาดเพลท
2. ระยะห่างระหว่างเพลท
3. แรงดันที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
4. กระแสไฟฟ้าในขณะบำบัดน้ำเสีย
5. เวลาที่ใช้ในการบำบัด

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบสำคัญนี้แล้วจะได้นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งได้เลือกแผ่นเพลทอะลูมิเนียมเพราะค่า E° (ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์) ของอะลูมิเนียมมีค่าน้อยกว่าโลหะชนิดอื่น ดังนั้นเพลทอะลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จ่ายอิเล็กตรอน) ส่วนโลหะชนิดอื่นในน้ำเสียจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) ทำให้เกิดโลหะหนักต่างๆ เช่น โครเมียม ตะกั่ว และทองแดงมาเกาะที่แผ่นเพลทอะลูมิเนียม โดยมีขนาดของแผ่นเพลทคือ 9*6 ตารางนิ้วเพราะเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดซึ่งสามารถวางลงในถังบำบัดได้ และมีอัตราการดึงโลหะหนักได้มากที่สุด ระยะห่างระหว่างเพลท 1.5 นิ้วเพราะจากการทดลองเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ และนำเครื่องบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้นนี้ไปบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนปริมาณ 60 ลิตรและน้ำเสียจากโรงงาน

อุตสาหกรรม และนำน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ผ่านการบำบัดมาตรวจสอบหาค่าซีโอดี คลอไรด์ สารแขวนลอย อุณหภูมิ และพีเอช ซึ่งผลที่ได้คือ ต้องใช้เวลาในการบำบัด 2 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่คือ โครเมียม ตะกั่ว และทองแดง มาผ่านการบำบัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลที่ได้คือปริมาณโลหะโครเมียม ตะกั่ว ลดลง และปริมาณโลหะทองแดงไม่เหลืออยู่ในน้ำเสีย การเติมน้ำเกลือลงไปจนถึงบำบัดที่ประกอบด้วยประจุไฟฟ้าจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนจากน้ำเกลือเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคลอรีน จะทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคต่างๆ เช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา พร้อมทั้งเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า เมื่อใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าลงได้ 98% เทียบกับระบบการเติมอากาศ เมื่อบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ขณะเดียวกันต้นทุนที่ใช้ในการสร้างบ่อบำบัด และบ่อพักก็จะลดขนาดและต้นทุนลงได้มากกว่า 50%

ดังนั้นเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็น

1. เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ
2. เครื่องสกัดทองแดงจากแร่ธรรมชาติ
3. เครื่องกลั่นน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืด
4. เครื่องชุบโลหะ เป็นต้น

ข้อดีของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า มีดังนี้

1. สามารถบำบัดน้ำเสียหลาย ๆ ชนิดได้ เช่น น้ำเสียจากแหล่งชุมชน ฯลฯ
2. คุณภาพของน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้
3. ใช้พื้นที่ขนาดเล็กในการบำบัดน้ำเสีย
4. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบคุณภาพน้อยมาก
5. มีความง่ายในการเดินระบบ และมีความปลอดภัยสูง
6. สามารถนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือกากที่ต้องกำจัด

ดังนั้นถ้าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ เครื่องบำบัดน้ำเสียนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของประเทศลงเป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดยังได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยทำให้มลพิษทางน้ำในประเทศลดลงอีกด้วย

แนวทางแก้ไขพัฒนา

ในเครื่องบำบัดน้ำเสียที่จัดสร้างขึ้นนี้ควรที่จะมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ได้นำมาใช้ทำแผ่นเพลทในถังบำบัดซึ่งยังเป็นวัสดุที่ราคาสูงและหาได้ง่าย เมื่อนำไปใช้งานจะเกิดการสึกหรอมาก ต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง จากการศึกษาพบว่าในเครื่องมือที่ทำงานในลักษณะเดียวกันนี้ ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ, เครื่องสกัดทองแดงจากแร่ธรรมชาติ จะใช้วัสดุที่มีราคาสูงมาก ซึ่งใช้งานได้ดีกว่า เช่น ไททาเนียม, พลาทินัม, แกรไฟต์ ดังนั้นในการใช้งานจริง ควรจะเปลี่ยนชนิดของสารที่นำมาใช้ทำเพลทเสียใหม่ และในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ควรจะใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ไฟฟ้ามาแทนการใช้สารเคมี เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2537. การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อมอาคาร. เล่มที่ 2.

กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย 2. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย 3. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2530. หลักเคมี 1,2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ณรงค์ วุฑฒเสถียร. 2540. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส จำกัด.

แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์ วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. 2538. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2539. เคมีสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

สมบูรณ์ มาลานนท์ และสมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย. แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง. กรุงเทพฯ : หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

สุวัฒน์ ดัน. 2538. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัท เอนเทคไทย จำกัด.

Chrysis, G. 1989. **High-Frequency Switching Power Supplies-Theory and Design**. New York : McGraw - Hill.

Edward, J. Martin and Edward, T. Martin. **Technologies for Small Water and Wastewater System**. New York.

Nikoladze, G. et. al. **Water Treatment for Public and Industrial Supply**. Moscow.

Gopal, K.D. 1989. **Power Semiconductor Controller drive**. Prentice - Hall.

Rump, H.H. and Krist, H. **Laboratory Manual for the Examination of Water , Wastewater , and Soil**. New York.

Rashid, M.H. 1988. **Power Electronics Circuit Devices and Application**. Prentice - Hall International.

Nicholas, P.C. and Paul, N.C. **Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications**. New Jersey.

Pressman, A.I. 1991. **Switching Power Supply Design**. McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุคับปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ข้อเปรียบเทียบการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์แผ่นราบ
กับการเติมอากาศ

ภาคผนวก ข. ภาพส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในระวางน้ำ

ภาคผนวก ค. โครงสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

ภาคผนวก ง. ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด และบำบัดด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

ภาคผนวก จ. รายการในการตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
และน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน

ภาคผนวก ฉ. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราช
บัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจาก
โรงงาน

ภาคผนวก ช. Wastewater Pathogens

ภาคผนวก ซ. ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เจือปนในน้ำเสีย

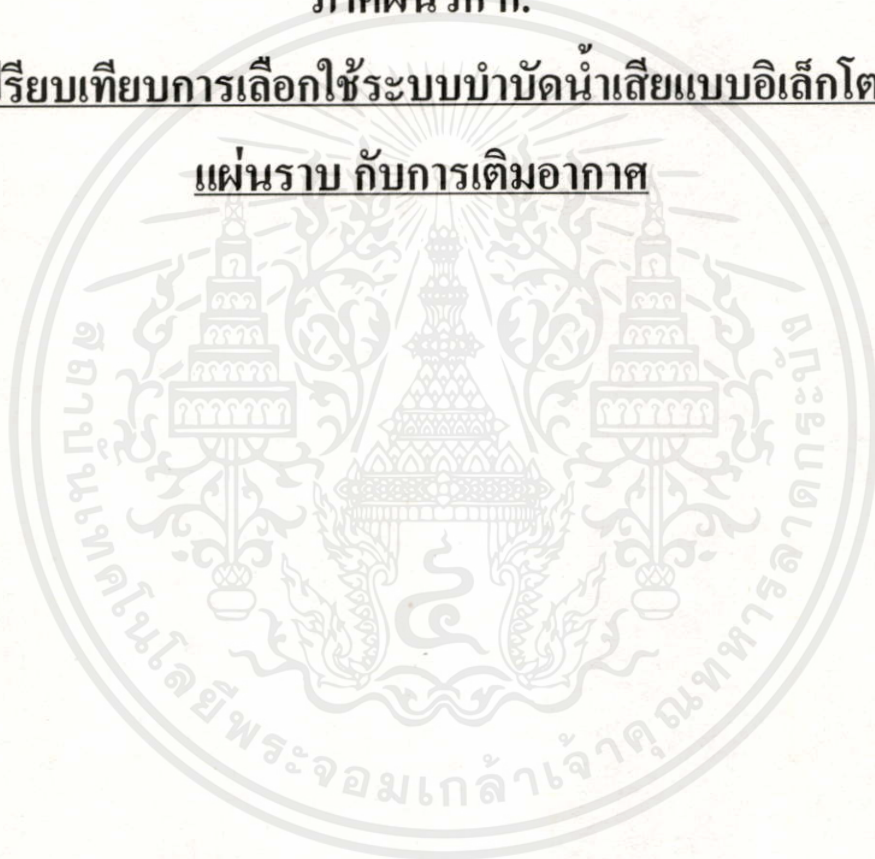
ภาคผนวก ฅ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อเปรียบเทียบการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอเล็กโตรด

แผ่นราบ กับการเติมอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-1 ข้อเปรียบเทียบการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอเล็กโตรดแผ่นราบกับการเติมอากาศ

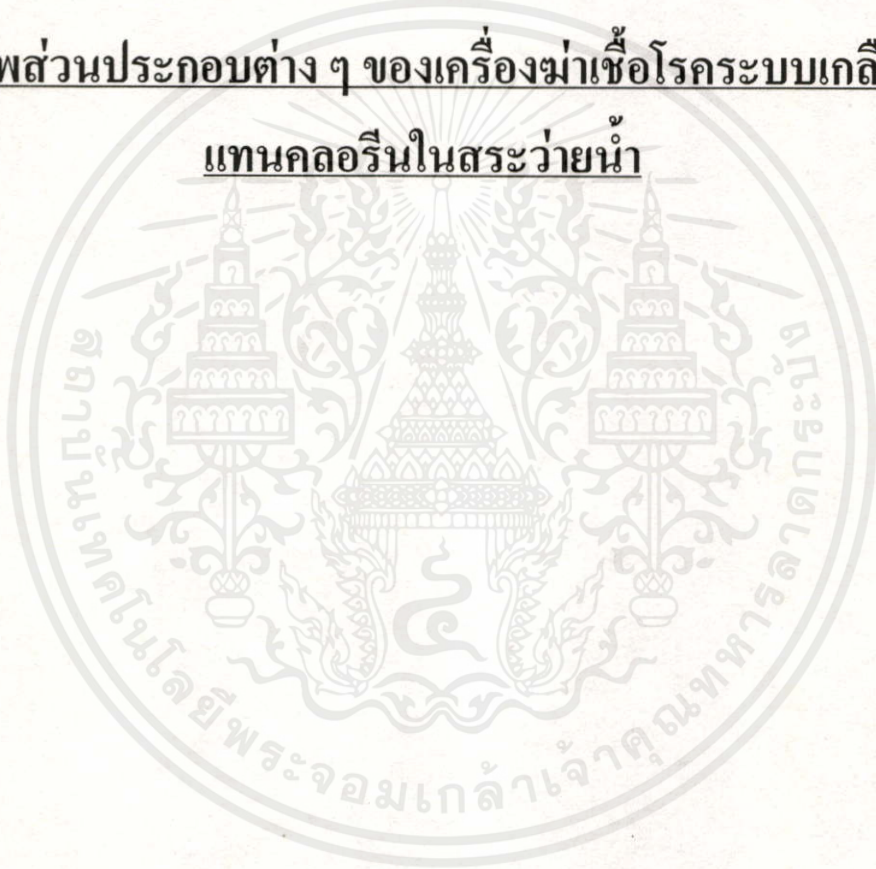
ข้อเปรียบเทียบ	อเล็กโตรดแผ่นราบ	เติมอากาศ
1. การก่อสร้าง	ง่าย	ยาก
2. ราคาก่อสร้าง	ต่ำ	สูง
3. การเดินระบบ		
- อาศัยเทคนิค	น้อย	ปานกลาง
- ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	สูง
4. การดูแลรักษา	น้อย	มาก
5. ผู้ชำนาญมาตรวจเป็นระยะ	ปานกลาง	ปานกลาง
6. การบำบัดก่อนเข้าระบบ	กรอง/ดักไขมัน	กรอง/ดักไขมัน
7. คุณภาพน้ำทิ้ง	ดี	ดี
8. การปล่อยน้ำทิ้ง	ทางน้ำสาธารณะ	ทางน้ำสาธารณะ
9. เหมาะกับบ้าน		
- ขนาด	ทุกขนาด	ใหญ่มาก
- รายได้	น้อย	สูง
- สภาพพื้นที่	ทุกพื้นที่	ทุกพื้นที่
10. น้ำทิ้งที่ใช้ในการบำบัด	ทุกชนิด	ทุกชนิด
11. เวลาที่ใช้ในการบำบัด	น้อย	มาก
12. พื้นที่ที่ใช้ในการบำบัด	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่
13. พลังงานไฟฟ้าในการบำบัด	น้อย	สูง
14. ค่าไฟฟ้าในการบำบัด	น้อย	สูง
15. ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัด	ต่ำ	สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่จํากรณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

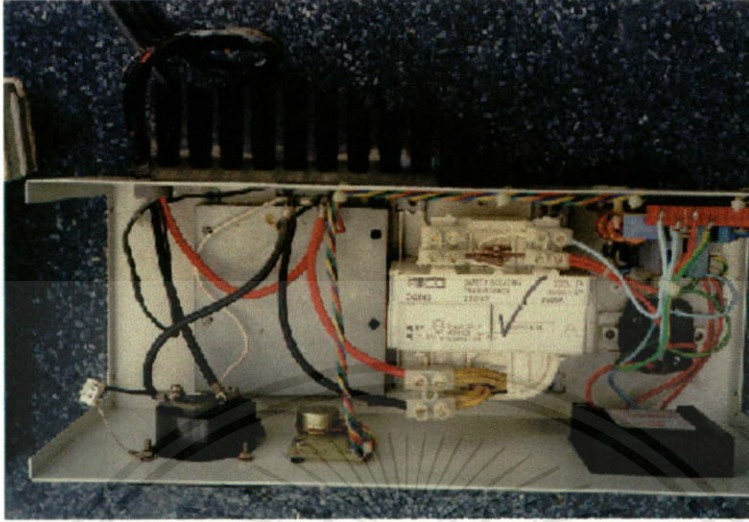
ภาพส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องฆ่าเชื้อโรกระบบเกลือ

แท่นคลอรีนในสระว่ายน้ำ



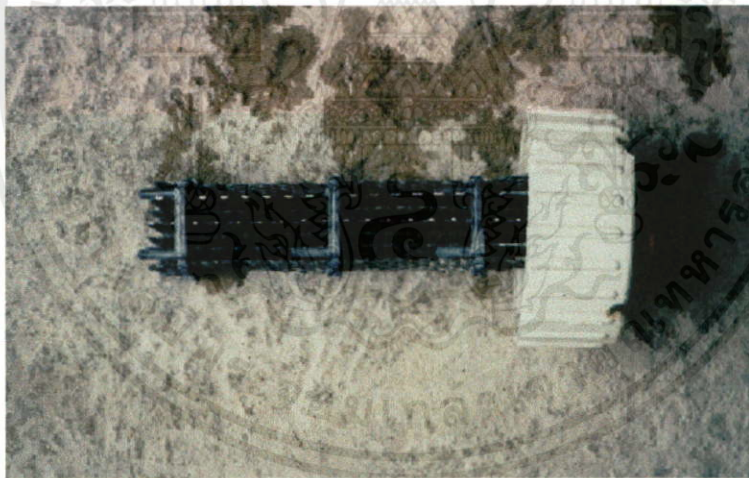
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงสร้างภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบลิเนียร์ให้กับแผ่นเพลทพลาทินัม



ภาพที่ ผ - 1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบลิเนียร์ให้กับแผ่นเพลทพลาทินัม

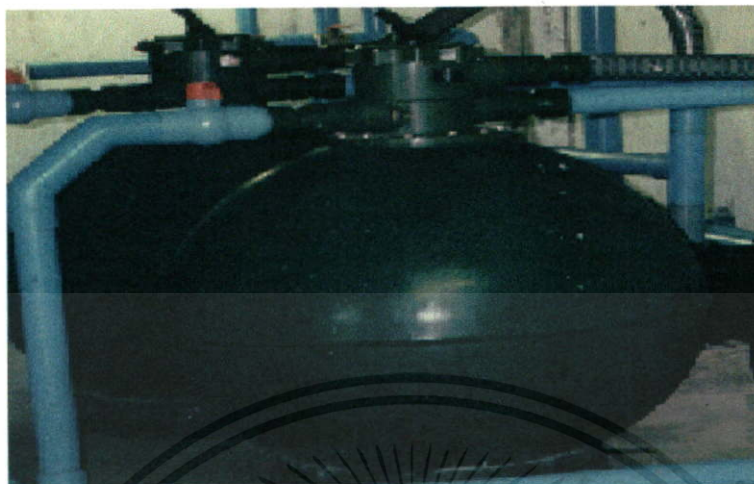
2. โครงสร้างของแผ่นเพลทพลาทินัม



ภาพที่ ผ - 2 แผ่นเพลทพลาทินัม

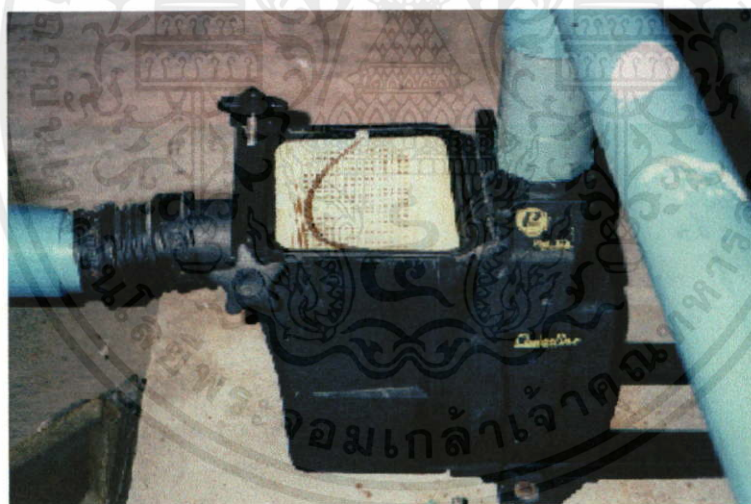
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างถังกรอง



ภาพที่ ผ-3 ถังกรอง

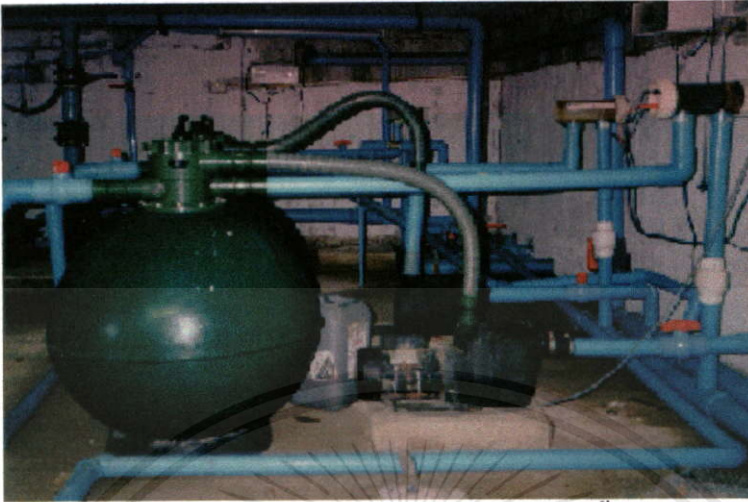
4. โครงสร้างตะแกรงดักขยะขั้นต้นก่อนเข้าถังกรอง



ภาพที่ ผ-4 ตะแกรงดักขยะขั้นต้นก่อนเข้าถังกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โครงสร้างโดยรวมของเครื่องฆ่าเชื้อโรกระบบเกลือแทนคลอรีนในสระว่ายน้ำ



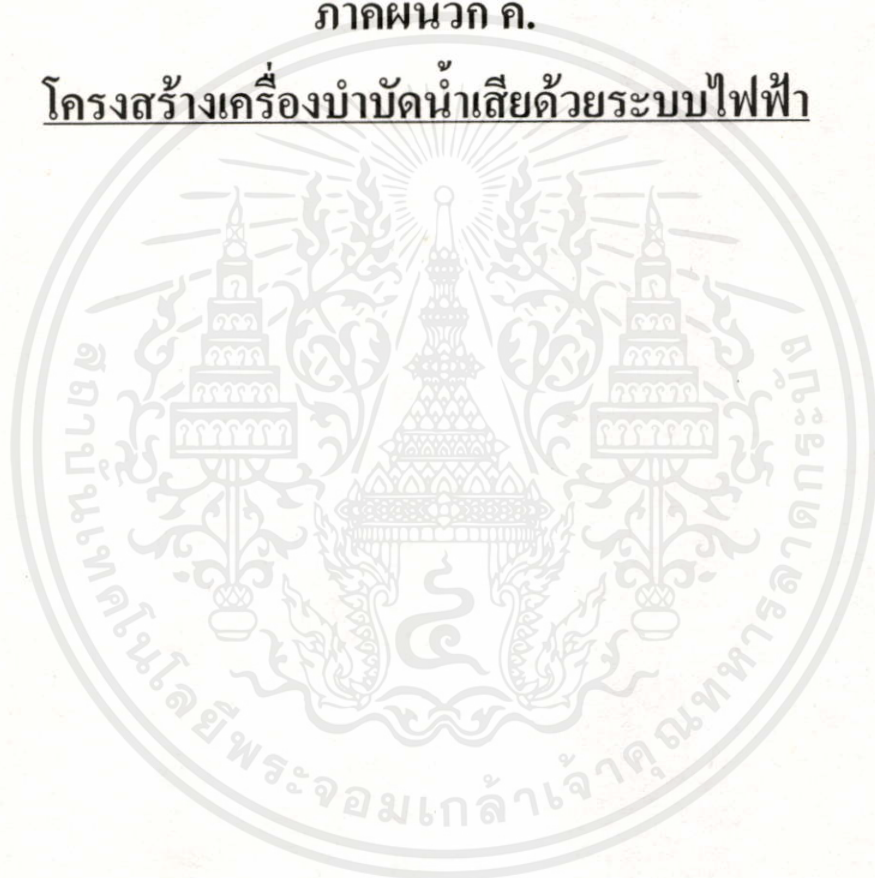
ภาพที่ ผ - 5 เครื่องฆ่าเชื้อโรกระบบเกลือแทนคลอรีนในสระว่ายน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

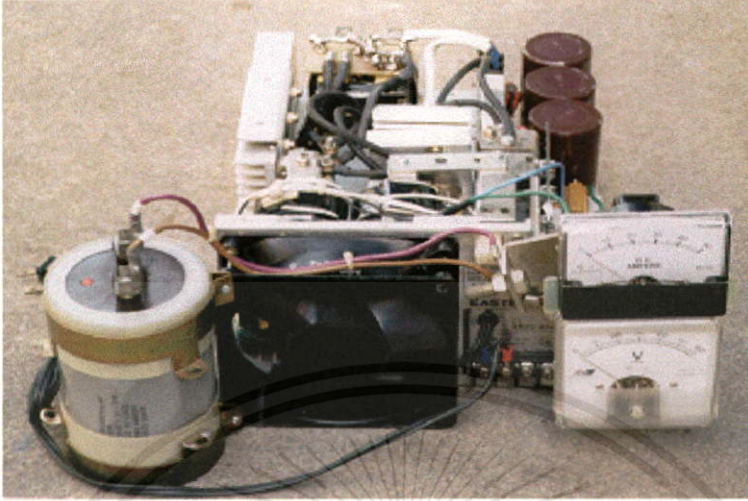
ภาคผนวก ค.

โครงสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



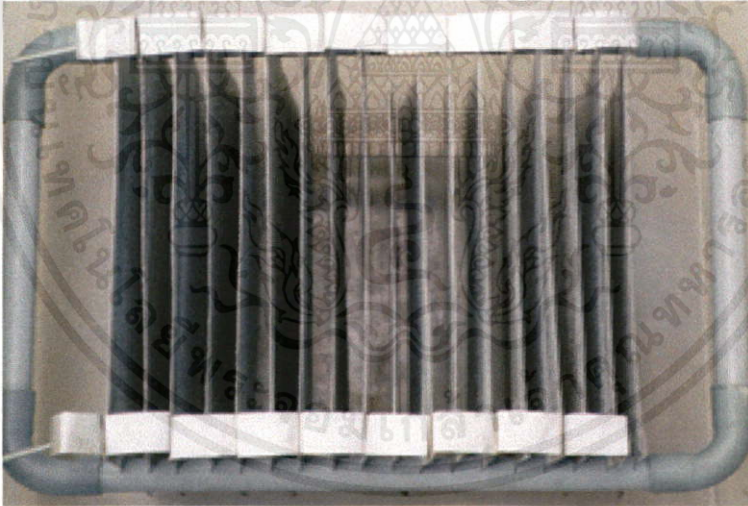
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง



ภาพที่ ผ - 6 โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง

2. โครงสร้างแผ่นเพลทอะลูมิเนียม



ภาพที่ ผ - 7 โครงสร้างแผ่นเพลทอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างถังกรองที่มีแผ่นกรองอยู่ภายใน



ภาพที่ ผ - 8 โครงสร้างถังกรองที่มีแผ่นกรองอยู่ภายใน

4. ภาพถังบำบัดขณะทำงาน



ภาพที่ ผ - 9 ถังบำบัดขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โครงสร้างโดยรวมของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



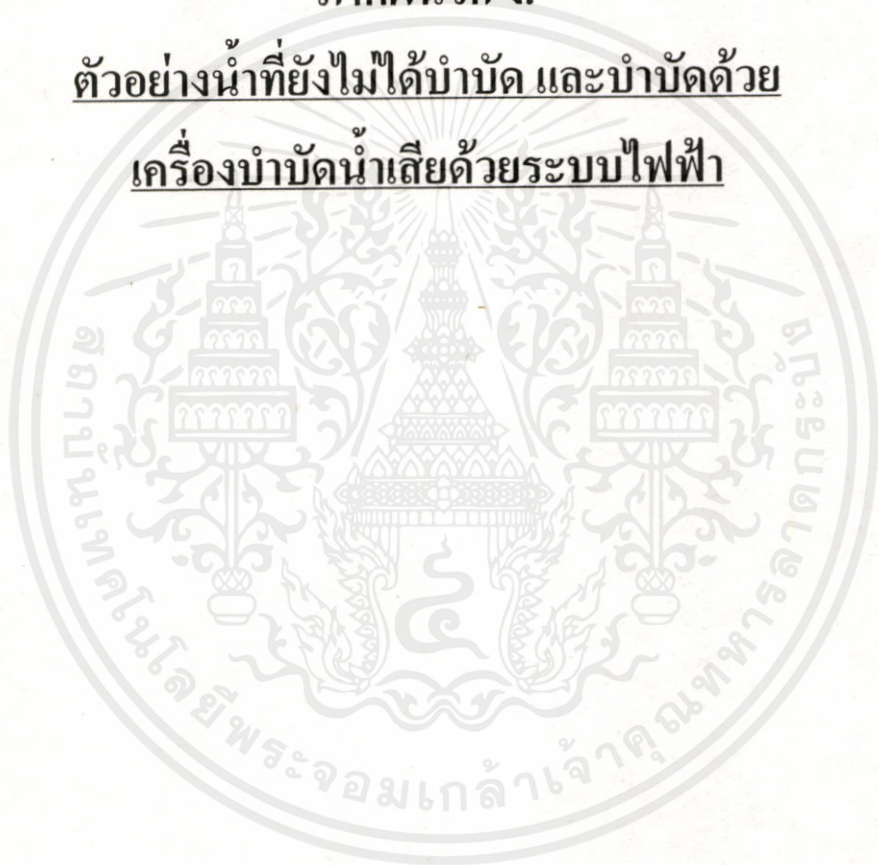
ภาพที่ ผ - 10 โครงสร้างโดยรวมของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด และบำบัดด้วย

เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด



ภาพที่ ผ - 11 ตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้บำบัด

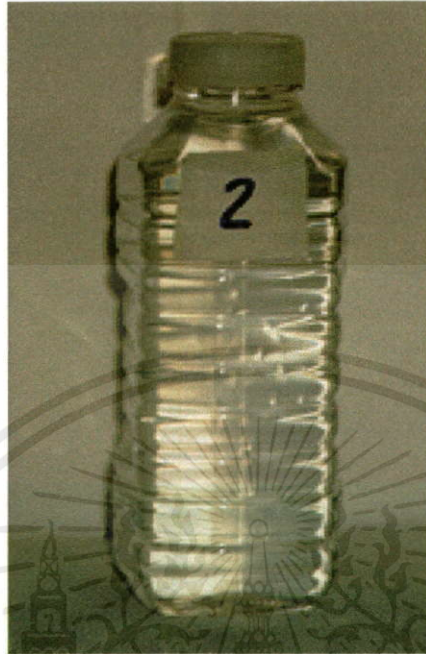
2. ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 1 ชั่วโมง



ภาพที่ ผ - 12 ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 2 ชั่วโมง

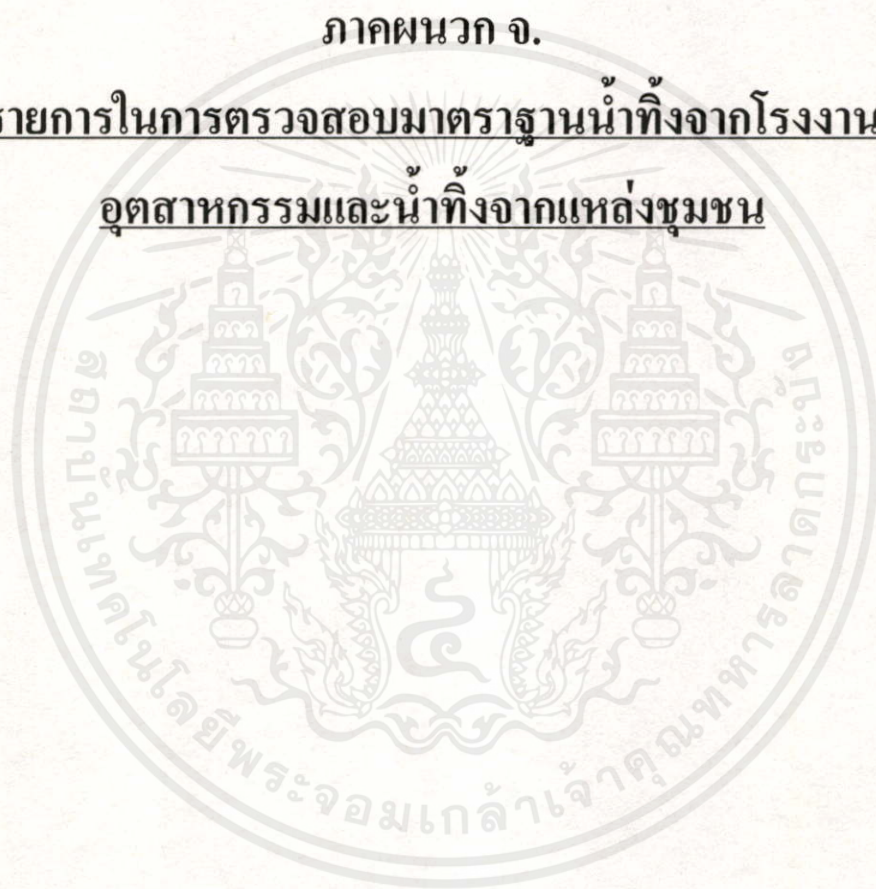


ภาพที่ ผ - 13 ตัวอย่างน้ำที่บำบัดแล้ว 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

รายการในการตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน
อุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการในการตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน

1. Suspended Solid (SS) (สารแขวนลอย)
2. COD (Chemical Oxygen Demand)
3. pH
4. Cl⁻ (คลอไรด์)
5. T (อุณหภูมิ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส)

1. ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids)

หมายถึงสิ่งเจือปนที่มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ที่อยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ รวมทั้งที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอย (พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวนิชย์, 2539)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกกรองใยแก้ว No.GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 cm.
2. Buchner funnel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 cm. ความจุ 100 มิลลิลิตร
3. เครื่องดูด (Suction apparatus)
4. ตู้อบความร้อน (Drying oven) 50-180 องศาเซลเซียส
5. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
6. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance)
7. ภาชนะทนความร้อน สำหรับใส่กระจกกรองเช่น ถ้วยอะลูมิเนียม กระจกนาฬิกาแก้ว

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระจกกรองและถ้วยอะลูมิเนียม ให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชม. ปลดใยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องใน เดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักรวม
2. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะให้ค่าของแข็งที่แขวนลอย ออกมาโดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มิลลิกรัม

3. วางกระจกกรองลงใน Buchner funnel ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูด (Suction apparatus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อการดำเนินงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศในต่างประเทศโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก เพื่อให้ติดแน่นกับ funnel
5. เทตัวอย่างน้ำตามปริมาณที่ต้องการ ผ่านกระดาษกรอง โดยอาศัยแรงดูด (Suction force) จากเครื่องดูดช่วย
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็ง ที่อยู่ข้าง funnel จนหมด ปล่อยให้แรงดูด ดูดจนแห้ง
7. ปิดเครื่องดูด ดึงท่อต่อกับ Suction flask ออกแล้วใช้ Forcep คีบกระดาษกรองใส่ถ้วยอะลูมิเนียม นำไปอบในตู้อบ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชม.
8. ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องใน Desicator แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

mg/l ปริมาณสารแขวนลอย (น้ำหนักของตะกอน (mg) x 1000) / ml.ของตัวอย่างน้ำที่ใช้

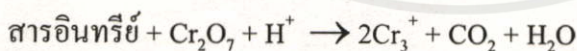
2. COD (Chemical Oxygen Demand)

ความหมาย

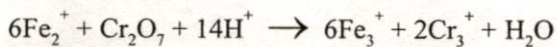
COD คือค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งที่ทำได้โดยวิธีทางเคมี

หลักการทั่วไป

การวิเคราะห์ค่า COD เป็นการวัดความสกปรกของน้ำทิ้ง โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจน ที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ โดยการกลั่นกลับคืน (reflux) น้ำทิ้งกับสารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง คือโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในสารละลายที่เป็นกรด ดังนั้น น้ำทิ้งโดยทั่วไปจะมีค่า COD สูงกว่า BOD เสมอ ปฏิกริยาเกิดขึ้นแสดงในสมการต่อไปนี้



หลังจากการกลั่นประมาณชั่วโมงครึ่ง วิเคราะห์ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ (เนื่องจากระหว่างการกลั่น $K_2Cr_2O_7$ บางส่วนจะถูกใช้ไปในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์) ด้วยการไตเตรทกับสารละลาย ferrous ammonium sulfate โดยใช้ ferroin เป็นตัวอินดิเคเตอร์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงโดยสมการต่อไปนี้



เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นแบบไหลกลับคืน (reflux apparatus) ประกอบด้วย

1. ขวดก้นกลม (Round-bottom flask) หรือขวดกลมก้นแบน (Flat-bottom flask) ขนาดบรรจุ 250 ml.
2. เครื่องควบแน่น (Condensers) ขนาดยาว 45 cm.
3. เตาชนิด hot plate หรือ heating mantle ซึ่งสามารถให้กำลังอย่างน้อย 9 วัตต์/ตารางนิ้ว ต่อพื้นที่ผิวของ flask

รีเอเจนท์

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 0.25 N ละลาย ($K_2Cr_2O_7$) ที่อบแห้งดีแล้ว 12.259 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟามิก 0.12 กรัม แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. กรดซัลฟูริกรีเอเจนต์ (Sulfuric acid reagent) ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น บรรจุขวดขนาด 9 ปอนด์ (2.65 ลิตร) เนื่องจาก Ag_2SO_4 ละลายยากอาจต้องใช้เวลานาน 1-2 วัน จึงจะละลายหมด
3. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตไดเตรนต์ (Standard ferrous-ammonium sulfate titrant) 0.1 N ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) ชนิด เอ อาร์ (analytical grade crystals) 39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20ml. ทำให้เย็นแล้วเจือจางจนเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งที่ใช้ โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

การหาความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

เจือจางสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 ml. ให้มีปริมาตรเป็น 100 ml เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (รีเอเจนท์ข้อ 2) 30 ml. ตั้งทิ้งในที่มืด 5 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วนำมาไตเตรท กับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอโรอิน (ferroin) จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

$$\text{นอร์มัลลิตี (N)} = (\text{ml. } K_2Cr_2O_7 \times 0.25) / (\text{ml. } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution) ละลาย 1,10-Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม พร้อมกับ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 100 ml.

5. เมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดเป็นผลึกบริสุทธิ์ ใช้เป็นตัวกำจัดอนุภาคคลอไรด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาพอดีกับอนุภาคคลอไรด์ ได้ในอัตราส่วน $HgSO_4 : Cl = 10:1$ แม้มีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยหลังเติม $HgSO_4$ ก็ไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์แต่อย่างใด

วิธีการวิเคราะห์

1. ใส $HgSO_4$ 0.4 กรัม และลูกแก้ว 5-10 เม็ดลงใน flask
2. เติมห่วงน้ำ 20 ml. หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 20 ml.
3. เติมสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 0.25N. 10 ml.
4. ค่อยๆ เติม H_2SO_4 เข้มข้น (รีเอเจนท์ข้อ 2) ลงไป 30 ml.
5. เขย่าสารผสมให้เข้ากันดี กลั่นเป็นเวลาประมาณ 2 ชม. ปล่อยให้เย็น แล้วฉีดล้างส่วนที่ค้างอยู่ในเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่น ก่อนถอด flask ออก
6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ส่วนผสมมีปริมาตรเป็น 140 ml. โดยประมาณ ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
7. ตีเตรทสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จนกระทั่งส่วนผสมเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงแสดงว่าถึงจุดยุติ
8. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 20 ml. แทนตัวอย่างน้ำและทำเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ Reflux พร้อมกันไป

การคำนวณ

$$mg/l \text{ COD} = ((a-b) \times c \times 8000) / (\text{ml. ของตัวอย่างน้ำ})$$

เมื่อ a = ml. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้กับ blank

b = ml. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ

c = นอร์มัลลิตีของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

เอกสารนี้ **หมายเหตุ** กรดซัลฟามิก ใต้ลงในสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไดโครเมต เพื่อกำจัดไนไตรต์ เนื่องจากไนไตรต์ในโตรเจน 1 mg. จะให้ค่า COD 1.14 mg.

กรดซัลฟิวริก 10 mg. กำจัดไนไตรต์ไนโตรเจนได้ 1 mg. กรดซัลฟามิก 0.12 กรัม ในสารละลายไฮโครเมต 1 ลิตร จะสามารถกำจัดไนไตรต์ไนโตรเจนได้ถึง 6 mg/l หรือ 0.12 mg/20 cm³ ในกรณีที่ไนไตรต์ไนโตรเจน มีความเข้มข้นมากกว่า 6 mg/l ต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ

ในการที่เติมกรดซัลฟามิกลงไป ในสารละลายโพแทสเซียมไฮโครเมตเป็นการสะควกและไม้ ทำให้ค่า COD ลดไป เนื่องจากจะต้องทำ blank จากน้ำกลั่นอยู่แล้ว

3. ค่า pH

เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของโปรตอน [H⁺] ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

เมื่อ [H⁺] = ความเข้มข้นของ H⁺ มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตร

แต่ในทางปฏิบัติ ค่า pH แสดงถึงความเป็นกรดเป็นเบสของน้ำที่ น้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นเบสจะมีค่า pH มากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่า pH เท่ากับ 7

หลักการทั่วไป

การวัดค่า pH ทำได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้กระดาษ pH ที่สีเปลี่ยนไปตามค่า pH เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน แต่วิธีนี้ให้ pH โดยประมาณ หากต้องการค่า pH ที่ละเอียดต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pH meter

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัด pH (pH meter)
2. คาโลเมอีเล็กโตรด (Calomel electrode)
3. เยื่อแก้วอีเล็กโตรด (Glass membrane electrode)

วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเยื่อแก้วอีเล็กโตรด และคาโลเมอีเล็กโตรดให้สะอาด ใช้กระดาษทดสอบ ชุบน้ำให้แห้ง แล้วสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับค่ามาตรฐานเครื่องมือด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่า pH ใกล้เคียง กับค่าของตัวอย่างน้ำที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโตรดอีกครั้ง ชับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่า pH ของตัวอย่างน้ำ

4. การทดสอบหาคลอไรด์

4.1 Argentometric or Mohr Method

วิธีนี้ใช้หาคลอไรด์ได้ดีในช่วงความเข้มข้น 15-10 มิลลิกรัม คลอไรด์ในน้ำ ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ข้อเสียของวิธีนี้คือจุดสีของ end point ยากต้องอาศัยประสบการณ์คือทำบ่อยๆ ส่วนข้อดีคือทำงานง่ายไม่ยุ่งยาก น้ำยาเคมีที่ใช้ก็น้อย

ตัวขัดขวางต่อการเกิดสีของ Ag_2CrO_4 ต่อ SO_3^{2-} ซึ่งแก้ไขได้โดยการเติม H_2O_2 ลงไป เพื่อออกซิไดซ์ SO_3^{2-} ให้เป็น SO_4^{2-} ซึ่งไม่ขัดขวางต่อการเกิดสี

เครื่องมือ

1. ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร 3 ใบ
2. บuret ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร 1 ใบ

น้ำยาเคมี

1. โปตัสเซียมโครเมตอินดิเคเตอร์ : ละลาย K_2CrO_4 50 กรัม ในน้ำเล็กน้อย เติม AgNO_3 จนกระทั่งได้ตะกอนสีแดงเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง กรองและคติน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
2. สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรท 0.0141 นอร์มัล : 2.395 กรัม AgNO_3 ในน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร ให้ standardize ด้วย 0.0141 นอร์มัล โซเดียมคลอไรด์ก่อนใช้ทุกครั้ง 1 มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรท 0.0141 นอร์มัล = 500 ไมโครกรัมคลอไรด์
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 นอร์มัล : ละลาย 824.1 มิลลิกรัม NaCl (อบให้แห้งก่อน) ในน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร
4. น้ำยาพิเศษ สำหรับกำจัดตัวขัดขวาง

4.1 Aluminium hydroxide suspension : ละลาย 125 กรัม ของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

ซัลเฟต, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ หรือ อะลูมิเนียมแอมโมเนียมซัลเฟต, $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น 1 ลิตร อุ่นที่ และเติม 55 มิลลิลิตรของ conc. NH_4OH ช้าๆ พร้อมกับคนตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง และถ่ายลงขวด

- 4.2 ฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์
 4.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล
 4.4 กรดกำมะถัน 1 นอร์มัล
 4.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 %

วิธีทำ

ก. การเตรียมตัวอย่างน้ำ : ให้ใช้ตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร หรือเลือกปริมาตรที่เหมาะสม ถ้าน้ำมีสีสูงเติม $\text{Al}(\text{OH})_3$ 3 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งให้ตกตะกอน กรอง ล้างตะกอนรวมน้ำ ล้างกับ filtrate เข้าด้วยกัน

ถ้ามี S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ทำให้น้ำนั้นเป็นด่างต่อฟีนอล์ฟทาลินด้วย NaOH เติม H_2O_2 1 มิลลิลิตร คน และทำให้เป็นกลางด้วย H_2SO_4

ข. การทิตเรต : ทิตเรตตัวอย่างน้ำในช่วงพีเอช 7-10 โดยปรับพีเอชของน้ำด้วย NaOH หรือ H_2SO_4 เติม K_2CrO_4 1 มิลลิลิตร ทิตเรตด้วย AgNO_3 จนกระทั่งได้สีเหลืองอมส้มซึ่งถือว่าเป็น end point ทำ blank ทุกครั้งโดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง ค่า blank ควรอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 มิลลิลิตร

การคำนวณ

$$\text{mg/l Cl}^- = ((A-B) \times N \times 35450) / (\text{ml sample})$$

A = มิลลิลิตรของ AgNO_3 ที่ใช้ในการทิตเรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของ AgNO_3 ที่ใช้ในการทิตเรต blank

N = นอร์มัลลิตีของ AgNO_3

อาจจะบอกผลของคลอไรด์ในรูป NaCl ได้โดยใช้สูตร

$$\text{mg/l NaCl} = \text{mg/l Cl}^- \times 1.65$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตาม
ความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณ
ลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่ระบุว่า "ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนี้มีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทึดเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่า ทึดเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่

กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity)

มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า พีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า พีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ
ได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจ
แตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตาม
ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

- 4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.2 ซีเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
 - 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1
มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า
0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอรัมัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี
- (11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- (12) สี ต้องไม่เป็นสีผิดสังเกต
- (13) กลิ่น ต้องไม่เป็นสีผิดสังเกต

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

- (1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
- (2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
- (3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โคบอลต์ ทองแดง แคดเมียม แมงกานีส ตะกั่ว นิกเกิล และนิกเกิลไดออกไซด์ ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอมบรอฟชั่น สเปกโตรโฟโตเมตริก (Atomic Absorption Spectrophotometry) วิธีไดเรกต์แอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อีมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัมพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอมบรอฟชั่น สเปกโตรโฟโตเมตริก (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อีมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัมพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอมบรอฟชั่น โคลด์ เวปเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซิลิเกต ให้ใช้วิธีการไทเทรต (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไพริดีน และตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอสฟอรัส ให้ใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบพีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้บ่งชี้หรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าบีโอดีและบีโอดี ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของ บีโอดีและบีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) บีโอดี 20 อนุภาคเซลล์เช็ส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าที่เคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือ
วิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for
the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association,
American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐ
อเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

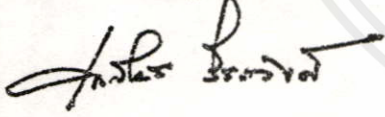
ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสว่างค์

(นายไชยวัฒน์ สินสว่างค์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สำเนาถูกต้อง



(นายเสถียร วีระวงศ์)

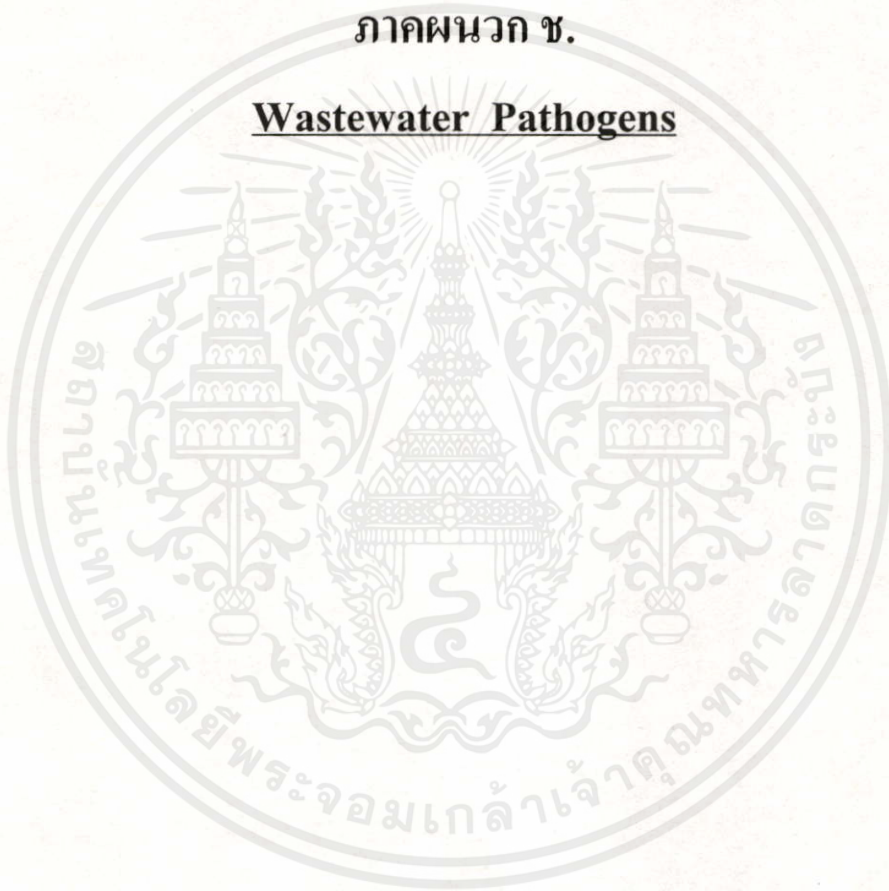
เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

Wastewater Pathogens



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบริเวณโรงงานบำบัดน้ำเสียอาจเป็นแหล่งติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ง่าย ซึ่งอาจมีตั้งแต่โรคไม่ร้ายแรงจนถึงโรคร้ายแรงมาก การติดเชื้อโรคในบริเวณโรงงานบำบัดน้ำเสียอาจติดได้จากทางปาก ทางสัมผัส และทางหายใจ ดังนั้นผู้ทำงานในบริเวณโรงงานบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องระวังและป้องกันการติดเชื้อโรค โดยควรระวับถึงชนิดของเชื้อโรคและแหล่งที่มา ตารางที่ ผ - 2 ได้แสดงถึงชนิดต่าง ๆ ของ Pathogens พร้อมทั้งโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้

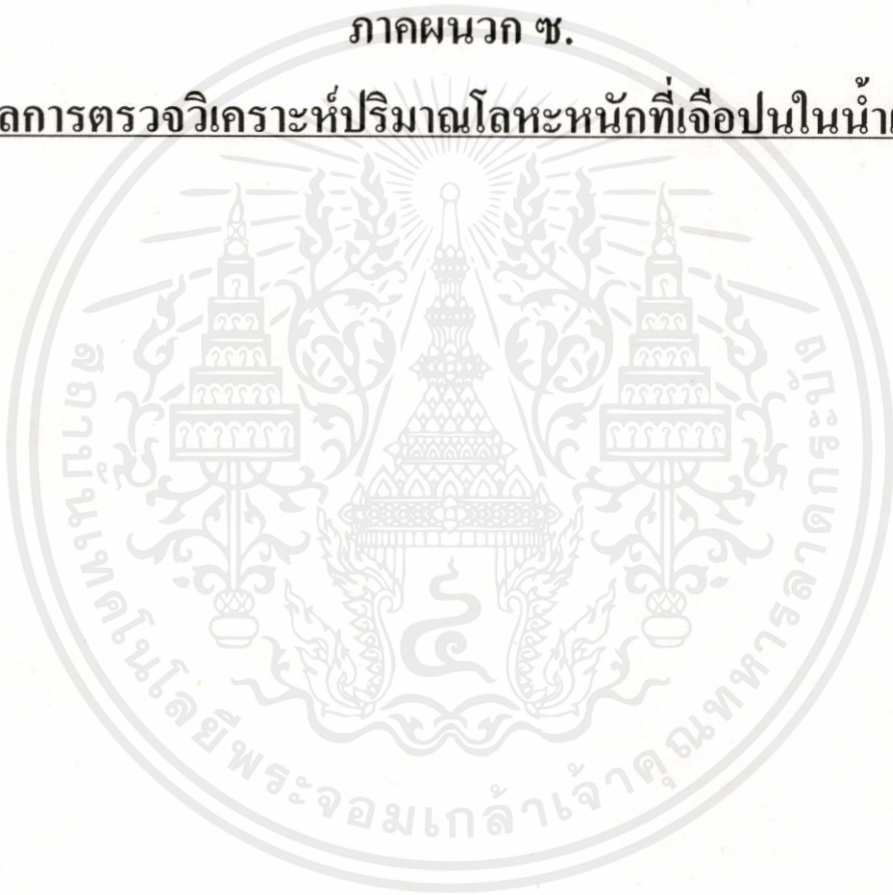
ตารางที่ ผ - 2 พวก Pathogens ที่พบบ่อย ๆ ในน้ำเสียพร้อมทั้งโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้

Pathoge	Organism	Disease
Bacteria	Salmonella	Gastroenteritis, Typhoid fever
	Shigella	Shigellosis, Bacillary dysentery
	Vibrio	Asiatic cholera
	Clostridium	Tetanus, Gs gangrene, Gastroenteritis
	Mycobacterium	Tuberculosis
	Escherichia coli	Gastroenteritis
Viruses	Enteroviruses	Polio, Meningitis, ไข้หวัด, Gastroenteritis
	Hepatitis A	Infectious hepatitis
	Norwalk, Reovirus, Rotavirus	Mild to cute Gastroenteritis
Fungi	Aspergillus	Nausea, Fever, Vomiting, Diarrhea
	Condida	Ear, Sinus, Lung, and Skin Infections
Protozoa	Entamoeba histolytica	Amoebic dysentery
	Giardia lamblia	Giardiasis
Helminths	Pinworm	สามารถติดเชื้อได้ทุก ๆ ส่วนของร่างกาย
	- Roundworms Ascaris lumbricoides	can infect intestinal tract, peritonitis, nervous system
	Hookworm	Pneumonia, Anemia
	Thread worm	Abdominal pain, Nausea, น้ำหนักลด
	Whipworm	Abdominal pain, Diarrhea, Anemia, Blood stool
- Tapeworms	Beef and pork tapeworms	ทานอาหารไม่ลง, น้ำหนักลด, ระบบย่อยอาหารถูกรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ.

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เจือปนในน้ำเสีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนจลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Faculty of Science , King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520 THAILAND
Tel. (662) 326-6052-101, (662) 326-9982-4 Fax: (662) 326-9981

ผลการตรวจวิเคราะห์น้ำจากเครื่องบำบัดน้ำทิ้ง

เวลาที่ผ่าน การบำบัด	ปริมาณโลหะหนัก (mg / 4 L)		
	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง
0 นาที	342	65.4	205
30 นาที	70	4.1	21.6
1 ชั่วโมง	1.13	0.72	5.5
1 ชั่วโมง 30 นาที	0.83	0.64	0.3
2 ชั่วโมง	0.75	0.54	ไม่พบ



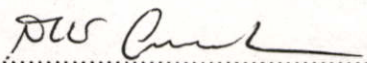
(นายสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์)

ผู้ทดสอบ



(รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

หัวหน้าโครงการ



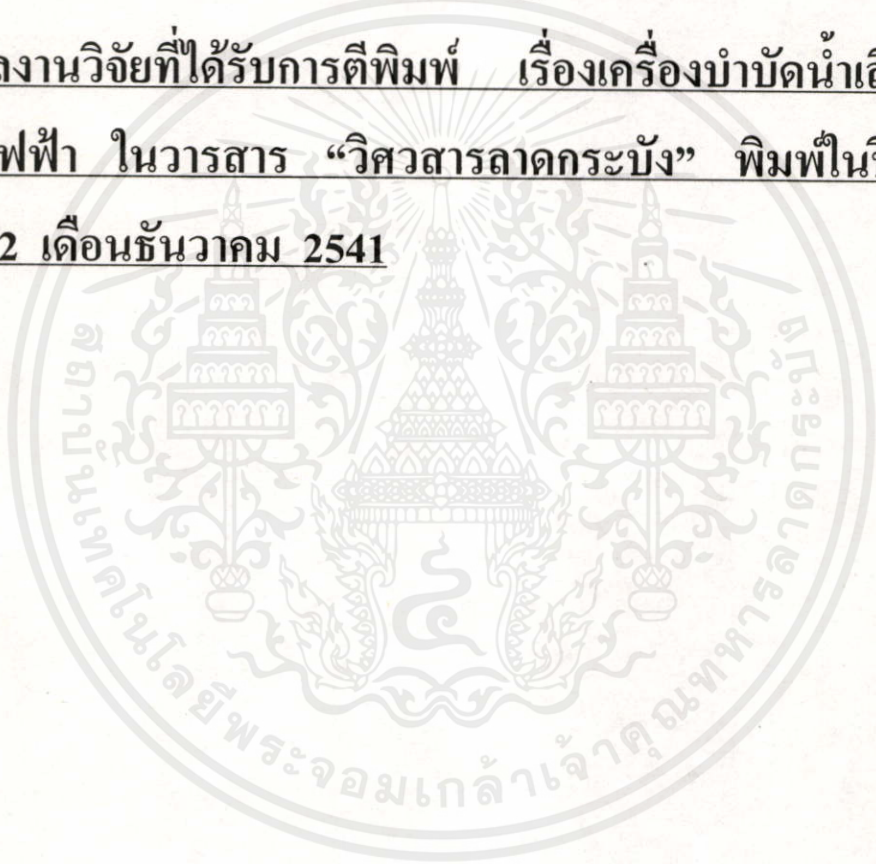
(ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ เรื่องเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วย
ระบบไฟฟ้า ในวารสาร “วิศวกรรมลาดกระบัง” พิมพ์ในปีที่ 15
ฉบับที่ 2 เดือนธันวาคม 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRANBANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2

ธันวาคม 2541

1. การส่งสัญญาณควบคุมผ่านเส้นใยแสงด้วยคอมพิวเตอร์	1
คณิศร รัตตกิจ อภินันท์ มั่นยานนท์	
2. เครื่องวัดอัตราการไหลแบบแม่เหล็กไฟฟ้า	7
ประสิทธิ์ บุญมาก ชนิษฐา แซ่ตั้ง	
3. เครื่องควบคุมความถี่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรแบบ 2 ขั้วต่อเชื่อมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	13
อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ศศิโรตม์ เกตุแก้ว	
4. การแยกหน่วยค่าเพื่อตรวจสอบการสั่นคลอนในประโยคภาษาไทย	19
ประกาศพรณ คงวิทย์เศเรณี รัตติกร วรากุลศรีพันธ์	
5. การแยกกลุ่มข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยวิธีซิมิลาร์แมตริคัล	25
ศิริวิทย์ บริดโดทกพร มนัส สังวรศิลป์ สุวณัฐ เอื้อไพโรจน์ กิ่งฉัตร รัตติคุณ	
6. การควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์แบบวงปิดด้วยวิธีสังเกตกำลัง	31
อนันท์ ศรีสว่าง โยธิน เปรมปราณีรัตน์	
7. การปรับปรุงภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความถี่ของสัญญาณ	37
อรุณสิทธิ์ หลงสกุล Shozo Kuriyama	
8. เครื่องกำเนิดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า	45
ประภาส ไพรสุวรรณา ศศิโรตม์ เกตุแก้ว	
9. โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติของมอเตอร์	52
ชนิษฐา สุตพันธ์ จารุวัตร เจริญสุข สมชัย นนทรชัญญ์ภรณ์	
10. โมดูลเดสก์ท็อปสำหรับกรองน้ำที่ออกแบบในโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับระบบกรองน้ำ	58
ชาคริต บุญยชาติพิสุทธิ์ อรุณศักดิ์ เจริญสุข โยธิน	
11. การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์	64
เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ บุญเลิศ โยธิน สุวี บรรจงจิตร โยธิน ประจักษ์จิต	
12. การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับออกแบบเครื่องเล่นเสียงแบบพกพา	70
บุญเลิศ สือเอช เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ สุวี บรรจงจิตร	
13. การจัดการของสัญญาณถาวรแบบไม่มีการสั่นในสัญญาณ	76
อมรวิศา มณีรุ่ง พงษ์ศักดิ์ ไชยภรณ์เมธี สุพนงศ์ สมชาย	
14. การจำลองภาระงานเพื่อทดสอบสถานะทางของเครื่องขยายเสียง	82
สุนทร ประภาวดี สุทธิวิทย์ นพนาคำพันธ์	
15. โปรแกรมออกแบบโรงจักรไฟฟ้าดีเซล	88
มงคล สีสัจจดาโรตกุล วุฒิศาสตร์ ทวีรัตน์	
16. การควบคุมตำแหน่งของสแต็ปปีงมอเตอร์แบบวงปิดในโหมดอัตโนมัติ	93
พิมพ์พิชญ์สร แรมแก้ว โยธิน เปรมปราณีรัตน์	
17. การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฟันในย่าน KU BAND ที่มุม 90 องศา	99
สุสิต ไบศรี เจริญศักดิ์ เหมกรรณ์	
18. ปรับปรุงผลตอบสนองของระบบเขียนของระบบควบคุมความถี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ชุดควบคุมวงจรเชิง	105
กวีดิ พิฑูรพงษ์ โยธิน เปรมปราณีรัตน์	
19. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นของมอเตอร์ไหลในโรงพิมพ์	114
เบนิส รอดพัน พงษ์วุฒิ แสงจันทร์ บุญยิทธิ เครือคณา	
20. การวัดความถี่ของสัญญาณด้วยเครื่องวัดความถี่แบบอัตโนมัติ	123
ชาริตา สอนชาติ วุฒิศาสตร์ เกตุแก้ว โยธิน มนัส สังวรศิลป์ มั่นยานนท์ นนทรชัญญ์ภรณ์ เหมกรรณ์	
21. หลักการวัดค่ากำลังสัญญาณไฟฟ้ากำลังที่ปรากฏบนสายส่งกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีวัดกำลังด้วยเครื่องวัดกำลัง	129
นวลวรรณ จิรวิวัฒน์ จารุวัตร บุญเลิศ	
22. การควบคุมความถี่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขั้วด้วยวิธีการสังเกตสัญญาณแบบ Binary Rate	135
เวศิน ปิยะรัตน์ วิทยา ศิพสุวรรณา วิรัช โยธิน	
23. การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสเปกตรัม PWM และ PPM เพื่อใช้ในการออกแบบระบบ	142
ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระบรรการ ปราโมทย์ รัตติคุณ โยธิน สุวณัฐ เอื้อไพโรจน์	



เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า

Waste-Water Treatment Machine with Electrical System

ประภาย ไพธูวรรณา ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของ ฟาราเดย์ โดยใช้ อิเล็กโทรดแผ่นราบมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย วัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน และคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะต้องได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ ขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการจำลองน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่โดยใช้น้ำเกลือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย หลังการทดลองแล้วได้นำข้อมูลที่ ได้ไปสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจำลองขึ้น เพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียแหล่งชุมชน ข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการบำบัดน้ำเสียนี้จะได้นำไปใช้สร้างและพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้าให้สามารถนำมาใช้งานได้ต่อไปในอนาคต

Abstract

The purpose of this research is to present "Waste-Water Treatment Machine" with Electrical System based on Faraday's Electrolysis by using plate electrode in it. The most important purposes of the treatments are: saving energy used in this and the waste-water quality that was treated will have the standard according to the rule of Ministry of Industries. The first experiment designing plate electrode which effects to the efficiency of the treatment. The heavy metals with catalyst will be put in the waste-water to increase the ability of the treatment. Then these data are simulated as a better Waste-Water Treatment Machine and used in treating waste-water from community sources. The results of the experiments and data of treating waste-water can be used in developing a better Waste-Water Treatment Machine with Electrical System in the future.

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้สภาพแวดล้อมนับได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถ้าหากเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษมากขึ้นทุกวัน อาจเป็นสาเหตุให้มนุษย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และสาเหตุสำคัญประการหนึ่ง

ที่ทำให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษก็คือน้ำเสียจากสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นจากอาคารบ้านเรือน โรงงาน อุตสาหกรรม และสถานที่อื่นๆ ซึ่งในน้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งสกปรกต่างๆ เจือปนอยู่ รวมทั้งสารพิษต่างๆ ที่เป็นอันตราย เช่น สารตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยและเป็นการรักษาสภาวะสิ่งแวดล้อมไม่ให้เสียไปจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องมีการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นให้ได้มาตรฐานก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

วิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ใช้ระบบชีวภาพ ใช้สารเคมี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อเสีย และวิธีการในการดำเนินการที่แตกต่างกันไป โดยในบทวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของ ฟาราเดย์ คือการใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบ (Plate Electrode) ซึ่งอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อให้เกิดการดึงประจุต่างๆ มาเกาะที่แผ่นอิเล็กโทรด สำหรับการทดลองตอนที่ 1 จะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด คือระยะห่างระหว่างเพลท ขนาดเพลท และผลของการเพิ่มแรงดัน ไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อนำไปออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ตอนที่ 2 จะนำข้อมูลที่ได้ในตอนที่ 1 มาออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน จากนั้นจะนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้งตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบกับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยใช้การเติมอากาศ

ในบทวิจัยนี้ได้นำเสนอการบำบัดน้ำเสียในแบบ Static คือทำการบำบัดขณะน้ำนิ่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติต่างๆ ของระบบที่ถูกค้อง และนำคุณสมบัติต่างๆที่ได้มาทำการบำบัดน้ำเสียจริงในแบบ Dynamic คือให้มีอัตราการไหลของน้ำเพื่อความสะดวกในการบำบัด

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)
กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส หมายถึง กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก

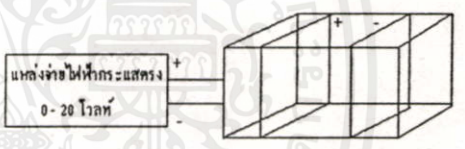
2.2 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส (Faraday's Laws of Electrolysis)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michal Faraday) เป็นคนแรกที่ได้ค้นพบความสัมพันธ์แบบปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ความมากน้อยของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ดังนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้เรียกว่า "กฎอิเล็กโทรลิซิสของฟาราเดย์" ดังนี้

1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือคาโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรลิซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์

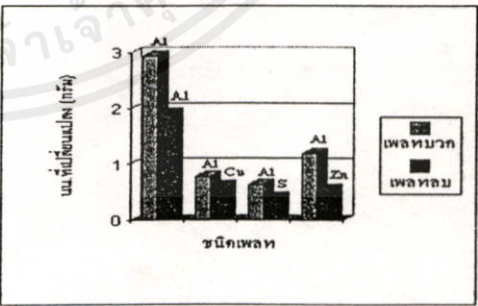
2. มวลของสารต่างๆ กันที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

3. ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด วงจรการทดลองตอนที่ 1



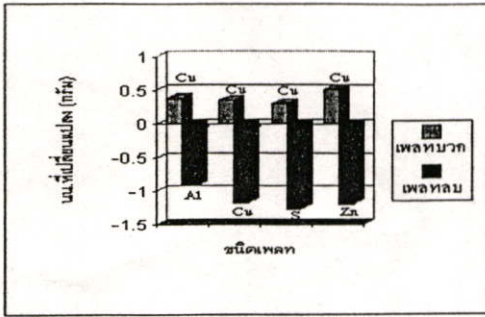
รูปที่ 1 วงจรการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 หาชนิดของเพลท ใช้เวลา 10 นาที

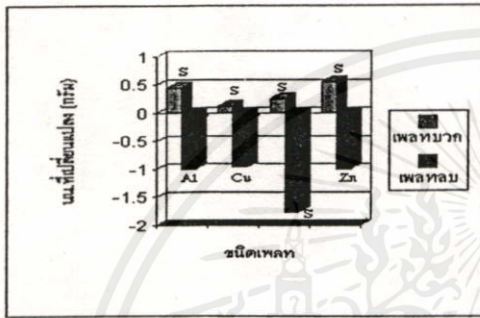


รูปที่ 2 แสดงน้ำหนักเพลทที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลทบวกเป็นอะลูมิเนียม

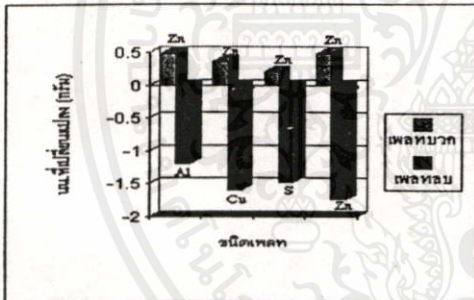
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงน้ำหนักเพลาที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลาบวกเป็นทองแดง



รูปที่ 4 แสดงน้ำหนักเพลาที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลาบวกเป็นสแตนเลส



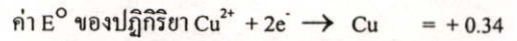
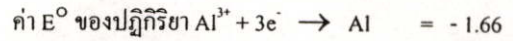
รูปที่ 5 แสดงน้ำหนักเพลาที่เปลี่ยนไป เมื่อเพลาบวกเป็นสังกะสี

(หมายเหตุ จากรูปที่ 2,3,4 และ 5 สัญลักษณ์ Al คือ อะลูมิเนียม, Cu คือ ทองแดง, S คือ สแตนเลส, Zn คือ สังกะสี)

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงโดยสามารถ วิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ตามชนิดของเพลา ดังนี้

1. อะลูมิเนียม จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยา ได้ดังนี้ คือ

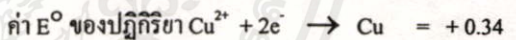
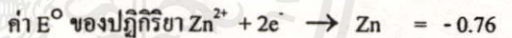


ซึ่งจะพบว่าค่า E° ของอะลูมิเนียมน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นเพลาอะลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จ่ายอิเล็กตรอน) ส่วนสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเพลาอะลูมิเนียมจ่ายอิเล็กตรอนให้สารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง ทำให้เกิดทองแดงมาเกาะที่แผ่นเพลาอะลูมิเนียมทำให้น้ำหนักของเพลาอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

2. ทองแดง จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาทองแดงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย เนื่องจากเพลาที่ใช้คือทองแดงและสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลองที่ใช้ ดังนั้นจึงไม่มีปฏิกิริยาเคมีใดๆ เกิดขึ้นเลย

3. สแตนเลส จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย แสดงว่าสแตนเลสซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมมีค่า E° ใกล้เคียงกับทองแดง

4. สังกะสี จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาสังกะสีเพิ่มมากขึ้นแต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าอะลูมิเนียมสามารถอธิบายปฏิกิริยา ได้ดังนี้



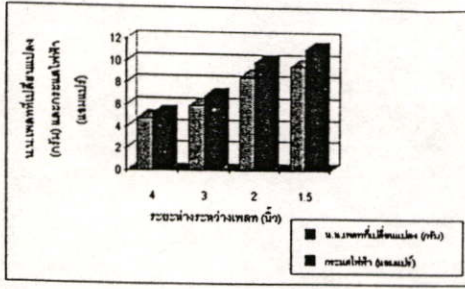
ซึ่งจะพบว่าค่า E° ของสังกะสีน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นเพลาสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จ่ายอิเล็กตรอน) และสารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่า เพลาสังกะสีจ่ายอิเล็กตรอนให้สารละลายทองแดงในน้ำเสียจำลอง ทำให้เกิดทองแดงมาเกาะที่แผ่นสังกะสีทำให้น้ำหนักของเพลาสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเพลาอะลูมิเนียมเพราะค่า E° ของอะลูมิเนียมต่ำกว่าสังกะสี

(หมายเหตุ ค่า E° คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน)

3.2 การทดลองที่ 2 ทหาระยะห่างระหว่างเพลา เมื่อให้ขนาดเพลาอะลูมิเนียม 6*6 ตารางนิ้ว ใช้เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

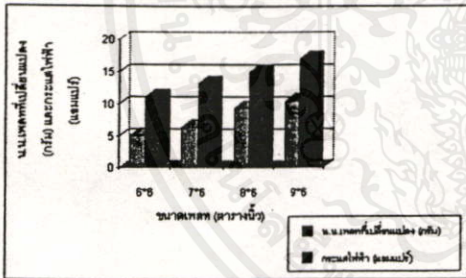


รูปที่ 6 แสดงน้ำหนักเพลาและกระแสไฟฟ้า เมื่อระยะห่างระหว่างเพลาลดลง ขณะแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

เมื่อระยะห่างระหว่างเพลาลดลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของน้ำ ($R = \rho L/A$) ลดลง ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ และน้ำหนักเพลาที่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามกระแสไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างเพลาลดลงกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักเพลาที่จะเพิ่มขึ้น

3.3 การทดลองที่ 3 หาขนาดเพลา เมื่อใช้เพลาอะลูมิเนียม ที่ระยะห่างระหว่างเพลาเท่ากับ 1.5 นิ้ว ใช้เวลา 10 นาที

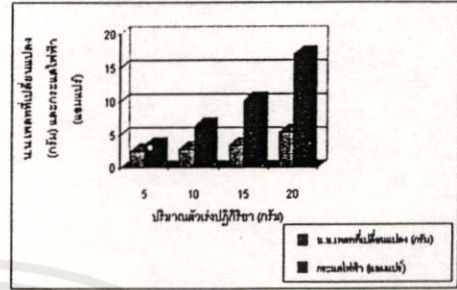


รูปที่ 7 แสดงน้ำหนักเพลาและกระแสไฟฟ้า เมื่อขนาดเพลาใหญ่ขึ้น ขณะแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์

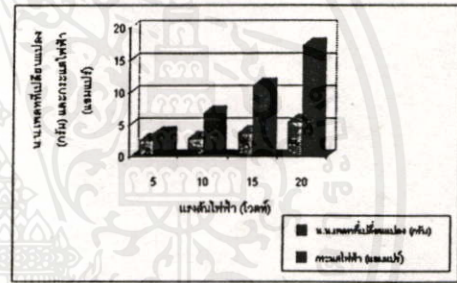
วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3

เมื่อขนาดเพลาใหญ่ขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของน้ำ ($R = \rho L/A$) ลดลง ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ และเมื่อขนาดเพลาใหญ่ขึ้นน้ำหนักของเพลาจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามกระแสตามกฎของฟาราเดย์ ดังนั้นเมื่อขนาดเพลาใหญ่ขึ้นกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักของเพลาที่จะเพิ่มขึ้น

3.4 การทดลองที่ 4 ทาผลของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิกิริยา (ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (เกลือ) ต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร) ใช้เวลา 10 นาที



รูปที่ 8 แสดงน้ำหนักเพลาและกระแสไฟฟ้า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ขณะแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์



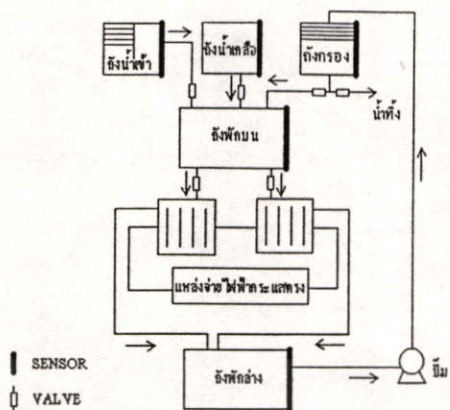
รูปที่ 9 แสดงน้ำหนักเพลาและกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 20 กรัม

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่คงที่ ค่าของกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักที่เพลาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มเข้าไปจะแตกตัวกลายเป็นไอออนอิสระทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น และเมื่อมีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่าเดิม ค่ากระแสไฟฟ้าและน้ำหนักที่เพลาจะเพิ่มขึ้นตามค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

4. ตอนที่ 2 เครื่องบำบัดน้ำเสียที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้ดำเนินการแล้วจะไม่รับประกันใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ทำการออกแบบ

จากรูปที่ 10 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเครื่อง ซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่และการทำงานได้ดังนี้

1. ถังน้ำเข้า เป็นที่รับน้ำเสียเข้าซึ่งจะแยกตะกอนขนาดใหญ่และไขมันที่ลอยน้ำออกก่อนที่จะไหลเข้าไปยังตัวเครื่อง และมีเซนเซอร์ควบคุมการไหลของน้ำเสีย
2. ถังน้ำเกลือ (ถังตัวเร่งปฏิกิริยา) เป็นที่เก็บน้ำเกลือและมีเซนเซอร์ควบคุมการไหลของน้ำเกลือ
3. ถังพักบน เป็นตัวผสมน้ำเสียที่เข้ามาในระบบกับน้ำเกลือ และมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของน้ำเข้าสู่ถังบำบัด
4. ถังบำบัด เป็นส่วนที่ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียโดยบรรจุเพลาท์ไว้ภายในถังซึ่งปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะเกิดขึ้นที่ถังนี้เมื่อบำบัดเสร็จแล้วน้ำจะไหลออกจากถังโดยการล้นออกไปเอง (Dynamic) โดยจะไหลอย่างต่อเนื่องไปสู่ถังพักด้านล่างต่อไป ซึ่งถังบำบัดจะถูกออกแบบไว้ 2 ถัง เนื่องจากส่วนนี้จะมีการซ่อมบำรุงบ่อย สาเหตุเพราะแผ่นเพลาท์ที่ใช้จะมีสารมาเกาะและจะมีการกร่อนตามอายุการใช้งานจึงต้องมีการ เปลี่ยนหรือทำความสะอาด เพื่อให้ได้การทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นเครื่องจะทำงานได้ตลอดโดยอาจใช้ตั้งเฉยๆ ในเวลาที่มีการซ่อมบำรุงและปริมาณน้ำเสียในระบบน้อยเกินไป

5. ถังพักล่าง จะเป็นถังที่พักน้ำหลังจากที่ออกจากส่วนบำบัดซึ่งจะมีหน้าที่หลักๆ อยู่สองอย่างคือ

- ลดอุณหภูมิของน้ำเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากถังบำบัด

- ตกตะกอนสารที่แยกได้จากน้ำและปนออกมากับน้ำที่ออกจากถังบำบัดรวมถึงเป็นที่เก็บกักตะกอนไว้

6. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับถังบำบัดน้ำเสีย ซึ่งแหล่งจ่ายจะจ่ายไฟหรือตัดไฟจะมีชุดควบคุมสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 สถานะคือ

- ถ้าปริมาณน้ำน้อยแหล่งจ่ายก็ตัดการจ่ายไฟฟ้า
- ถ้าปริมาณน้ำมากแหล่งจ่ายก็จะจ่ายไฟฟ้า

7. ปิ๊มจะสูบน้ำจากถังพักล่าง ไปสู่ถังกรองโดยมีชุดควบคุมการสูบน้ำ

8. ถังกรอง ทำหน้าที่กรองสารเจือปน ก่อนที่จะเข้าสู่ถังพักบนเพื่อวนรอบการทำงาน โดยมีตัวเซนเซอร์เพื่อป้องกันการล้นของน้ำ

5. การทดลองและตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด พร้อมทั้งพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

5.1 ผลการทดลองและตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัด เช่น สี, ค่า pH, ลักษณะทั่วไป, อุณหภูมิ

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน	สี	pH	ลักษณะทั่วไป	อุณหภูมิ (°C)
1. เริ่มต้น	ดำ	8.05	ขุ่นมีตะกอนมาก	31.6
2. บำบัด 12 ชั่วโมง	น้ำตาลอ่อน	8.22	มีตะกอนเล็กน้อย	31.4
3. บำบัด 24 ชั่วโมง	เกือบใส	8.3	ไม่มีตะกอน	30.8

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหาค่าสารแขวนลอย, ค่าคลอไรด์, ค่าซีไอดี

เวลาในการบำบัด	สารแขวนลอย (mg/l)	ค่าคลอไรด์ (mg/l)	ค่าซีไอดี (mg/l)
1. เริ่มต้น	95.8	0.009766	604.8064
2. บำบัด 12 ชั่วโมง	70.2	0.009657	467.3504
3. บำบัด 24 ชั่วโมง	23.6	0.009361	219.9296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด

- ค่าซีโอดี มีค่าไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ค่าคลอไรด์ มีค่าไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ค่าสารแขวนลอย มีค่าไม่มากกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อุณหภูมิ Tmax 49 องศาเซลเซียส
- ค่า pH อยู่ระหว่าง 5 และ 9

6. การคิดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

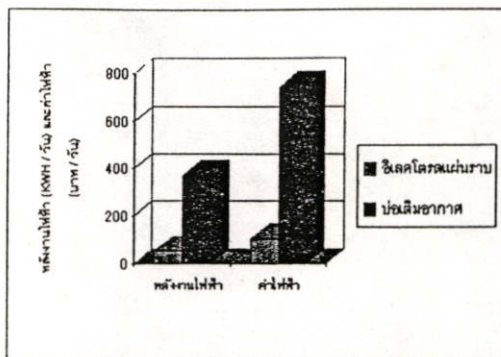
เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเลคโตรคแผ่นราบ โดยคอมมิเตอร์เพื่อทำการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งจะได้ผลดังนี้

เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร มิเตอร์วัดพลังงานได้ 52 KWH ซึ่งต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง จึงจะได้น้ำที่มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้

เพราะฉะนั้นการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน 1000 ลิตร จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 52 KWH และเมื่อคิดค่าไฟฟ้าชูนิตละ 2 บาท จะเสียค่าไฟฟ้า $(52 \times 2) = 104$ บาท / วัน / ลูกบาศก์เมตร

แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลิตร ใน 1 วัน ระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเลคโตรคแผ่นราบ กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเติมอากาศ [7]

ข้อเปรียบเทียบ	โอเลคโตรคแผ่นราบ	เติมอากาศ
พลังงานที่ใช้, หน่วย KWH / วัน	52	373
ค่าไฟฟ้า, บาท / วัน	104	746



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าระหว่างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเลคโตรคแผ่นราบกับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้การเติมอากาศ

7. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้เลือกใช้เพลทอะลูมิเนียมขนาด 9*6 ตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างเพลท 1.5 นิ้ว ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลท์ มาใช้ในถังขนาด กว้าง 5 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว สูง 6 นิ้ว (โดยที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียในอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 20 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 5 ลิตร ซึ่งดูจากปริมาณกระแสไฟฟ้า) ดังนั้นจากการทดลองทำให้เราได้ทราบถึงองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอเลคโตรคแผ่นราบ ซึ่งมีอยู่หลายประการด้วยกัน คือ ขนาดเพลท, ระยะห่างระหว่างเพลท, แรงดันที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย, กระแสไฟฟ้าในขณะที่บำบัดน้ำเสีย, เวลาที่ใช้ในการบำบัด, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา, และเมื่อทราบถึงองค์ประกอบสำคัญนี้แล้วจะได้นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสีย แล้วนำเครื่องบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้นนี้ไปการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนปริมาณ 1000 ลิตร และนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาตรวจสอบค่าซีโอดี, คลอไรด์, สารแขวนลอย, อุณหภูมิ และพีเอช ซึ่งผลที่ได้คือ ต้องใช้เวลาในการบำบัด 24 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวง

อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งนี้เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเลคโตรคแผ่นราบยังประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ากว่าเครื่องบำบัดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียดัวยระบบไฟฟ้า โดยใช้การเติมอากาศ ดังนั้นเราสามารถนำเครื่องบำบัดน้ำเสียดัวยระบบไฟฟ้า โดยการใช้โอเลคโตรดแผ่นราบมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ , เครื่องสกัดทองแดงจากแร่ธรรมชาติ และเครื่องชุบโลหะ เป็นต้น

ดังนั้นถ้าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ เครื่องบำบัดน้ำเสียนี้อาจช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของประเทศลงเป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดยังได้มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยลดมลพิษทางน้ำในประเทศลงอีกด้วย

8. แนวทางแก้ไขพัฒนา

ในเครื่องบำบัดน้ำเสียที่จัดสร้างขึ้นนี้ควรที่จะมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ได้นำมาใช้ทำแผ่นเพลทในถังบำบัดซึ่งยังเป็นวัสดุที่ราคาสูงและหาหาย เมื่อนำไปใช้งานจะเกิดการสึกหรอมาก ต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง จากการศึกษาพบว่าในเครื่องมือที่ทำงานในลักษณะเดียวกันนี้ ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น เครื่องฆ่าเชื้อโรคระบบเกลือแทนคลอรีน ในสระว่ายน้ำ, เครื่องสกัดทองแดงจากแร่ธรรมชาติ จะใช้วัสดุที่มีราคาสูงมาก ซึ่งใช้งานได้ดีกว่า เช่น ไททาเนียม, พลาตินัม, แกรไฟต์ ดังนั้นในการใช้งานจริงควรที่จะเปลี่ยนชนิดของสารที่นำมาใช้ทำเพลทเสียใหม่ และในการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง ควรจะใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ไฟฟ้ามาแทนการใช้สารเคมี เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบ

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ปรึกษาและช่วยตรวจสอบคุณภาพน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง และโรงแรมโรแยลปรินเซสที่ให้ข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับเครื่อง

10. เอกสารอ้างอิง

- [1]. S.J.Arceivala, "Wastewater Treatment for Pollution Control," New Delhi, India.
- [2]. N.P. Cheremisinoff and P.N. Cheremisinoff, "Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications," New Jersey.
- [3]. E.J. Martin and E.T. Martin, "Technologies for Small Water and Wastewater System," New York.
- [4]. H.H. Rump and H. Krist, "Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water, and Soil," New York.
- [5]. G. Nikoladze, D. Mints and A. Kastalsky, "Water Treatment for Public and Industrial Supply," Moscow.
- [6]. Pool & Fountain, Swimming Pool, Spa and Fountain Equipment, Bangkok.
- [7]. ดร.พิมล เวียนวัฒนา และ ดร.ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, "เคมีสิ่งแวดล้อม", สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2539.
- [8]. ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, "วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม", มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2539.
- [9]. ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, "วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย 2", มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2539.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

1. Computer Control Signal Transmission via Optical Fiber <i>K. Radroksid and A. Manyan</i>	1
2. Electromagnetic Flowmeter <i>P. Boonmak and K. Saetang</i>	7
3. 2-Quadrant DC Permanent Magnet Motor Speed Control using M-Function <i>A. Jangwanitlerd and S. Ketkaew</i>	13
4. Word Segmentation for Spelling Check in Thai Sentence <i>P. Kongwitsaranee and R. Varakunsinpan</i>	19
5. The Fuzzy C-Means Medical Image Clustering Based on Fuzzy Image Analysis <i>S. Parattotagaporn, M. Sangworasil, S. Supnaboon and A. Jitpakdi</i>	25
6. Closed-Loop Control of Stepping Motor With Lead-Lag Method <i>A. Srisawang and Y. Prempaneech</i>	31
7. Subband Image Improvement Using Interconnection of Images <i>A. Lasakul and S. Kondo</i>	37
8. Waste-Water Treatment Machine with Electrical System <i>P. Prasuwanna and S. Ketkaew</i>	43
9. Computer Program for Designing of Pumping System in Drainage and Sewerage <i>K. Sutaphan, J. Chaisonsuk and S. Norasethasorn</i>	52
10. A Line-Type Modulator for Magnetron Radar Transmitters Single and dual-beam Slotted Inletron Transistor Oscillators <i>A. Bunyachatsuth, A. Sangprapa and J. Neechaiwit</i>	58
11. Development of Calculation Software for Transformer Parameters in Short-circuit <i>J. Ekburanawat, B. Suechoey, S. Bunjongjit and S. Kulsasitthakul</i>	64
12. Development of Design Software for Oil-Immersed Distribution Transformer with Short-circuit <i>B. Suechoey, J. Ekburanawat and S. Bunjongjit</i>	70
13. Fixed Channel Allocation with Handover Queuing in Low Earth Orbit Mobile Satellite System <i>A. Maneerung, P. Vitayakornvachit and S. Sittichaiyong</i>	78
14. Traffic Simulation for State Investigation of Local Area Network <i>S. Prapawat and S. Noppanakkeong</i>	82
15. Diesel Power Plant Design Program <i>M. Leelajindakrauek and W. Wangdee</i>	88
16. The Closed-Loop Position Control of Stepping Motor in Microstep Excitation Mode <i>P. Ngankaeuw and Y. Prempaneech</i>	93
17. KU-BAND Rain Attenuation At Zenith Angle <i>D. Bost and N. Hemmakom</i>	99
18. Improvement Transient Response of DC Motor Speed Control Using Voltage Feedback Loop <i>K. Pitoonpong and Y. Prempaneech</i>	105
19. Simplified Mathematical Modeling of Flow in Open Channel <i>M. Rodphon, C. Sangun and B. Kiewtrachoo</i>	114
20. Low Atmospheric Wind Observation by Wind Profiler <i>V. Jitwongwanthana and P. Boonmak</i>	123
21. Detune Filter Installation Technics Protected Overcompensation in Steel Rolling Mill <i>V. Jitwongwanthana and P. Boonmak</i>	129
22. Speed Control of DC Separate Excited Motor by Binary Rate Modulation Method <i>V. Peeyarat, V. Tisuwangorn and N. Chochua</i>	135
23. A Mathematical Analysis of PWM and PPM Spectrum for Simple Modulation <i>N. Maneerapanakorn, P. Wurdkein and J. Aningsrisanachai</i>	142

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายศิริโรตม์ เกตุแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการ ศึกษา 2539

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ เรื่องเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า ในวารสาร “วิศวะ สารลาดกระบัง” พิมพ์ในปีที่ 15 ฉบับที่ 2 เดือนธันวาคม 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้