

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง

สำหรับ

เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย

HIGH CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY

FOR

HEAVY METAL SEPERATION FROM WASTE-WATER



จัดทำโดย

นาย รุ่งโรจน์ บุญทศ

นาย สุรพันธ์ วงษ์เสรี

เลขหน้.....
เลขทะเบียน.....42736
วัน, เดือน, ปี-7 ส.ย. 2545

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

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 2154321

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง
สำหรับ
เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย
**HIGH CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY
FOR
HEAVY METAL SEPERATION FROM WASTE-WATER**

จัดทำโดย

นาย รุ่งโรจน์ บุญทศ รหัส 41013186
นาย สุรพันธ์ วงษ์เสรี รหัส 41013198

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. สมศักดิ์ เขียวศรีกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543


ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูงสำหรับเครื่องแยกโลหะหนักออกจากรน้ำเสีย

ผู้จัดทำ

1. นายรุ่งโรจน์ บุญทศ รหัส 41013186
2. นายสุรพันธ์ วงษ์เสรี รหัส 41013198


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ศ.ศ.พัชร์ รุ่งโรจน์กุล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง (ภาษาไทย)

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง
สำหรับเครื่องแยก โลหะหนักออกจากน้ำเสีย

(ภาษาอังกฤษ)

HIGH CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY
FOR HEAVY METAL SEPERATION
FROM WASTE-WATER

จัดทำโดย

นาย รุ่งโรจน์ บุญทศ

นาย สุรพันธ์ วงษ์เสรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบ โดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล)

วันที่ 2 / 04 / 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**HIGH CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY
FOR
HEAVY METAL SEPERATION FROM WASTE-WATER**

Mr. Roongroj Boontos

Mr. Surapan Wongseri

ASSOC.PROF. Somsak sheirsirikul(advisor)

2nd Semestor , Education Year 2000

Abstract

The purpose of this research bechelor is to present “Heavy Metal Seperation from Water with Electrical System” with Electrical base on Faraday’s Electrolysis by putting direct current voltage in plate electrode in waste-water treatment. The most important purpose of the treatment are: saving energy used in this .The first experiment are designing plate electrode and switching power supply which part of high current switching power supply circuit .Specification of swtiching are: Constant output voltage at 24 volts and maximum output current about 50 amps

This circuit is change from AC voltage to DC voltage which AC voltage go into the rectifier circuit to convert to DC voltage and pass into switching device.

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง
สำหรับ
เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย

นาย รุ่งโรจน์ บุญทศ
นาย สุรพันธ์ วงษ์เสรี
รศ. สมศักดิ์ เขียวศรีกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2543

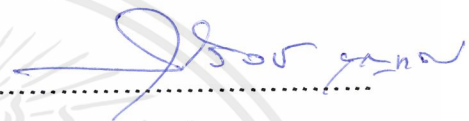
บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำด้วยระบบไฟฟ้าซึ่งอาศัยหลักการอิเล็กโทรไลซิสของฟาราเดย์ โดยการจ่ายกระแสให้กับแผ่นอิเล็กโทรดแผ่นราบเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการบำบัดน้ำเสีย วัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเพื่อผลที่ดีในการบำบัดน้ำ ซึ่งขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นเพลตอิเล็กโทรดและแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตชิง ซึ่งในส่วนของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและมีขนาดกระแสสูง ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่เอาต์พุตเป็นแบบแรงดันคงที่ที่ 24 โวลต์ และ จ่ายกระแสสูงสุดได้ 50 แอมป์

ซึ่งทำงานโดยการแปลงแรงดันจาก AC เป็น DC โดยวงจรการแปลง (Rectifier) และนำแรงดันมาทำการสวิตเพื่อเปลี่ยนระดับกระแสทำให้สูงขึ้นซึ่งจะได้กล่าวถึงในเนื้อหา

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดีจากท่านอาจารย์ รศ. สมศักดิ์ เชียรศิริกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และท่านอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา รวมทั้งอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้อุปกรณ์การทดลอง ตลอดจนเพื่อนร่วมงานที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างและช่วยให้คำแนะนำในการทำรายงาน และที่จะขาดไม่ได้เลยก็คือบิดาและมารดาของผู้จัดทำที่ช่วยสนับสนุนในส่วนของงบประมาณ ในการจัดทำ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง



(รุ่งโรจน์ บุญทศ)



(สุรพันธ์ วงษ์เสรี)



สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีการใช้งาน.....	4
2.1 เรกตีไฟร์.....	5
2.2 DC-DC Converter.....	11
2.3 หม้อแปลงสวิตชิง	19
2.5 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	27
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบวงจร.....	31
3.1 ภาควงจรควบคุม.....	31
3.2 วงจรภาคเพาเวอร์สวิตชิง.....	34
บทที่ 4 กระบวนการอิเล็กทรอนิกส์.....	37
4.1 ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวและศักย์ไฟฟ้าเกินตัว.....	38
4.2 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์.....	40
4.3 ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์.....	40
บทที่ 5 ผลการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ โตรด.....	43
5.1 การเตรียมการทดลอง.....	43
5.2 การทดลอง.....	44
5.2.1 การทดลองที่ 1 (คุปฏิกิริยาที่แผ่นเพลท).....	44
5.2.2 การทดลองที่ 2 (การหาชนิดของเพลท และขนาดของเพลท).....	47
5.2.3 การทดลองที่ 3 (หาผลตัวเร่งปฏิกิริยา)	53
บทที่ 6 การทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง	57
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและแนวทางแก้ไขพัฒนา.....	62
ภาคผนวก	

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 Switching Power Supply.....	1
1.2 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตซ์িংเพาเวอร์ซัพพลาย.....	4
2.3 แสดงตัวอย่างวงจรส่วนอินพุทของสวิตซ์িংเพาเวอร์ซัพพลาย.....	5
2.4 แสดงค่าแรงดัน ไฟตรงเฉลี่ยเอาท์พุทของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้ ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ค่าต่าง ๆ.....	6
2.5 แสดงการชาร์จและคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์.....	7
2.6 (ก)แสดงค่ากระแส RMS ที่ผ่านเรกติไฟ์เออร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ของกระแสประสิทธิผล I_e ต่อกำลั้ที่เรกติไฟ์เออร์ต้องจ่ายออกไปให้ คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า โหลดสูงสุด)ที่ค่า R_{sf} ต่างๆกัน.....	8
2.6 (ข)แสดงค่ากระแส RMS ที่ผ่านเรกติไฟ์เออร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ของกระแสประสิทธิผล I_e ต่อกำลั้ที่เรกติไฟ์เออร์ต้องจ่ายออกไปให้ คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า โหลดสูงสุด)ที่ค่า R_{sf} ต่างๆกัน.....	9
2.6 (ค)แสดงค่ากระแส RMS ที่ผ่านเรกติไฟ์เออร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ของกระแสประสิทธิผล I_e ต่อกำลั้ที่เรกติไฟ์เออร์ต้องจ่ายออกไปให้ คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า โหลดสูงสุด)ที่ค่า R_{sf} ต่างๆกัน.....	10
2.7 แสดงส่วนประกอบของวงจร DC-DC Converter	11
2.8 วงจรพื้นฐานของ converter แบบ Half – Bridge.....	12
2.9 กราฟแสดงผลที่เกิดจากการใส่ตัวเก็บประจุในวงจร Half – Bridge	13
2.10 สดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรงจจะเป็น ส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อน ได้สูงอีกด้วย.....	15
2.11 แสดงตัวอย่างการจ้ควจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแส ด้วยหม้อแปลง.....	16
2.12 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อม ไดโอดขณะนำกระแส.....	20
2.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อม ไดโอด	

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ขณะหยุดนำกระแส.....	21
2.14(ก)แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของ ฟาสต์รีคัทเวอร์รีไดโอด.....	23
2.14(ข)แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของ อุกตราฟาสต์รีคัทเวอร์รีไดโอด.....	24
2.15(ก)แสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของซอดดักกี้ไดโอด	
2.15(ข)ค่ากระแสรั่วไหลของซอดดักกี้ไดโอด.....	25
2.16 แสดงวงจรสมมูลของค่าความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง Li และมีตัวเก็บประจุที่รอยต่อ Ci ในซอดดักกี้ไดโอด	
2.17 แสดงการต่อ RC สนับเบอร์คร่อมซอดดักกี้ไดโอดขณะใช้งาน เพื่อป้องกันการเกิดทรานเซียนต์จากตัวซอดดักกี้ไดโอด.....	26
2.18 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดควบคุมแรงดัน.....	28
2.19 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดควบคุมกระแส.....	29
3.1 แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย.....	31
3.2 Block Diagram แสดงลักษณะการทำงานของวงจรภาคเพาเวอร์.....	35
4.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl	38
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าใน เซลล์อิเล็กโทรลิติก.....	39
5.1 วงจรการทดลอง.....	43
5.2 กราฟแสดงน้ำหนักรที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเฟลตเมื่อไม่เติมเกลือ	
5.3 กราฟแสดงน้ำหนักรที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเฟลตเมื่อเติมเกลือ.....	45
5.4 กราฟแสดงน้ำหนักรที่เปลี่ยนแปลงของเฟลตทอลูมิเนียมขนาดต่างๆ.....	52

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.5	กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของเพศสังกะสีขนาดต่างๆ.....52
5.6	การทดลอง โดยเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา.....56
6.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาท์พุทกับ โหลด.....58
6.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุทกับ โหลด.....59
6.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ โหลด.....59
6.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุทกับกำลังเอาท์พุท
6.5	สัญญาณที่ขา 10 ของ SG3526.....60
6.6	สัญญาณที่ขา 13 เทียบกับขา 16 ของ SG3526.....61



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แสดงการเปรียบเทียบ Power Supply แบบ Linear กับ Switching.....3
4.1	ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์ที่ 25°41
5.1	ผลการทดลองจุ่มเพลทในสารละลายที่ไม่เติมเกลือ.....44
5.2	ผลการทดลองจุ่มเพลทในสารละลายที่เติมเกลือ.....45
5.3	ผลการทดลองของอะลูมิเนียมขนาด 10 นิ้ว
5.4	ผลการทดลองของอะลูมิเนียมขนาด 7 นิ้ว ครึ่ง.....48
5.5	ผลการทดลองของอะลูมิเนียมขนาด 4 นิ้ว.....49
5.6	ผลการทดลองของสังกะสีขนาด 7 นิ้ว
5.7	ผลการทดลองของสังกะสีขนาด 4 นิ้ว ครึ่ง.....50
5.8	ผลการทดลองของสังกะสีขนาด 3 นิ้ว ครึ่ง.....51
5.9	ผลการทดลองของการผสม เกลือ เข้าไป 5 กรัม
5.10	ผลการทดลองของการผสมเกลือ เข้าไป 10 กรัม.....54
5.11	ผลการทดลองของการผสมเกลือ เข้าไป 20 กรัม.....55
6.1	ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิดจิ่งที่สร้างขึ้น.....58

บทที่ 1

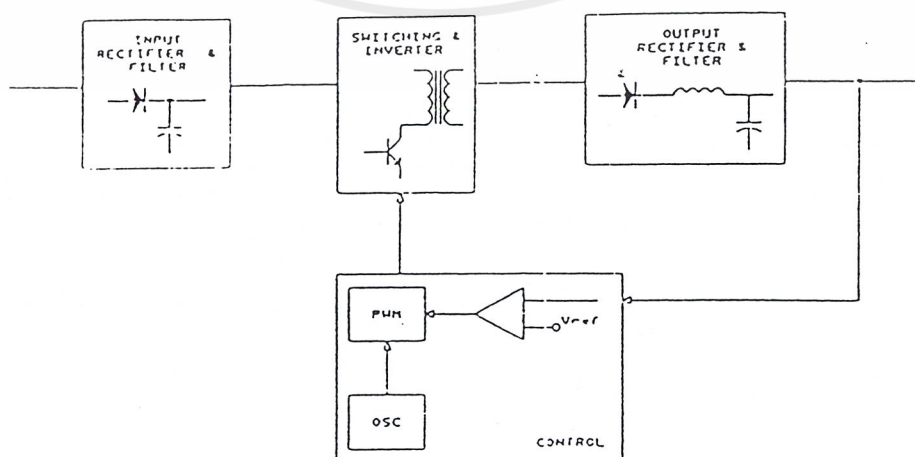
บทนำ

ในปัจจุบันคงปฏิเสธไม่ได้เลยว่าเทคโนโลยีต่าง ๆ พัฒนาก้าวหน้าไปกว่าแต่ก่อนมาก โดยเฉพาะด้านอิเล็กทรอนิกส์ การพัฒนาในด้านต่าง ๆ ล้วนมีจุดประสงค์หลักคือทำให้ขนาดวงจรเล็กลงน้ำหนักเบาและราคาถูกในขณะที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งรวมถึงการพัฒนาเวอร์ซัพพลายด้วยจากยุคของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายก็มาถึงยุคของสวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ในระบบคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสารงานด้านอุตสาหกรรม โทรทัศน์สีหรือแม้แต่เครื่องขยายเสียงดีครยนต์และอื่น ๆ อีกมากมาย อาจกล่าวได้ว่าสวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลายนี้แหละที่เป็นผู้เปลี่ยนโฉมหน้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อีกระลอกหนึ่ง

ในแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์จะประกอบด้วย หม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับแรงดันสูงให้มีแรงดันต่ำลงตามต้องการ จากนั้นส่งต่อเข้าวงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ขั้นสุดท้ายก็จะผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เพื่อรักษาเสถียรภาพของแรงดัน ส่วนแหล่งจ่ายไฟแบบสวิชชิงนั้น ไม่ต้องใช้หม้อแปลงกำลัง ไฟสลับแรงดันสูงจะต่อเข้าวงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์โดยตรงเป็นไฟตรงที่มีแรงดันสูง จากนั้นจะผ่านวงจรสวิชชิงเพื่อแปลงกลับเป็นไฟสลับความถี่สูง แรงดันไฟสลับนี้จะผ่านวงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์สะสมพลังงานไว้ในตัวเก็บประจุทางเอาต์พุตพร้อมใช้งาน

หลักการเบื้องต้น

Switching power supply ก็มีมากมายหลายแบบเช่นเดียวกับ power supply แบบอื่น ๆ แต่หลักการโดยทั่วไปก็จะคล้าย ๆ กันดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 ไฟสลับแรงดันสูงจะผ่านการเรียงกระแสและกรองกระแสไฟตรงแรงดันสูงแล้ววงจร Switching และ Inverter จะทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟตรงเป็น pulse สี่เหลี่ยม ความถี่สูง ซึ่งมีความถี่อยู่ในระหว่าง 20 – 500 KHz ส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้ได้แรงดัน output ตามต้องการและเป็นการแยกกราวด์ไปในตัว แรงดันที่ได้นี้จะส่งเข้าไปทำการ rectifier และ filter แรงดันส่วนหนึ่งจะถูกส่งกลับมาเข้าวงจรควบคุม เพื่อคอยตรวจสอบและควบคุมแรงดัน output ให้คงที่ไม่ว่าแรงดันไฟสลับด้าน input หรือ load ที่ output จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

ส่วนในวงจรควบคุม จะประกอบไปด้วยวงจรถ้าเน็คความถี่ (oscillator) เพื่อป้อนแก่วงจร Pulse Width Modulation (PWM) วงจรขยายความผิดพลาด (Error Amp) และแรงดันอ้างอิงที่เที่ยงตรงซึ่งเมื่อแรงดัน output เปลี่ยนแปลงไป วงจรขยายความผิดพลาดจะทำการเปรียบเทียบแรงดัน output กับแรงดันอ้างอิง แล้วส่งค่าความผิดพลาดนั้นไปทำการปรับความกว้าง pulse ของ PWM ขบวนการของ pulse ที่ได้จะส่งมาควบคุมวงจร switching ให้ switch ทำการเปิด-ปิดปล่อยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยไปสู่ load ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเพื่อรักษาแรงดัน output ให้คงที่ นอกจากนี้ switching power supply ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก เช่น วงจรกรอง, วงจรป้องกันไฟกระชาก, วงจรกำจัดกระแส, วงจรป้องกันแรงดัน output เกิน ฯลฯ

จากการที่ switching power supply ทำงานที่ความถี่สูง ดังนั้นหม้อแปลง, ไข้ด และตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรจึงมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีราคาถูกอีกด้วย นอกจากนี้อุปกรณ์ใน power supply แบบนี้จะไม่นำกระแสตลอด แต่จะทำงานในลักษณะของการ switch คือทำงานในช่วง saturate และ cut off ทำให้อุปกรณ์พวกนี้มีแรงดันตกคร่อมตัวมันน้อยมาก จึงมีกำลังสูญเสียต่ำมาก ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ linear เช่น ถ้าหากว่า วงจร switching มีแรงดัน input 10 V และแรงดัน output 5 V จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ $[V_o/(V_o+2)]*100\% = [5/(5+2)]*100\% = 71\%$ แต่ถ้า switch ทำงานที่ความถี่ต่ำกว่า 20 KHz ค่าประสิทธิภาพจะเท่ากับ $[V_o/(V_o+1)]*100\% = [5/(5+1)]*100\% = 83\%$

ทั้ง power supply แบบ linear และแบบ switching ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถจะแสดงให้เห็นในรูปของตารางได้ที่ตารางที่ 1.1 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบ Power Supply แบบ Linear กับ Switching

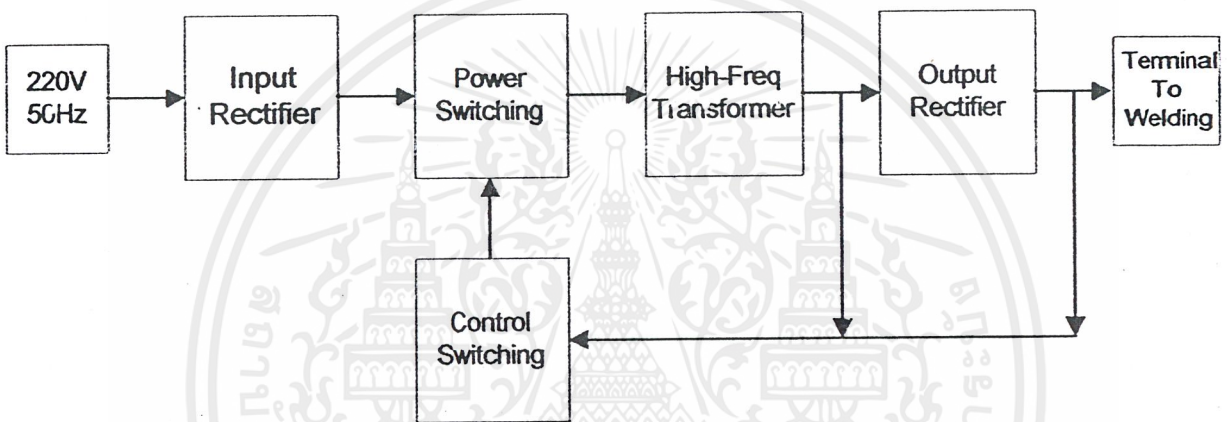
Linear Power Supply	Switching Power Supply
ประสิทธิภาพต่ำ	ประสิทธิภาพสูง
สูญเสียกำลังในรูปความร้อนมาก	สูญเสียกำลังในรูปความร้อนน้อย
วงจรไม่ซับซ้อน ออกแบบและซ่อมง่าย	วงจรซับซ้อน ออกแบบและซ่อมยาก
ค่ากำลังต่อน้ำหนักต่ำ	ค่ากำลังต่อน้ำหนักสูง
ความหนาแน่นกำลังต่ำ	ความหนาแน่นกำลังสูง
แรงดันกระแสเพิ่มต่ำ	แรงดันกระแสเพิ่มสูง
สัญญาณ EMI ,RFI ต่ำ	สัญญาณ EMI ,RFI สูง
การใช้งานที่ก่้างต่ำมีราคาถูก	การใช้งานที่ก่้างต่ำมีราคาแพง
การใช้งานที่ก่้างสูงมีราคาแพง	การใช้งานที่ก่้างสูงมีราคาถูก

เนื่องจากในปัจจุบันนี้สภาพแวดล้อมนับได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ถ้าหากเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษมากขึ้นทุกๆวัน อาจเป็นสาเหตุให้มนุษย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ก็คือ น้ำเสียจากสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นจากอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่อื่นๆ ซึ่งในน้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งสกปรกต่างๆ เจือปนอยู่ รวมทั้งสารพิษต่างๆ ที่เป็นอันตราย เช่น สารตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยและเป็นการรักษา สภาวะสิ่งแวดล้อมไม่ให้เสียไปจึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นให้ได้มาตรฐานก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

ดังนั้นเราศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า โดยการอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของ ฟาราเดย์ คือการใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบ (Plate Electrode) ซึ่งอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อให้เกิดการดึงประจุต่างๆ มาเกาะที่แผ่นอิเล็กโทรด สำหรับการทดลองแรกจะออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด คือ ชนิด และขนาด ของเพลท และ ผลของการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนการทดลองที่สองเป็นการออกแบบวงจรชีวิตซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายเพื่อนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาจ่ายให้กับแผ่นอิเล็กโทรด

บทที่ 2 ทฤษฎีการใช้งาน

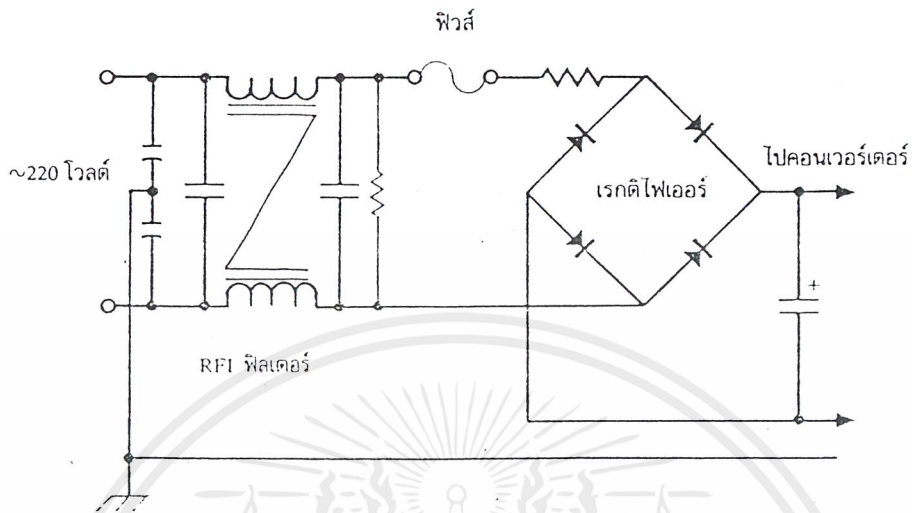
สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีองค์ประกอบที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป และมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกันสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายทั่วไป ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์จะผ่านเข้ามาทางวงจรจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่ประมาณ 20 – 20 KHz จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดทอนแรงดันให้มีแรงดันต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสียก่อนจึงสามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้ การลดค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้ รูปที่ 2.2 จะแสดงวงจรซึ่งแบ่งส่วนตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างวงจรส่วนอินพุทของสวิทซ์เพาเวอร์ซีพพลาย

2.1 เรกติไฟเออร์

เรกติไฟเออร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจรในส่วนอินพุทของสวิทซ์เพาเวอร์ซีพพลายและจะเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทดกระแสของฟิวส์และ REI ฟิลเตอร์ จึงจะบอกได้ว่าถึงเป็นอันดับแรก เรกติไฟเออร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัวคือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C และไดโอดเรกติไฟเออร์ $D1 - D4$ มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุทให้กับคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

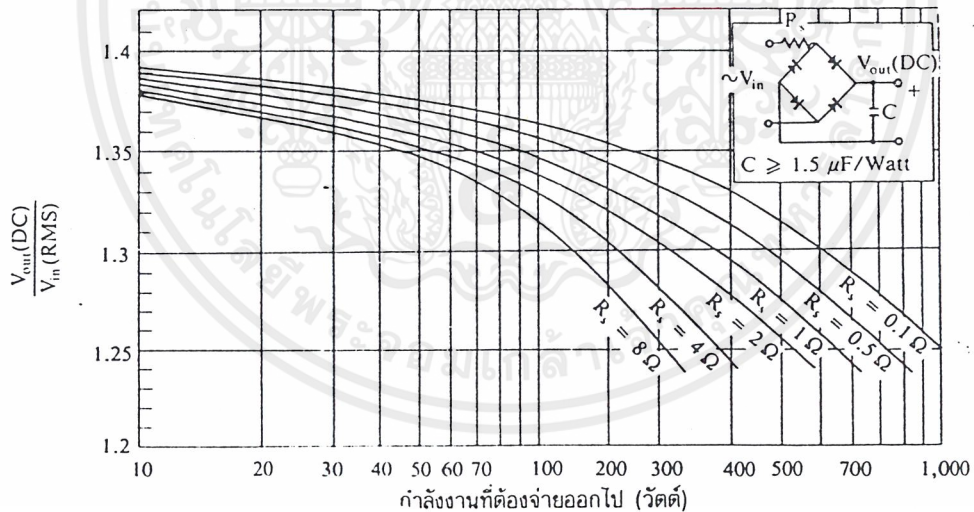
2.1.1 ตัวต้านทานจำกัดกระแส

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะมีประโยชน์มากในวงจรเรกติไฟเออร์ R_s จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่จะเกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขณะชาร์จจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ไว้ในวงจรจะจำกัดการไหลของกระแสขณะเปิดเครื่องเป็นอย่างดี ๆ และลดกระแสกระชากด้วยตัวต้านทาน R_s ในวงจรเรกติไฟเออร์จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าอย่างเหมาะสม เนื่องจากในวงจรเรกติไฟเออร์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์นั้น ค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นกับค่าของ R_s และกำลังงานที่วงจรเรกติไฟเออร์จะต้องจ่ายออกไป ดังแสดงในรูป 2.4

การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะทำให้ประสิทธิภาพของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายลดลงเนื่องจากการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_s การกำหนดค่าของ R_s จึงต้องพิจารณาจากความเหมาะสมระหว่างการลดกระแสกระชาก และประสิทธิภาพการทำงานของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายด้วย



รูปที่ 2.4 แสดงค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาท์พุทของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ค่าต่าง ๆ

2.1.2 ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์

ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด D1– D4 ให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่ามากขึ้นเพียงพอตามที่คอนเวอร์เตอร์ต้องการ การทำงานของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ c ในวงจรเรกติไฟเออร์ รูปที่ 2.5 และ จะแสดงค่ากระแส RMS ที่อินพุท และค่ากระแส RMS ของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ c ต่อค่ากระแสประสิทธิผล I_c ที่อินพุทของวงจรเรกติไฟเออร์

$$I_c = P_{in}/V_{in_{RMS}} \dots\dots (2.1)$$

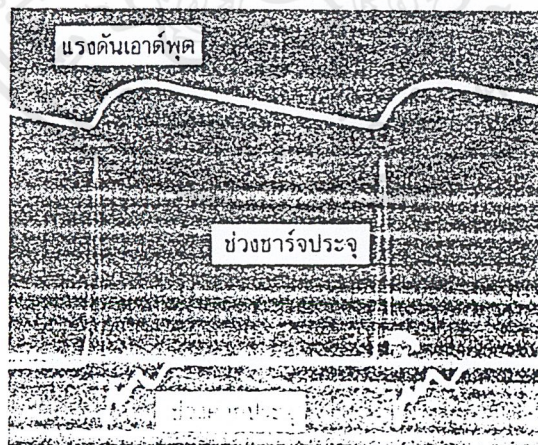
เมื่อ I_c คือ ค่ากระแสประสิทธิผลที่อินพุท เป็น อาร์เอ็มเอสแอมป์

P_{in} คือ กำลังงานที่จ่ายเข้าด้านอินพุท เป็นวัตต์

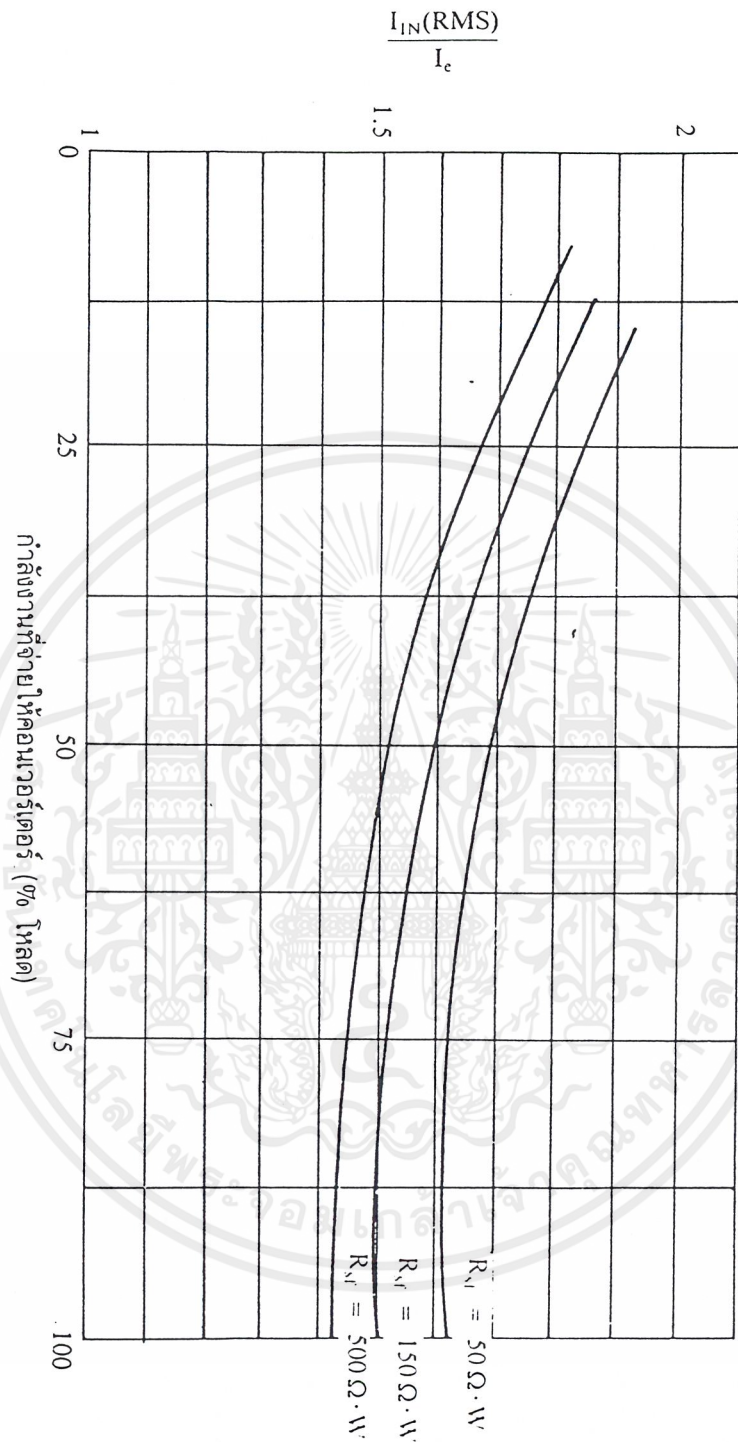
$V_{in_{RMS}}$ คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่อินพุท เป็นอาร์เอ็มเอส

ส่วน R_{sf} คือค่าแฟกเตอร์ของตัวต้านทาน R_s และค่า R_{sf} หาได้จาก

$$R_{sf} = R_s \times P_{in} \dots\dots (2.2)$$

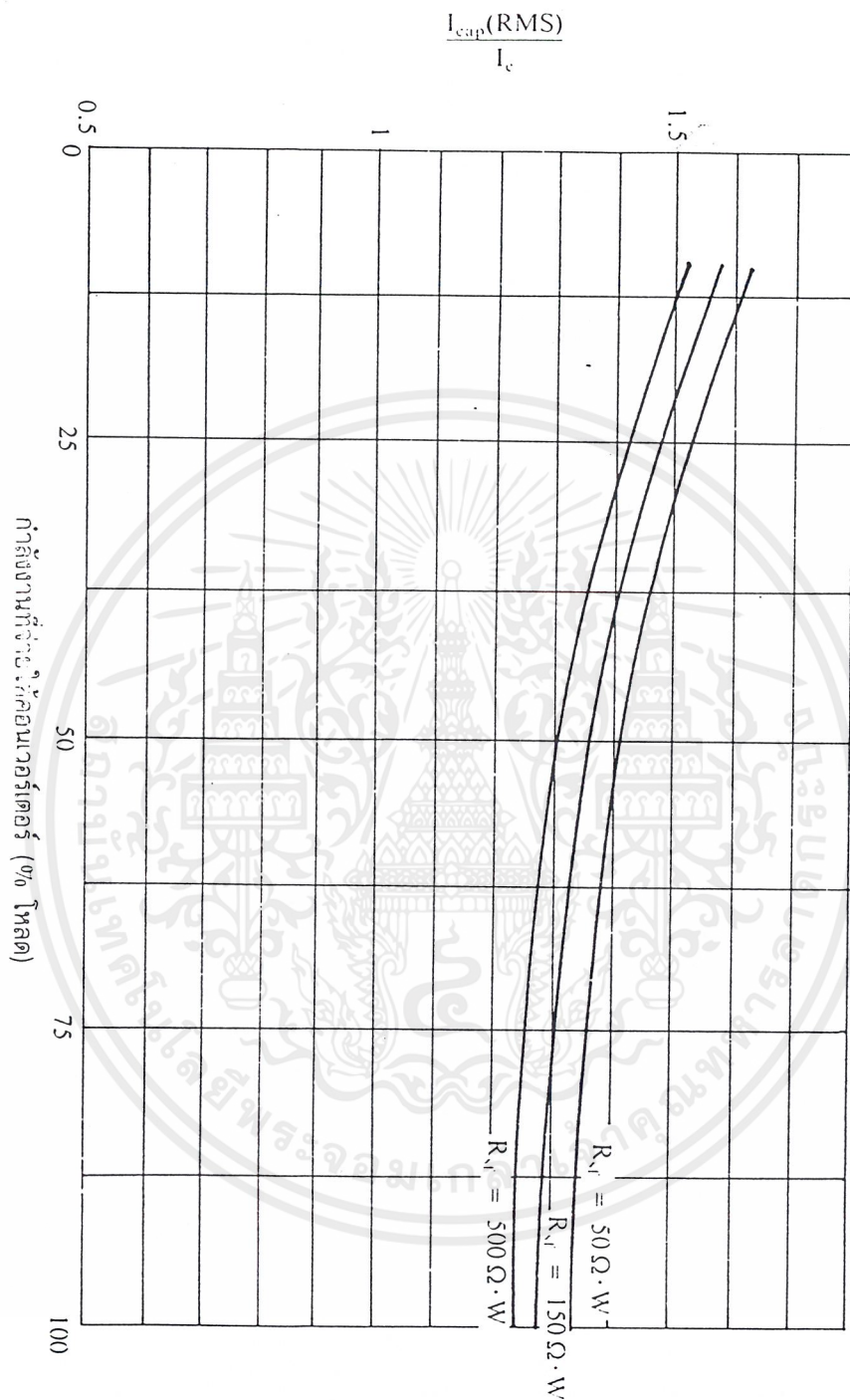


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการซาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์



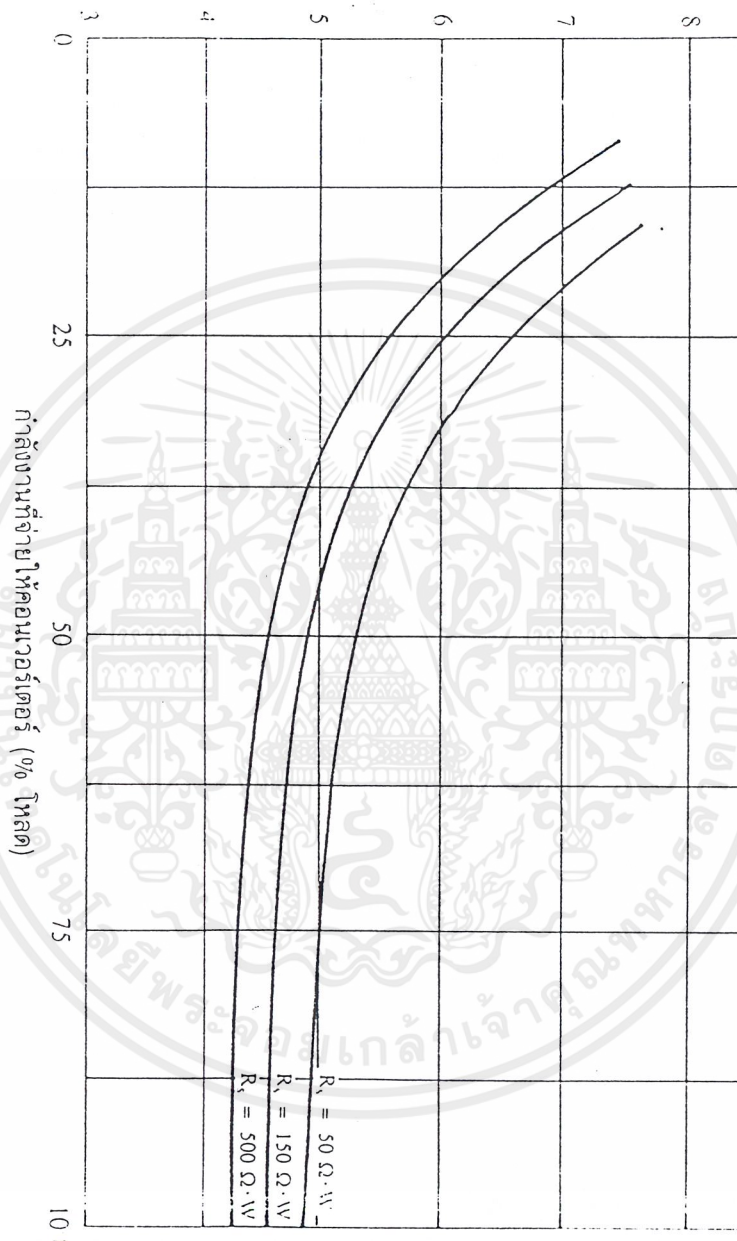
รูปที่ 26 (ก) แสดงค่ากระแส RMS ที่ผ่านเรกติไฟเออร์เมื่อเปรียบเทียบค่าของกระแสประ
 สติทธิผล I_c ต่อกำลังที่เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
 ของค่าโหลดสูงสุด) ที่ค่า R_{sf} ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 (ข) แสดงค่ากระแส RMS ที่ตัวเก็บประจุฟิวดเจอร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของ
กระแสประสิทธิผล I_c ต่อกำลังที่เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้คอนเวอร์เตอร์ (คิด
เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าโหลดสูงสุด) ที่ค่า R_{sf} ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

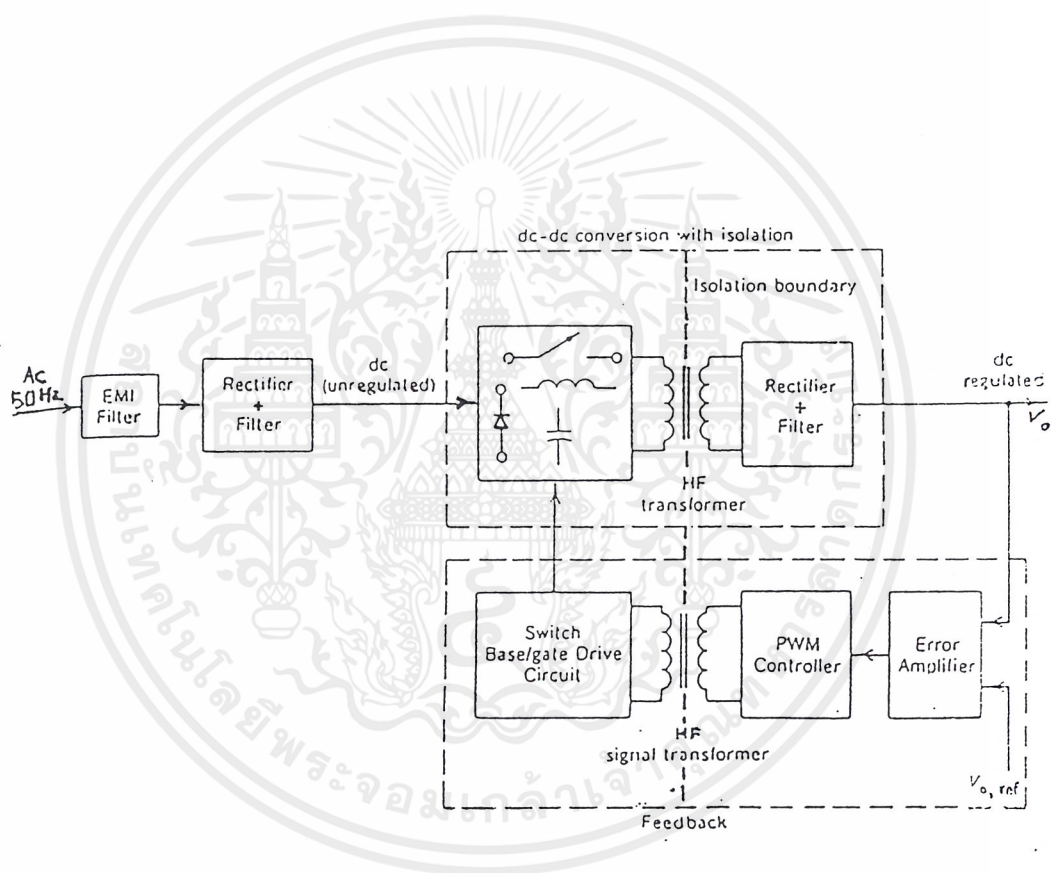


รูปที่ 26 (ค) แสดงค่ากระแสสูงสุด ที่ผ่านที่ผ่านตัวเก็บประจุฟิลเตอร์เมื่อเปรียบเทียบค่าของกระแสประสิทธิผล I_e ต่อกำลังที่เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าโหลดสูงสุด) ที่ค่า R_{sf} ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 DC – DC Converter

DC – DC Converter จากไดอะแกรมการทำงานของ switching power supply รูปที่ 2.7 จะเห็นว่าในส่วนของ DC – DC Converter จะประกอบด้วยภาค Inverter ความถี่สูง , recctifier , filter ด้าน output และวงจรควบคุม ซึ่งวงจรควบคุมจะประกอบไปด้วยหลายวงจร เช่น วงจรกำเนิดความถี่ , วงจรขยายความผิดพลาดและวงจรป้องกัน load เกิน ฯลฯ



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของวงจร DC – DC Converter

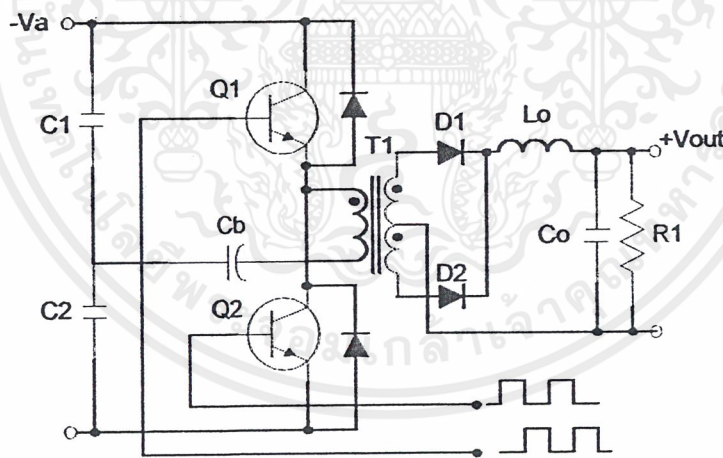
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ converter จะประกอบด้วยวงจรพื้นฐาน 3 แบบ คือ

- Flyback หรือ Buck-Boost
- Forward หรือ Buck
- Push Pull หรือ Buck – Derived

2.2.1 Half – Bridge Converter

จากรูปที่ 2.8 ขดลวดปฐมภูมิแต่ละด้านของ transformer จะถูกค้อยู่กับจุดที่มีแรงดันไฟตรงเป็นครึ่งหนึ่ง หรือประมาณ 160 Vdc ที่มีขั้วต่างกันโดยมี transistor Q1 และ Q2 เป็นตัว switch คัดต่อทำให้คลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันขนาดแรงดัน 320 Vpp ป้อนแก่ขดปฐมภูมิของ transformer จากนั้นทำการ rectifier และ filter แรงดันทาง output ของทุติยภูมิด้วย D7,D8,L และ C4 ได้เป็นกระแสตรงป้อนแก่ load



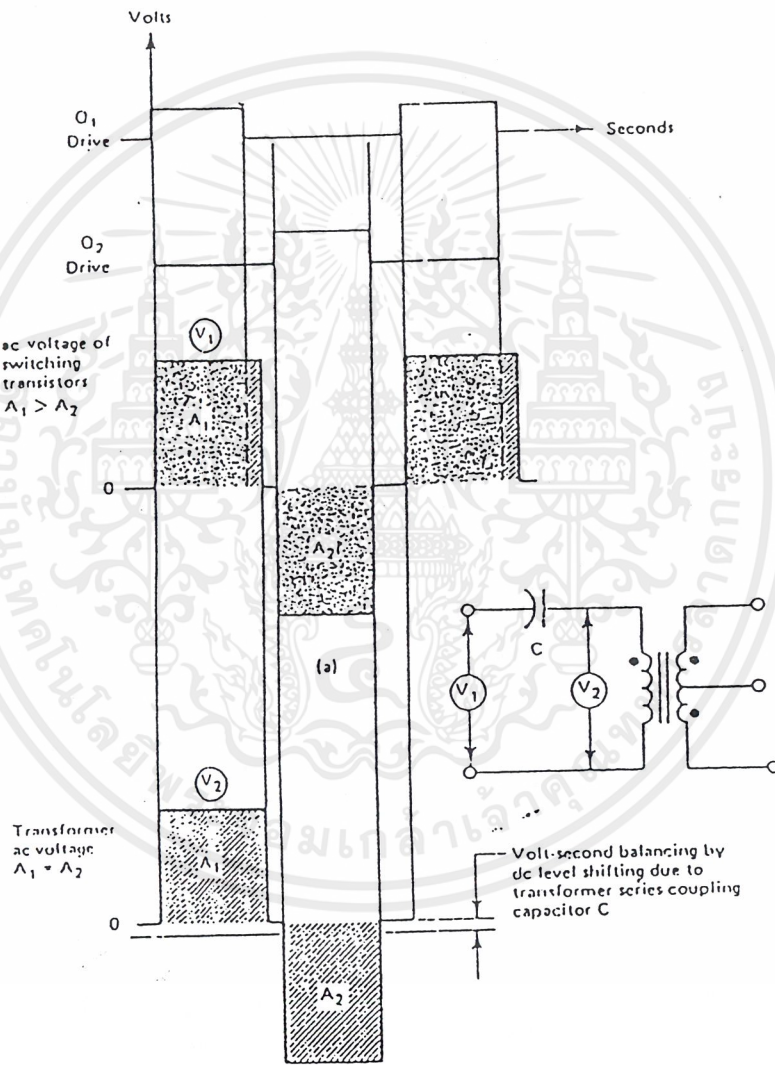
รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของ converter แบบ Half – Bridge

การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ แรงดันที่ตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะที่ไม่ทำงานมีค่าน้อยกว่า แรงดัน input ครึ่งหนึ่ง ซึ่งทำให้ใช้ transformer ที่ทนแรงดันไม่ได้สูง ส่วนข้อเสียนั้นกระแสที่ไหลผ่าน transistor ขณะทำงานมีค่าเป็น 2 เท่าของแบบ push-pull

จุดประสงค์หนึ่งของวงจรคือทำให้พื้นที่ทั้งสองทิศทางของกราฟ B-H เท่ากันโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Q2 ที่มีคุณสมบัติไม่เท่ากันเช่น Q1 หยุดทำงานช้ากว่า Q2 ก็จะเกิดเป็นพื้นที่ C ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงแรงดันที่เกิดขึ้นมา ถ้าปล่อยแรงดันซึ่งมีรูปคลื่นขั้วบวกและลบไม่เท่ากันนี้ไม่ขับ transformer ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง แกนของหม้อแปลงก็จะอิ่มตัว และ transistor อาจพังได้ในที่สุดซึ่งแก้ไขได้โดยต่อตัวเก็บประจุ C ไว้ Coupling สัญญาณก่อนป้อนแก่ขดลวดปฐมภูมิของ transformer C3 จะทำหน้าที่เลื่อนระดับสัญญาณเพื่อชดเชยให้พื้นที่ A1 และ A2 เท่ากัน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงผลที่เกิดจากการใส่ตัวเก็บประจุในวงจร Half – Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET)

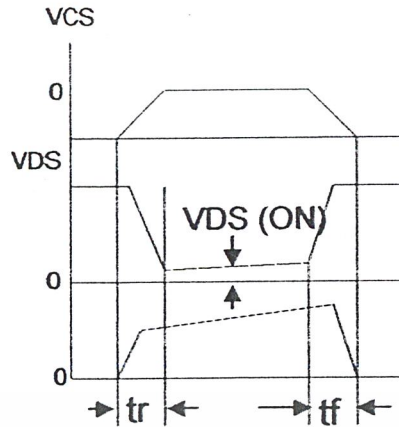
เพาเวอร์มอสเฟต สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง 50 KHz ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 KHz เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นและการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ดีที่ความถี่สูงขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วในการผลิตสวิทช์เพาเวอร์ซึ่งพบหลายในตลาดอุตสาหกรรมปัจจุบัน

โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปได้ทั้งในลักษณะ N – Channel และ P – Channel อย่างไรก็ตาม ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเพาเวอร์มอสเฟตชนิด N – Channel เท่านั้น

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนแปลงสถานะและกำลังสูญเสียขณะนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นจึงไม่มีปัญหาลักษณะเดียวกันกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะมันนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการตอบสนองของเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อทำงานเป็นสวิทช์

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักถูกใช้งานที่ความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 KHz การคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (turn on time) ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย

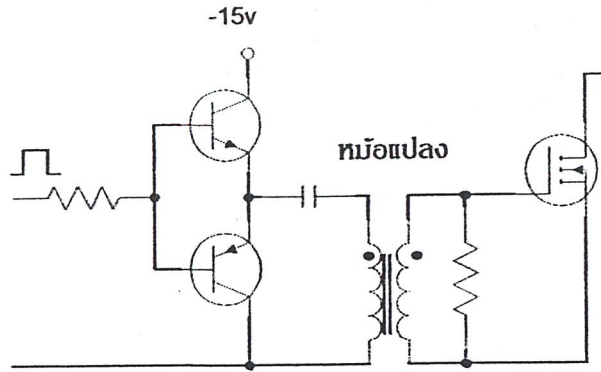


รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันคกรวมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรงเงาจะเป็นส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อน ได้สูงอีกด้วย

หมายเหตุ : สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตโดยทั่วไป ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสใน data sheet ของผู้ผลิตส่วนใหญ่มีกระนามาเป็นค่า t_r (current rise time) และ t_f (current fall time) คมลำดับ ในที่นี้จึงใช้สัญลักษณ์เป็น t_r และ t_f แทน t_{on} และ t_{off} เมื่อเปรียบเทียบกับ ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวบนและตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกัน และอาจจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับเพาเวอร์มอสเฟตมากกว่าหนึ่งตัวพร้อมกัน ก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วยการต่อหม้อแปลงพัลส์เข้ากับขาเกตและวงจรควบคุม โดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตได้ การต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการจัดวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยหม้อแปลง

หม้อแปลงสวิตชิงของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

2.3 หม้อแปลงสวิตชิง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาทำความเข้าใจรูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆ ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ความเหมาะสมในการใช้งานรวมทั้งความปลอดภัยในการทำงาน เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตชิงขณะทำงาน

2.3.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิงมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาท์พุท ทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุท และแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าช็อต ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

1. แกนเฟอร์ไรต์ (Ferite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะเป็น

ผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกน

อากาศมากเฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 –

4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันค่าที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูป

ร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งานและมาตรฐานการออกแบบ

2. บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่
คิดไฟบอบ

บobbie จะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจร
ระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้บobbie ส่วนใหญ่จะถูกรอกออกมาให้มีขาหักลวด
ทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีกับแผ่นปริ้นต์

3. ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

การพันลวดทั้งไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตจิ่ง ที่มีกำลังไม่สูงมากนัก
ปกติจะใช้

ลวดทองแดงอาบน้ำยาบนแกนบobbie เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามความต้องการ ขนาดของ
ลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดลวด ความถี่และผลข้าง
เคียงอื่นๆ

4. เทปฉนวน (Insulation Type)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นฉนวนระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตจิ่ง
และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและเซคันดารีด้วยวัสดุที่
ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวก ไมลาร์ (Mylar) หรือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มี
ความหนาอยู่ในช่วง 0.05 – 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่า
ความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตจิ่งเป็นหลัก

ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์ ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์
ที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะ
ขนาดเท่ากันทุกประการก็ตามในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะต้อง
มีรายละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลที่สำคัญที่ควรจะทำความเข้าใจและ
ศึกษาไว้ก็คือ เส้นโค้งฮิสเตอร์ซิส (Hyteresis Curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์
ไรต์ (Core Loss) โดยเส้นโค้งฮิสเตอร์ซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนา
แน่นฟลักซ์ แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มขั้วของสนามแม่เหล็ก ที่เกิด
จากการเหนี่ยวนำขดลวดที่พันบนแกน ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ
ความเข้มขั้วของสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็กก็ตาม จุดกล่าวก็คือ แกนเริ่มมีการอ้อมตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก

การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตชิงจะต้องระมัดระวังไม่ให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอ้อมตัวขึ้นได้คั้งนั้น โดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงสวิตชิง จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดคอนอ้อมตัวของแกนเฟอร์ไรต์เพื่อความปลอดภัย การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนจะขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดไพรมารีและขนาดของแกน จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดไพรมารีมีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นยังมีค่ามากการลดจำนวนรอบของขดไพรมารีลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอ้อมตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่กำลังนำกระแสสูง ๆ แทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงจะจะทำให้เกิดการสูญเสียในแกนสูงอีกด้วย คั้งนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการ คือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดการอ้อมตัวในขณะทำงาน
2. ที่ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ค้ำที่สุด

การพันขดลวดทองแดงการกำหนดขนาดของขดลวด

ปกติการพันขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิงจะใช้ขดลวดทองแดงอบน้ำยาเป็นตัวพัน ในขณะที่หม้อแปลงทำงาน สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงกระแสที่ไหลผ่านขดลวดนั้นมีความถี่สูง ที่ความถี่สูง ๆ ลวดทองแดงจะนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีมากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวดทองแดงก็มีผลทำให้เกิดการสูญเสียในขดลวดเช่นเดียวกัน กำลังงานสูญเสียนี้จะทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาดและวิธีการพันขดลวดทองแดงจึงต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

2.4 output power switching

ในการทำ switching supply ในที่นี้จะใช้วงจรแบบ Half bridge converter ซึ่งใช้เทคนิค PWM โดยวงจรจะประกอบไปด้วย Diode Switching , วงจร สนับเบอร์ , ขดลวด choke ที่ output

2.4.1 Diode Switching

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ไม่อาจมองข้ามการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขณะมันทำงานได้ เนื่องจากต้องทำงานที่ความถี่สูง กำลังงานสูญเสียใน ไดโอดจะเกิดได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสและกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้งานไดโอดที่ความถี่ต่ำ ๆ กำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่จะเกิดจากกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่ที่ความถี่สูงกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะของไดโอดจะมีค่าสูงขึ้นด้วย และมีผลต่อค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในไดโอด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดไดโอดให้ถูกต้อง เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะนั้นด้วย

ขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อขึ้น ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแสซึ่งจะมีค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยไดโอดช่วงนี้จะมีกำลังงานสูญเสียเท่ากับ

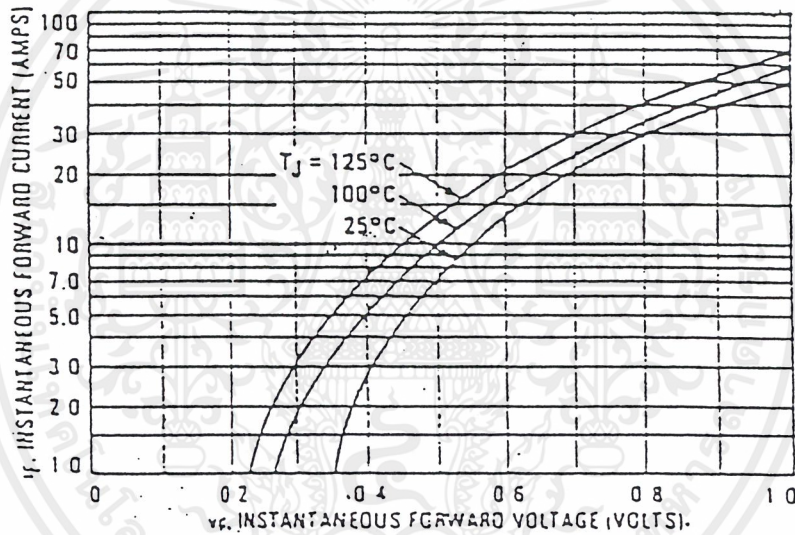
$$P_D = V_F I_F \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ P_D คือ ค่ากำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอดขณะนำกระแส

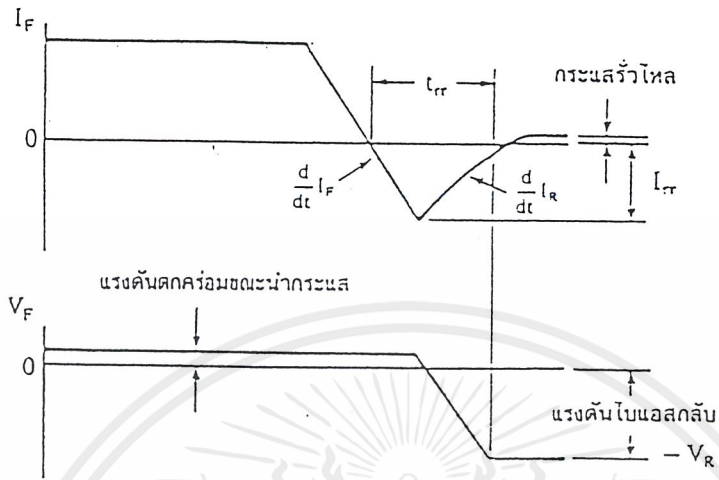
V_F คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดขณะนำกระแส

I_F คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่าน ไดโอด

ไดโอดจะเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากที่สุดขณะที่เปลี่ยนสถานะเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสซึ่งมีผลมาจากการเกิดประจุสะสมในตัวไดโอดขณะนำกระแส โดยก่อนที่ไดโอดจะตอบสนองต่อแรงดันไบอัสกลับและกันไม่ให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับทางได้ ไดโอดจะต้องลดประจุสะสมเหล่านี้ออกไปเสียก่อน ... ประจุสะสมจะมีผลทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับผ่านตัวไดโอดได้ขณะที่มีแรงดันไบอัสกลับคคร่อมมันอยู่ และไดโอดต้องใช้เวลาด่วนหนึ่งเพื่อลดประจุสะสมออกไปจึงจะสามารถหยุดกระแสไบอัสกลับได้ เวลาที่ใช้ในการลดประจุนี้เรียกว่า ช่วงเวลาคืนตัว (reverse recovery time) หรือ t_{rr} ลักษณะตอบสนองแรงดันและกระแสของไดโอดจะเป็นดังรูป 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างค่าแรงดันคคร่อมไดโอดขณะนำกระแส



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะหยุดนำกระแส

ช่วงเวลาที่คืนตัว t_{rr} จะขึ้นกับค่าประจุสะสม ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการที่มีกระแสไหลผ่านไดโอดขณะถูกไบอัสตรง รวมทั้งการใช้งานไดโอดลักษณะต่าง ๆ กันจะให้ค่า t_{rr} ที่แตกต่างกันออกไปด้วย จะเป็นได้ว่าในช่วงเวลา t_{rr} นี้ ไดโอดจะมีกระแสไหลขณะที่มีแรงดันตกคร่อมสูง และจะเกิดกำลังงานสูญเสียขึ้นสูงเมื่อใช้งานไดโอดความถี่สูงขึ้น

ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไดโอดคือ ความนุ่มนวลในการคืนตัว (softness recovery) ที่ความถี่สูง ๆ ลักษณะการคืนตัวของไดโอดจะมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวน RFI ของสวิทซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย ค่าความนุ่มนวลในการคืนตัวของไดโอดจะกำหนดโดย ค่าความชันที่ขอบขาขึ้นของกระแสในช่วงเวลาที่คืนตัว ไดโอดที่มีค่าความชัน น้อย ๆ จะมีลักษณะการคืนตัวอย่างนุ่มนวลและให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI ต่ำ ๆ แต่จะมีช่วงเวลาที่คืนตัว t มาก และเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากด้วย

ชนิดและการเลือกใช้ไดโอด

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่การทำงานของวงจรตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ไดโอดที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปดัง คือ

1. มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ
2. มีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{turn} ต่ำ
3. สามารถทนกำลังได้สูง

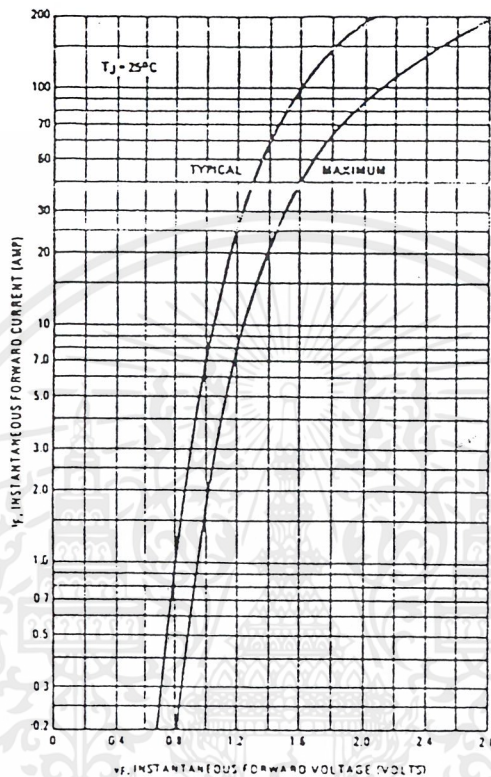
ซิลิกอนไดโอดที่ใช้ในวงจรเรกติไฟเออร์ทั่ว ๆ ไป จะไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ได้เนื่องจากมีค่าช่วงเวลาดำเนินตัวมาก กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะเกิดขึ้นสูงและมีประสิทธิภาพต่ำ ปกติไดโอดที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรเลือกใช้จากไดโอด 3 ชนิดดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอด (Fast Recovery Diode)
2. อุลตราฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอด (Ultra Fast Recovery Diode)
3. ซอชต์กี ไดโอด (Schottky Diode)

Fast Recovery Diode and Ultra Fast Recovery Diode

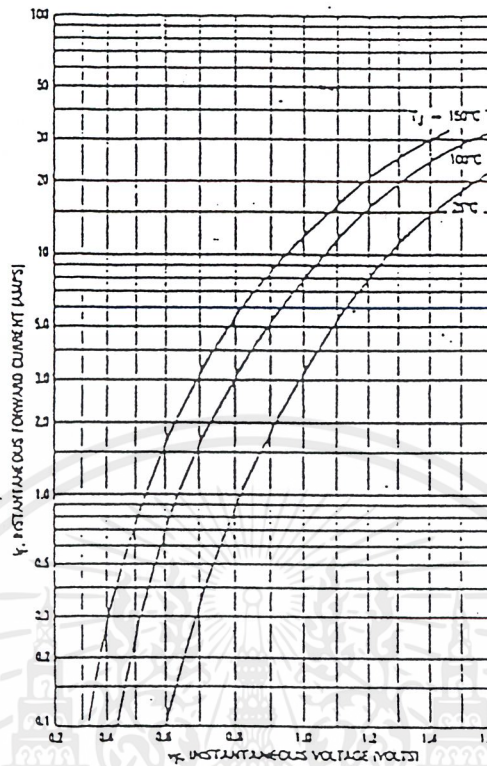
ฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอดมีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{turn} ประมาณ 200 ถึง 750 นาโนวินาที ซึ่งสั้นกว่าซิลิกอนไดโอดมาก และฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอดอัตราทนแรงดันไบอัสกลับได้สูงสุดถึง 1,000 โวลต์ ส่วนอุลตราฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอดจะมีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{turn} ประมาณ 25 ถึง 100 นาโนวินาที และมีอัตราทนแรงดันไบอัสกลับได้สูงถึง 1,000 โวลต์ เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส V_F ของไดโอดทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันคือ ประมาณ 0.6 ถึง 1.5 โวลต์ ตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์ – รีคัฟเวอรีและอุลตราฟาสต์เวอรีแสดงไว้ในรูปที่ 2.14

เนื่องจากแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์ – รีคัฟเวอรี และอุลตราฟาสต์ – รีคัฟเวอรี ไดโอดมีค่าค่อนข้างสูง ไดโอดทั้งสองชนิดนี้จึงเหมาะกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าแรงดันตั้งแต่ 12 โวลต์ ขึ้นไป



รูปที่ 2.14 ก) แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟอสฟอรัสไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



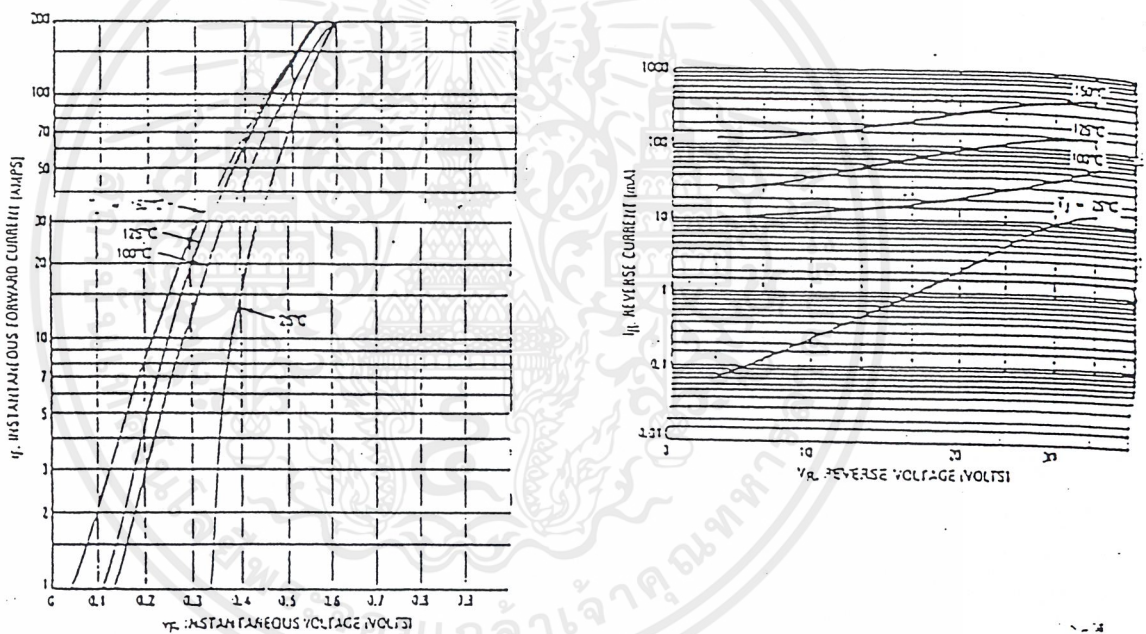
รูปที่ 2.14.ข) แสดงตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของอุลตราฟาสต์รีคัพเวอร์

ไดโอด

Schottky Diode

ขอต็ค์กีไดโอดมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างต่ำที่ประมาณ 0.5 โวลต์ (รูปที่ 2.15 ประกอบ) จึงเหมาะสมกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำ ๆ และกระแสสูง เช่น ที่ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 5 โวลต์ เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างภายใน ที่แตกต่างจากฟาสต์ – รีคัพเวอร์และอุลตราฟาสต์ – รีคัพเวอร์ไดโอด ขอต็ค์กีไดโอดจึงมีค่าสั้นมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 นาโนวินาทีและอาจถือว่าขอต็ค์กีไดโอดไม่มีกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้ได้

อย่างไรก็ตาม ซอตต์กีไดโอดมีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ ซิตต์กีไดโอดที่ผลิตได้ในปัจจุบัน มีอัตราทนแรงดันขั้วไบอัสกลับได้สูงสุดที่ 100 โวลต์เท่านั้น และซอตต์กีไดโอดมีกระแสรั่วไหลสูง (รูป 2.15 ประกอบ) ทำให้มีกำลังงานสูญเสียขณะถูกไบอัสกลับค่อนข้างสูง และยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำซอตต์กีไดโอดใช้ในคอนเวอร์เตอร์อีกประการหนึ่งคือ ซอตต์กีไดโอดจะให้ทรานเซียนต์ซ์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสสูง



รูปที่ 2.15 (ก) แสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของซอตต์กีไดโอด

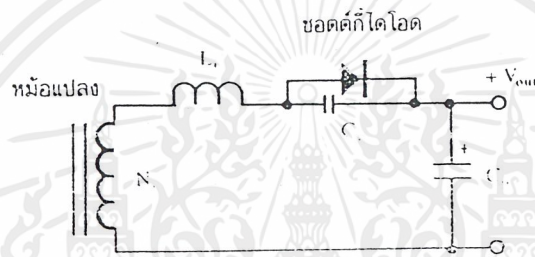
(ข) ค่ากระแสรั่วไหลของซอตต์กีไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

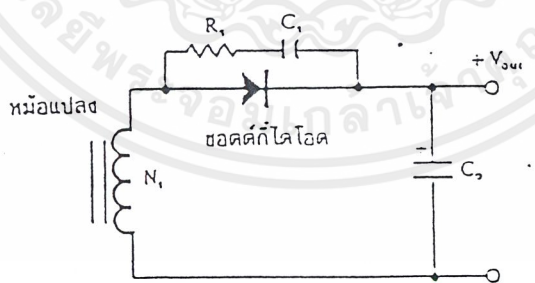
2.4.2 สนับเบอร์

เพราะว่าค่าความจุที่รอยต่อภายใต้ตัวขอตักไดโอดค่อนข้างสูง ดังนั้นการจัดวงจรในส่วนเอาต์พุตหากของเซคันดารีมีค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กและตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กจะต่อกันอยู่ในลักษณะของวงจรจูนดังรูปที่ 2.16 และทำให้เกิดทรานเซียนต์ขึ้นขณะไดโอดเริ่มหยุดนำกระแส ทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันสูงสุดที่ขอตักไดโอดจะทนได้ทำให้เกิดการพังเสียหายขึ้นหรือมีผลต่อความเร็วของแรงดันเอาต์พุต

เพื่อลดทรานเซียนต์ จึงจำเป็นต้องต่อวงจร RC สนับเบอร์คร่อมไดโอดขณะใช้งานไว้ด้วยการต่อ RC สนับเบอร์เพื่อลดทรานเซียนต์สามารถทำได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรสมมูลของค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กในหม้อแปลง L_s และมีตัวเก็บประจุที่รอยต่อ C_s ในขอตักไดโอด



รูปที่ 2.17 แสดงการต่อ RC สนับเบอร์คร่อมขอตักไดโอดขณะใช้งานเพื่อป้องกันการเกิดทรานเซียนต์จากตัวขอตักไดโอด

การระบายความร้อน

ขณะที่ไดโอดนำกระแสสูง ๆ จะเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขึ้นเนื่องจากไดโอดมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อ การใช้งานไดโอดจะต้องคัดแผ่นระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้กับไดโอดด้วย ปกติไดโอดจะมีค่าอุณหภูมิที่รอยต่อสูงสุด T อยู่ที่ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผู้ผลิตมักจะให้กราฟแสดงความสามารถในการนำกระแสที่ อุณหภูมิตัวดังต่าง ๆ ของไดโอดมาในแผ่นค้ำก่อนการใช้งานไดโอดจะต้องพิจารณาขนาดของแผ่น ระบายความร้อนที่เหมาะสมให้มันด้วย เพื่อป้องกันการพังเสียหายเนื่องจากความร้อนและยี่อายุการทำงานของ ไดโอด

2.5 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

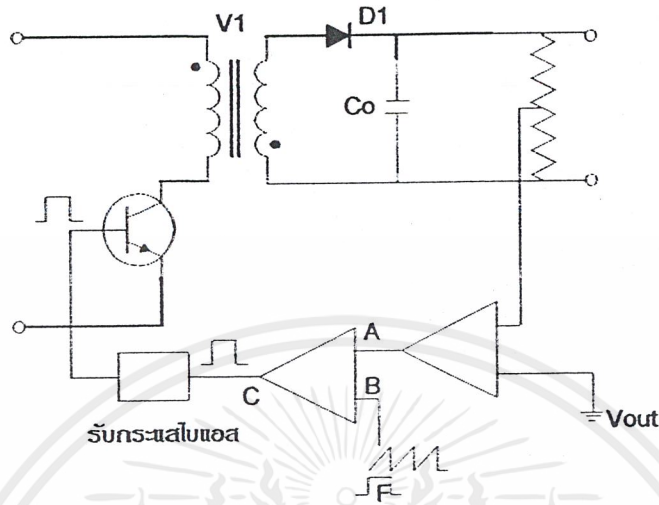
เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์ เกือบทุกรูปแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส (t_{on}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงนิยมใช้พัลส์วidthมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก การใช้ PWM เมื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ โหมคควบคุมควบคุมแรงดันและ โหมคควบคุมจากแรงดันและ โหมคควบคุมจากกระแส

2.5.1 วงจรควบคุมในโหมคควบคุมแรงดัน

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมคนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลักวงจรควบคุมในโหมคควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังรูปที่ 2.18

วงจรควบคุมแรงดันจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตแลเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งไปยัง PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากการขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้ของวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่

ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมแรงดัน

เนื่องจากค่าแรงดันที่ป้อนกลับจะถูกส่งมาที่วงจรมหาความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตของแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือเมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้นความกว้างที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เอาต์พุตคงค่าแรงดันไว้ได้อีกด้วย

2.5.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส (Current Mode Control)

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแสมีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมแรง จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบที่นิยมใช้กันมากอย่างไรก็ตาม วงจรควบคุมจากโหมดการควบคุมกระแสก็ยังต้องใช้เทคนิคของพัลส์วิดมอดูเลชัน

เพื่ออำนวยความสะดวกการทำงานเข้าใจการทำงานของวงจร เราจะแยกการวิเคราะห์การทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดค่า

เมื่อเอาที่พูดของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาที่พูดของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลานาน่ากระแสลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีมากกว่าวงจรควบคุมจากแรงดัน ดังนี้คือ

1. ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดทรานเซียนส์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุต
2. สามารถป้องกันกระแสไหลกลับได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขดไพรมารีในลักษณะพัลส์อย่างรวดเร็ว
3. ให้ค่าไลน์เรกูเลเตอร์ที่ดีมาก
4. โดยการจำกัดกระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี ปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของขดขั้ว จะไม่เกิดขึ้น
5. สามารถต่อขานานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้นและกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากันอีกด้วย

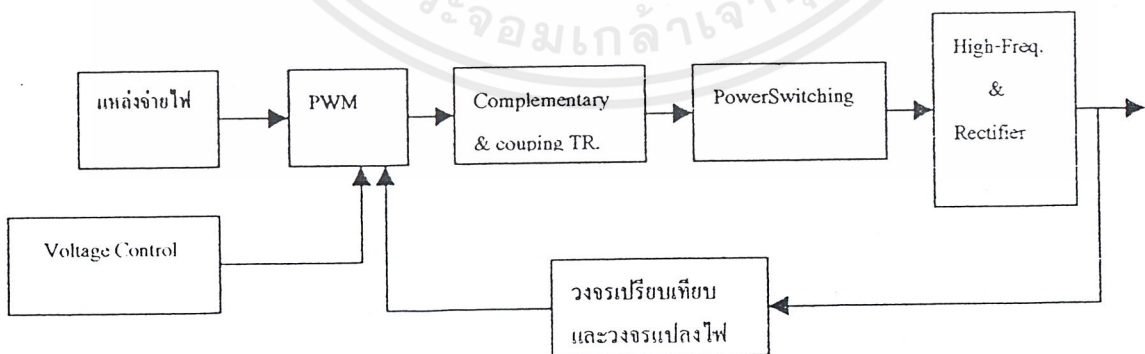
บทที่ 3

หลักการการทำงานและการออกแบบวงจร

หลักการเบื้องต้นของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนี้ สามารถกล่าวได้ว่ามีส่วนประกอบที่สำคัญด้วยกัน 2 ส่วนคือ ส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิตซิ่ง ซึ่งประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุต และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ และในส่วนของวงจรควบคุม จะประกอบด้วยวงจรป้อนกลับ โดยการเปรียบเทียบแรงดันและกระแสจากทางด้านเอาต์พุตมาส่งเป็นข้อมูลให้กับไอซี SG3526 เพื่อทำการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ผ่านวงจรขับไปยังวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

3.1 ภาควงจรควบคุม

วงจรในส่วนนี้จะมีหน้าที่ควบคุมการสวิตซ์ของเพาเวอร์มอสเฟตในภาคเพาเวอร์สวิตซิ่งในภาคควบคุมนี้จะอาศัยการกำเนิดสัญญาณควบคุมจากตัวไอซี เบอร์ SG 3526 ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นตัวสร้างสัญญาณมอดูเลททางความถี่ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ได้ทางเอาต์พุตเป็นตัวไปควบคุมการสวิตซ์ของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งลักษณะการทำงานดังกล่าวของไอซีตัวนี้เราเรียกว่า Pulse Width Modulation และส่วนโครงสร้างภายในได้แสดงเอาไว้ในส่วนของ Data Sheet ท้ายเล่ม โดยในส่วนของวงจรถามควบคุมนี้ยังสามารถแบ่งย่อยการทำงานออกไปเป็นภาคย่อย ๆ ได้อีกดังต่อไปนี้



รูป 3.1 แสดงลำดับการทำงานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของคววมและวงจรป้อนกลับ

วงจรป้อนกลับ จะทำหน้าที่แปลงค่ากระแสและแรงดันทางเอาต์พุทให้อยู่ในรูปของระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงที่คั้งไว้จากอุปกรณ์ที่สำคัญของการเปรียบเทียบแรงดัน ก็คือ ออปแอมป์ โดยจะใช้ออปแอมป์เมอร์ LM339 เป็น IC ในการเปรียบเทียบแรงดัน LM3558เป็นส่วนขยายและแปลงไฟลบ เพื่อให้เข้าในในวงจรจะอธิบายถึง ออปแอมป์ LM339 การทำงานของ ออปแอมป์ LM339 มีดังนี้

- (+) *noninverting* > (-) *inverting* *output is open circuit*
- (+) *noninverting* < (-) *inverting* *output is short circuit*

ในส่วนของวงจรจำกัดกระแสจะทำการคั้งค่าแรงดันไว้ที่ขา 4 ของ LM339 เมื่อแรงดันที่ R_{sens} ป้อนกลับมามีค่ามากกว่าค่าคั้งไว้ที่ขา 4 ทำให้ output open cct. คั้งนี้จึงมีไฟไปทำการขยายเป็นไฟลบโดยไอซี LM358 เพื่อให้ output มีค่าเป็นไฟลบค่าหนึ่งซึ่งไปลบจากแรงดันไฟที่ขา 1 ของ SG3526 ทำให้สัญญาณพัลซมีช่วงที่แคบเพื่อลดการขับกระแสที่จ่ายออกไปทาง output ของวงจรสวิดซึ่งแต่หากแรงดันที่ R_{sens} มีค่าน้อยกว่าแรงดันที่คั้งไว้ที่ขา 4 ของ LM339 ก็จะไม่มีการส่งไปวงจรขยายไฟลบ ทำให้ pulse ทำงานตามปกติ

ส่วนการป้อนกลับของแรงดัน output จะทำการแบ่งแรงดันที่วงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ โดยใช้แรงดันที่ทำการปรับนั้นส่งให้วงจรขยายไฟลบของ LM358 ทำการขยายและส่งให้วงจรแบ่งแรงดันก่อนส่งไปที่ขา 1 ของ SG3526 โดยที่ขาคั้งกล่าวจะมีแรงดัน dc ค่าหนึ่งซึ่งเราคั้งไว้เพื่อให้ SG3526 ผลิตสัญญาณพัลซออกมาเมื่อนำ feedback มาค้องจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันทำให้ SG3526 ผลิตพัลซที่มีความกว้างโดยขึ้นกับค่าแรงดันที่ขา 1

วงจรสร้างและคววมความกว้างของพัลซ

วงจรที่ใช้สำหรับสร้างและคววมความกว้างของพัลซ สามารถทำได้โดยใช้ไอซีเบอร์ SG3526 ซึ่งมีโครงสร้างภายในแสดงไว้ในส่วนของ datasheet ซึ่งมีรายละเอียดการค้องใช้งานคั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 1,2 จะใช้สำหรับรับข้อมูลที่เป็นค่าแรงดัน จากการป้อนกลับ และการเซตค่าเข้ามายังขา อินเวอร์ตติ้ง และนอนอินเวอร์ตติ้ง ของวงจรขยายความผิดพลาดภายใน ไอซี ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะส่งไปยังวงจรพัลส์วิดท์มอดคูล์เลขขึ้น เพื่อที่ปรับค่าความกว้างของพัลส์ให้เปลี่ยนไปตามข้อมูลแรงดันอินพุท

ขา 3 เป็นขาที่ใช้สำหรับชดเชยกับวงจรขยายในกรณีเปิดลูป โดยการต่อค่าตัวเก็บประจุลงกราวด์หรือปรับตั้งค่าอัตราขยายให้กับวงจรขยายความผิดพลาด โดยการต่อร่วมกันกับขา 2

ขา 4 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อตัวเก็บประจุเพื่อหน่วงเวลาในการเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อให้ได้การทำงานในลักษณะ Soft Start

ขา 5 เป็นขา รีเซ็ต เพื่อการเริ่มต้นทำงานที่ถูกต้องตรงจังหวะอีกครั้ง หลังจากการชัตดาวน์ (Shutdown) ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ขารีเซ็ตจะต่ออยู่กับขาชัตดาวน์ ดังนั้นจะเกิดการรีเซ็ตทุกครั้งหลักจากการชัตดาวน์

ขา 6,7 เป็นขาเคอร์เรนต์ เซนส์ (Current Sense) ทำหน้าที่รับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ทำหน้าที่คอยตรวจจับกระแสเอาท์พุท ด้วยวงจรเปรียบเทียบความเร็วสูง เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น วงจรเปรียบเทียบก็จะส่งเอาท์พุทไปทำการชัตดาวน์ทันที เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจร

ขา 8 เป็นขาที่ใช้สำหรับตั้งชัตดาวน์จากวงจรภายนอก โดยการป้อนลอจิก "0"

ขา 9 เป็นขาที่ต่อกับ R_t เพื่อที่จะกำหนดค่ากระแสให้กับหน่วยกำเนิดกระแสคงที่ภายใน ให้มีค่ากระแสที่เหมาะสมเพื่อให้วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) มีเสถียรภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 400 กิโลเฮิร์ต

ขา 10 เป็นขาที่ต่อกับตัวเก็บประจุ C_t เพื่อที่จะกำหนดค่าความถี่ให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ

ขา 11 เป็นขาที่ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาหยุดนำกระแส (Dead Time) โดยการต่อตัวต้านทาน R_d ลงกราวด์ โดยสามารถกำหนดค่า R_d ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 22 โอห์ม ซึ่งจะให้ค่าเวลาหยุดนำกระแสอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 9.7 ไมโครเซค

ขา 12 เป็นขาสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณ ค่อยออกมายังภายนอกเพื่อเป็นประโยชน์กับวงจรอื่นที่ต่อร่วมที่ ต้องการมีคาบเวลาเดียวกัน เพื่อให้เกิดการทำงานที่พร้อมกัน (Synchronization)

ขา 13,16 เป็นขาเอาต์พุตพัลส์ A และ B ตามลำดับ โดยพัลส์ที่ออกจากเอาต์พุตทั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา พัลส์ที่ได้จะถูกนำไปจับวงจรถอนแอมป์ต่อไป สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 250 มิลลิแอมป์

ขา 14 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงสำหรับส่วนของเอาต์พุตภายใน ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคอมพลิเมนต์ารี อันที่จริงสามารถใช้ร่วมกับกับไฟเลี้ยงไอซีขา 17 ก็ได้

ขา 15 เป็นขา กราวด์ของไอซี

ขา 17 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงจากภายนอกมาทำการเลี้ยงวงจรภายใน ไอซี โดยผ่านวงจรถ่วงค่าแรงดันอ้างอิง (5V) ก่อน เพื่อให้ไอซีทำงานอย่างคงที่

ขา 18 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรถ่วงค่าแรงดันอ้างอิงภายใน ไอซี เพื่อที่จะนำแรงดันอ้างอิงนี้ไปใช้กับวงจรถ่วงค่าเพื่อให้มีค่าแรงดันอ้างอิงค่าเดียวกัน โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดประมาณ 50 มิลลิแอมป์

วงจรถ่วงและหม้อแปลงคัปปลิ่ง

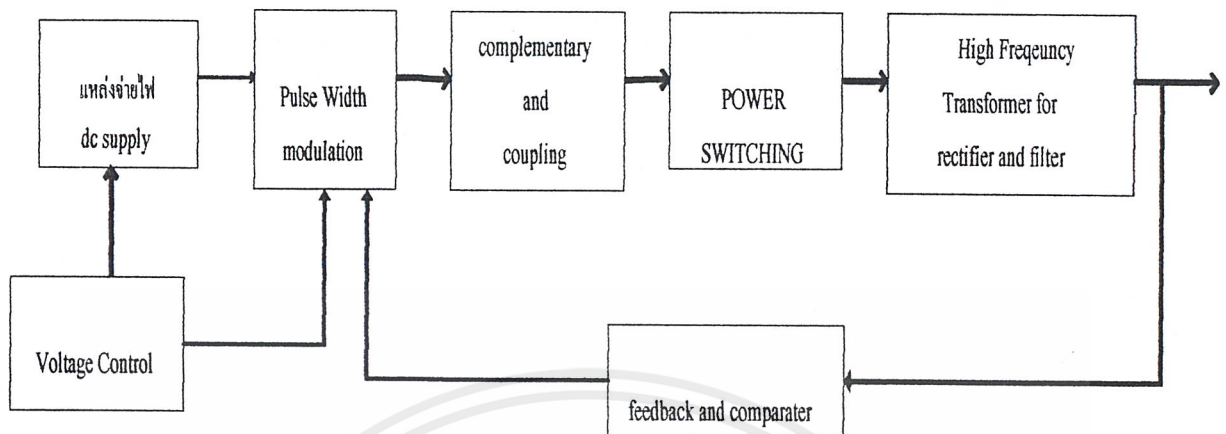
วงจรถ่วงประกอบด้วยมอสเฟต n-channel และ p-channel เบอร์ IRF530 และ IRF9530 ตามลำดับต่อกันด้วยกับแบบ complementary จำนวนสองชุด โดยเอาต์พุตของวงจรถ่วงจะต่อผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจับสวิตชิงเพื่อที่จะส่งผ่านพลังงานไปยังขดทุติยภูมิ นำไปจับเกตของเพาเวอร์มอสเฟตต่อไปเนื่องจากเอาต์พุต A และ B ของ SG3526 สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้เพียง 250 mA การจับมอสเฟตจึงไม่สามารถทำได้รวดเร็วพอต้องเพื่อกระแสที่ใช้ในการจับเกตโดยการต่อ CMOS-inverter ขนานกันเปรียบเสมือนเป็นการลดค่าความต้านทานเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกระแสเพื่อให้ได้กระแสในการจับเกตที่สูงและเป็นผลให้มอสเฟตทำงานเร็วขึ้น

ในส่วนของหม้อแปลงคัปปลิ่งจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกมา 2 ชุด โดยทั้ง 2 ชุดนี้จะมีสัญญาณกลับเฟสกัน 180° เพื่อส่งไปจับเกตของมอสเฟตให้ทำงานสลับกัน

3.2 วงจรภาคเพาเวอร์สวิตชิง

ลักษณะการทำงานของภาคเพาเวอร์สวิตชิง (power switching) สามารถเขียนอธิบายการทำงานได้ด้วย block diagram ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Block Diagram แสดงลักษณะการทำงานของวงจรภาคเพาเวอร์สวิตจิ่ง

วงจรแปลงแรงดันไฟ AC เป็น DC

AC – DC Rectifier ทำหน้าที่ แปลงแรงดันไฟสลับค่าหนึ่ง ไปเป็นแรงดันไฟตรงค่าหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะใช้การเรกติไฟร์ในลักษณะแปลงแรงดันเต็มคลื่น ชนิดแท็ปกลาง (Full Wave Center Tapped) โดยค่าแรงดันไฟตรงหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{dc} = 0.637V_p \quad \dots\dots(3.1)$$

วงจรแปลงแรงดัน DC – DC

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟตรงค่าหนึ่ง ๆ ไปเป็นแรงดันไฟตรงอีกค่าหนึ่ง โดยอาศัยมอสเฟตเป็นตัวสวิตซ์แรงดันไฟตรงให้มีการเปลี่ยนแปลง on และ off ตลอดเวลา ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกว่า คอนเวอร์เตอร์ (converte) ซึ่งเป็นลักษณะของ DC-DC Converter โดยในวงจรอาศัยการทำงานของ Power MOSFET เบอร์ IRFP460 เป็นตัวควบคุมการสวิตซ์เนื่องจากการตอบสนองทางความถี่สูงๆเฟตจะทำงานได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์และทนแรงดันได้ดีกว่าด้วย

หม้อแปลงความสูงแบบลดระดับแรงดัน (Step Down Transformer)

หน้าที่เหมือนกับหม้อแปลงทั่วไป คือ จัดระดับแรงดันเอาที่พุงให้ได้ตามที่เราต้องการ โดยที่จะมีข้อแตกต่างจากชนิดอื่นๆ ตรงที่จะให้ผลตอบสนองทางความถี่สูงๆ ได้ดีกว่าเพราะคุณสมบัติเฉพาะบางประการของเนื้อสารในแกนที่ใช้งานซึ่งใช้แกน U-Core เบอร์ U60 และใช้อัตราส่วนในการพันรอบปฐมภูมิต่อทุติยภูมิเท่ากับ 18 : 3 รอบ โดยที่ด้านทุติยภูมิมีแท่งกลาง

วงจรเรกติไฟร์ (Rectifier) และ ฟิวเตอร์ (filter)

เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณอินพุตใด ๆ ให้ได้ออกมาเป็นแรงดันไฟตรง โดยวงจรนี้ใช้เรกติไฟร์ชนิดเต็มคลื่นแบบมีแท่งกลาง (Full Wave Center Tapped) ซึ่งสุดท้ายมีไช้ค่า $7.6 \mu\text{H}$ และตัวเก็บประจุค่า $0.47 \mu\text{F}$ เป็นตัวตัวกรองกระแสให้เรียบซึ่งก็คือวงจรกรองแบบ LC

บทที่ 4

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

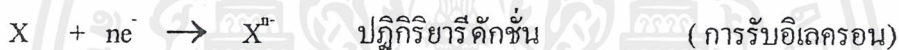
กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส หมายถึง กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าข้างนอก

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

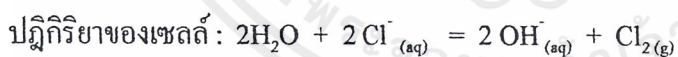
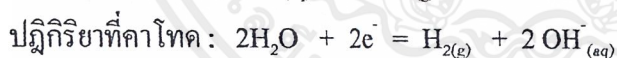
อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า “ แอโนด ”



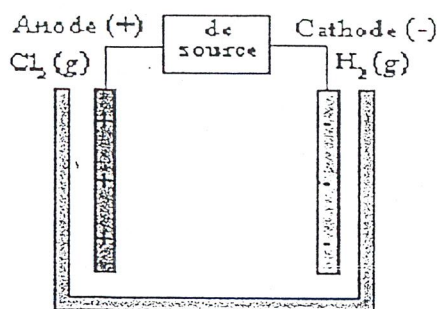
อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้น เรียกว่า “ แคโทด ”



พิจารณากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีความเข้มข้นพอประมาณในน้ำ โดยใช้แท่งแกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดแก๊ส Cl₂ ที่แอโนด และแก๊ส H₂ ที่แคโทด



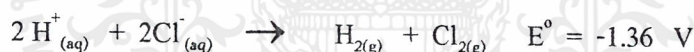
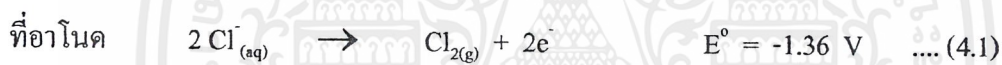
เมื่อกลับไปพิจารณากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl ในน้ำ เราพบว่าถ้าจะให้เกิดปฏิกิริยา $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Na} + \text{Cl}_2$ ความต่างศักย์ที่ต่ำที่สุดจะต้องใช้คำนวณได้จากค่าต่างศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์เท่ากับ $-2.71 - 1.35 = -4.06$ โวลต์ ซึ่งใช้ความต่างศักย์สูงมากเมื่อเทียบกับปฏิกิริยา $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^- + \text{Cl}_2$, $\Delta E^\circ = -2.19$ โวลต์ ซึ่งใช้ ความต่างศักย์ต่ำสุดคือ 2.19 โวลต์ ดังนั้นกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl จึงเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่แคโทด มากกว่าที่จะเกิดโลหะโซเดียม ดังรูป



ภาพที่ 4.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl

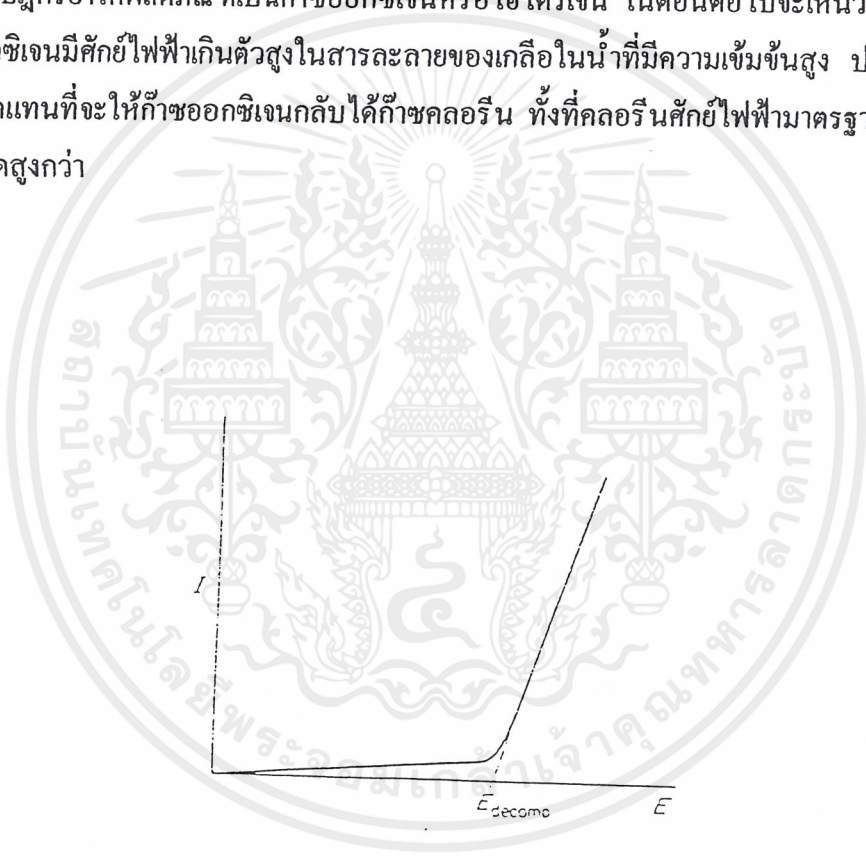
4.1 ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวและศักย์ไฟฟ้าเกินตัว

พิจารณาเซลล์อิเล็กโทรลิติกของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ และใช้พลาคตินัมเป็นอิเล็กโทรด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์จำนวนหนึ่ง จะได้รับก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคลอรีนที่อิเล็กโทรดตามปฏิกิริยา



ศักย์ไฟฟ้ามีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังที่เขียน เกิดขึ้นเองไม่ได้ เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นต่อเมื่อได้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงค่อยๆ เพิ่มศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายจากศูนย์ไปเรื่อยๆ ในระยะแรกกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราน้อย จนกระทั่งมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 1.36 V หรือมากกว่าถึง 1.60 V จึงจะเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และจากนี้ไปกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยความรวดเร็วเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นและเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน ทำให้ลักษณะการเพิ่มของทั้งสองอย่างเป็นแบบเส้นตรง ถ้าลากเส้นตรงตามแนวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาตัดกับแกนของศักย์ไฟฟ้าที่ $I = 0$ จะได้ศักย์ไฟฟ้าแตกตัว (Decomposition Potential) ซึ่งเป็น ศักย์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฮโดรคลอริกเกิดขึ้นได้ ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับลักษณะของอิเล็กโทรดและสภาวะอื่นๆ ด้วย ค่าที่ได้ควรเป็นค่าเดียวกับศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ (Reversible Potential) ซึ่งเป็นศักย์ตอนที่อ็อกซิเดชันและรีดักชัน ในสารละลายอยู่ในสภาวะสมดุลเพราะฉะนั้นจะเห็นว่า ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ ศักย์ไฟฟ้าที่เกินศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับที่เรียกว่า “ศักย์ไฟฟ้าเกินตัว” ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ที่สำคัญคือการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นช้า เพราะมีพลังงานกระตุ้นสูง และเป็น Activation Overvoltage อีกปัจจัยหนึ่งคือสารละลายบาง อย่างมีความต้านทานมากและไม่เท่ากันในบริเวณต่างๆ ซึ่งเป็น Resistance Overvoltage ปัจจัยสุดท้ายคือ ความเข้มข้นรอบๆอิเล็กโทรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้การนำไฟฟ้า ลดลงได้ซึ่งเป็น Concentration Overvoltage เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าที่ควรจึง จะทำให้เกิดอิเล็กโทรลิซิสขึ้นได้ ปรากฏการณ์เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าเกินตัวยังเป็นที่น่าสนใจน้อย ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแน่นอนและแตกต่างจากค่าศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรด เพราะฉะนั้นการใช้ ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดในการทำนายการเกิดอิเล็กโทรลิซิสจึงไม่ถูกต้องเสมอไป โดยเฉพาะ กรณีที่มีปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซออกซิเจนหรือไฮโดรเจน ในตอนต่อไปจะเห็นว่าเนื่อง จากออกซิเจนมีศักย์ไฟฟ้าเกินตัวสูงในสารละลายของเกลือในน้ำที่มีความเข้มข้นสูง ปฏิกิริยา ที่อาโนดแทนที่จะให้ก๊าซออกซิเจนกลับได้ก๊าซคลอรีน ทั้งที่คลอรีนศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิ เลกโทรดสูงกว่า



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิติก

4.2 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส (Faraday ' s Laws of Electrolysis)

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

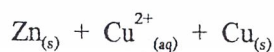
1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือ แคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรลิซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์
2. มวลสารต่างๆกันที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

4.3 ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (Half - Cell Potential)

อิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนระหว่างตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์ในปฏิกิริยาเคมีนั้นเราแสดงให้เห็นได้โดยให้อิเล็กตรอนนี้ไหลไปตามเส้นลวดสายไฟ ซึ่งเชื่อมต่อภายนอกระหว่างตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เช่น แกลแวนอมิเตอร์ แอมมิเตอร์ หรือ โวลต์มิเตอร์

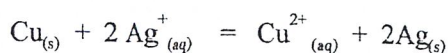
ก่อนที่จะศึกษาศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ จะพิจารณาผลของการทดลองสองการทดลองก่อน

การทดลองที่หนึ่ง ถ้าจุ่มแท่งสังกะสีที่สะอาดลงในสารละลาย CuSO_4 ช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะพบว่าสีน้ำเงินของสารละลาย CuSO_4 ค่อยๆจางลง และที่แท่งสังกะสีจะมีโลหะทองแดงไปเกาะ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เขียนเป็นสมการไอออนิก ได้ดังนี้



จากปฏิกิริยานี้ พอสรุปได้ว่าโลหะสังกะสีจะให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า โลหะทองแดงหรือ Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Zn^{2+}

การทดลองที่สอง ถ้านำแท่งทองแดงที่สะอาดจุ่มลงในสารละลาย AgNO_3 ช่วงระยะเวลาหนึ่งพบว่าสารละลาย AgNO_3 ซึ่งแต่เดิมไม่มีสีจะมีสีน้ำเงินอ่อนเกิดขึ้น และที่แท่งทองแดงจะมีโลหะเงินไปเกาะ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เขียนได้ดังนี้



แสดงว่าโลหะทองแดงให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า โลหะเงินและ Ag^{+} รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Cu^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบแนวโน้มการให้อิเลคตรอนจากมากไปหาน้อยจะเป็นดังนี้ Zn, Cu, Ag

เปรียบเทียบแนวโน้มการรับอิเลคตรอนจากมากไปหาห้อย จะเป็นดังนี้ Ag^+ , Co^{2+} , Zn^{2+}

ขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน (standard hydrogen electrode หรือเรียกสั้นๆ ว่า SHE) นำครึ่งเซลล์ต่างๆ ที่จะวัดความสามารถในการรับหรือให้อิเลคตรอนมาประกอบกับ SHE เป็นแกลเวนิกเซลล์แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสอง

ในการใช้ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนเป็นมาตรฐานเพื่อวัดอำนาจการรับและการให้อิเลคตรอนของครึ่งเซลล์อื่นๆนั้น เรากำหนดให้การรับและให้อิเลคตรอนของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 0.00 โวลต์ แต่ถ้าความดันของแก๊สไฮโดรเจนไม่เท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือกัมมันตภาพของ H^+ ในสารละลายไม่เท่ากับ 1 ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป

ในปฏิกิริยาที่มีการรับอิเลคตรอน ดังในปฏิกิริยา



ตารางที่ 4.1 ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์ที่ 25°

ครึ่งปฏิกิริยา	E_o (โวลต์)
$Li^+ + e^- = Li$	-3.05
$K^+ + e^- = K$	-2.92
$Ba^{2+} + 2e^- = Ba$	-2.90
$Ca^{2+} + 2e^- = Ca$	-2.76
$Na^+ + e^- = Na$	-2.71
$Mg^{2+} + 2e^- = Mg$	-2.37
$Al^{3+} + 3e^- = Al$	-1.67
$Mn^{2+} + 2e^- = Mn$	-0.83
$2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$	-0.83
$Zn^{2+} + 2e^- = H_2 + 2OH^-$	-0.76
$Cr^{3+} + 3e^- = Cr$	-0.74
$Fe^{2+} + 2e^- = Fe$	-0.44
$PbSO_4 + 2e^- = Pb + SO_4^{2-}$	-0.36
$Ni^{2+} + 2e^- = Ni$	-0.25
$Sn^{2+} + 2e^- = Sn$	-0.14
$Pb^{2+} + 2e^- = Pb$	-0.13

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ครึ่งปฏิกิริยา	E° (โวลต์)
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Fe}$	-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
$\text{Cu}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cu}$	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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด

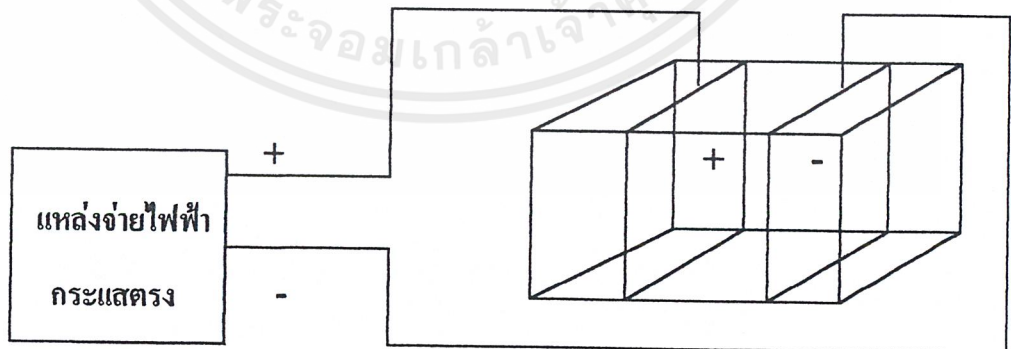
5.1 การเตรียมการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่กล่าวมาข้างต้นจะถูกนำมาใช้ในการหาคุณสมบัติเครื่องตั้งชนิดของเพลทที่ใช้ ขนาดของเพลท เพื่อให้เหมาะกับขนาดความเข้มข้นของสารละลาย CuSO_4 ที่กำหนดที่ค่าความเข้มข้นหนึ่ง

5.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. ถังพลาสติก ขนาด กว้าง 8 นิ้ว ยาว 11 นิ้ว สูง 6 นิ้ว
2. เครื่องชั่งแบบ digital
3. แผ่นอิเล็กโทรด ประกอบด้วย
 - แผ่นทองแดง
 - แผ่นอะลูมิเนียม
 - แผ่นสังกะสี
 - แผ่นสแตนเลส
4. สารละลาย CuSO_4
5. สารละลาย NaCl
6. น้ำบริสุทธิ์
7. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
8. โวลต์มิเตอร์
9. แอมป์มิเตอร์

5.1.2 วงจรการทดลอง



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลอง

5.2.1 การทดลองที่ 1 (ปฏิบัติการที่แผ่นเพลท)

1.) ไม่เติมเกลือ (NaCl)

1. เตรียมสารละลาย CuSO_4 50 g โดยใช้เครื่องวัดแบบ digital
2. นำน้ำบริสุทธิ์ 3 ลิตร ผสมกับ CuSO_4 50 g ที่เตรียมไว้
3. นำแผ่นเพลทขนาด 6*6 นิ้ว ทั้ง 4 ชนิดชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าน้ำหนักที่วัดได้
4. นำแผ่นเพลททั้ง 4 ชนิด จุ่มลงในสารละลาย CuSO_4 ที่ได้เตรียมไว้ทิ้งไว้ 10 นาที
5. หลังจากทิ้งไว้ครบกำหนดเวลา นำเพลทแต่ละชนิดมาชั่งคูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการทดลองแบบไม่เติม NaCl

ชนิดของเพลท	นน. ก่อนการทดลอง (g)	นน. หลังการทดลอง (g)	นน. ที่เปลี่ยน (g)
อะลูมิเนียม	33.16	33.43	0.27
ทองแดง	70.15	70.20	0.05
สแตนเลส	55.12	55.15	0.03
สังกะสี	39.51	39.64	0.13

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองจุ่มเพลทในสารละลายที่ไม่เติมเกลือ

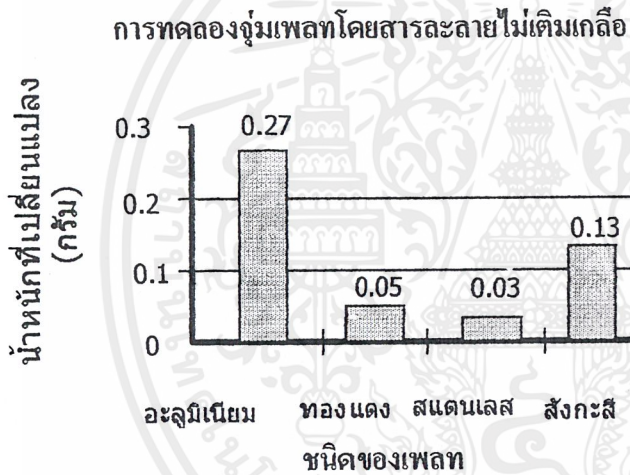
2.) เติมเกลือ (NaCl)

1. เตรียมสารละลาย CuSO_4 50 g โดยใช้เครื่องวัดแบบ Digital
2. นำน้ำบริสุทธิ์ 3 ลิตร ผสมกับ CuSO_4 50 g ที่ได้เตรียมไว้
3. เติม NaCl 10 g ลงในสารละลาย CuSO_4
4. นำแผ่นเพลทขนาด 6*6 นิ้ว ทั้ง 4 ชนิดชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าน้ำหนักที่วัดได้
5. นำแผ่นเพลททั้ง 4 ชนิด จุ่มลงในสารละลาย CuSO_4 ที่ได้เตรียมไว้ทิ้งไว้ 10 นาที
6. หลังจากทิ้งไว้ครบกำหนดเวลา นำเพลทแต่ละชนิดมาชั่งคูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

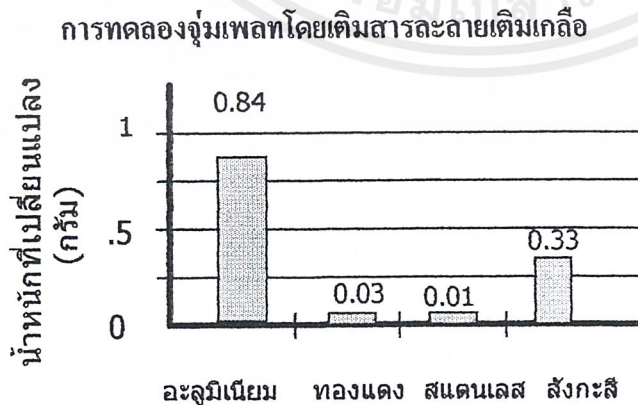
ผลการทดลองแบบเติม NaCl

ชนิดของเพลท	นน. ก่อนการทดลอง (g)	นน. หลังการทดลอง (g)	นน. ที่เปลี่ยน (g)
อะลูมิเนียม	35.67	36.51	0.84
ทองแดง	70.65	70.68	0.03
สแตนเลส	54.94	54.97	0.01
สังกะสี	39.05	41.38	0.33

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองจุ่มเพลทในสารละลายที่เติมเกลือ



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเพลทเมื่อไม่เติมเกลือ



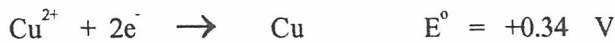
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเพลทเมื่อเติมเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

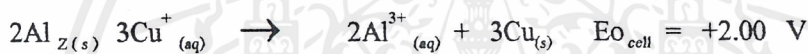
วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักเพลททุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ตามชนิดของเพลทดังนี้

1. อะลูมิเนียม จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลทอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นมากที่สุด ทั้งแบบไม่เติมเกลือ และ แบบเติมเกลือ ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ดังนี้ คือ



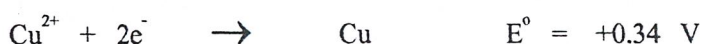
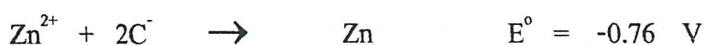
ซึ่งจะพบว่า E° ของอะลูมิเนียมน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นเพลทอะลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ง่ายอิเล็กตรอน) ส่วนสารละลาย CuSO_4 จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) โดยสามารถเขียนปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ค่า E° เป็นบวกแสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องจ่ายพลังงานข้างนอกเข้าไปจะเห็นว่าเพลทอะลูมิเนียมจ่ายอิเล็กตรอนให้ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ ทำให้เกิด $\text{Cu}_{(s)}$ มาเกาะที่แผ่นอะลูมิเนียมทำให้น้ำหนักของ เพลทอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

2. ทองแดง จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลททองแดงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยทั้งแบบไม่เติมเกลือและแบบเติมเกลือ เนื่องจากเพลทที่ใช้คือทองแดงและสารละลายที่ใช้คือ CuSO_4 ดังนั้นจึงไม่มีปฏิกิริยาเคมีใดๆเกิดขึ้นเลย

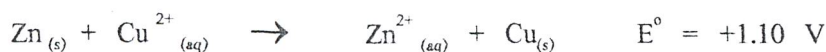
3. สังกะสี จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลทสังกะสีเพิ่มมากขึ้น แต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าอะลูมิเนียม สามารถอธิบายปฏิกิริยาดังกล่าวได้ดังนี้



ซึ่งจะพบว่าค่า E° ของสังกะสีน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นเพลทสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ง่ายอิเล็กตรอน) และสารละลาย CuSO_4 จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน)

โดยสามารถเขียนปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่า E° เป็นบวกแสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นเองได้โดยไม่ต้องจ่ายพลังงานภายนอกเข้าไป จะเห็นว่าเพลาตังกะสีจ่ายอิเล็กตรอนให้ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ ทำให้เกิด $\text{Cu}_{(s)}$ มาเกาะที่แผ่นเพลาตังกะสีทำให้น้ำหนักของเพลาตังกะสีเพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเพลาอะลูมิเนียมเพราะค่า E° ของอะลูมิเนียมต่ำกว่าของตังกะสี

4. **สแตนด์เลด** จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเพลาเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย แสดงว่าสแตนด์เลดซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมมีค่า E° ใกล้เคียงกับทองแดง

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองจะพบว่าโลหะที่มี E° ต่ำจะเป็นโลหะที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย ส่วนโลหะที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ยาก สำหรับการเค็มเกลือจะมีผลเร่งปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น

5.2.2 การทดลองที่ 2 (การหาชนิดของเพลา และ ขนาดของเพลา)

1. เตรียมสารละลาย CuSO_4 10 g โดยใช้เครื่องวัดแบบ Digital
2. นำน้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตรผสมกับ CuSO_4 10 g ที่ได้เตรียมไว้
3. เติม NaCl 10 g ลงในสารละลาย CuSO_4
4. ต่อบังคับตามรูปการทดลอง โดยกำหนดขนาดแรงดัน 24 โวลต์
5. นำแผ่นเพลาอะลูมิเนียม และ แผ่นเพลาตังกะสี ขนาดต่างๆ ที่เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักแล้วจดค่าบันทึกเอาไว้
6. นำแผ่นเพลาที่จะทดลองวางไว้ในภาชนะทดลองจากนั้นนำสารละลาย CuSO_4 ที่ได้เตรียมไว้ เทลงไปแล้วเริ่มทดลอง
7. บันทึกผลของแรงดันและกระแสทั้งทางกระแสอินพุท และเอาต์พุท และแรงดันทางเอาต์พุท ที่เวลาต่างๆ
8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำแผ่นเพลาไปชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผลไว้
9. เปลี่ยนชนิดเพลาจากแผ่นอะลูมิเนียมเป็นแผ่นตังกะสี

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของ อะลูมิเนียม ขนาด 10 นิ้ว * 4.5 นิ้ว ระยะห่าง
ระหว่าง เพลท 1 นิ้ว

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.86	9
5	24	0.92	12
10	24	0.95	14
12	24	1.01	14.5

ข้อผิดพลาดของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	23.11	23.21	0.1
ลบ	22.96	23.52	0.56

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของอะลูมิเนียมขนาด 7.5 นิ้ว * 4 นิ้ว ระยะห่าง
ระหว่างเพลท 1 นิ้ว

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.818	9
5	24	0.89	12
10	24	0.91	13
12	24	0.95	13.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ขั้วไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	17.88	17.97	0.09
ลบ	17.18	17.61	0.43

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองของอะลูมิเนียมขนาด 4 นิ้ว * 4 นิ้ว ระยะห่างระหว่าง
เพลท 1 นิ้ว

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.56	3
5	24	0.59	4.5
10	24	0.6	4.5
12	24	0.6	4.5

ขั้วไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	8.33	8.36	0.03
ลบ	8.64	9.00	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของถังกะลีสี ขนาด 7 นิ้ว * 4 นิ้ว ระยะห่างระหว่างเพลท 1 นิ้ว

เวลา (นาทีก)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.56	7
5	24	0.69	10
10	24	0.9	16
12	24	0.9	14

ข้อไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)	นน. เพลท ที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	65.48	63.39	-2.09
ลบ	63.35	63.53	0.18

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของ ถังกะลีสี ขนาด 4.5 นิ้ว * 3.5 นิ้ว ระยะห่างระหว่างเพลท 1 นิ้ว

เวลา (นาทีก)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.59	5
5	24	0.59	5
10	24	0.6	5.5
12	24	0.62	6

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

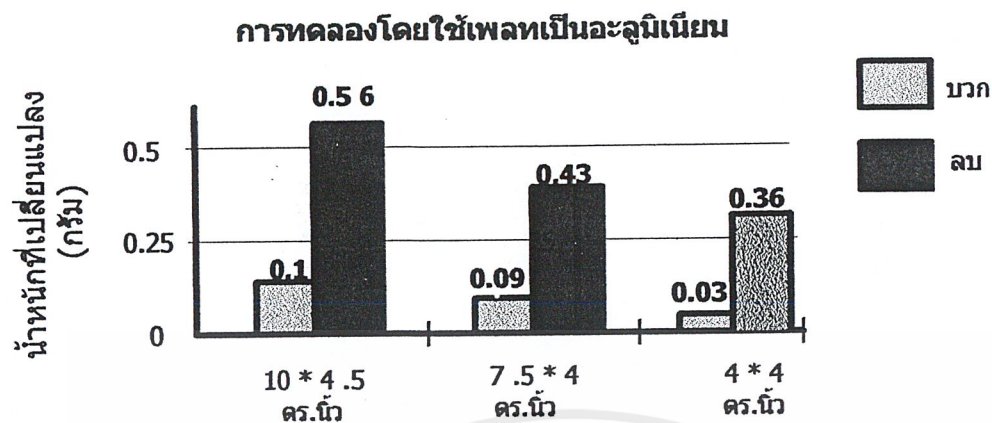
ข้อไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทลลอง (กรัม)	นน. เพลทหลังการ ทลลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่น เปลง (กรัม)
บวค	34.27	33.00	-1.27
ลบ	35.53	35.63	0.10

ตารางที่ 5.8 ผลการทลลองของ สังกะลี ขนาด 3.5 นิ้ว * 2.5 นิ้ว ระยะห่างระหว่ง
เพลท 1 นิ้ว

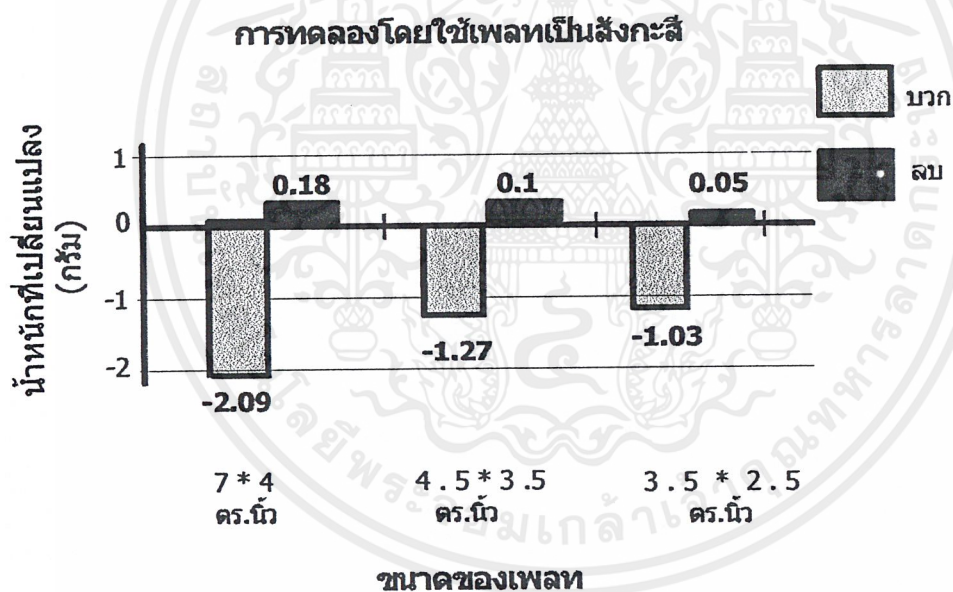
เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.56	4.5
5	24	0.59	5
10	24	0.6	6
12	24	0.6	6

ข้อไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทลลอง (กรัม)	นน. เพลทหลังการ ทลลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่น เปลง (กรัม)
บวค	20.45	19.42	-1.03
ลบ	20.73	20.78	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขนาดของเฟลท
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของเฟลทอะลูมิเนียมขนาดต่างๆ



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของเฟลทสังกะสีขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 เมื่อเราเปลี่ยนเพลาชนิดต่างๆ ได้แก่ อะลูมิเนียม, สังกะสี โดยใช้ขนาดเพลาต่าง ๆ กัน สามารถวิเคราะห์การทดลองได้ดังนี้

1. จากผลการทดลองพบว่าเพลาบวกของอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่วนเพลา สังกะสีจะมีน้ำหนักลดลง เพลาของอะลูมิเนียมหนักขึ้น เนื่องมาจากมีทองแดงมาเกาะ
2. จากการทดลองพบว่า เพลาลบของโลหะทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น และที่มากที่สุดคือ อะลูมิเนียม แสดงว่าที่เพลาลบที่เป็นอะลูมิเนียมมี $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ มาเกาะและกลายเป็น $\text{Cu}_{(s)}$ มากที่สุด

สรุปผลการทดลองที่ 2

1. ที่เพลาบวก โลหะจะเกิดการกร่อนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่อะลูมิเนียมที่ค่า E° หักกว่าโลหะชนิดอื่นมากทำให้มี Cu ซึ่งมีค่า E° สูงกว่ามากไปเกาะที่เพลา อะลูมิเนียมทำให้น้ำหนักเพลาเพิ่มขึ้น
2. ที่เพลาลบ จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยโลหะที่น้ำหนักเพิ่มมากที่สุดคืออะลูมิเนียม E° ต่ำที่สุดทำให้จ่ายอิเล็กตรอนให้ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ ได้มากที่สุดทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด ดังนั้นเพลาที่สามารถบัพักน้ำเสียที่มีไอออน โลหะเจือปน ได้ดีที่สุดคือ โลหะที่มีค่า E° ต่ำที่สุดซึ่งจากการทดลองก็คือ “อะลูมิเนียม” นั่นเอง
3. จากการทดลองเปลี่ยนขนาดของเพลา แต่ละชนิดพบว่าเพลาที่มีขนาดใหญ่ จะมี กระแสมากกว่าเพลาที่มี ขนาดเล็กดังนั้น เราควรเลือกเพลาที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด หรือให้เหมาะสมกับภาชนะที่ใช้มากที่สุด

5.2.3 การทดลองที่ 3 (หาผล ศิวเร่งปฏิกิริยา)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย CuSO_4 10 g และ น้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร
2. ใช้เพลาอะลูมิเนียม ขนาด 10 นิ้ว * 4.5 นิ้ว ระยะห่าง 1 นิ้ว
3. เปลี่ยนความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งก็คือเกลือ ดังนี้ 5, 10, 20 กรัม
4. สังเกตลักษณะ กระแส และน้ำหนัก ของเพลา ก่อนและหลังการทดลองแล้ว

บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 3

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองของการผสม เกลือ เข้าไป 5 กรัม

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.4	1
5	24	0.63	2.5
10	24	0.63	3
12	24	0.68	3.5

ขั้วไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลท หลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	21.98	22.03	0.05
ลบ	22.28	22.54	0.26

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองของการผสม เกลือ เข้าไป 10 กรัม

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.72	6
5	24	0.81	10
10	24	0.95	13.5
12	24	1	14.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

ขั้วไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลทหลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	22.50	22.63	0.13
ลบ	22.47	23.08	0.61

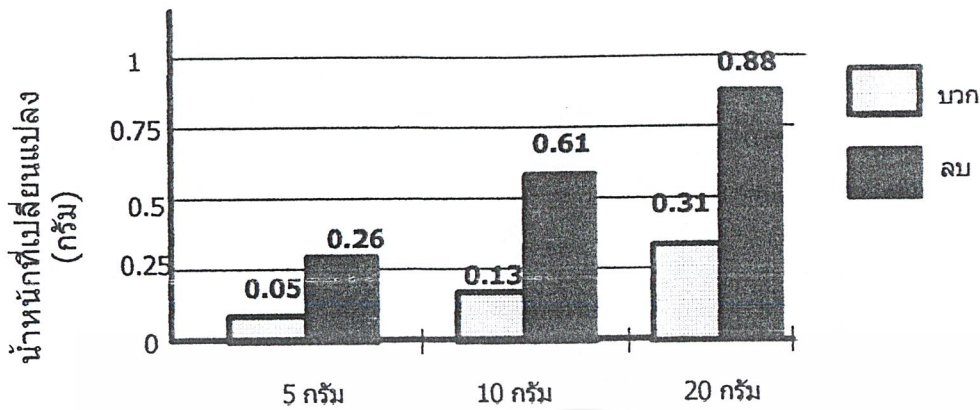
ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองของการผสม เกลือ เข้าไป 20 กรัม

เวลา (นาที)	Vout (โวลต์)	Iin (แอมป์)	Iout (แอมป์)
0	24	0.613	5
5	24	1	14.5
10	24	1.14	20
12	24	1.31	25.5

ขั้วไฟฟ้าของ เพลท	นน. เพลท ก่อน การทดลอง (กรัม)	นน. เพลทหลังการ ทดลอง (กรัม)	นน.เพลทที่เปลี่ยน แปลง (กรัม)
บวก	23.04	23.35	0.31
ลบ	22.68	23.56	0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา



ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผสมเข้าไป

รูปที่ 5.6 การทดลองโดยเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่ ค่าของกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักที่เพลทจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มเข้าไปจะแตกตัวกลายเป็นไอออนอิสระทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น

สรุปผลการทดลองที่ 3

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยให้แรงดันคงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมก็ควรจะเป็นค่าที่มากที่สุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าที่มากที่สุด แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยว่ามีพิกัดกำลังที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เท่าใด

บทที่ 6

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง

จากการทดสอบผลของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ในการทดสอบกระทำได้โดยการเปลี่ยนค่าของโหลดไปเรื่อยๆ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าโหลดที่พิกัดต่างๆ โดยจะพิจารณาถึงการคงค่าของแรงดันที่ด้านเอาต์พุตที่จุดโหลดต่างๆ และการปฏิบัติงานเมื่อ จุดการทำงานดำเนินไปจนถึงจุดพิกัด โหลด 100 %

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่

1. ถังน้ำบริสุทธิ์
2. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย
3. มัลติมิเตอร์
4. แผ่นเพลทอะลูมิเนียม
5. ความต้านทานเพื่อวัดค่ากระแสเอาต์พุต
6. เกลือ

วิธีการทดลอง

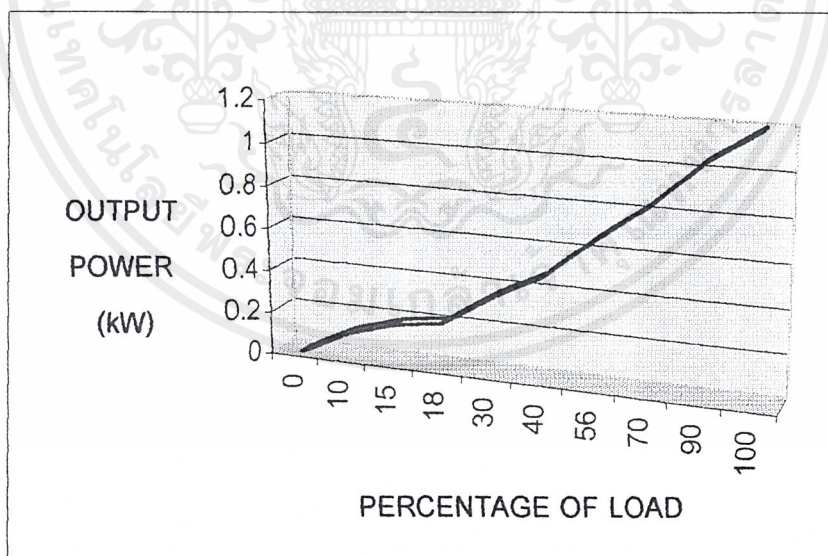
1. ใส่น้ำและเกลือลงไปในถัง ผสมให้เข้ากันเพื่อเป็นตัวนำกระแสที่ดี แล้วใส่แผ่นเพลทลงในน้ำเกลือ 2 แผ่น โดยวางให้ห่างกันมากที่สุด (คิดขอบถึงคนละด้าน)
2. ต่อสายไฟจากด้านเอาต์พุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เข้าสู่แผ่นเพลททั้งสองแผ่น
3. ต่อตัวต้านทานวัดกระแสอนุกรมกับสายไฟด้านเอาต์พุตก่อนจะถึงแผ่นเพลท
4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานวัดกระแส ให้ใช้ทั้งไว้เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของโหลด
5. ในการเปลี่ยนค่าโหลดให้ทำการขยับแผ่นเพลทเข้าหากันเพื่อเพิ่มโหลด ถ้าค่าโหลดที่ได้ยังไม่เท่ากับที่ต้องการ ก็ให้ทำการเติมเกลือเข้าไปอีก หรือ ให้แผ่นเพลทจุ่มลงไปใต้น้ำเกลือลึกมากขึ้นไปอีก ก็จะได้ค่าโหลดเพิ่มขึ้น

ผลการทดลอง

จากการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงที่สร้างขึ้น โดยการเปลี่ยนค่าโหลดไปเรื่อยๆ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าโหลดที่พิกัดต่างๆ โดยพิจารณาคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตที่โหลดต่างๆ และ โหลดต่างๆ ได้ผลดังนี้

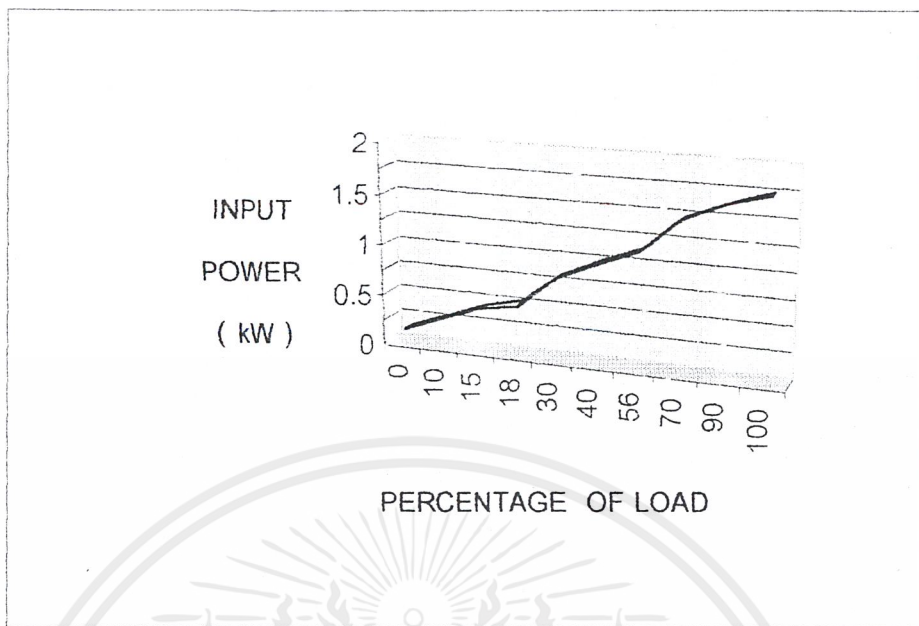
ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้น

% load	Vin (V)	Iin (A)	Pin (KW)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (KW)	Eff (%)
0	310	0.45	0.139	24	0	0	0
10	310	0.93	0.288	24	4.8	0.115	40
15	310	1.39	0.431	24	7.6	0.182	42.2
18	310	1.61	0.500	24	9	0.216	43.2
30	310	2.60	0.806	24	15	0.360	44.6
40	310	3.15	0.976	24	20	0.480	49.1
56	310	3.65	1.131	24	28	0.672	59.4
70	310	4.41	1.463	24	35	0.840	61.4
90	310	5.26	1.630	24	43.6	1.046	64.1
100	310	5.62	1.742	24	50	1.200	68.8

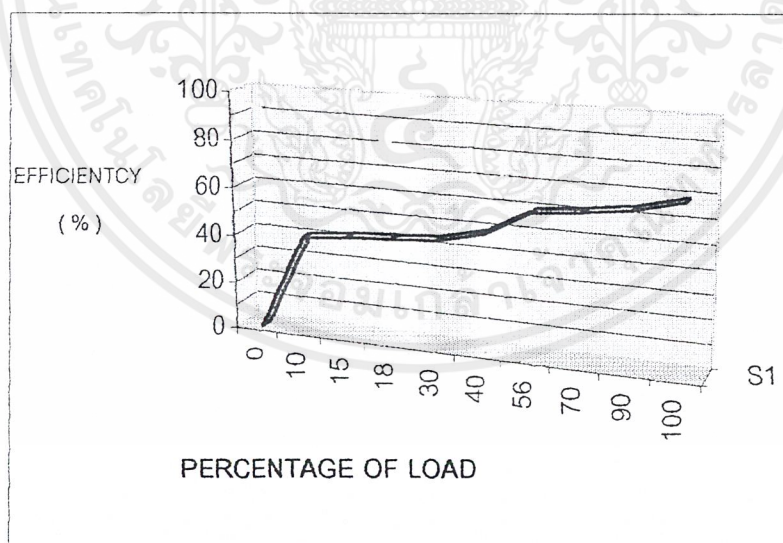


รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

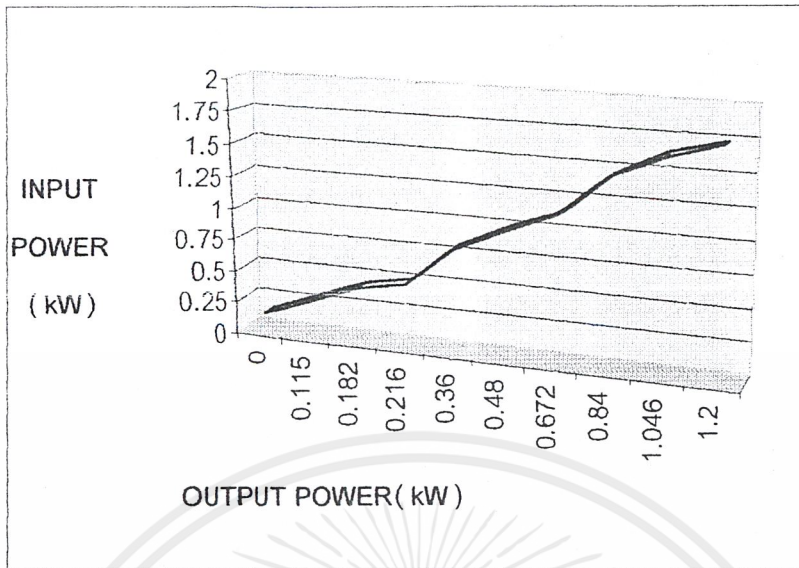


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุตกับโหลด

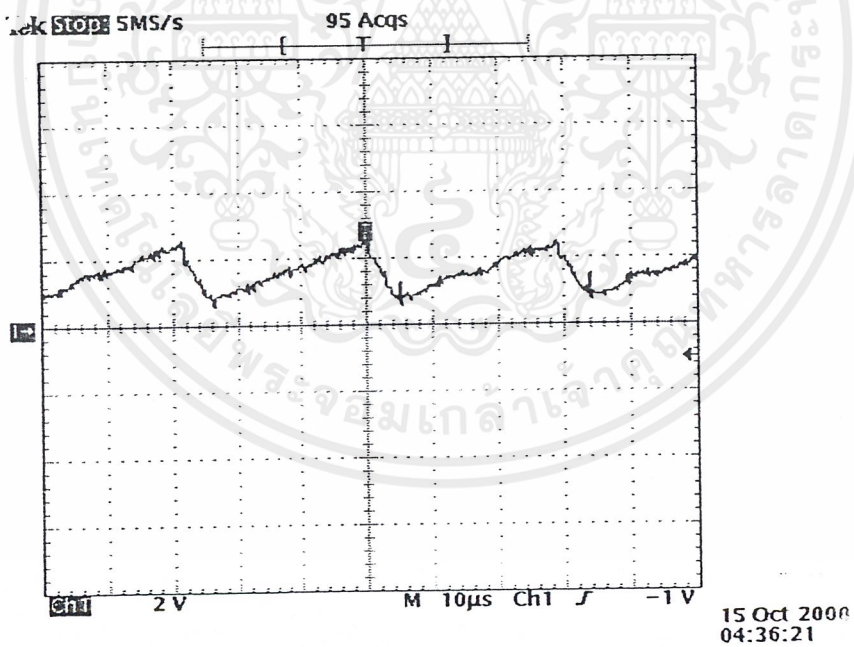


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

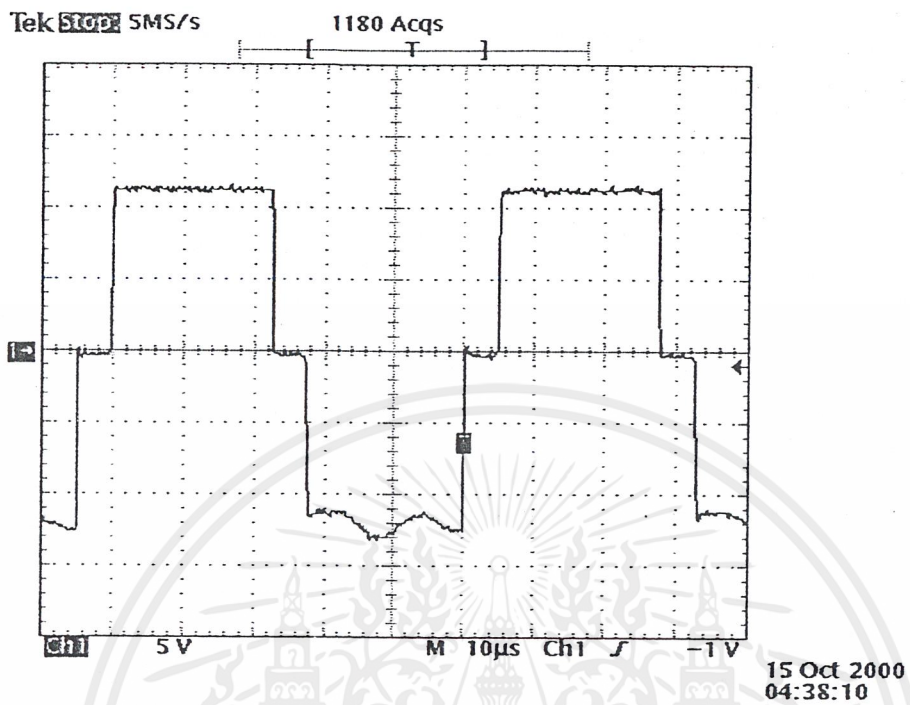


รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอินพุตกับกำลังเอาต์พุต



รูปที่ 6.5 สัญญาณที่ ขา 10 ของ SG3526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 สัญญาณที่ ขา 13 เทียบกับขา 16 ของ SG3526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง และ แนวทางแก้ไขพัฒนา

สำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ทำขึ้นมาในส่วนของอินพุตเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ ,เอาต์พุตเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ และส่วนวงจรควบคุมนั้น ไม่มีปัญหาแต่ส่วนที่มากที่สุดคือส่วนของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เพราะคุณสมบัติของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นมีความแตกต่างจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะค่าความจุไฟฟ้าของขาเกทซึ่งมีค่ามากกว่าขาเบสของทรานซิสเตอร์มากดังนั้นในช่วงหยุดนำกระแส(off)จะต้องมีการให้ไฟลอปแก่ขาเกทเพื่อคายประจุอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้เพาเวอร์มอสเฟตเกิดนำกระแส(on)ขึ้นพร้อมกันอีกคู่หนึ่ง นอกจากนั้นการนำกระแสและหยุดนำกระแส(on-off)ของมันยังทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(noise)จำนวนมากแล้ว สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไปรบกวนสัญญาณควบคุม และวงจรขับเกท ทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด ในกรณีที่มันรบกวนสัญญาณขับเกทอาจจะมีผลทำให้เพาเวอร์มอสเฟตเกิดการนำกระแสพร้อมกัน ซึ่งปัญหานี้จะถูกแก้ไขให้หมดไป โดยเราป้อน ไฟลอปให้แก่ขาเกทในขณะที่หยุดนำกระแส เพราะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะถูกดึงลงมาให้อยู่ในช่วงลบซึ่งช่วงไฟลอปนี้เพาเวอร์มอสเฟตจะไม่นำกระแส ส่วนในกรณีที่สัญญาณรบกวนไปรบกวนสัญญาณควบคุมนั้นซึ่งจะเข้ามาทางสายป้อนกลับ จะมีผลทำให้คาบ(period) ของสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน ทำให้รูปคลื่นทางอินพุตของหม้อแปลงความถี่สูงผิดเพี้ยนไป ก็จะทำให้หม้อแปลงเกิดเสียบครางขึ้น แต่ยังสามารถจ่ายกระแสให้แก่โหลดได้ โดยมีความสามารถในการเรกกูเลตได้ดี

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีวงจรส่วนคอนเวอร์เตอร์ เป็นแบบฮาฟบริดจ์ซึ่งสามารถจ่ายกำลังงานได้สูง ในส่วนของภาคควบคุมจะเลือกใช้ไอซี SG3526 เป็นส่วนผลิตสัญญาณพัลส์ เพื่อส่งไปที่ขาเกทของเพาเวอร์มอสเฟต IRF 460 พัลส์ที่ได้มีความถี่ 20 KHz และในส่วนของภาคควบคุมมีวงจรป้องกันกระแสเกิน และ วงจรรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ แหล่งจ่ายที่ได้จะให้กำลังสูงถึง 1200 วัตต์ แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ กระแสโหลด 50 แอมป์ และประสิทธิภาพของเครื่อง 68.8 %

สำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการออกแบบนี้ ได้ทำการทดลองกับโหลดซึ่งเป็นน้ำเกลือ เนื่องจากเครื่องนี้มีกำลังสูง จึงต้องใช้โหลดความต้านทานค่าเปลี่ยนค่าได้ และทนกำลังได้สูงซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ น้ำเกลือสามารถใช้ได้ดี ในการทดลองไม่ได้มีการวัดความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ผสมลงในน้ำแต่อย่างใด จะทำการผสมจนได้ความต้านทานที่ต้องการ ในการที่จะเพิ่ม โหลดหรือลดความต้านทานลงนั้นสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. ขยับแผ่นเพลททั้งสองเข้ามาใกล้กันมากยิ่งขึ้น
2. จุ่มแผ่นเพลททั้งสองลงในน้ำให้ลึกยิ่งขึ้น
3. เติมน้ำเกลือ และ เติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไขและพัฒนา

ในการสร้างแหล่งจ่ายสวิตซ์ิ่ง

1. ตัวต้านทานที่ต่อเข้าทางขาเกทของเพาเวอร์มอสเฟตควรมีค่าสูงพอประมาณหากต่ำเกินไปอาจเกิดการออสซิลเลตที่มอสเฟตได้ และหากนำมอสเฟตไปติดตั้งกับตัวระบายความร้อนควรจะนำตัวต้านทานไปต่อให้ใกล้กับขาเกทให้มากที่สุด
2. ในการพัฒนาให้ได้กำลังสูงๆ เราทำได้โดยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแกน U-core โดยให้มีระยะห่างเล็กน้อย

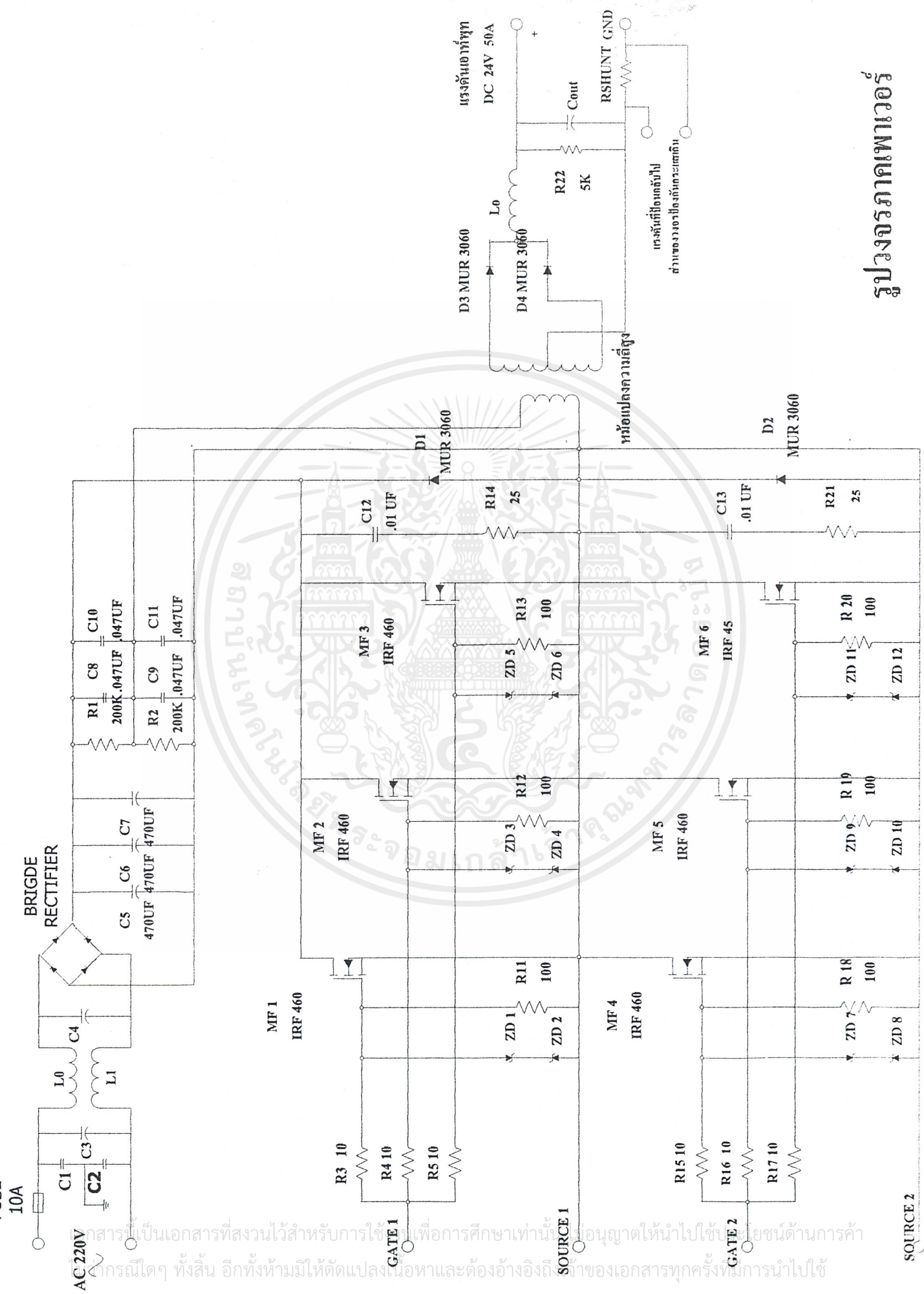
ในการสร้างเครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำ

1. ในการทดลองไม่ได้ทดลองสารละลายอื่นๆเลยที่เป็น โลหะหนักทำให้ผลการทดลองปฏิกิริยาที่ได้ในการออกแบบชนิดของเพลทอาจผิดพลาดได้ซึ่งเพลทอะลูมิเนียมอาจไม่ใช่เพลทที่ดีที่สุด
2. เครื่องบำบัดที่ใช้ต้องมีถังกรองตะกอนของ โลหะที่รวมตัวกันเป็นตะกอนซึ่งถ้าตัวกรองมีประสิทธิภาพอาจทำให้ผลการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น
3. แผ่นเพลทที่ใช้จะเกิดการสึกหรอเมื่อบำบัดไปในช่วงเวลาหนึ่งจะมีการกัดกร่อนของเพลททำให้ต้องมีการเปลี่ยนเพลทใหม่อยู่เสมอ

ภาคผนวก ก.

รูปวงจรรการทำงาน ส่วนของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปร่างภาคเพาเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
Datasheet of Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

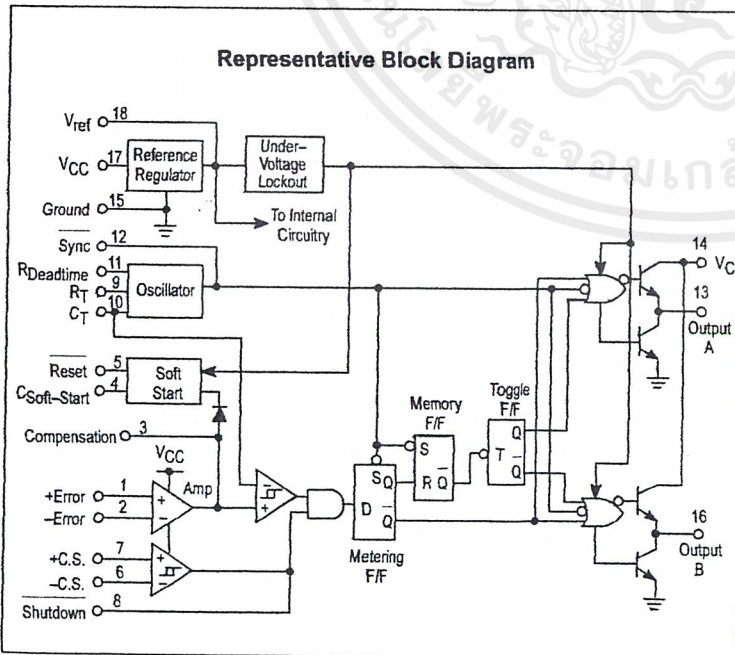
Pulse Width Modulation Control Circuit

The SG3526 is a high performance pulse width modulator integrated circuit intended for fixed frequency switching regulators and other power control applications.

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

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

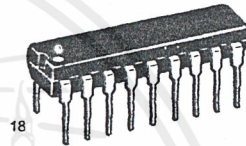
- 8.0 V to 35 V Operation
- 5.0 V $\pm 1\%$ Trimmed Reference
- 1.0 Hz to 400 kHz Oscillator Range
- Dual Source/Sink Current Outputs: ± 100 mA
- Digital Current Limiting
- Programmable Dead Time
- Undervoltage Lockout
- Single Pulse Metering
- Programmable Soft-Start
- Wide Current Limit Common Mode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



SG3526

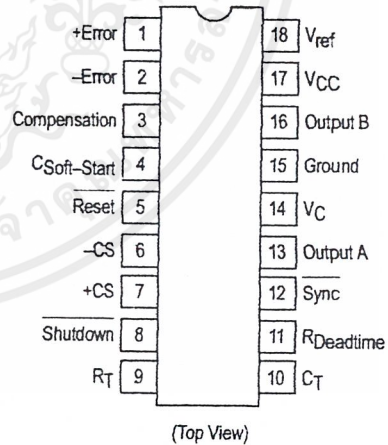
PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
SG3526N	$T_J = 0^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$	Plastic DIP

SG3526

MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	+40	Vdc
Collector Supply Voltage	V_C	+40	Vdc
Logic Inputs		-0.3 to +5.5	V
Analog Inputs		-0.3 to V_{CC}	V
Output Current, Source or Sink	I_O	± 200	mA
Reference Load Current ($V_{CC} = 40$ V, Note 2)	I_{ref}	50	mA
Logic Sink Current		15	mA
Power Dissipation $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 3) $T_C = +25^\circ\text{C}$ (Note 4)	P_D	1000 3000	mW
Thermal Resistance Junction-to-Air	$R_{\theta JA}$	100	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	42	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating Junction Temperature	T_J	+150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 Seconds)	T_{Solder}	± 300	$^\circ\text{C}$

- NOTES:** 1. Values beyond which damage may occur.
 2. Maximum junction temperature must be observed.
 3. Derate at 10 mW/ $^\circ\text{C}$ for ambient temperatures above +50 $^\circ\text{C}$.
 4. Derate at 24 mW/ $^\circ\text{C}$ for case temperatures above +25 $^\circ\text{C}$.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	8.0	35	Vdc
Collector Supply Voltage	V_C	4.5	35	Vdc
Output Sink/Source Current (Each Output)	I_O	0	± 100	mA
Reference Load Current	I_{ref}	0	20	mA
Oscillator Frequency Range	f_{osc}	0.001	400	kHz
Oscillator Timing Resistor	R_T	2.0	150	k Ω
Oscillator Timing Capacitor	C_T	0.001	20	μF
Available Deadtime Range (40 kHz)	-	3.0	50	%
Operating Junction Temperature Range	T_J	0	+125	$^\circ\text{C}$

SG3526

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

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION (Note 6)					
Reference Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_{ref}	4.90	5.00	5.10	V
Line Regulation ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$)	Reg_{line}	–	10	30	mV
Load Regulation ($0\text{ mA} \leq I_L \leq 20\text{ mA}$)	Reg_{load}	–	10	50	mV
Temperature Stability	$\Delta V_{ref}/\Delta T$	–	10	–	mV
Total Reference Output Voltage Variation ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$, $0\text{ mA} \leq I_L \leq 20\text{ mA}$)	ΔV_{ref}	4.85	5.00	5.15	V
Short Circuit Current ($V_{ref} = 0\text{ V}$) (Note 2)	I_{SC}	25	80	125	mA

UNDERVOLTAGE LOCKOUT

Reset Output Voltage ($V_{ref} = +3.8\text{ V}$)		–	0.2	0.4	V
Reset Output Voltage ($V_{ref} = +4.8\text{ V}$)		2.4	4.8	–	V

OSCILLATOR SECTION

 (Note 7)

Initial Accuracy ($T_J = +25^\circ\text{C}$)		–	± 3.0	± 8.0	%
Frequency Stability over Power Supply Range ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$)	$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta V_{CC}}$	–	0.5	1.0	%
Frequency Stability over Temperature ($\Delta T_J = T_{low}$ to T_{high})	$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta T_J}$	–	2.0	–	%
Minimum Frequency ($R_T = 150\text{ k}\Omega$, $C_T = 20\text{ }\mu\text{F}$)	f_{min}	–	0.5	–	Hz
Maximum Frequency ($R_T = 2.0\text{ k}\Omega$, $C_T = 0.001\text{ }\mu\text{F}$)	f_{max}	400	–	–	kHz
Sawtooth Peak Voltage ($V_{CC} = +35\text{ V}$)	$V_{osc(P)}$	–	3.0	3.5	V
Sawtooth Valley Voltage ($V_{CC} = +8.0\text{ V}$)	$V_{osc(V)}$	0.45	0.8	–	V

ERROR AMPLIFIER SECTION

 (Note 8)

Input Offset Voltage ($R_S \leq 2.0\text{ k}\Omega$)	V_{IO}	–	2.0	10	mV
Input Bias Current	I_{IB}	–	–350	–2000	nA
Input Offset Current	I_{IO}	–	35	200	nA
DC Open Loop Gain ($R_L \geq 10\text{ M}\Omega$)	A_{VOL}	60	72	–	dB
High Output Voltage ($V_{Pin\ 1} - V_{Pin\ 2} \geq +150\text{ mV}$, $I_{source} = 100\text{ }\mu\text{A}$)	V_{OH}	3.6	4.2	–	V
Low Output Voltage ($V_{Pin\ 2} - V_{Pin\ 1} \geq +150\text{ mV}$, $I_{sink} = 100\text{ }\mu\text{A}$)	V_{OL}	–	0.2	0.4	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 2.0\text{ k}\Omega$)	CMRR	70	94	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ($+12\text{ V} \leq V_{CC} \leq +18\text{ V}$)	PSRR	66	80	–	dB

NOTES: 2. Maximum junction temperature must be observed.

5. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$

$T_{high} = +125^\circ\text{C}$

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

7. $f_{osc} = 40\text{ kHz}$ ($R_T = 4.12\text{ k}\Omega \pm 1\%$, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F} \pm 1\%$, $R_D = 0\text{ }\Omega$)

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

SG3526

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

PWM COMPARATOR SECTION (Note 7)

Minimum Duty Cycle ($V_{\text{Compensation}} = +0.4 \text{ V}$)	DC_{min}	–	–	0	%
Maximum Duty Cycle ($V_{\text{Compensation}} = +3.6 \text{ V}$)	DC_{max}	45	49	–	%

DIGITAL PORTS (SYNC, SHUTDOWN, RESET)

Output Voltage (High Logic Level) ($I_{\text{source}} = 40 \mu\text{A}$) (Low Logic Level) ($I_{\text{sink}} = 3.6 \text{ mA}$)	V_{OH} V_{OL}	2.4 –	4.0 0.2	– 0.4	V
Input Current — High Logic Level (High Logic Level) ($V_{\text{IH}} = +2.4 \text{ V}$) (Low Logic Level) ($V_{\text{IL}} = +0.4 \text{ V}$)	I_{IH} I_{IL}	– –	–125 –225	–200 –360	μA

CURRENT LIMIT COMPARATOR SECTION (Note 9)

Sense Voltage ($R_{\text{S}} \leq 50 \Omega$)	V_{sense}	80	100	120	mA
Input Bias Current	I_{IB}	–	–3.0	–10	μA

SOFT-START SECTION

Error Clamp Voltage (Reset = +0.4 V)		–	0.1	0.4	V
$C_{\text{Soft-Start}}$ Charging Current (Reset = +2.4 V)	I_{CS}	50	100	150	μA

OUTPUT DRIVERS (Each Output, $V_{\text{C}} = +15 \text{ Vdc}$, unless otherwise noted.)

Output High Level $I_{\text{source}} = 20 \text{ mA}$ $I_{\text{source}} = 100 \text{ mA}$	V_{OH}	12.5 12	13.5 13	– –	V
Output Low Level $I_{\text{sink}} = 20 \text{ mA}$ $I_{\text{sink}} = 100 \text{ mA}$	V_{OL}	– –	0.2 1.2	0.3 2.0	V
Collector Leakage, $V_{\text{C}} = +40 \text{ V}$	$I_{\text{C(leak)}}$	–	50	150	μA
Rise Time ($C_{\text{L}} = 1000 \text{ pF}$)	t_{r}	–	0.3	0.6	μs
Fall Time ($C_{\text{L}} = 1000 \text{ pF}$)	t_{f}	–	0.1	0.2	μs
Supply Current (Shutdown = +0.4 V, $V_{\text{CC}} = +35 \text{ V}$, $R_{\text{T}} = 4.12 \text{ k}\Omega$)	I_{CC}	–	18	30	mA

NOTES: 7. $f_{\text{osc}} = 40 \text{ kHz}$ ($R_{\text{T}} = 4.12 \text{ k}\Omega \pm 1\%$, $C_{\text{T}} = 0.01 \mu\text{F} \pm 1\%$, $R_{\text{D}} = 0 \Omega$)
 8. $0 \text{ V} \leq V_{\text{CM}} \leq +5.2 \text{ V}$
 9. $0 \text{ V} \leq V_{\text{CM}} \leq +12 \text{ V}$

Figure 1. Reference Stability over Temperature

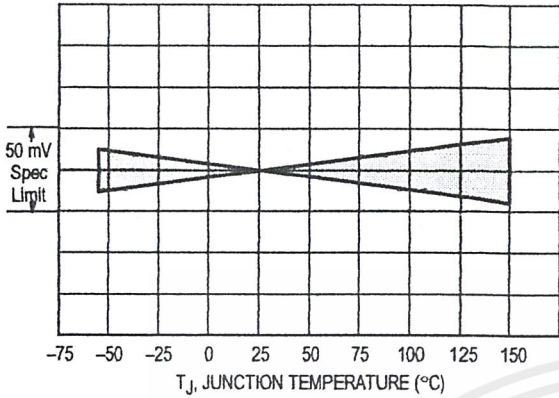


Figure 2. Reference Voltage as a Function Supply Voltage

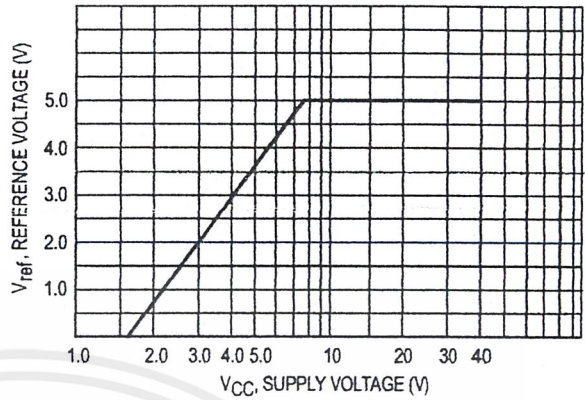


Figure 3. Error Amplifier Open Loop Frequency Response

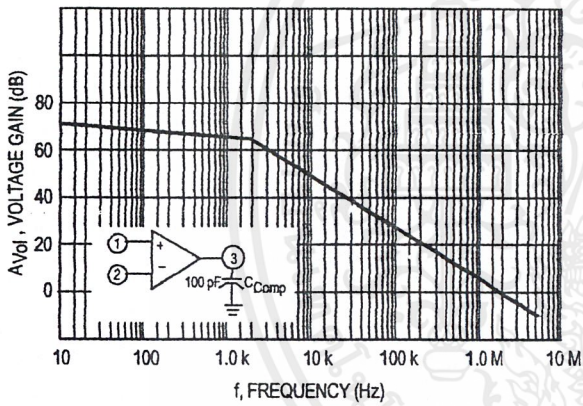


Figure 4. Current Limit Comparator Threshold

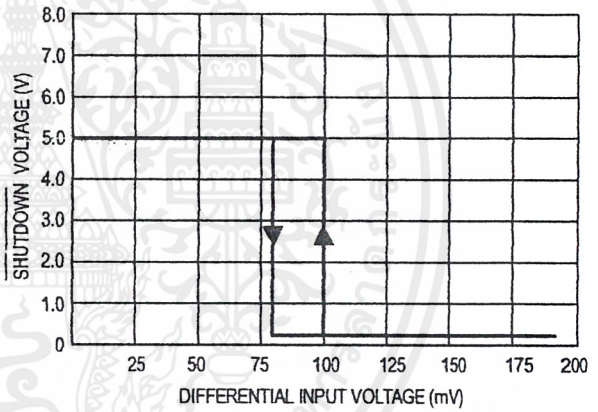


Figure 5. Undervoltage Lockout Characteristic

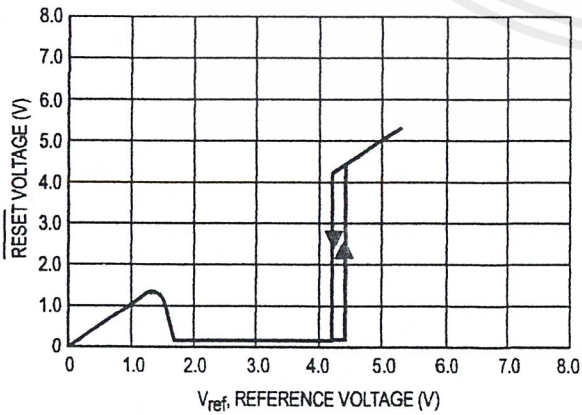


Figure 6. Output Driver Saturation Voltage as a Function of Sink Current

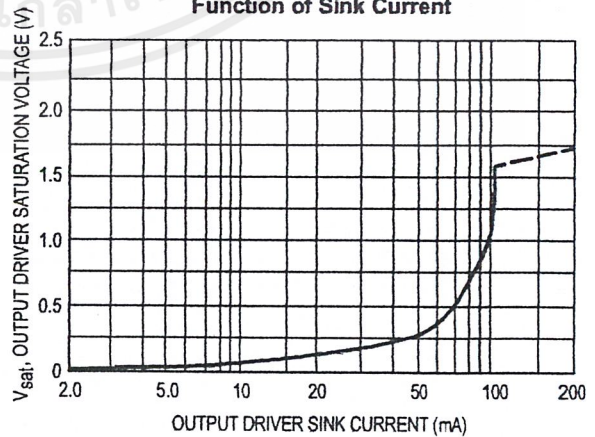


Figure 7. V_C Saturation Voltage as a Function of Sink Current

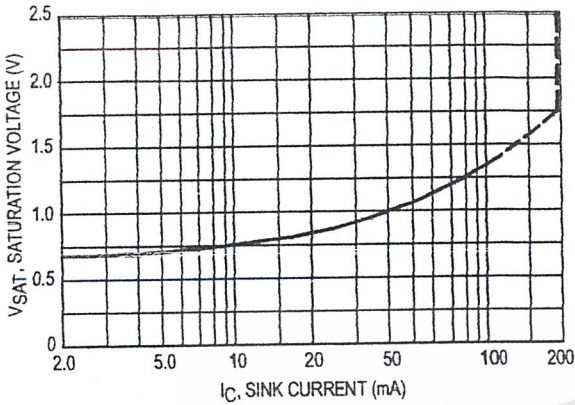


Figure 8. Oscillator Period

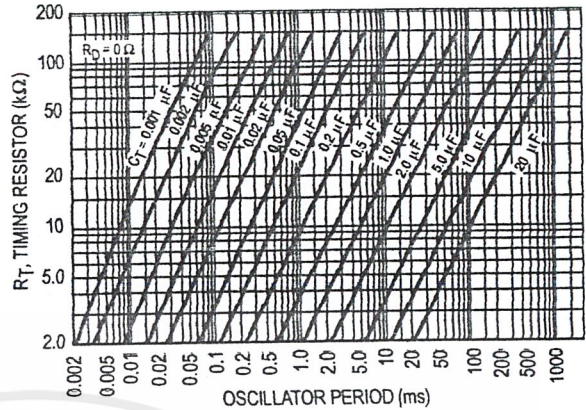


Figure 9. Error Amplifier

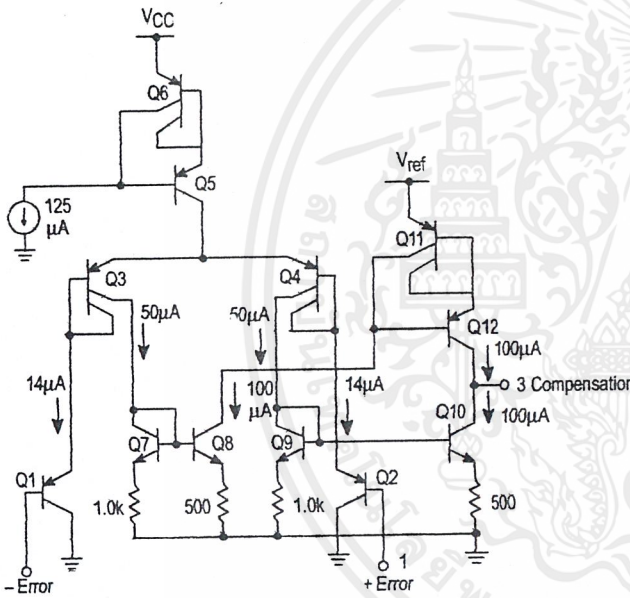


Figure 10. Undervoltage Lockout

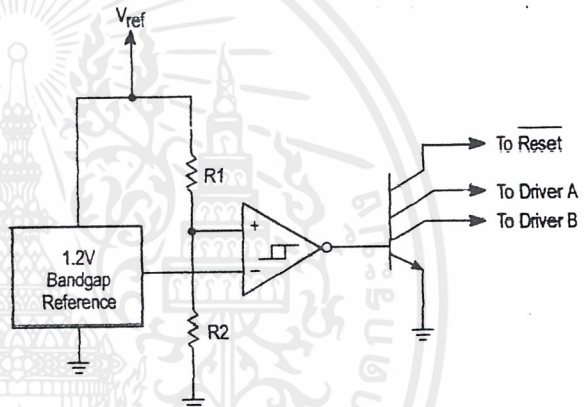
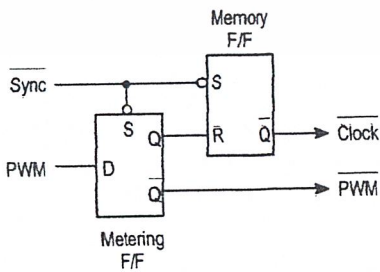


Figure 11. Pulse Processing Logic



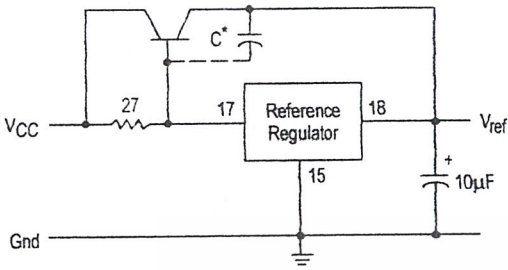
The metering Flip-Flop is an asynchronous data latch which suppresses high frequency oscillations by allowing only one PWM pulse per oscillator cycle.

The memory Flip-Flop prevents double pulsing in a push-pull configuration by remembering which output produced the last pulse.

SG3526

APPLICATIONS INFORMATION

Figure 12. Extending Reference Output Current Capability



* May be required with some types of transistors

Figure 13. Error Amplifier Connections

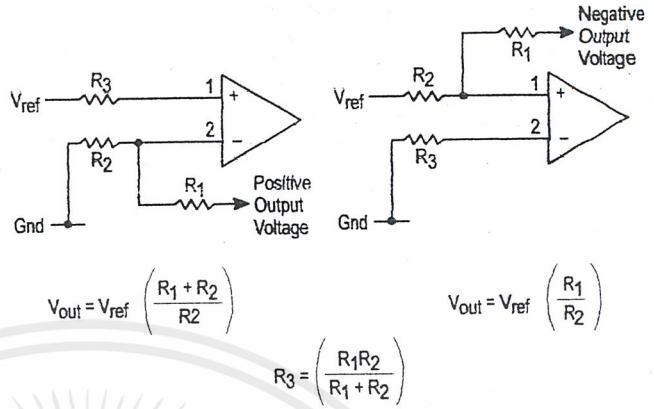


Figure 14. Oscillator Connections

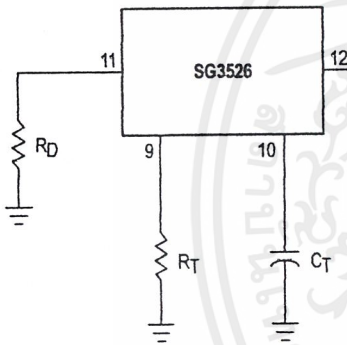


Figure 15. Foldback Current Limiting

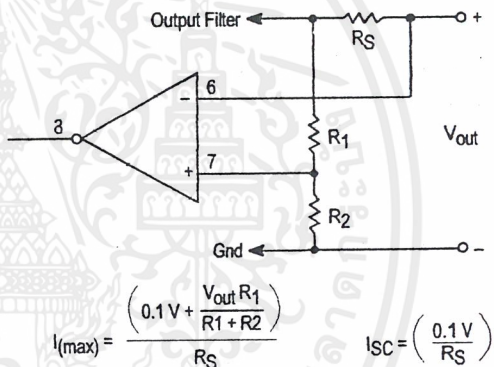


Figure 16. Soft-Start Circuitry

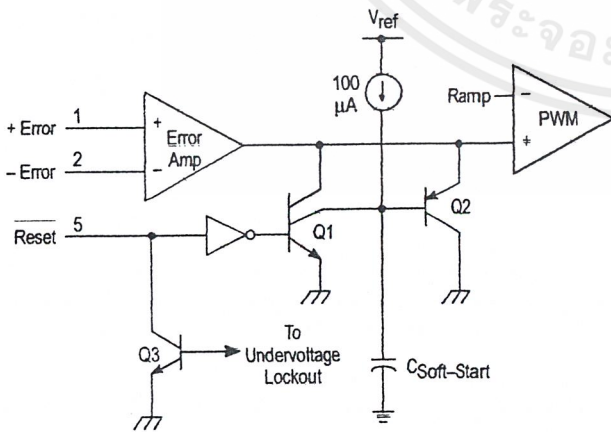
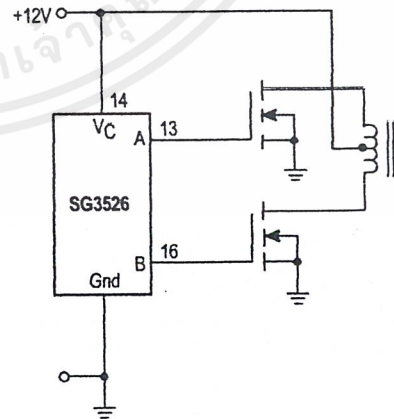


Figure 17. Driving VMOS Power FETs



The totem pole output drivers of the SG3526 are ideally suited for driving the input capacitance of power FETs at high speeds.

Figure 18. Half-Bridge Configuration

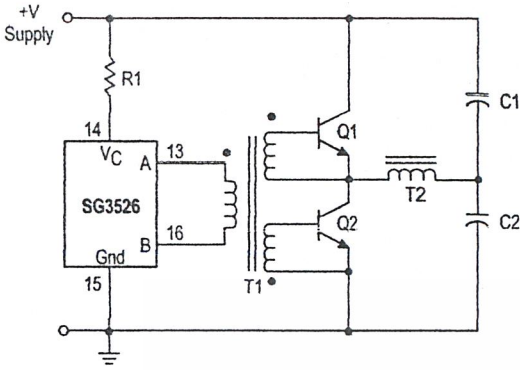
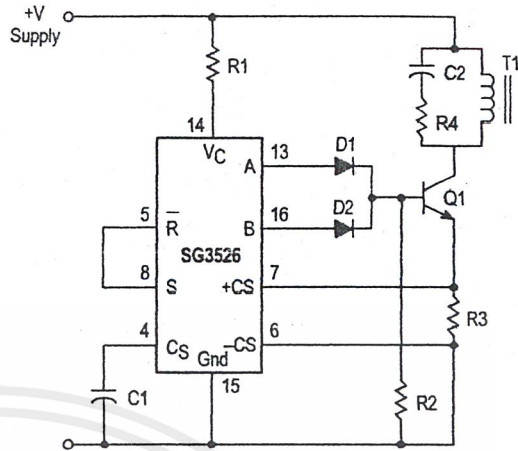


Figure 19. Flyback Converter with Current Limiting



In the above circuit, current limiting is accomplished by using the current limit comparator output to reset the soft-start capacitor.

Figure 20. Single-Ended Configuration

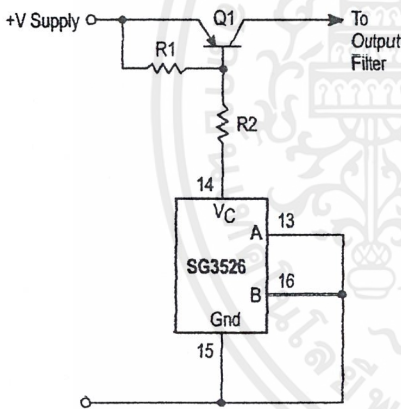
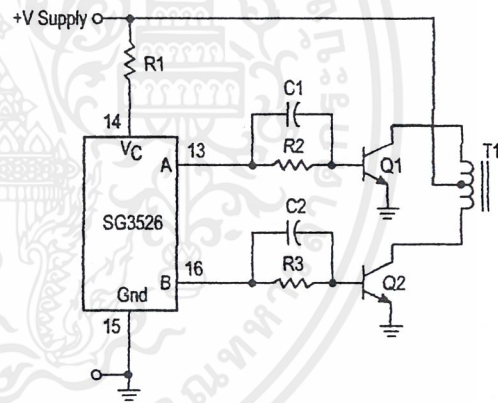


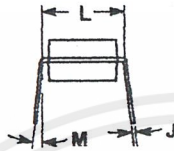
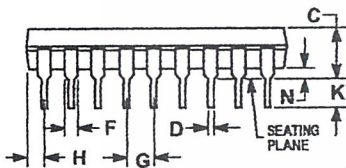
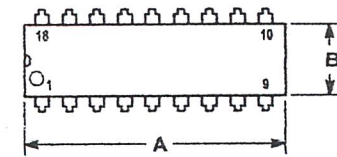
Figure 21. Push-Pull Configuration



SG3526

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707-02
ISSUE C




NOTES:

1. POSITIONAL TOLERANCE OF LEADS (D), SHALL BE WITHIN 0.25 (0.010) AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION, IN RELATION TO SEATING PLANE AND EACH OTHER.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	22.22	23.24	0.875	0.915
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.56	4.57	0.140	0.180
D	0.36	0.56	0.014	0.022
F	1.27	1.78	0.050	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.02	1.52	0.040	0.060
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.51	1.02	0.020	0.040

SG3526



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

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



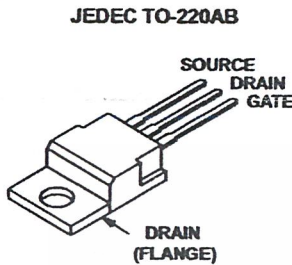
MOTOROLA

SG3526/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22A, 100V, 0.064 Ohm, N-Channel Power MOSFET

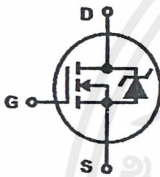
Packaging



Features

- Ultra Low On-Resistance
 - $r_{DS(ON)} = 0.064\Omega, V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
 - Temperature Compensated PSPICE™ and SABER® Electrical Models
 - Spice and SABER® Thermal Impedance Models
 - www.intersil.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Symbol



Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF530N	TO-220AB	IRF530N

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	IRF530N	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1).....	V_{DSS} 100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1).....	V_{DGR} 100	V
Gate to Source Voltage.....	V_{GS} ± 20	V
Drain Current		
Continuous ($T_C = 25^\circ C, V_{GS} = 10V$) (Figure 2).....	I_D 22	A
Continuous ($T_C = 100^\circ C, V_{GS} = 10V$) (Figure 2).....	I_D 15	A
Pulsed Drain Current.....	I_{DM} Figure 4	
Pulsed Avalanche Rating.....	UIS Figures 6, 14, 15	
Power Dissipation.....	P_D 85	W
Derate Above $25^\circ C$	0.57	W/ $^\circ C$
Operating and Storage Temperature.....	T_J, T_{STG} -55 to 175	$^\circ C$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.....	T_L 300	$^\circ C$
Package Body for 10s, See Techbrief TB334.....	T_{pkg} 260	$^\circ C$

NOTES:

1. $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$.

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

IRF530N

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
OFF STATE SPECIFICATIONS							
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 11)	100	-	-	V	
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	1	μA	
		$V_{DS} = 90\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA	
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA	
ON STATE SPECIFICATIONS							
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	2	-	4	V	
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 22\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 9)	-	0.054	0.064	Ω	
THERMAL SPECIFICATIONS							
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-220	-	-	1.76	$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	62	$^\circ\text{C/W}$	
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10\text{V}$)							
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 22\text{A}$ $V_{GS} = 10\text{V}$, $R_{GS} = 13\Omega$ (Figures 18, 19)	-	-	75	ns	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$		-	7.9	-	ns	
Rise Time	t_r		-	42	-	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	47	-	ns	
Fall Time	t_f		-	39	-	ns	
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	130	ns	
GATE CHARGE SPECIFICATIONS							
Total Gate Charge	$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 0\text{V to } 20\text{V}$	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 22\text{A}$, $I_{g(REF)} = 1.0\text{mA}$ (Figures 13, 16, 17)	-	43	52	nC
Gate Charge at 10V	$Q_g(10)$	$V_{GS} = 0\text{V to } 10\text{V}$		-	23	28	nC
Threshold Gate Charge	$Q_g(TH)$	$V_{GS} = 0\text{V to } 2\text{V}$		-	1.7	2	nC
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}			-	3.5	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}			-	8.7	-	nC
CAPACITANCE SPECIFICATIONS							
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$ (Figure 12)	-	790	-	pF	
Output Capacitance	C_{OSS}		-	215	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	70	-	pF	

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Source to Drain Diode Voltage	V_{SD}	$I_{SD} = 22\text{A}$	-	-	1.25	V
		$I_{SD} = 11\text{A}$	-	-	1.00	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{SD} = 22\text{A}$, $di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	100	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$I_{SD} = 22\text{A}$, $di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	313	nC

12A, 100V, 0.300 Ohm, P-Channel Power MOSFETs

These are P-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. The high input impedance allows these types to be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17511.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF9530	TO-220AB	IRF9530
RF1S9530SM	TO-263AB	RF1S9530

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix 9A to obtain the TO-263AB variant in the tape and reel, i.e., RF1S9530SM9A.

Features

- 12A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.300\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334, "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF9530, RF1S9530SM

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

	IRF9530, RF1S9530SM	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage (Note 1)	-100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	-100	V
Continuous Drain Current	-12	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	-7.5	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	-48	A
Gate to Source Voltage	± 20	V
Maximum Power Dissipation	75	W
Dissipation Derating Factor	0.6	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	500	mJ
Operating and Storage Temperature	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	260	$^\circ\text{C}$

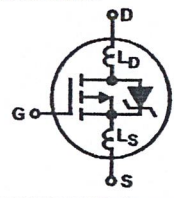
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

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

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = -250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, (Figure 10)	-100	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = -250\mu\text{A}$	-2	-	-4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	-25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$	-	-	-250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, $V_{GS} = -10\text{V}$, (Figure 7)	-12	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = -6.5\text{A}$, $V_{GS} = -10\text{V}$, (Figures 8, 9)	-	0.250	0.300	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, $I_D = -6.5\text{A}$ (Figure 12)	2	3.8	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = -12\text{A}$, $R_G = 50\Omega$, $V_{GS} = 10\text{V}$ $R_L = 4.2\Omega$, (Figures 17, 18) MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	30	60	ns
Rise Time	t_r		-	70	140	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	70	140	ns
Fall Time	t_f		-	70	140	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = -10\text{V}$, $I_D = -12\text{A}$, $V_{DSS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, (Figure 14, 19, 20) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	25	45	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	13	-	nC
Gate to Drain ("Miller") Charge	Q_{gd}		-	12	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}		-	500	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}	$V_{DS} = -25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$, (Figure 11)	-	300	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	1.67	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Typical Socket Mount	-	-	62.5	$^\circ\text{C/W}$



15A, 400V - 600V Ultrafast Dual Diodes

MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, and RURH1560CC are ultrafast dual diodes ($t_{rr} < 55ns$) with soft recovery characteristics. They have a low forward voltage drop and are of planar, silicon nitride passivated, ion-implanted, epitaxial construction.

These devices are intended for use as energy steering/clamping diodes and rectifiers in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and ultrafast recovery with soft recovery characteristics minimizes ringing and electrical noise in many power switching circuits thus reducing power loss in the switching transistor.

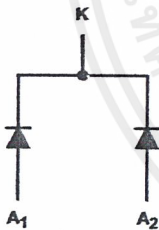
Formerly developmental type TA09905.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
MUR3040PT	TO-218AC	MUR3040PT
RURH1540CC	TO-218AC	RURH1540C
MUR3060PT	TO-218AC	MUR3060PT
RURH1560CC	TO-218AC	RURH1560C

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol



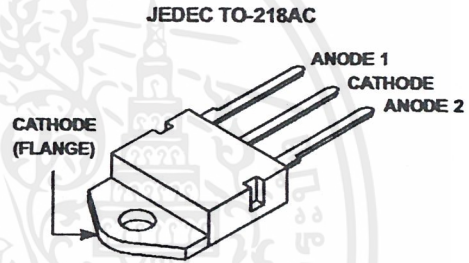
Features

- Ultrafast with Soft Recovery <55ns
- Operating Temperature 175°C
- Reverse Voltage Up to 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

Applications

- Switching Power Supply
- Power Switching Circuits
- General Purpose

Packaging



Absolute Maximum Ratings (Per Leg) $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	MUR3040PT RURH1540CC	MUR3060PT RURH1560CC	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage.....	400	600	V
Working Peak Reverse Voltage.....	400	600	V
DC Blocking Voltage.....	400	600	V
Average Rectified Forward Current..... ($T_C = 145^\circ C$)	15	15	A
Repetitive Peak Surge Current..... (Square Wave 20kHz)	42	30	A
Nonrepetitive Peak Surge Current..... (Halfwave 1 Phase 60Hz)	200	200	A
Maximum Power Dissipation.....	100	100	W
Avalanche Energy (See Figures 7 and 8).....	20	20	mJ
Operating and Storage Temperature.....	-55 to 175	-55 to 175	°C

15A, 400V - 600V Ultrafast Dual Diodes

MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, and RURH1560CC are ultrafast dual diodes ($t_{rr} < 55ns$) with soft recovery characteristics. They have a low forward voltage drop and are of planar, silicon nitride passivated, ion-implanted, epitaxial construction.

These devices are intended for use as energy steering/clamping diodes and rectifiers in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and ultrafast recovery with soft recovery characteristics minimizes ringing and electrical noise in many power switching circuits thus reducing power loss in the switching transistor.

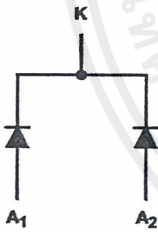
Formerly developmental type TA09905.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
MUR3040PT	TO-218AC	MUR3040PT
RURH1540CC	TO-218AC	RURH1540C
MUR3060PT	TO-218AC	MUR3060PT
RURH1560CC	TO-218AC	RURH1560C

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol



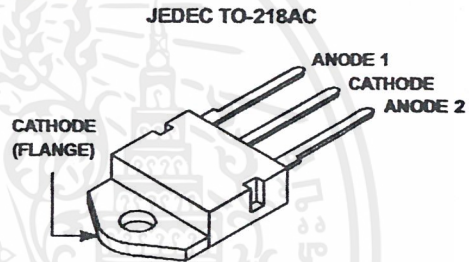
Features

- Ultrafast with Soft Recovery <55ns
- Operating Temperature. 175°C
- Reverse Voltage Up to 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

Applications

- Switching Power Supply
- Power Switching Circuits
- General Purpose

Packaging



Absolute Maximum Ratings (Per Leg) $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	MUR3040PT RURH1540CC	MUR3060PT RURH1560CC	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage.....	400	600	V
Working Peak Reverse Voltage.....	400	600	V
DC Blocking Voltage.....	400	600	V
Average Rectified Forward Current..... ($T_C = 145^\circ C$)	15	15	A
Repetitive Peak Surge Current..... (Square Wave 20kHz)	42	30	A
Nonrepetitive Peak Surge Current..... (Halfwave 1 Phase 60Hz)	200	200	A
Maximum Power Dissipation.....	100	100	W
Avalanche Energy (See Figures 7 and 8).....	20	20	mJ
Operating and Storage Temperature.....	-55 to 175	-55 to 175	°C

MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, RURH1560CC

Electrical Specifications (Per Leg) $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

SYMBOL	TEST CONDITION	MUR3040PT, RURH1540CC			MUR3060PT, RURH1560CC			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_F	$I_F = 15\text{A}$	-	-	1.25	-	-	1.5	V
	$I_F = 15\text{A}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	1.12	-	-	1.2	V
I_R	$V_R = 400\text{V}$	-	-	100	-	-	-	μA
	$V_R = 600\text{V}$	-	-	-	-	-	100	μA
	$V_R = 400\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	500	-	-	-	μA
	$V_R = 600\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	-	-	-	500	μA
t_{rr}	$I_F = 1\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	55	-	-	55	ns
	$I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	60	-	-	60	ns
t_a	$I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	30	-	-	30	-	ns
t_b	$I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	17	-	-	20	-	ns
$R_{\theta JC}$		-	-	1.5	-	-	1.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$

DEFINITIONS

V_F = Instantaneous forward voltage ($p_w = 300\mu\text{s}, D = 2\%$).

I_R = Instantaneous reverse current.

t_{rr} = Reverse recovery time at $di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ (See Figure 6), summation of $t_a + t_b$.

t_a = Time to reach peak reverse current at $di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ (See Figure 6).

t_b = Time from peak I_{RM} to projected zero crossing of I_{RM} based on a straight line from peak I_{RM} through 25% of I_{RM} (See Figure 6).

$R_{\theta JC}$ = Thermal resistance junction to case.

p_w = pulse width.

D = duty cycle.

Typical Performance Curves

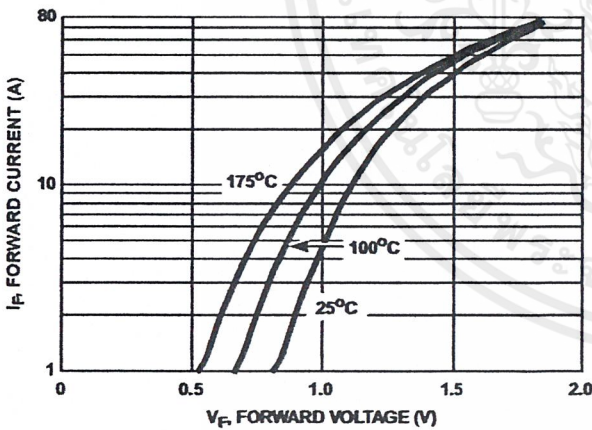


FIGURE 1. FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE

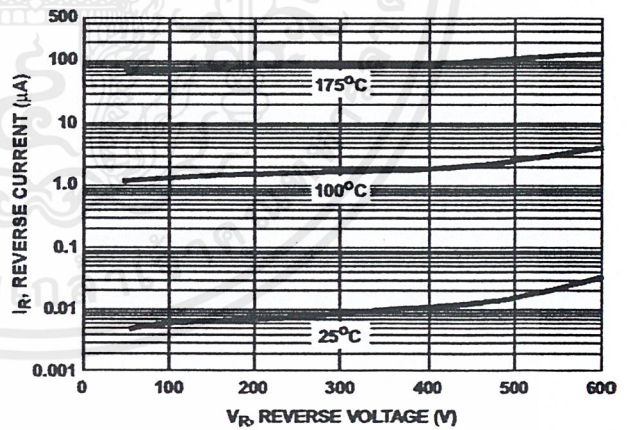


FIGURE 2. REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE

Typical Performance Curves

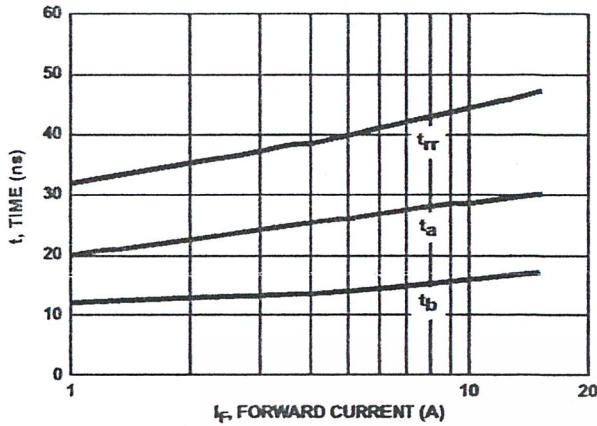


FIGURE 3. t_{tr} , t_a AND t_b CURVES vs FORWARD CURRENT

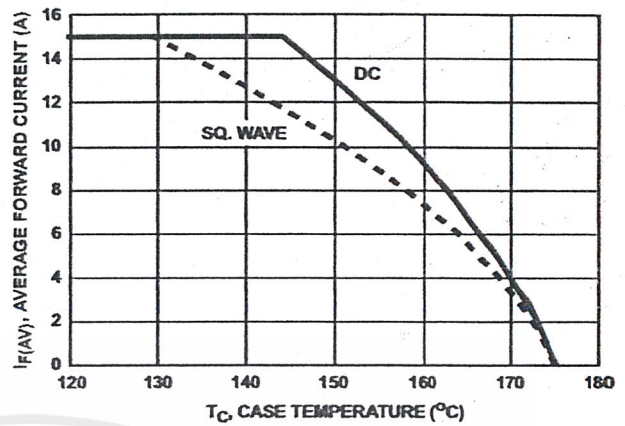


FIGURE 4. CURRENT DERATING CURVE

Test Circuits and Waveforms

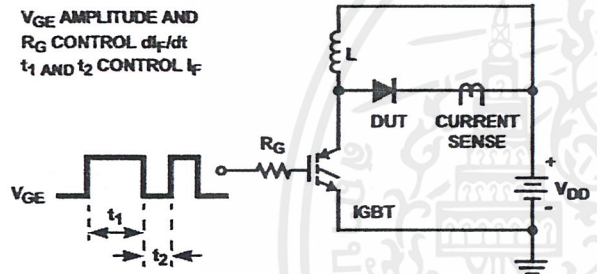


FIGURE 5. t_{tr} TEST CIRCUIT

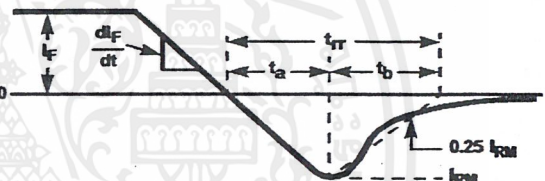


FIGURE 6. t_{tr} WAVEFORMS AND DEFINITIONS

$I = 1A$
 $L = 40mH$
 $R < 0.1\Omega$
 $E_{AVL} = 1/2LI^2 [V_{R(AVL)}(V_{R(AVL)} - V_{DD})]$
 $Q_1 = IGBT (BV_{CES} > DUT V_{R(AVL)})$

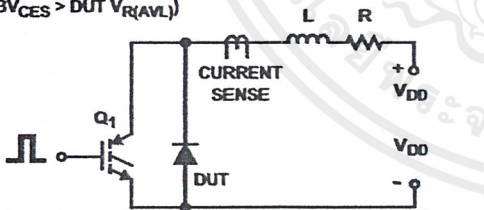


FIGURE 7. AVALANCHE ENERGY TEST CIRCUIT

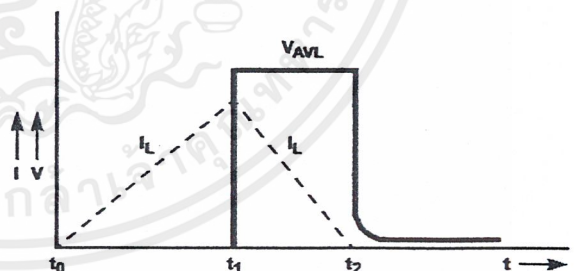


FIGURE 8. AVALANCHE CURRENT AND VOLTAGE WAVEFORMS

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site www.intersil.com

บรรณานุกรม

1. สุวัฒน์ คั่น , “เทคนิคและการออกแบบ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย” ,ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัทเอนเทลไทย
2. ศิณีโรจน์ เกตุแก้ว, “เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้า WASTE-WATER TREATMENT MACHINE WITH ELECTRICAL SYSTEM”,บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Muhammad H. Rashid,1993, “*Power Electronics :circuit,devices, and applications 2nd/ed*” ,Prentice-Hall International,Inc
4. อุคมศักดิ์ ยั่งยืน,2528, “*Power Electronic P*”,ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ , 2530 , “ *หลักเคมีทั่วไป 1, 2* ” กรุงเทพฯ :โอเดียนสโตร์.
6. ผศ.ประภากร สุวรรณะ , “ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 1”, ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง