

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง

สำหรับ

เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย

HIGH - CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY

FOR

HEAVY METAL SEPARATION FROM WASTE WATER



รฟ.
๗๒๗๙๘
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82963
วัน,เดือน,ปี..... 30 ก.ค. 2551

b. 11๔ 58169
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง

สำหรับ

เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย

HIGH - CURRENT SWITCHING POWER SUPPLY

FOR

HEAVY METAL SEPARATION FROM WASTE WATER

โดย

นายกฤษฎา อุตสาหดี

รหัส 48015195

นายทศมาศ ทองมาลา

รหัส 48015206

นายเสกสิทธิ์ เทียงอินทร์

รหัส 48015233

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูงสำหรับเครื่องแยกโลหะหนักออกจากรน้ำเสีย

ผู้จัดทำ

1. นายกฤษฎา อู่อำดี รหัส 48015195
2. นายทศมาศ ทองมาลา รหัส 48015206
3. นายเสกสิทธิ์ เทียงอินทร์ รหัส 48015233


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. สมศักดิ์ เขียวศิริกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูง

สำหรับ

เครื่องแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย

นายกฤษฎา อู่อำหัดดี รหัส 48015195
นายทศมาศ ทองมาลา รหัส 48015206
นายเสกสิทธิ์ เทียงอินทร์ รหัส 48015233
รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบการทำงานและผลการทดสอบการทำงานของ วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสสูงแบบสวิตชิงในการแยกโลหะหนักออกจากน้ำ ซึ่งอาศัยหลักการอิเล็กโตรไลซิสของฟาราเดย์ โดยการจ่ายกระแสให้กับแผ่นอิเล็กโตรด เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการบำบัดน้ำเสีย วัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเพื่อผลที่ดีในการบำบัดน้ำ ซึ่งขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นเพลทอิเล็กโตรดและแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตชิง ซึ่งในส่วนของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและมีขนาดกระแสสูง ซึ่งจะได้เอาท์พุทที่มีคุณสมบัติเป็นแบบแรงดันและกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Mr.Kisada Usadee ID. 48015195

Mr.Tosamas Thongmala ID. 48015206

Mr.Seksit Thiangin ID. 48015233

Assoc.Prof. Somsak Cheersirikul Advisor

Educational Year 2007

ABSTRACT

This project presents the design and test report for high current switching power supply to “Heavy Metal Separation 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 switching are Constant output voltage and output current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาการทำโครงการครั้งนี้ที่ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการศึกษา รวมทั้งให้แนวทางแก้ไขปัญหาและชี้แนะ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังให้ความเอื้อเฟื้อต่างๆไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์สถานที่และหนังสือข้อมูล จนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือ ในการใช้ทำโครงการ นี้ จนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนทั้งทุนทรัพย์ แรงกาย และแรงใจ ที่ให้เสมอมา จวบจนถึงปัจจุบันนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆทุกคนที่คอยกระตุ้นในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	3
2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดัน	6
2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์	8
2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	8
2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	9
2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	10
2.2.4 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
2.2.5 พูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	12
2.3 วงจรควบคุม	12
2.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน	12
2.3.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	14
2.4 วงจรขับไบโพลาร์เพาพทรานซิสเตอร์	16
2.5 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต	18
2.6 วงจรสับเบอร์	20
2.7 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	23
2.7.1 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	23
2.7.2 เพาเวอร์มอสเฟต	24
2.7.3 ไอจีบีที	26
บทที่ 3 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)	30
3.1 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส	30
3.2 ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวและศักย์ไฟฟ้าเกินตัว	31
3.3 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส (Faraday's Law of Electrolysis)	32
3.4 ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential)	32
บทที่ 4 การออกแบบวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	34
4.1 วงจรภาคควบคุม	34

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1.1 วงจรป้อนกลับ	34
4.1.2 วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลส์	35
4.1.3 วงจรจับเกทและหม้อแปลงคัปปลิ่ง	36
4.2 ภาคเพาเวอร์สวิตชิง	37
4.2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันทางด้านอินพุท	37
4.2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์	38
4.2.3 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)	38
4.2.4 วงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ (Rectifier and Filter)	39
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	40
5.1 ผลการทดลองสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	40
5.1.1 การตรวจวัดรูปสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ภายในวงจร	40
5.1.2 การทดลองสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	42
5.2 การทดลองกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์	45
5.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	45
5.2.2 วิธีการทดลอง	45
5.2.3 ผลการทดลอง	47
5.2.4 นำข้อมูลในตารางมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนแผ่นเพลทและน้ำหนักรวมของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนแปลง	49
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	53
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	3
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรฟลายแบลคคอนเวอร์เตอร์	8
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	9
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรพุก – พูลคอนเวอร์เตอร์	10
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	12
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรพื้นฐานใน โหมคควบคุมแรงดัน	13
รูปที่ 2.8 แสดงรูปสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรควบคุม	13
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมใน โหมคควบคุมกระแส	14
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจรควบคุม ใน โหมคควบคุมจากกระแส	15
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสที่ แบบเบเกอร์แคลมปี	17
รูปที่ 2.12 แสดงวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์	18
รูปที่ 2.13 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL แบบต่าง ๆ	19
รูปที่ 2.14 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS	19
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยมือแปลง	20
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์	21
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรสับเบอร์ช่วงหุคนำกระแส	21
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	24
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกต ขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้นำกระแส	26
รูปที่ 2.20 (ก) แสดงโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟตแฝงอยู่ภายใน (ข) วงจรสมมูลสำหรับการทำงานสภาพปกติของ IGBT (ค) วงจรสมมูลที่แสดงส่วนของ ไทริสเตอร์ที่แฝงอยู่ใน IGBT	27
รูปที่ 2.21 (ก) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะนำกระแส (ข) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะหุคนำกระแส	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการอิเล็กโตรไลซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	30
รูปที่ 4.1 แสดงลำดับการทำงานของวงจรควบคุม	34
รูปที่ 4.2 แสดงลำดับการทำงานของภาคเพาเวอร์สวิตติง	37
รูปที่ 5.1 รูปแสดงสัญญาณพื้นเลื้อยซึ่งใช้เป็นฐานเวลาในการสร้างพัลส์	40
รูปที่ 5.2 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ที่ขาเอาต์พุตของไอซี SG3526	41
รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตของ Drive Gate	41
รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการต่อวงจรการทดลองสวิตติงเพาเวอร์ซัพพลาย	42
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางเอาต์พุต และกระแสทางเอาต์พุต	43
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ โหลด	44
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางด้านอินพุต และกำลังทางด้านเอาต์พุต	44
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโตรด 1 คู่	46
รูปที่ 5.9 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโตรด 2 คู่	46
รูปที่ 5.10 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโตรด 3 คู่	46
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา เมื่อเปลี่ยนจำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ	50
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง ขั้วแผ่นเพลทขั้วบวก และขั้วลบ ที่จำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ	50
รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของการต่อระบบของกระบวนการอิเล็กโตรไลซิส	51
รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะขั้วของแผ่นอิเล็กโตรดที่ผ่านการทดลอง โดยที่ขั้วแอโนดจะเกิดการกัดกร่อน ที่ขั้วคาโทดจะมีทองแดงมาเกาะ	51
รูปที่ 5.15 แสดงรูปของการตกตะกอนทองแดงที่ก้นถัง	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 5.1 การทดลองของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	43
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มาเกาะที่ขั้วของอิเล็กโตรด แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 1 คู่	47
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้า ที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย (CuSO_4) แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 1 คู่	47
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มาเกาะที่ขั้วของอิเล็กโตรด แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 2 คู่	47
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้า ที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย (CuSO_4) แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 2 คู่	48
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มาเกาะที่ขั้วของอิเล็กโตรด แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 3 คู่	48
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้า ที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย (CuSO_4) เพลทอะลูมิเนียม 3 คู่	49
ตารางที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นเพลทกับสารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และน้ำหนักรวมของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนแปลง	50

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันสภาพแวดล้อมนับได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถ้าหากเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษมากขึ้นทุกๆวันอาจเป็นสาเหตุให้มนุษย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งทำให้เกิดภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษก็คือ น้ำเสียจากสถานที่ต่างๆไม่ว่าจะเป็นอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่อื่นๆ ซึ่งในน้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งสกปรกต่างๆเจือปนอยู่ รวมทั้งสารพิษต่างๆที่เป็นอันตรายเช่น สารตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยและเป็นการรักษาภาวะสิ่งแวดล้อมไม่ให้เสียไป จึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นให้ได้มาตรฐานก่อนที่จะนำไปใช้หรือทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำนั้นบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น โดยจะเริ่มจากการใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูงค่าหนึ่งให้กับขั้วของแผ่นอิเล็กโทรด เพื่อให้สารละลายเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งเป็นกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) พบว่าปริมาณกระแสที่จ่ายให้ขั้วอิเล็กโทรดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าศักดาไฟฟ้าแตกตัว (Decomposition Potential) ศักดาไฟฟ้าแตกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรืออย่างน้อยต้องเท่ากับค่าศักดาไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Potential) ซึ่งเป็นค่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่ไอออนและอิเล็กโทรดในสารละลายอยู่ในสภาวะสมดุล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณทางไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดในกรณการอิเล็กโทรไลซิสจะอธิบายได้จากกฎอิเล็กโทรไลซิสของฟาราเดย์

ในส่วนของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับแรงดันสูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย หลักการทำงานเบื้องต้นของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยเน้นในส่วนของคุณเวอร์เตอร์ และวงจรควบคุม หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย หลักการเบื้องต้นคือไฟสลับแรงดันสูงผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดัน ไฟตรงแรงดันสูงผ่านมายังวงจรคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวอร์เตอร์ทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟตรงเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูงประมาณ 20 – 200 KHz จากนั้นจะผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อลดแรงดันลง เอ้าท์พุทของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับคาแรงดันที่เอ้าท์พุทกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอ้าท์พุท ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอ้าท์พุทคงที่ได้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย
2. เพื่อศึกษากระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ที่ใช้ในการแยกโลหะหนักออกจาก

น้ำเสีย

ขอบเขตของโครงการ

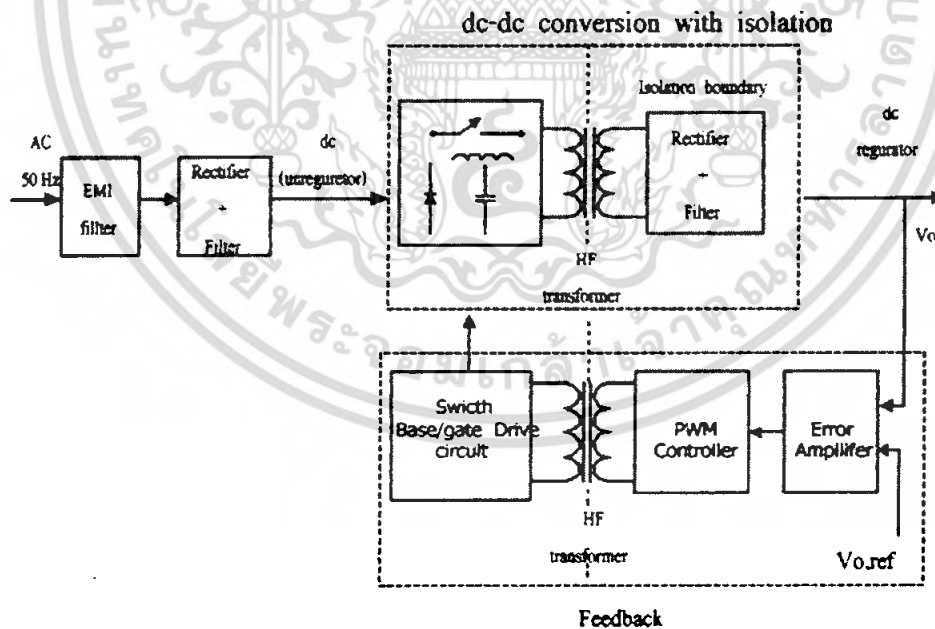
สร้างสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายกระแสสูงเพื่อป้อนให้ให้กับขั้วของแผ่นอิเล็กโทรด เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีองค์ประกอบที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่ภาคคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะมีทั้งตัวลวดทองแดงคั้นและคงค่าแรงคั้นที่เอาท์พุทด้วย ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ จะทำงานกันเป็นลำดับ แรงคั้นไฟสลับ 220 โวลต์ จะผ่านเข้ามาทางวงจรเรกติไฟเออร์ และฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงคั้นไฟตรงค่าสูง เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยเพาเวอร์มอสเฟตจะตัดต่อแรงคั้นออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 กิโลเฮิร์ตซ์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดทอนแรงคั้นให้มีค่าต่ำลง ที่เอาท์พุทของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงคั้นให้มีค่าต่ำลง ที่เอาท์พุทของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงคั้นให้เรียบเสียก่อน จึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงคั้นจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงคั้นที่เอาท์พุท ซึ่งจะมีผลทำให้แรงคั้นที่เอาท์พุทคงที่ได้



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดคุณสมบัติของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

การออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายนั้น จำเป็นจะต้องกำหนดหรือทราบข้อกำหนดคุณสมบัติของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่จะสร้างขึ้นเสียก่อน เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะใช้ในสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายได้อย่างเหมาะสม สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจึงจะทำงานได้ตรงตามความต้องการอย่างแท้จริง

กำลังงานขาออก (Output Power)

คือ ความสามารถในการจ่ายกำลังงานให้กับโหลดของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย โดยคิดจากค่าผลคูณของกระแสและแรงดันรวมทั้งหมดยกที่เอาท์พุทและที่โหลดค่าสูงสุด

ประสิทธิภาพ (Efficiency)

คือ ความสามารถในการส่งผ่านกำลังงาน จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับ ไปยังโหลดที่เอาท์พุทของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย โดยคิดจากส่วนของกำลังงานขาออกที่จ่ายให้กับโหลดต่อกำลังงานขาเข้าที่สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายใช้ไปเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเพาเวอร์ซัพพลาย หากประสิทธิภาพมีค่าต่ำ จะแสดงให้เห็นว่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าสูง โดยทั่วไปประสิทธิภาพของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ในระหว่าง 65 – 80%

ช่วงของแรงดันอินพุท (Input Voltage)

คือ ช่วงของแรงดันไฟสลับที่อินพุทและที่สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะสามารถลงค่าแรงดันที่เอาท์พุทตามข้อกำหนดเอาไว้ได้ ปกติสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้ดีที่แรงดันอินพุทในช่วงกว้าง เช่นที่ 90 – 132 โวลต์ไฟสลับ ที่แรงดันไฟสลับปกติ 110 โวลต์ และที่ 180 – 260 โวลต์ ไฟสลับที่แรงดันไฟสลับปกติ 220 โวลต์ เป็นต้น

แรงดันและกระแสขาออก (Output Voltage and Current)

คือค่ากระแสและแรงดันขาออกที่มีการรักษาระดับให้คงที่ (regulated) โดยสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย การกำหนดค่าแรงดันและกระแสจะกำหนดจากความต้องการในการใช้งานและกำลังงานขาออกที่ทำได้ของสวิตซ์เพาเวอร์ โดยค่าแรงดันสามารถกำหนดได้หลายค่า

ไลน์เรกูเลชัน (Line Regulation)

คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน และเอาท์พุทเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟสลับที่อินพุทเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อโหลดที่เอาท์พุทมีค่าคงที่

โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation)

คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุทเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เอาท์พุทเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อแรงดันไฟสลับอินพุทมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันกระเพื่อมและนอยส์ (Ripple and Noise)

แรงดันกระเพื่อมคือ แรงดันไฟสลับที่ผ่านออกมารวมได้กับแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท ทำให้เกิดการกระเพื่อมขึ้นที่แรงดัน ส่วนนอยส์ในที่นี้หมายถึง แรงดันพุ่ง (Spike) ที่ความถี่สูง ๆ ที่ผ่านออกมาที่แรงดันไฟตรงเอาท์พุทได้เช่นกัน การวัดค่าแรงดันกระเพื่อมและนอยส์อาจวัดเป็นค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) หรือค่ายอด (peak to peak) ก็ได้

ค่าเวลาโฮลด์อัป (Hold up Time)

คือ ช่วงเวลาที่สวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังสามารถคงค่าแรงดันต่อไปได้อีก แม้ว่าจะหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับอินพุท (ที่โหลดค่าสูงสุด) ปกติช่วงเวลาโฮลด์อัปจะมีค่าประมาณ 20×10^{-3} ถึง 50×10^{-3} วินาที

สัญญาณรบกวนจากสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (RFI/EMI)

RFI (Radio Frequency Interference) และ EMI (Electromagnetic Interference) เป็นสัญญาณรบกวนที่สวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายอาจทำให้เกิดขึ้น เนื่องจากการทำงานที่มีความถี่สูงๆ ของมัน ค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะต้องต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เช่น มาตรฐานของ FCC หรือ VDE เป็นต้น เนื่องจากสัญญาณรบกวน RFI/EMI อาจทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้เคียงทำงานผิดพลาดได้

การตอบสนองโพลคาเวอ์ชั่วคราว (Transient Response)

คือการคืนค่าแรงดันกลับเข้าสู่แรงดันปกติที่เอาท์พุทหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของโพลอย่างทันทีทันใด และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด จะเกิดลักษณะพุ่งของแรงดันเอาท์พุทตามการเปลี่ยนแปลง การตอบสนองโพลคาเวอ์ชั่วคราวนี้จะวัดโดยใช้ค่าเวลาคืนตัว (recovery time) และค่าแรงดันพุ่งสูงสุดที่เกิดขึ้น

การแยกจากกันทางไฟฟ้า (Isolation)

คือ ความสามารถในการกันแรงดันไฟสลับอินพุทออกจากไฟตรงที่เอาท์พุท ไม่ให้มีการไหลผ่านกระแสถึงกันได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดของผู้ใช้ โดยอาจวัดเป็นค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทโดยยังไม่มีกระแสไหลหรือเกิดเบรกดาวน์ ทั้งนี้รวมไปถึงการแยกส่วนจากกันของเส้นไฟสูงและกราวด์ของอินพุทด้วย

ความถี่การทำงานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Frequency)

คือ ความถี่ที่กำหนดคาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตภายในสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ปกติจะมีค่าอยู่ในช่วง 20-200 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นอยู่กับการจัดวงจรภายในและความสามารถของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นหลัก

การกำหนดให้คุณสมบัติแต่ละข้อเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และข้อกำหนดมาตรฐานเป็นหลัก ดังนั้นผู้ออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จึงควรศึกษาลักษณะความต้องการของงานและมาตรฐานต่างๆที่จำเป็นให้ตีก่อนการออกแบบ ซึ่งจะทำให้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ออกแบบมามีประสิทธิภาพสูงสุดได้ตามต้องการ

2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดัน

วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันนับว่าเป็นส่วนสำคัญของวงจร ในวงจรในส่วนอินพุต และเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์ และวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 ตัวคือ ตัวเก็บประจุกรองกระแสและไดโอดเรียงกระแส ซึ่งมีหน้าที่หลักในการแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง เพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

ไดโอดเรียงกระแส

การเลือกใช้ไดโอดเรียงกระแสให้เหมาะกับการใช้งานควรมีข้อควรพิจารณาดังนี้

- ค่ากระแสกระชาก (I_{fsm})

กระแสกระชากสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิดเครื่อง เมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดคำนวณได้จาก

$$I_{fsm} = \frac{V_p}{(R_s + ERS)} \quad (2.1)$$

เมื่อ V_p คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุต

ERS คือ ค่าความต้านทานแฝง ในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรียงกระแสจะมีค่าอัตราทนกระแสกระชาก I_{fsm} ประมาณ 20 ถึง 30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน โดยไดโอดที่ใช้จะต้องมีอัตราทนกระแสกระชากที่มากกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้จากสมการ ค่ากระแสกระชากอาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ R_s แต่จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทาน

- ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง (I_{rm})

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุกรองกระแส นั้นได้มีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้ไหลลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไดโอดเรียงกระแส สามารถหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุกรองกระแส

- ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง (I_{Im})

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรียงกระแสจะได้รับในขณะที่ทำงาน การพิจารณาค่ากระแสทำได้โดยใช้กราฟ ในทางปฏิบัตินั้นควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด (I_{m}) ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่าจากที่เราคำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอายุการใช้งาน

- อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (V_{m})

โดยปกติวงจรเรียงกระแสจะต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับของไดโอด วงจรต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันขอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ แต่ควรเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับให้มีค่ามากกว่าแรงดันขอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่เกิดทรานเซียนต์ขึ้นในสายไฟสลับ

ตัวเก็บประจุกรองกระแส

ตัวเก็บประจุมีหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสของไดโอดให้มีค่าเรียบมากขึ้นและช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอดตามที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 ไมโครฟารัดต่อวัตต์ แต่ในการใช้งานจริงควรพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุที่มีปัจจัยดังต่อไปนี้

- อัตราทนกระแสระลอก (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุกรองกระแสเกิดจากการชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุนั้นเอง ซึ่งค่ากระแสจะเป็นผลให้ตัวเก็บประจุร้อนและอายุการใช้งานลดลง การเลือกใช้งานตัวเก็บประจุกรองกระแสจะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสระลอกมากกว่าค่ากระแสระลอกที่คำนวณได้ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนกับตัวเก็บประจุขณะที่ทำงาน ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูงการใช้ตัวเก็บประจุนานเกินหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสระลอกให้ตัวเก็บประจุได้

- แรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส จะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุททำให้แรงดันที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมนี้มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ลงไป ปกติการออกแบบวงจรเรียงกระแสจะยอมให้มีแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาท์พุท

ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส สามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta v_{\text{ripple}}} \quad (2.2)$$

เมื่อ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δt คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ

ΔV_{ripple} คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

- ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ(Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ เป็นช่วงเวลาที่สวิตซ์ซึ่งยังสามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับที่มีต่ำกว่ากำหนดและเพื่อให้วงจรสวิตซ์ซึ่งมีค่าเวลาโฮลด์อัฟ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

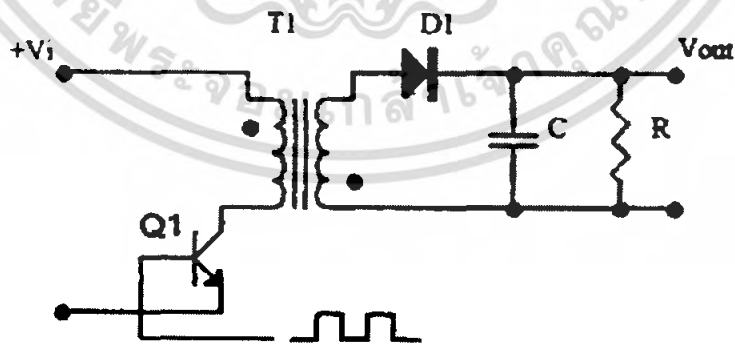
- อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)

ตัวเก็บประจุกรองกระแส ต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรเผื่อค่าอัตราทนแรงดันไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของวงจรคอนเวอร์เตอร์

2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุด มีหน้าที่ลดทอนแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัด วงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป

2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

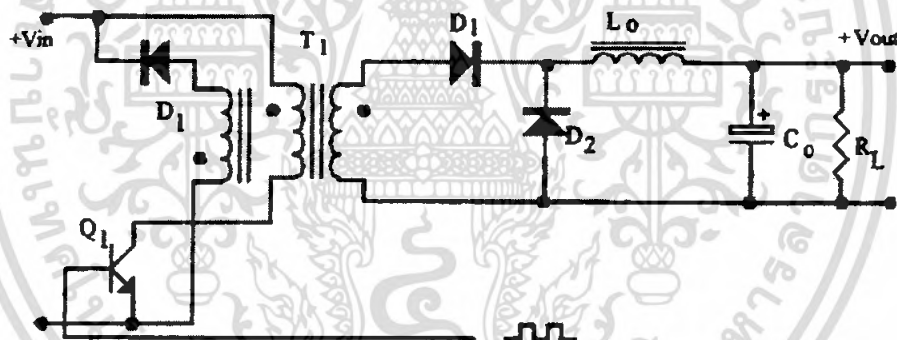


รูปที่ 2.2 แสดงวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแสไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ชุบตัว ทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ D_1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูก ถ่ายไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุตฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อย ราคาถูก

2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



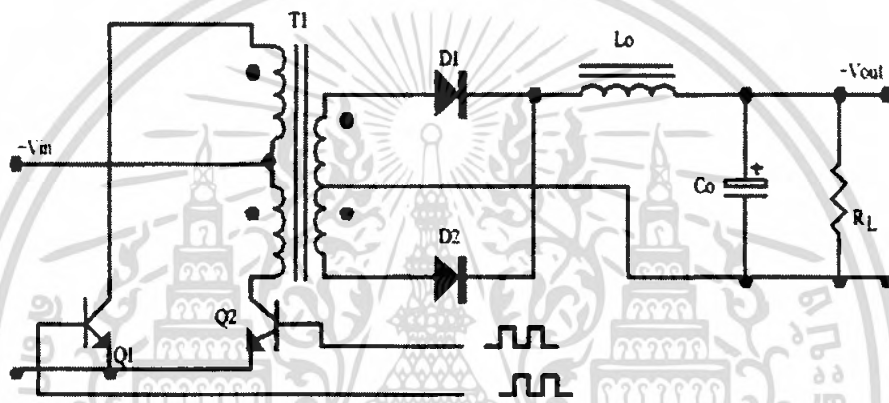
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

ในรูป 2.3 จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T_1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด D_1 และตัวเหนี่ยวนำ L ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C และโหลดได้ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน L จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วยเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลจากขดทุติยภูมิ สนามแม่เหล็กใน L จะชุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอด D2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่าจะมีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาท์พุทต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ พอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามา จะทำให้พอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงกว่า

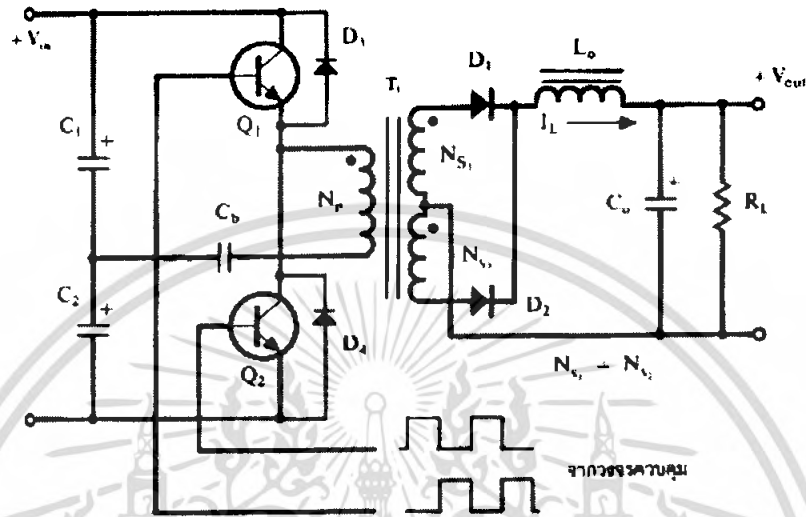
2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแส จะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้น พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับวงจร สวิตซ์ซึ่งที่ต้องการกำลังงานสูงๆจากรูปที่ 2.4 Q1 และ Q2 จะผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลาการทำงานเมื่อ Q1 นำกระแส D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน L ไปยังโหลดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น โหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลากระแสที่ได้ทาง เอาท์พุทจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

2.2.4 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

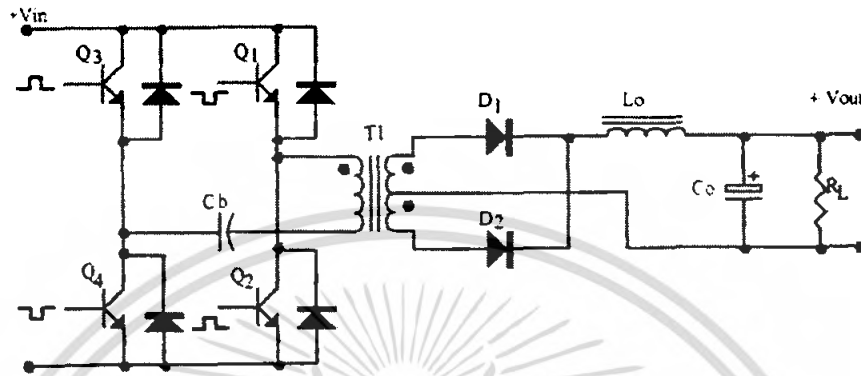


รูปที่ 2.5 แสดงวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เพาเวอร์มอสเฟตในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแส น้อย และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กได้

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าหากเพาเวอร์มอสเฟตตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่เหลือจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ Q1 และ Q2 สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานของฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขณะทำงานของขดปฐมภูมิจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ C1 และ C2 เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสที่ไหลผ่านขดทุติยภูมิจึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังงานสูงของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังสูงสุดที่ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

2.2.5 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ามีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมด 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย Q1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q4 และ Q2 จะนำกระแสพร้อมกับ Q3 กระแสที่ไหลผ่าน ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของ ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ ขณะทำงานที่ขดปฐมภูมิจะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันอินพุท กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิจึงมีค่าต่ำกว่า วงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ทำให้สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงกว่า ดังนั้นวงจรสวิตชิ่งที่ต้องการกำลังงานสูงๆ ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1000 วัตต์ ทำให้มักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟูล-บริดจ์เป็นหลัก

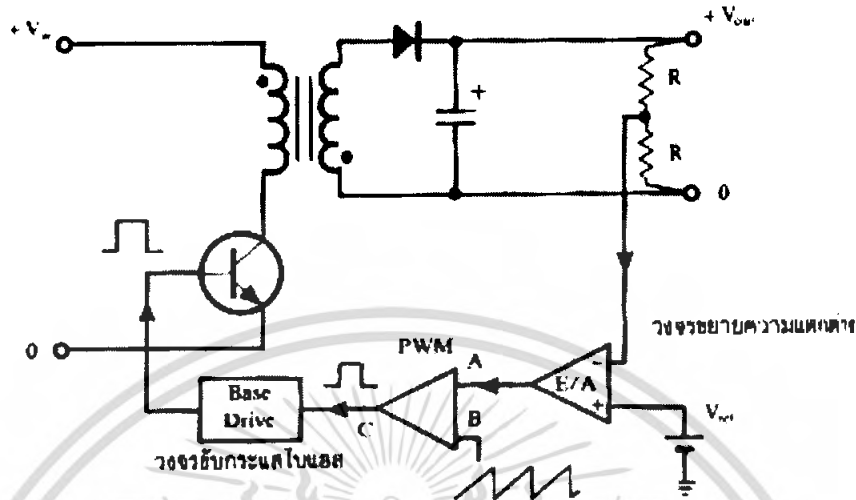
2.3 วงจรควบคุม

วงจรคอนเวอร์เตอร์ทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้โดยการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต ดังนั้นวงจรควบคุมจะใช้เทคนิคพัลส์วidthมอดูเลชันเป็นหลักการใช้เทคนิคพัลส์วidthมอดูเลชันเพื่อควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตในคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ การทำงานของวงจรควบคุมคือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมจากกระแส

2.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

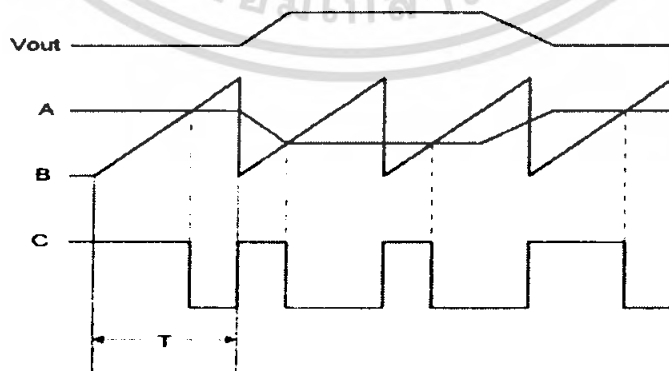
การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่เอาต์พุตมาทำการควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดควบคุมแรงดัน

จากรูปที่ 2.7 วงจรควบคุมอาศัยการป้อนกลับของค่าแรงดันเอาต์พุตนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายวงจรความแตกต่าง (E/A) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อย เอาต์พุตที่ได้จากวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชันจะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์แปรเปลี่ยนไปตามผลของการมอดูเลชัน ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต



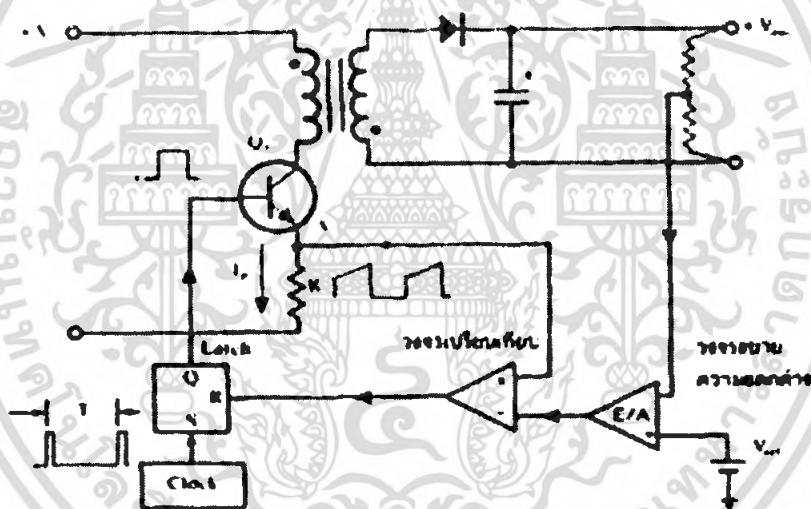
รูปที่ 2.8 แสดงรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรรขยายความแตกต่างที่ขาอินเวอร์ตติ้ง ผลแตกต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นแรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของ วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชันจึงมีค่าลดลงด้วย และทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่า ลดลงเช่นกัน ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลส์ที่ เอาต์พุตของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชันจึงมีค่าเพิ่มขึ้นช่วงเวลาการนำกระแสก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผล ให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้

2.3.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรรควบคุมใน โหมดควบคุมจากกระแส มีข้อดีกว่าโหมดควบคุมจากแรงดันหลายประการ จึงเป็นวงจรรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก



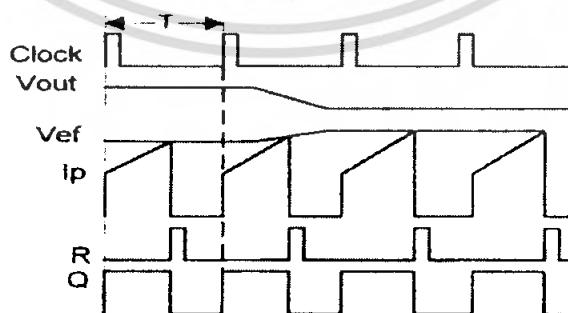
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส

เพื่อให้่ายแก่การพิจารณา จากรูปที่ 2.9 การทำงานของวงจร เราจะแยกคิดการทำงานของ วงจรรควบคุมด้วยการตัดวงจรรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อนและกำหนดขาอินเวอร์ตติ้ง ของ วงจรเปรียบเทียบกับให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง V_{ref} วงจร Latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร Latch จะมีสถานะเป็น High เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และ Q จะมีสถานะเป็น Low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของวงจร Latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น High เพาเวอร์มอสเฟต Q1 ก็จะนำกระแส เมื่อ Q1 นำกระแสจะมีกระแสไหล ผ่านขดลวดปฐมภูมิและตัวต้านทาน R_s ที่ต่ออนุกรมไว้กับ Q1 ทำให้เกิดแรงดัน V_s ตกคร่อมที่ตัว

ด้านทาน R_s ด้วย แรงดันตกคร่อม R_s ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} โดยวงจรเปรียบเทียบดังนั้นเมื่อค่าของ V_s เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง V_{ref} เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น High และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร Latch ทำให้ค่า Q มีสถานะเป็น Low และเพาเวอร์มอสเฟต Q1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจร Latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาท์พุทพัลส์ที่ขา Q ของวงจร Latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน V_s ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s นั้นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาท์พุทพัลส์ลดลงเพาเวอร์มอสเฟตจะมีเวลานำกระแสได้น้อยลง ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาท์พุทพัลส์จึงเพิ่มขึ้นเพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลานำกระแสได้มากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโพลคกที่คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาท์พุทเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มเข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง เอาท์พุทของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์มอสเฟตจะใช้เวลา นำกระแสมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน V_s มากกว่าแรงดันที่เอาท์พุทของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาท์พุทของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์มอสเฟตจึงใช้เวลา นำกระแสลดลงด้วยลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะที่ยังทำงานจะเป็นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมคควบคุมจากกระแสมีข้อดี กว่า
วงจรควบคุมในโหมคควบคุมจากแรงดัน ดังนี้คือ

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุทได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่า
แรงดันที่เอาท์พุทเมื่อเกิดทรานเซียนส์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุท เพราะไม่
ต้องรอสัญญาณการป้อนกลับจากเอาท์พุท

2. สามารถป้องกันกระแสไหลลเกินได้ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงที่ขั้วปฐุมภูมิในลักษณะ
พัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว

3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก

4. สามารถต่อขานานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้นและ
กระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

2.4 วงจรขับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

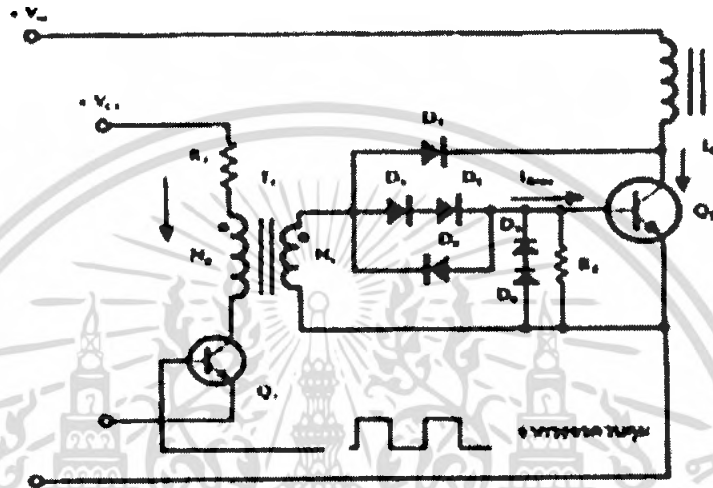
ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการใช้กระแส
ไบอัสที่ขาเบส เพื่อให้ได้นำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลด
ประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแส
ไบอัสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบอัสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลัง
งานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน

วงจรขับกระแสไบอัสนั้นทำได้ 2 ลักษณะคือ วงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสคงที่
(Fixed Base Drive) และวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์
(Proportional Base Drive) สำหรับคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และมีกำลังต่ำกว่า 500
วัตต์ มักนิยมใช้วงจรขับด้วยกระแสคงที่โดยวงจรขับกระแสทำให้กระแสเบสมีค่าคงที่และมาก
พอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสถึงจุดอิ่มตัวแล้ววิธีนี้จะเกิดประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ขณะ
นำกระแสค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส ในขณะที่วงจรขับกระแสไบอัสด้วย
กระแสเป็นสัดส่วนนั้น ค่ากระแสที่เบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์ ประจุสะสม
จะเกิดขึ้นน้อยและการหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากมักใช้กับวงจร
คอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูงเท่านั้น

- วงจรขับกระแสไบอัสโดยใช้หม้อแปลงและเบเกอร์เคลมปี

เบเกอร์เคลมปี เป็นวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสคงที่ และจัดให้ไดโอดทำงานร่วมกับ
ทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสมเมื่อประจุสะสมเกิดขึ้นน้อยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึง
หยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็ว การใช้หม้อแปลงในการขับกระแส หม้อแปลงจะเป็นแหล่งจ่าย

กระแสสูงให้กับวงจรได้และเนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องการแรงดันตกคร่อมที่ขาเบสและอิมิตเตอร์ประมาณ 1 ถึง 1.8 โวลต์ ดังนั้นหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบ 10:1 ถ้ามีแรงดันที่ขดปฐมภูมิค่า 10 ถึง 18 โวลต์ และกระแสเพียง 300 มิลลิแอมป์ หม้อแปลงจะให้กระแสได้ถึง 3 แอมป์ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.11



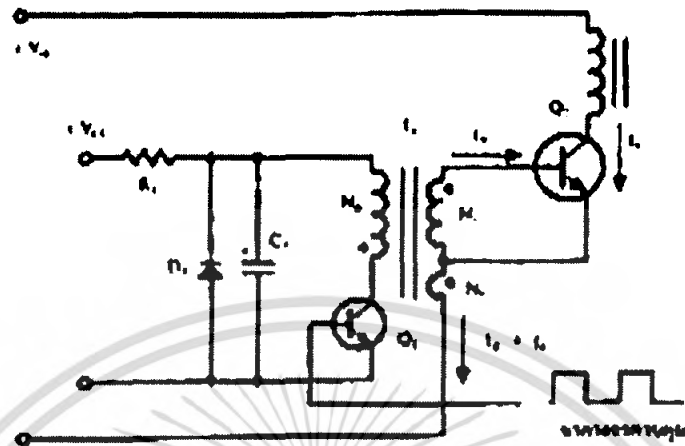
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสคงที่ แบบเบเกอร์เคลมปี

- วงจรขับกระแสไบอัสที่นิยมใช้ในคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังงานสูงๆ

วงจรขับกระแสแบบนี้จะลดช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ด้วยการให้กระแสไบอัสเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์เพื่อเป็นการลดประจุสะสมให้น้อยที่สุด ขณะที่มีความดันตกคร่อมตัวมันต่ำสุดที่สุดขณะนำกระแส จากนั้นจึงให้กระแสไบอัสกลับค่าสูงๆ เพื่อหยุดการนำกระแสอย่างรวดเร็ว ต่างจากการใช้เบเกอร์เคลมปีที่ป้องกันไม่ให้ประจุสะสมเกิดขึ้นภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้แต่มีค่าแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะนำกระแส ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.7

82963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงวงจรขั้วกระแสไบอัสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์

2.5 วงจรขั้วเพาเวอร์มอสเฟต

การขั้วเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสที่แตกต่างจากการขั้วกระแสไบอัสในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอีมิเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ มีกระแสไบอัสไหลผ่านที่เบสและอีมิเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันดกรวมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) แต่ใช้กระแสต่ำ การขั้วเพาเวอร์มอสเฟต ให้นำกระแสจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

- วงจรขั้วเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL

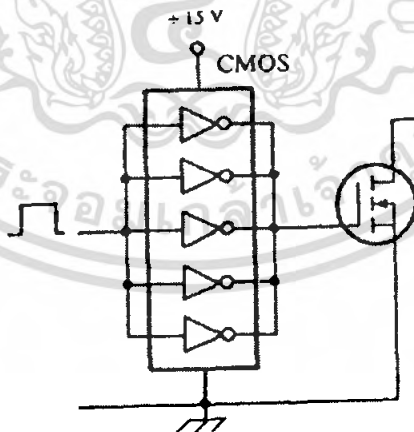
การขั้วเพาเวอร์มอสเฟตด้วย ไอซี TTL โดยตรงนั้นสามารถทำได้แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายกระแสและรับกระแสที่เอาท์พุทซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต และทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขั้วชนิดนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.13 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL แบบต่าง ๆ

รูปที่ 2.13 (ก) แสดงวงจรขับด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด การต่อพูล์อัพ รีซิสเตอร์เข้าช่วย เพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานและการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างเร็วขึ้น แต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสนี้มีค่าจำกัดอยู่เนื่องจากกระแสนี้ถูกจำกัดด้วยพูล์อัพรีซิสเตอร์ รูปที่ 2.13 (ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยให้การจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตดีขึ้น และลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วย

- วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS



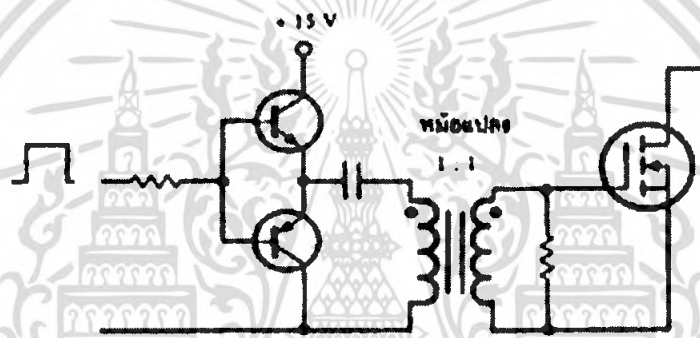
รูปที่ 2.14 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซี CMOS ได้ ในส่วนเอาต์พุตของไอซี CMOS จะเป็นมอสเฟตต่อกันในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 18 โวลต์ โดยทั่วไปจะใช้ 12 ถึง 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมในการขับเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูง ๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกัน จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

- วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวบนและตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกัน จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับเพาเวอร์มอสเฟตมากกว่า 1 ตัว พร้อมกันก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงฟัลซ์เข้ากับขาเกตและวงจรควบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับของแรงดันเอาต์พุตที่หม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตได้ การต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังรูปที่ 2.15

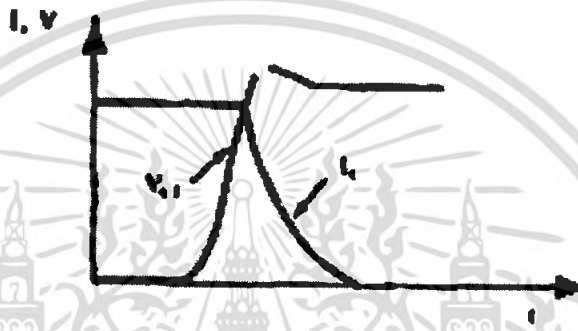
2.6 วงจรสแน็บเบอร์

วงจรสแน็บเบอร์ เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะที่ทำงานปกติ วงจร สแน็บเบอร์นี้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ วงจรสแน็บเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส และสแน็บเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน วงจรสแน็บเบอร์ทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอด เรียกว่าวงจร RCD สแน็บเบอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

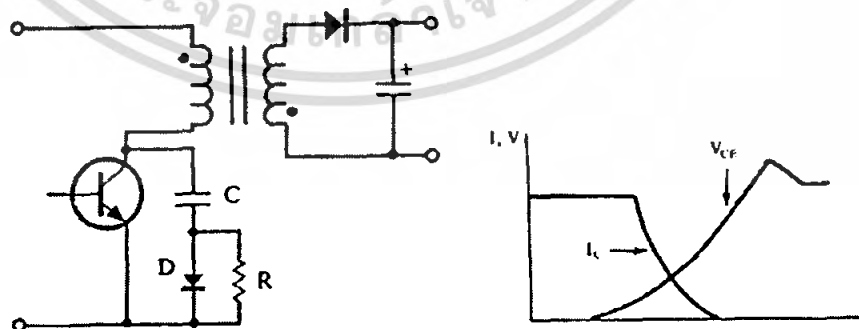
วงจรสับเบอร์ด่วงหยุดนำกระแส

ในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแส นั้น กระแสจะลดลงอย่างช้า ๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันอินพุตอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์

เพื่อลดการสูญเสียในช่วงนี้สามารถทำได้โดยต่อวงจรสับเบอร์ด่วงกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่ง กระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำการกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ ลักษณะการต่อวงจรสับเบอร์ด่วงสามารถทำได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรสับเบอร์ด่วงหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรสับเบอร์ดั้งเดิมหยุดนำกระแสจะเป็นไปได้ดังนี้คือ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1 และไดโอด D1 ของวงจรสับเบอร์ดั้งเดิมทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C1 ด้วยแรงดันที่ตกคร่อม C1 จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นถ้าให้ C1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ก็จะถูกหน่วงออกไปเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงจนมีค่าน้อย ๆ ไปได้ทันกัน และจะลดการเกิดกำลังสูญเสียในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแสอีกครั้ง C1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R1 ที่ทิ้งไป แรงดันตกคร่อม C1 ก็จะลดลงต่ำได้อีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป ค่าของ C1 และ R1 ที่เหมาะสมหาได้จาก

$$C_1 = \frac{I_p \times t_{on} \pi}{2V_{in}} \quad (2.3)$$

$$R_1 = \frac{t_{on}(\text{min})}{6C_1} \quad (2.4)$$

เมื่อ I_p คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

V_{in} คือ ค่าแรงดันอินพุทของวงจรคอนเวอร์เตอร์

t_{on} คือ ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

t_{off} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การคายประจุของ C_1 ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_1 สูง ดังนั้นตัวต้านทาน R_1 จะต้องทนกำลังได้สูง โดยกำลังสูญเสียใน R_1 หาได้จาก

$$P_d = \frac{C_1(2V_{in})^2}{2T} \quad (2.5)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

2.7 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไป และมีการสูญเสียกำลังงานในขณะนำกระแส และในขณะที่เปลี่ยนสถานะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องทำงานอยู่ในย่านแรงดันสูง ยิ่งทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น เพราะฉะนั้นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้อยู่ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรจะต้องมีทั่วไปคือ มีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาดิ้นตัวสั้น และสามารถทนกำลังได้สูง ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์มีดังนี้

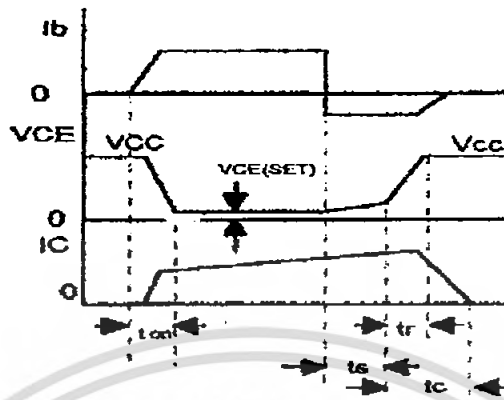
2.7.1 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในวงจรคอนเวอร์เตอร์จะมีการทำงานในลักษณะสวิตช์และมีโพลเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากโพลที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะของตัวมันเมื่อจะเริ่มนำกระแสและเมื่อจะหยุดนำกระแส รวมทั้งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสเสถียรด้วย การเปลี่ยนสถานะและแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสทำให้เกิดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อน (Power Dissipation) ขึ้นที่ตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ แต่ก็ยังมีข้อดีอยู่คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงและราคาถูกกว่า ทั้งยังมีการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานเร็วขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานในย่านความถี่สูง ๆ และลดกำลังงานสูญเสีย

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะคือ ขณะเปลี่ยนสถานะ และในขณะที่นำกระแสอยู่ในช่วงอิมพัลส์ สำหรับการสูญเสียในการเปลี่ยนสถานะจะเกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่

เมื่อเริ่มให้กระแส ไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{ce}) จะยังมีค่าเท่ากับ V_{cc} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่งคือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{ce} (sat)$ ดังรูปข้างล่าง กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้เนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ เมื่อหยุดให้กระแสไบอัสและป้อนกระแสไบอัสค่าลบให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแสเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา t_r ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_r นี้เรียกว่าช่วงเวลาสะสม และขณะช่วงเวลา t_r นี้ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังงานสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบอัสอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเล็กเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ t_f (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา t_r และ t_f จะมีค่าสูงและเป็นช่วงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_f$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time) กำลังงานสูญเสียในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส นั้นนี้อาจประมาณได้จาก

$$P_{d(sw)} = \frac{0.5 V_{cc} I_{pk} t_c}{T} \tag{2.6}$$

- เมื่อ $P_{d(sw)}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส
- V_{cc} คือ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และหยุดนำกระแส
- I_{pk} คือ ค่ากระแสสูงสุดเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส
- t_c คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส
- T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส มีค่าน้อยที่สุดจะทำให้การใช้งานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่เกิดกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

2.7.2 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น ซึ่งจะเป็นผลดีในการลด

ขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรถับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจจับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมแบบพัลส์วิดโมดูเลชั่น โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตที่จะใช้ในวงจรถับคอนเวอร์เตอร์มีทั้งแบบ N-ch และแบบ P-ch ทำงานในลักษณะพชพด หรือทำงานเพียงตัวเดียว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้ N-ch เพราะสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าแบบ P-ch

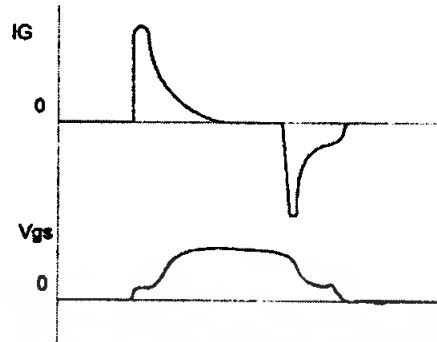
- กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ทั้งในขณะที่เปลี่ยนสถานะและกำลังสูญเสียขณะนำกระแสแต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสที่สั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสสูงมาก จึงมีการสูญเสียสูงกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักถูกใช้งานที่ย่านความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่ที่กว่า 50 กิโลเฮิร์ตซ์ การคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาคำนวณ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน P_D จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = P_{sw(ON)} + P_{sw(OFF)} + P_C \quad (2.7)$$

$$P_{sw(ON)} = \frac{0.5 I_{pk(on)} t_r V_{in}}{T} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้นำกระแส

- ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

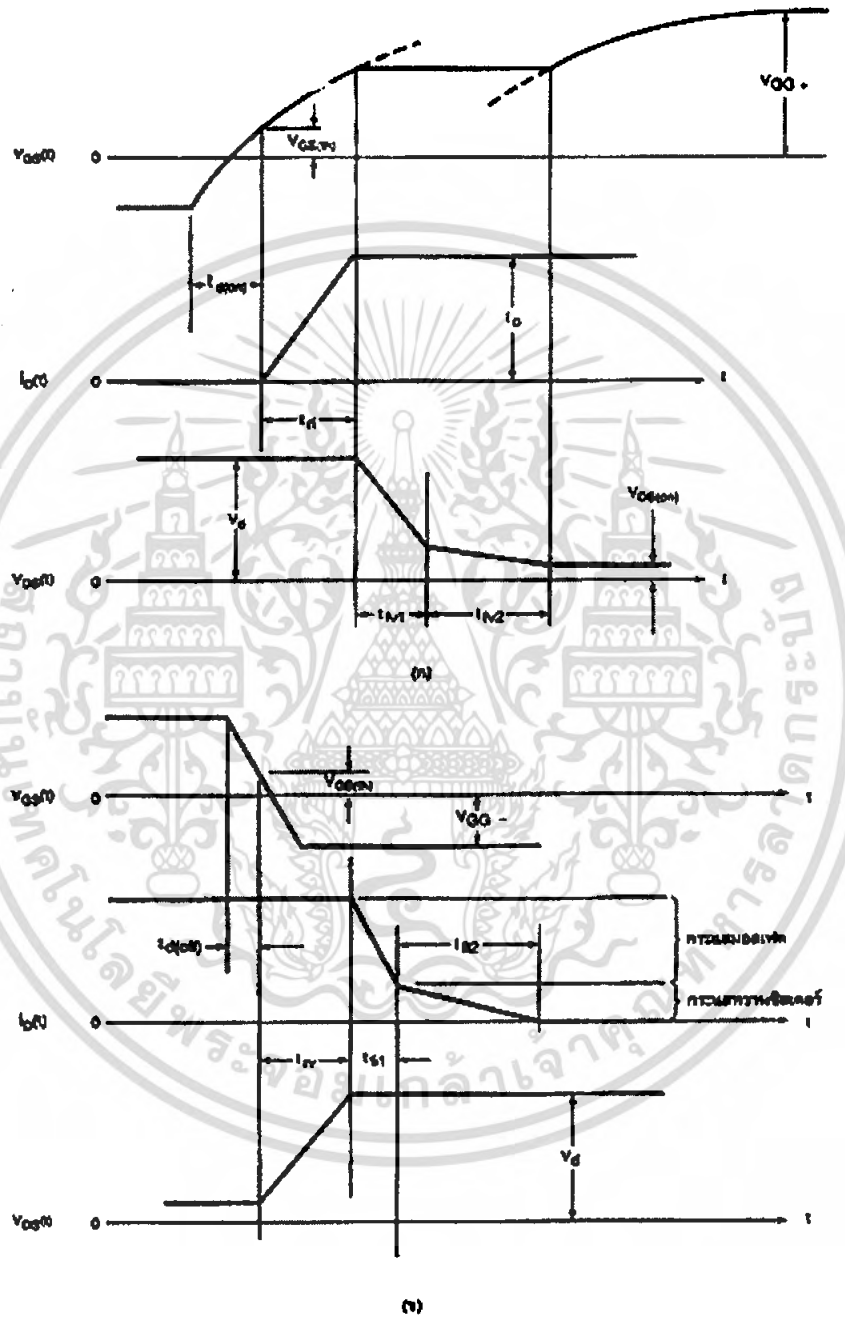
สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิดเซกคันด์รีเบรคดาวน์ เช่นในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะไม่เกิดขึ้น เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สขณะนำกระแส $R_{DS(on)}$ ของมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิสัยความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดเซกคันด์รีเบรคดาวน์ อัตราทนกำลังสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

2.7.3 ไอจีบีที

วงจรมูลของ IGBT แสดงไว้ในรูปที่ 2.20 ซึ่งในรูปที่ 2.20 (ก) นั้นจะเห็นว่าในบริเวณบอดี p ชั้นบริเวณ n- และชั้นอินเจกต์ติ้ง p+ จะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี โดยแทนได้ด้วยขาคอลเล็กเตอร์, เบส และอิมิตเตอร์ ตามลำดับ และบริเวณภายใต้เกตก็จะแทนได้ด้วยมอสเฟตซึ่งจะมีความต้านทานบริเวณ n- เชื่อมขาเบส ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีเข้ากับขาเดรนของมอสเฟต ซึ่งเมื่อเขียนวงจรมูลออกมาจะได้ดังรูปที่ 2.20 (ข)

จากรูปที่ 2.20 (ข) จะเห็นว่าเป็นวงจรลิงตัน โดยมีมอสเฟตเป็นตัวขับทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี แต่มีจุดพิเศษที่แตกต่างจากวงจรทั่วไป คือกระแสเดรนส่วนใหญ่จะไหลจากอิมิตเตอร์มายังเบส ผ่านความต้านทานบริเวณลอยเลื่อน และผ่านขาเดรนมายังคอลเล็กเตอร์และขาซอร์สสำหรับวงจรมูลในรูปที่ 2.20 (ค) จะแสดงให้เห็นว่าภายใน IGBT มีไทรสเตอร์แฝงอยู่ด้วย โดยดูได้จาก การทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพีต่อเข้าด้วยกันในลักษณะที่มีการป้อนกลับ ทำให้เห็นได้ชัดถึงเหตุที่ทำให้เกิดการแลตซ์ของ IGBT

-ลักษณะการสวิตช์



รูปที่ 2.21 (ก) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะนำกระแส

(ข) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสัญญาณกระแสและแรงดันในช่วงเวลาที่เกิดการนำกระแสและหยุดนำกระแส แสดงไว้ในรูปที่ 7 โดยช่วงเวลาในการนำกระแสของ IGBT แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 (ก) ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับการนำกระแสของมอสเฟต คือจะมีเวลาก่อนการนำกระแส ($T_d(on)$) นับตั้งแต่เวลาที่แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สอยู่ในช่วง V_{gg-} จนถึง ($V_{gs(th)}$) ความจริงแล้วการป้อนแรงดันนี้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากค่า V_{gg-} เป็น V_{gg+} แต่กลับมีลักษณะเป็นเอ็กซ์โปเนนเชียล

เหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากผลการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุระหว่างเกตกับซอร์สและเกตกับเดรนภายใน IGBT แรงดันที่ขาเดรนจะยังคงอยู่ในช่วงเวลาที่ขาขึ้น (T_{ri}) หรือในช่วงเวลาที่กระแสเดรนยังไม่ถึงค่ากระแสทำงาน (I_o) หลังจากนั้นกระแสเดรนก็จะคงที่ แต่แรงดันจะตกลงสู่ค่า ($V_{ds(on)}$) โดยแบ่งช่วงเวลาลงเป็นสองช่วง คือช่วง T_{fv1} เป็นช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานสูง ($R_{channel}$) ส่วน T_{fv2} ช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานต่ำ ($R_{channel}$)

ในรูปที่ 2.21 (ข) จะเป็นรูปแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันในช่วงเวลาที่ IGBT หยุดนำกระแส จะเห็นว่ากระแสเดรนจะยังคงที่อยู่ตลอดช่วงเวลาที่แรงดันขาเดรนเพิ่มขึ้น และมีช่วงเวลาลงของกระแสเดรนที่แตกต่างชัดเจนสองช่วง โดยช่วงแรก T_{fv1} จะเป็นช่วงหยุดนำกระแสของมอสเฟตภายใน IGBT และช่วง T_{fv2} จะเป็นช่วงหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี ซึ่งจะช้ากว่ามอสเฟต ทำให้ช่วงเวลานี้นานกว่าช่วงแรก และมีการสูญเสียกำลังงานมากในช่วงนี้

บทที่ 3

ทฤษฎีกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

3.1 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส หมายถึง กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานจากแหล่งไฟฟ้าข้างนอก

ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสคือแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า อิเล็กโทรดสองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า “เซลล์อิเล็กโทรไลซิส” (Electrolysis Cell) สำหรับอิเล็กโทรดทั้งสองนี้

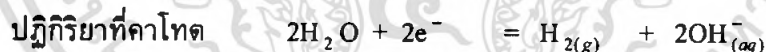
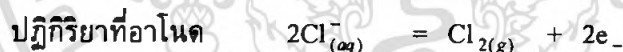
อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า “แอโนด”



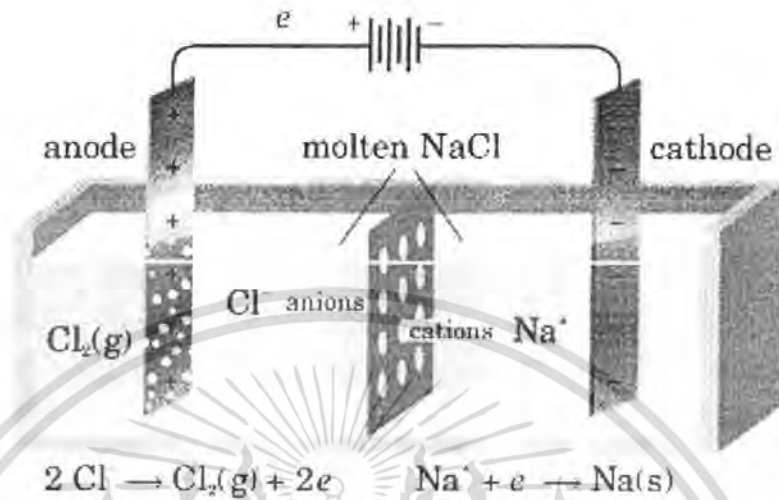
อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า “คาโทด”



พิจารณากระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีความเข้มข้นพอประมาณในน้ำ โดยใช้แท่งแกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดแก๊สคลอรีน (Cl_2) ที่แอโนด และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่คาโทด



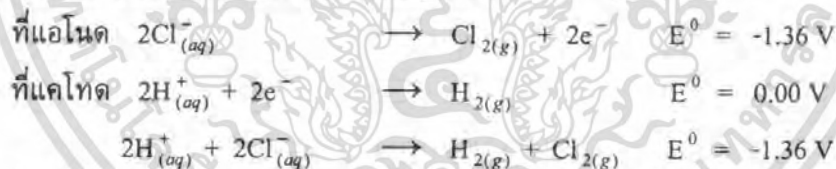
เมื่อกลับไปพิจารณากระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในน้ำ เราจะพบว่าถ้าจะให้ปฏิกิริยา $2Na^+ + 2Cl^- = 2Na + Cl_2$ ความต่างศักย์ที่ต่ำที่สุดจะต้องใช้การคำนวณจากค่าต่างศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของครึ่งเซลล์เท่ากับ $-2.71 - 1.35 = -4.06$ โวลต์ ซึ่งความต่างศักย์สูงมากเมื่อเทียบกับปฏิกิริยา $2H_2O + 2Cl_{(aq)}^- = 2OH_{(aq)}^- + Cl_{2(g)} + H_{2(g)}$ โดย $\Delta E^0 = -2.19$ โวลต์ ซึ่งใช้ความต่างศักย์ต่ำสุดคือ 2.19 โวลต์ ดังนั้น กระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จึงเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่คาโทด มากกว่าที่เกิดโลหะโซเดียม ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.2 ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวและศักย์ไฟฟ้าเกินตัว

พิจารณาเซลล์อิเล็กโทรไลติกของสารละลายกรดไฮโดรลิก ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ และใช้พลาทินัมเป็นอิเล็กโทรด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์จำนวนหนึ่ง จะได้รับก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคลอรีนที่อิเล็กโทรดตามปฏิกิริยา



ศักย์ไฟฟ้าที่มีเครื่องหมายลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังที่เขียนขึ้นนั้นเกิดขึ้นเองไม่ได้

เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อได้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงค่อยๆเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในสารละลาย จากศูนย์ไปเรื่อยๆ ในระยะแรกกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในอัตราน้อยๆจนกระทั่งมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 1.36 V หรือมากกว่าถึง 1.60 V จึงจะเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และจากนี้ไปกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยความเร็วเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นและเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน ทำให้ลักษณะการเพิ่มของทั้งสองอย่างเป็นแบบเส้นตรง ถ้าลากเส้นตรงตามแนวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มาตัดกับแกนของศักย์ไฟฟ้าที่ $I = 0$ จะได้ศักย์ไฟฟ้าแตกตัว (Decomposition Potential) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กโทรไลซิสเกิดขึ้นได้ ศักย์ไฟฟ้าที่แตกตัวเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับลักษณะของอิเล็กโทรดและสภาวะอื่นๆด้วย ค่าที่ได้ควรเป็นค่าเดียวกันกับค่าศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ

(Reversible Potential) ซึ่งเป็นศักย์ตอนที่ไอออนและอิเล็กโทรดในสารละลายอยู่ในสภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าศักย์ไฟฟ้าแตกตัวจะมีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ ศักย์ไฟฟ้าที่เกินศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับที่เรียกว่า “ศักย์ไฟฟ้าเกินตัว” ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจะเป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างจะซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญคือ การถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นช้า เพราะมีพลังงานกระตุ้นสูงและเป็น Activation Overvoltage ปัจจัยสุดท้ายคือ ความเข้มข้นรอบ ๆ อิเล็กโทรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้การนำไฟฟ้าลดลงได้ซึ่งเป็น Concentration Overvoltage เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าที่ควร จึงจะทำให้เกิดอิเล็กโทรไลซิสขึ้นได้ ปรากฏการณ์เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าเกินตัว ยังเป็นที่เข้าใจกันน้อยซึ่งค่าที่ได้ไม่มีแน่นอนและต่างจากศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดในการทำนายการเกิดอิเล็กโทรไลซิสจึงไม่ถูกต้องเสมอไป โดยเฉพาะกรณีที่มี ปฏิริยาให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซออกซิเจนหรือไฮโดรเจน ในตอนต่อไปจะเห็นว่าเนื่องจากออกซิเจนมีศักย์ไฟฟ้าเกินตัวสูงในระดับสารละลายของเกลือในน้ำที่มีความเข้มข้นสูง ปฏิริยาที่อาโนดแทนที่จะได้ก๊าซออกซิเจนกลับได้ก๊าซคลอรีน ทั้งที่คลอรีนมีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดสูงกว่า

3.3 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส (Faraday's Law of Electrolysis)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michel Faraday) เป็นคนแรกที่ค้นพบความสัมพันธ์แบบปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณทางไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส ความมากมายของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ดังนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้ ซึ่งเรียกว่า “กฎอิเล็กโทรไลซิส ของ ฟาราเดย์” ดังนี้

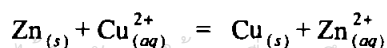
1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่อาโนด หรือ คาโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรไลซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณทางไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์
2. มวลสารต่างกันที่เกิดขึ้น ในระหว่างการอิเล็กโทรไลซิสที่ใช้ปริมาณทางไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้น

3.4 ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential)

อิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนระหว่างการรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์ในปฏิริยาเคมีนั้นเราแสดงให้เห็นได้โดยให้อิเล็กตรอนนี้ไหลไปตามเส้นลวดสายไฟ ซึ่งเชื่อมต่อภายนอกระหว่างตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เช่น แอมมิเตอร์ แอมมิเตอร์ หรือ โวลต์มิเตอร์

ก่อนที่จะศึกษาศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ จะพิจารณาผลของการทดลองสองการทดลองก่อน

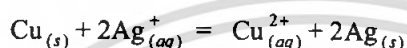
การทดลองที่ 1 ถ้านำแท่งสังกะสีที่สะอาดจุ่มลงในสารละลาย CuSO_4 ช่วงระยะเวลาหนึ่งจะพบว่า สีน้ำเงินของสารละลาย CuSO_4 ค่อยจางลง และที่แท่งสังกะสีจะมีโลหะทองแดงไปเกาะ ปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเขียนเป็นสมการไอออนิกได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปฏิกิริยาเคมี พอสรุปได้ว่าโลหะสังกะสีจะให้ไอเลคตรอนได้ดีกว่า โลหะทองแดง หรือ Cu^{2+} รับไอเลคตรอนได้ดีกว่า Zn^{2+}

การทดลองที่ 2 ถ้านำแท่งทองแดงที่สะอาดจุ่มลงในสารละลาย AgNO_3 ซึ่งระยะเวลาหนึ่ง จะพบว่า สารละลาย AgNO_3 ซึ่งแต่เดิมไม่มีสี จะมีสีน้ำเงินอ่อนเกิดขึ้น และแท่งทองแดงจะมีโลหะเงินไปเกาะ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนสมการได้ดังนี้

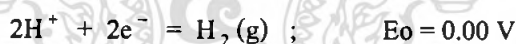


แสดงว่าโลหะทองแดงให้ไอเลคตรอนได้ดีกว่า โลหะเงิน หรือ Ag^+ รับไอเลคตรอนได้ดีกว่า Cu^{2+} ถ้าเปรียบเทียบแนวโน้มการให้ไอเลคตรอนจากมากไปหาน้อยจะเป็นดังนี้ $\text{Zn}, \text{Cu}, \text{Ag}$ แต่ถ้าเปรียบเทียบการรับไอเลคตรอน จากมากไปหาน้อยจะเป็นดังนี้ $\text{Ag}, \text{Cu}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$

ขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน (Standard Hydrogen Electrode หรือเรียกว่า SHE)

นำครึ่งเซลล์ต่างๆที่วัดความสามารถในการรับหรือการให้ไอเลคตรอนมาประกอบกับ SHE เป็นเกลแวนิกเซลล์แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสอง

ในการใช้ไฮโดรเจนเซลล์เป็นมาตรฐาน เพื่อวัดอำนาจการรับและการให้ไอเลคตรอนของครึ่งเซลล์อื่น ๆ นั้น เรากำหนดให้การรับและการให้ไอเลคตรอนของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 0.00 โวลต์ แต่ถ้าความดันของแก๊สมีค่าไม่เท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือ กัมมันตภาพของ H^+ ในสารละลายไม่เท่ากับ 1 ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป ในปฏิกิริยาที่มีการรับไอเลคตรอน ดังในปฏิกิริยา



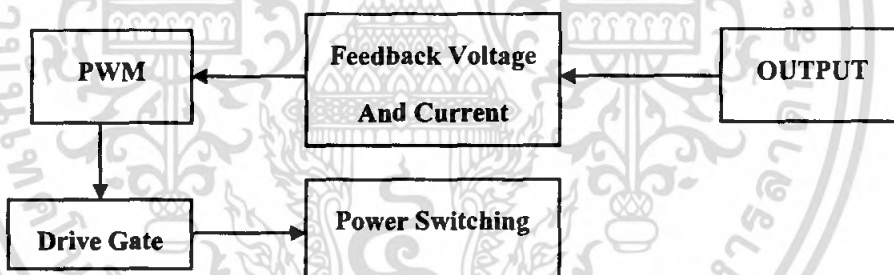
บทที่ 4

การออกแบบวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

การออกแบบวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ได้จัดทำขึ้นนี้ จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนของเพาเวอร์สวิตชิงซึ่งประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสทางด้านอินพุต และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และในส่วนของการควบคุมประกอบด้วย วงจรป้อนกลับ โดยการเปรียบเทียบทั้งกระแสและแรงดันจากทางด้านเอาต์พุตมาส่งเป็นข้อมูลให้กับตัวไอซี SG3526 เพื่อทำการควบคุมขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ผ่านวงจรขับไปยังคอนเวอร์เตอร์ต่อไป โดยจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 วงจรภาคควบคุม

วงจรในส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมการสวิตชิงของ ไอจีบีที ดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงลำดับการทำงานของวงจรควบคุม

4.1.1 วงจรป้อนกลับ

วงจรป้อนกลับทำหน้าที่แปลงค่าจากเอาต์พุตที่อยู่ในรูปต่าง ๆ เช่น กระแส แรงดัน ให้มาอยู่ในรูปของระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการเปรียบเทียบกันกับค่าอ้างอิงที่ได้จัดตั้งค่าไว้ อุปกรณ์สำคัญในการเปรียบเทียบระดับแรงดันนี้ก็คือ ออปแอมป์ โดยใช้ไอซีเบอร์ LM339 เป็นไอซีในการเปรียบเทียบแรงดัน และ LM358 เป็นส่วนขยายแรงดัน เอาต์พุตจากการเปรียบเทียบของออปแอมป์จะถูกส่งไปควบคุมการทำงานของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน เพื่อให้เข้าใจในการทำงานของไอซีเบอร์ LM339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(+) *noninverting* > (-) *inverting*

out put is open circuit

(+) *noninverting* < (-) *inverting*

out put is short circuit

Voltage feedback วงจรในส่วนนี้รับค่าแรงดันจากเอาต์พุตมาทำการแบ่งแรงดันที่วงจรแบ่งแรงดัน โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ แล้วนำค่าแรงดันนี้มาทำการเปรียบเทียบแรงดันกับแรงดันที่เราอ้างอิงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมก่อนส่งไปที่ขา 1 ของ SG3526 โดยขาดังกล่าวจะมีแรงดันไฟตรงค่าหนึ่งที่เราตั้งไว้เพื่อให้ SG3526 นำไปผลิตสัญญาณด้วยวงจรพัลส์วิตช์มอดดูเลชั่น เพื่อที่จะกำหนด ค่าเวลาในการนำกระแส

Set Current Value วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่วัดค่ากระแสเอาต์พุตของวงจร โดยรับค่าแรงดันค่าต่ำ ๆ ที่ตกคร่อมชั้นที่เคอร์เรนท เมื่อมีกระแสไหลผ่าน โดยค่าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสที่ไหลผ่านชั้นที่เคอร์เรนท แรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะถูกขยายโดยวงจรออปแอมป์ LM358 ให้แรงดันให้สูงขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการเปรียบเทียบค่าแรงดัน ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะถูกส่งไปเป็นข้อมูลให้กับ ไอซี SG3526 เพื่อที่จะสั่งให้ตัว ไอซีบีทีทำงานมากขึ้นหรือทำงานน้อยลงตามค่าแรงดันอ้างอิงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสเอาต์พุต

4.1.2 วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลส์

วงจรที่ใช้สำหรับสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์ สามารถทำได้โดยใช้ ไอซีเบอร์ SG3526 โดยปรับที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 9 มีโครงสร้างภายในแสดงไว้ในส่วนของ Datasheet ซึ่งมีรายละเอียดในการใช้งาน ได้ดังนี้

ขา 1,2 จะใช้สำหรับรับข้อมูลที่เป็นค่าแรงดัน จากการป้อนกลับ และการเซตค่าเข้ามาที่ขาอินเวอร์ตติ้ง และ นอนอินเวอร์ตติ้ง ของวงจรขยายความผิดพลาดภายใน ไอซี ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะส่งไปยังวงจรพัลส์วิตช์มอดดูเลชั่นเพื่อที่ปรับค่าความกว้างของพัลส์ให้เปลี่ยนไปตามข้อมูลของแรงดันอินพุต

ขา 3 เป็นขาที่ใช้สำหรับชดเชยกับวงจรขยายในกรณีเปิดลูป โดยการตัวเก็บประจุลงกับกราวด์ หรือปรับตั้งค่าอัตราขยายให้กับวงจรขยายความผิดพลาด โดยการต่อร่วมกับขา 2

ขา 4 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อตัวเก็บประจุเพื่อหน่วงเวลาในการเริ่มนำกระแส เพื่อให้ได้การทำงานในลักษณะ Soft Start

ขา 5 เป็นขา รีเซ็ต เพื่อการเริ่มต้นทำงานที่ถูกต้องและตรงจังหวะหลังจากการชัตดาวน์ (Shutdown) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าขา รีเซ็ตจะต่ออยู่กับขาชัตดาวน์ ดังนั้นจะเกิดการรีเซ็ตทุกครั้งที่มีการชัตดาวน์

ขา 6,7 เป็นขาเคอร์เรนท์เซนส์ (Current Sense) ทำหน้าที่รับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ทำหน้าที่คอยตรวจจับกระแสเอาท์พุทด้วยวงจรเปรียบเทียบซึ่งมีความเร็วสูง เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นวงจรเปรียบเทียบก็จะส่งเอาท์พุทไปทำการชัตดาวน์ทันทีเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจร

ขา 8 เป็นขาที่ใช้สำหรับสั่งชัตดาวน์จากวงจรภายนอกโดยการป้อนลอจิก “0”

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

ขา 10 เป็นขาที่ต่อกับตัวเก็บประจุ C_t ใช้เพื่อที่จะกำหนดค่าความถี่ให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ

ขา 11 เป็นขาที่ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาหยุดนำกระแส (Dead Time) โดยการต่อตัวต้านทาน R_d ลงกราวด์

ขา 12 เป็นขาสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณ ค้อออกมายังภายนอกเพื่อนำไปใช้กับวงจรอื่นที่ต่อร่วมที่ต้องการมีความเวลาเดียวกัน เพื่อให้เกิดการทำงานที่พร้อมกัน

ขา 13,16 เป็นขาเอาท์พุทพัลส์ A และ B ตามลำดับ โดยพัลส์ที่ออกจากเอาท์พุททั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา พัลส์ที่ได้จะถูกนำไปขับวงจรคอนดอร์เตอร์ต่อไป สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 250 มิลลิแอมป์

ขา 14 เป็นขาที่ได้รับแรงดันไฟเลี้ยงสำหรับส่วนของเอาท์พุทภายในที่ใช้ มอสเฟต ต่อกันแบบคอมพลีเมนต์ารี สามารถใช้ร่วมกับไฟเลี้ยงของไอซีขา 17 ก็ได้

ขา 15 เป็นขากราวด์ของตัวไอซี

ขา 17 เป็นขาที่รับไฟเลี้ยงจากภายนอกมาทำการเลี้ยงวงจรภายในไอซี โดยผ่านวงจร สร้างค่าแรงดันอ้างอิง (5V) ก่อนเพื่อให้ไอซีทำงานได้คงที่

ขา 18 เป็นขาเอาท์พุทของวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในไอซี เพื่อจะนำแรงดันอ้างอิงนี้ไปใช้กับวงจรภายนอกเพื่อให้มีค่าแรงดันอ้างอิงค่าเดียวกัน โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 50 มิลลิแอมป์

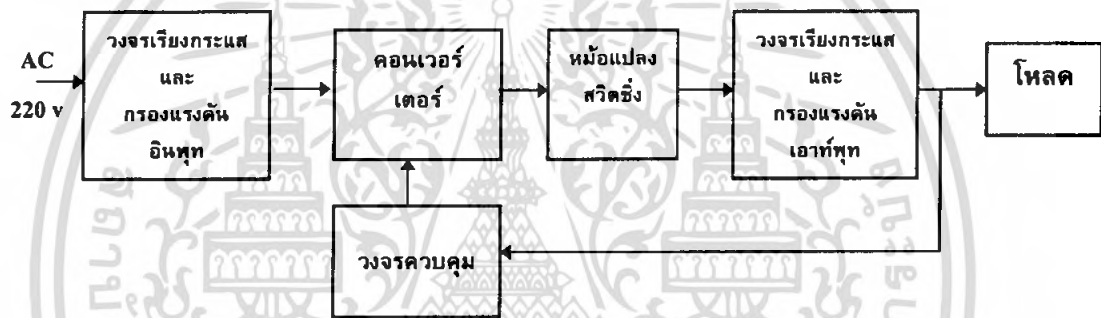
4.1.3 วงจรขับเคลื่อนและหม้อแปลงคัปปลิ่ง

วงจรขับเคลื่อนประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็น และพีต่อกันแบบคอมพลีเมนต์ารีจำนวนสองชุด โดยเอาท์พุทของวงจรคอมพลีเมนต์ารีทั้งสองนั้นจะต่อผ่านขดลวดปฐมภูมิของตัวหม้อแปลงจับสวิตซ์ซึ่งที่ส่งผ่านพลังงานไปยังขดลวดทุติยภูมิ นำไปขับเคลื่อนแบบ Isolation

ในส่วนของหม้อแปลงคัปปลิ่งจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกมา 2 ชุด โดยแต่ละชุดจะมีสัญญาณกลับเฟสกัน 180 องศา เพื่อส่งไปขับเคลื่อนให้สลับการทำงาน

4.2 ภาคเพาเวอร์สวิตชิง

วงจรในส่วนนี้มีหน้าที่หลักในการเปลี่ยนค่าความถี่ไฟเอชที่มีค่าประมาณ 50 เฮิรท์ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อทำการส่งผ่านพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเริ่มจากการนำไฟกระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิรท์ มาทำการแปลงให้เป็นไฟกระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสตามลำดับ จากนั้นจึงนำค่าไฟกระแสตรงที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นไฟกระแสสลับอีกครั้งหนึ่งในรูปของพัลส์ โดยใช้ไอจีบีทีสวิตช์ด้วยความถี่สูง โดยเรียกวงจรในส่วนนี้ว่า วงจรคอนเวอร์เตอร์ แล้วจะลดระดับแรงดันลงด้วยหม้อแปลงแบบความถี่สูง จากนั้นจะทำการเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบก่อนส่งออกเอาท์พุท



รูปที่ 4.2 แสดงลำดับการทำงานของภาคเพาเวอร์สวิตชิง

4.2.1 วงจรเรียงกระแสและกรอง...แรงดันทางด้านอินพุท

วงจรเรียงกระแสที่ใช้สร้างไฟกระแสตรงสำหรับป้อนให้วงจรคอนเวอร์เตอร์นี้เป็นแบบฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ โดยการเรียงกระแสแบบนี้จะทำให้ได้สัญญาณชาน์เนลที่มีค่าความถี่ชีกบนหรือชีกล่างเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับสัญญาณชีกบนหรือชีกล่างของไฟสลับทำให้เมื่อทำการกรองกระแสแล้วจะทำให้แรงดันรีปเปลี่ยมิขนาดน้อยกว่าการกรองกระแสแบบอื่นๆ (เมื่อเทียบกันที่ตัวเก็บประจุกรองกระแสมีค่าเท่ากัน) เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ นั้นอยู่ในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแบ่งค่าแรงดันกระแสตรงจากการเรียงกระแสเป็นครึ่งหนึ่งโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาดเท่าๆกันต่อกันแบบอนุกรม ต่อเข้ากับชุดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังรูปที่ 3.4 และเพื่อจะให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากันอย่างแท้จริงจึงจำเป็นต้องใส่ตัวต้านทานที่มีค่าเท่าๆ กันต่อคร่อมตัวเก็บประจุ พบว่าขนาดของตัวเก็บประจุที่แบ่งแรงดันนั้นจะต้องเพียงพอที่จะถ่ายเทพลังงานให้กับหม้อแปลงได้มีเช่นนั้นกระแสที่เอาท์พุทจะไม่ต่อเนื่องใน ส่วนของการกรองกระแสเป็นการกรองกระแสที่แรงดันสูงเราไม่สามารถหาตัวเก็บประจุที่มีค่าสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือมีค่าความจุมากและสามารถทนแรงดันสูงๆได้ง่าย เนื่องจากจะมีราคาสูงแล้วยังหายากอีกด้วย การขนานตัวเก็บประจุเพื่อเพิ่มค่าความจุจึงเป็นวิธีที่ดีมากๆ อีกทั้งยังเป็นการลดค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย เนื่องมาจากความต้านทานที่แฝงภายในตัวเก็บประจุอีกด้วย

4.2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้เป็นแบบฮาร์ดฟรیدจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งประกอบด้วย ไอจีบีที โดย ไอจีบีที ชุดบนและชุดล่างจะสลับกันทำงาน

การทำงานของไอจีบีทีจะเป็นไปตามพัลส์ที่ส่งมาจากวงจรควบคุม ซึ่งผ่านหม้อแปลงขับ โดยพัลส์จากขดลวดทุติยภูมิชุดบนจะกลับเฟสกับพัลส์ที่เกิดจากขดลวดชุดล่าง พัลส์ที่ออกจากขดลวดทุติยภูมินี้จะผ่านวงจรจำกัดแรงแรงก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่ขาเกตของไอจีบีที มีค่าสูงมากเกินไปจนกว่าจุดที่ไอจีบีที จะเกิดการอิมดับโดยวงจรดังกล่าวประกอบด้วยซีเนอร์ไดโอดสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน ถ้าแรงดันพัลส์ทางด้านบวกและลบมีค่าสูงเกินกว่าค่าเบรกดาวน์ของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดก็จะนำกระแสทันที

ไดโอดที่ต่อคร่อมไอจีบีที โดยต่อทั้งที่ชุดบนและชุดล่างเป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ประการแรกเพื่อ ป้องกันแรงดันสไปค์ที่เกิดขณะเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากพลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิของตัวหม้อแปลงความถี่สูง และหน้าที่ประการที่สอง ในขณะที่หยุดนำกระแสขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดการกลับขั้วแรงดันขึ้น เมื่อรวมเข้ากับแรงดันครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายกระแสตรงแล้ว จะทำให้มีแรงดันตกคร่อมสูงมาก แต่ไดโอดซึ่งต่อกับอีกตัวหนึ่งจะอยู่ในลักษณะไบแอสตรงดังนั้น ไดโอดนี้จะทำการนำกระแสเป็นการป้องกันอันตรายอันจะเกิดขึ้นกับตัวไอจีบีที

4.2.3 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

หน้าที่ของหม้อแปลงความถี่สูงแบบลดระดับแรงดัน คือจัดระดับแรงดันเอาท์พุทให้ได้ตามที่ เราต้องการ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายนี้ใช้อัตราส่วนในการพันรอบปฐมภูมิต่อทุติยภูมิเท่ากับ 9:3 รอบโดยที่ด้านทุติยภูมิมีแท่งกลาง ใช้แกนเฟอร์ไรท์แบบยูคอร์ 60 (U-core Type) ในการออกแบบเราควรเลือกค่าฟลักแม่เหล็กสูงสุดที่ใช้งานประมาณครึ่งหนึ่งของฟลักแม่เหล็กที่จุดอิมดับ ($B_{max} = B_{sat}/2$) เพื่อความปลอดภัยของวงจร อันเนื่องมาจากหม้อแปลงอิมดับ

จากการทดลองสร้างหม้อแปลงความถี่สูงพบว่า จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิมีกว่ามาก จึงจำเป็นต้องพันขดลวดเป็น 2 ชั้นทับกันซึ่งการพันในลักษณะนี้พบว่าจะเกิดปัญหาเรื่องความแน่นหนาและทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นลวดมากมีผลให้เกิดการสูญเสียทางแม่เหล็กไฟฟ้าและอาจทำให้เกิดการออสซิลเลชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ (Rectifier and Filter)

การทำงานนั้นจะเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณอินพุตใดๆ ให้ได้ออกมาเป็นแรงดันไฟตรง โดยวงจรนี้ใช้ชนิดเต็มคลื่นแบบมีแท็ปกลาง (Full Wave Center Tapped) และจะทำการเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบร้อยด้วยวงจรกรอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของ การทดลองนั้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการทดลอง สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และส่วนการทดลองกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์

5.1 การทดลองสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย DC 24V 50A
2. มัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
3. ตัวต้านทานค่าต่างๆ
4. ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดลอง

5.1.1 การตรวจวัดรูปสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ภายในวงจร

การทดสอบการทำงานของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ในขณะที่มีการใช้งานจริงสามารถที่จะ วัดสัญญาณจากจุดต่าง ๆ ได้ดังนี้

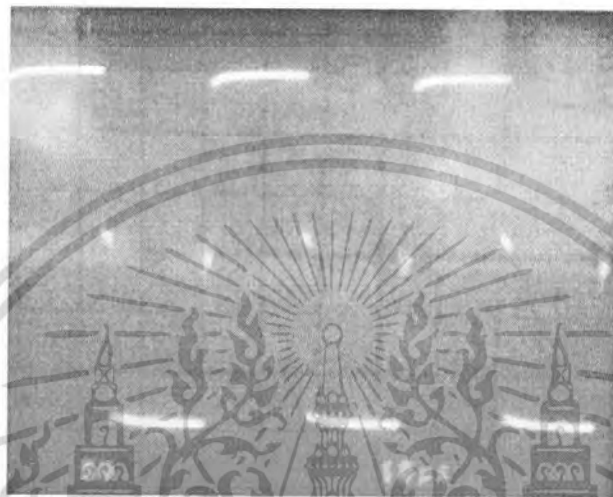
- 1) สัญญาณที่วัดได้จากขา 10 ของไอซี SG3526 จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นฟันเลื่อย (Ramp Wave) ซึ่งคาบเวลาที่ได้นั้นจะใช้เป็นฐานเวลาในการทำงานของวงจรสวิตชิง ส่วนช่วงเวลาใน จังหวะกลางของรูปสัญญาณที่วัด ได้นั้น จะเป็นตัวบอกค่าของเวลาที่รอให้สวิตชิงหยุดนำกระแส (Dead Time)



รูปที่ 5.1 รูปแสดงสัญญาณฟันเลื่อยซึ่งใช้เป็นฐานเวลาในการสร้างพัลส์

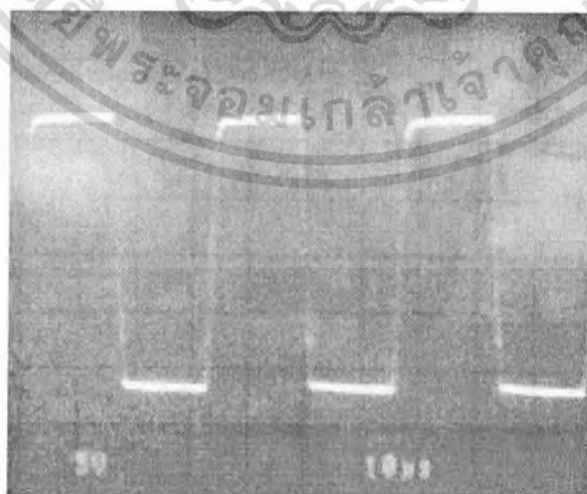
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สัญญาณที่วัดได้จากขา 13 และขา 16 ของไอซี SG3526 ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตพัลส์ของภาคควบคุมที่ส่งไปเปรียบเทียบ เพื่อควบคุมเวลาในการสวิทช์ของไอจีบีที



รูปที่ 5.2 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ที่ขาเอาต์พุตของไอซี SG3526

3) สัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตของวงจร Drive Gate เพื่อนำไปขับขาเกตของไอจีบีที โดยมีลักษณะกลับเฟสกันเพื่อให้สลับกันทำงาน

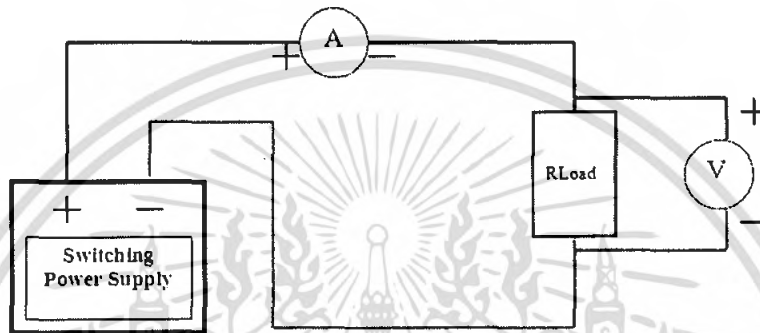


รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตวงจร Drive Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การทดลองสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

การทดลองหาประสิทธิภาพ ความสัมพันธ์ของค่ากระแสทางด้านอินพุต และค่ากระแสทางด้านเอาต์พุต โดยการต่อโหลดภาระค่าต่างๆ เข้าทางด้านเอาต์พุต และทำการวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตแรงดันอินพุต นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานทางด้านอินพุตและกำลังทางด้านเอาต์พุต แล้วนำค่ากำลังงานที่ได้ทั้งสองค่ามาคำนวณค่าประสิทธิภาพ ซึ่งค่าต่างๆที่คำนวณได้แสดงดังตาราง



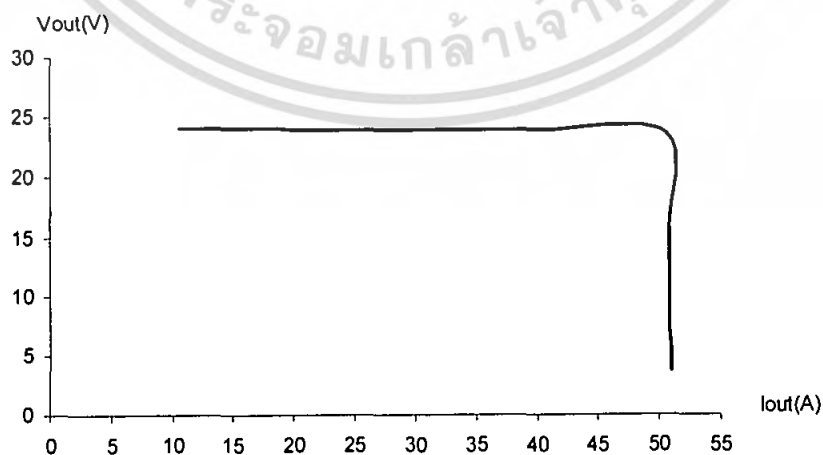
รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการต่อวงจรการทดลองสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การทดลองของแหล่งจ่ายไฟสวิชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

R_{Load} (Ω)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	Eff (%)
2.28	306.7	1.15	352.7	24.08	10.56	254.2	72.09
1.81	304.8	1.41	429.7	24.06	13.26	319.0	74.24
1.42	303.9	1.79	543.9	24.02	16.86	404.9	74.45
1.11	302.7	2.28	690.1	24.01	21.46	515.3	74.67
0.63	301.6	3.98	1200.3	23.98	37.78	905.9	75.47
0.59	299.5	4.27	1278.8	23.96	40.56	971.8	75.99
0.46	298.7	5.16	1541.2	23.68	50.52	1196.3	77.62
0.31	296.7	3.75	1112.6	15.78	50.72	800.3	71.93
0.19	289.8	2.65	767.9	9.97	50.82	506.6	65.98
0.09	288.2	1.45	417.8	4.59	50.88	234.0	56.01
0.07	282.1	1.26	355.4	3.64	50.92	185.3	52.15

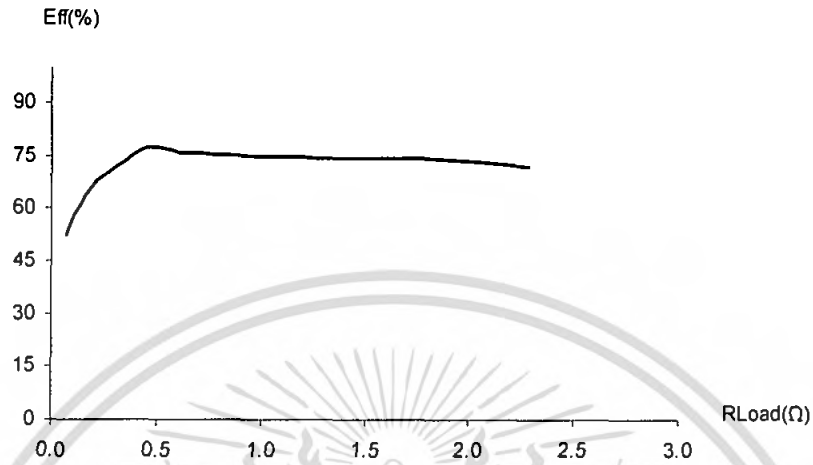
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางเอาต์พุต(V_{out}) และกระแสทางเอาต์พุต (I_{out})



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางเอาต์พุตและกระแสทางเอาต์พุต

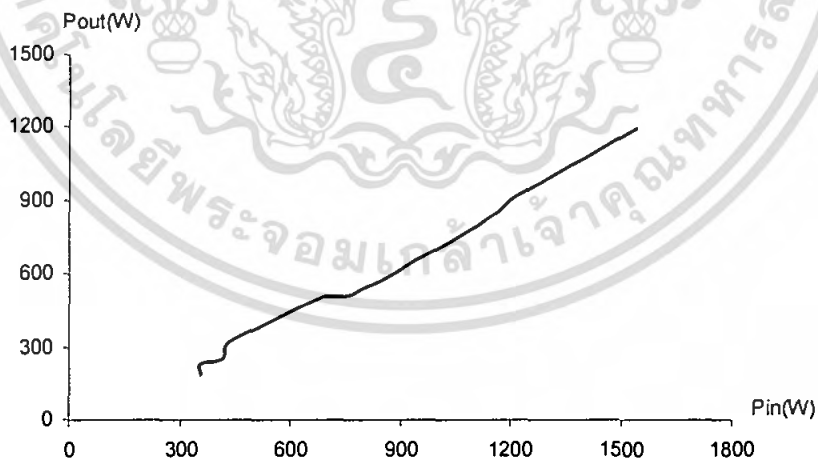
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ %Eff กับความต้านทาน โหลด RLoad



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับโหลด

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางเข้าอินพุต (Pin) และกำลังทางออกเอาต์พุต (Pout)



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางเข้าอินพุตและกำลังทางออกเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

เมื่อเราทำการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรงกระแสสูง (24V 50A) แล้วนำมาทดสอบปรับปรุงแก้ไขจนได้คุณสมบัติตามที่ต้องการการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อหาอุปกรณ์และกรรมวิธีในการแยกโลหะออกจากน้ำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากโลหะหนักมีมากมายหลายชนิด ฉะนั้นเราจึงต้องกำหนดขอบเขตในการทดลองศึกษา ในที่นี่จะทำการทดลองเฉพาะสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่ความเข้มข้นค่าหนึ่ง เท่านั้น

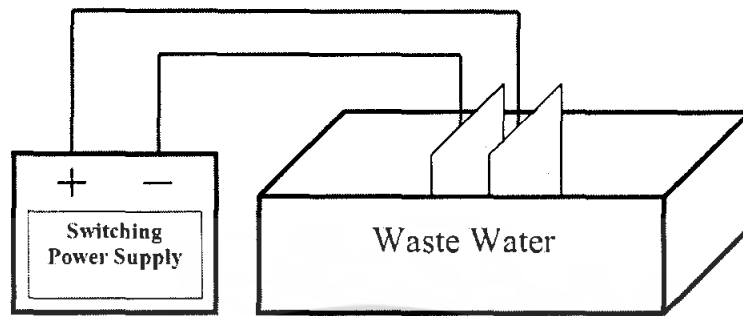
5.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 300 g
2. ถังพลาสติกขนาด กว้าง 12.25 นิ้ว ยาว 16.75 นิ้ว สูง 7.5 นิ้ว จำนวน 1 ถัง
3. เครื่องซังสารแบบตีจืดอล จำนวน 1 เครื่อง นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เรือน
4. แผ่นอิเล็กโทรด คือ แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 3.5×7 นิ้ว จำนวน 12 แผ่น
5. น้ำบริสุทธิ์ จำนวน 12 ลิตร
6. สายไฟแบบมีปากคีบ
7. โวลต์มิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง แอมมิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
8. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (50 A 24 V)

5.2.2 วิธีการทดลอง

1. เตรียมสาร (CuSO_4) 100 g โดยใช้เครื่องซัง
2. นำน้ำบริสุทธิ์ ผสมกับ (CuSO_4) ที่เตรียมไว้ คนให้ละลาย
3. นำแผ่นเพลทอะลูมิเนียม ไปชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดลอง โดยใช้เครื่องชั่ง แล้วบันทึกในตารางที่ 5.2
4. นำแผ่นเพลท คู่แรกต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แล้วจุ่มลงในสารละลาย (CuSO_4) โดยให้ระยะห่างระหว่างแผ่นห่างกัน 1 นิ้ว ดังรูปที่ 5.7 ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้น วัดค่าแรงดันไฟฟ้า และ ค่ากระแสไฟฟ้า แล้วบันทึกในตารางที่ 5.3
5. นำแผ่นเพลทอะลูมิเนียมไปตากให้แห้ง จากนั้นนำแต่ละแผ่น ไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกในตารางที่ 5.2
6. เตรียมสารละลาย (CuSO_4) ตามข้อ 1. และ ข้อ 2. อีกครั้ง จากนั้นเพิ่มแผ่นเพลทขึ้นเป็น 2 คู่ ดังรูป 5.8 แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3 บันทึกในตารางที่ 5.4 และ ตารางที่ 5.5
7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 6. แต่เพิ่มแผ่นเพลทขึ้นอีกเป็น 3 คู่ ดังรูปที่ 5.9 บันทึกในตารางที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.7

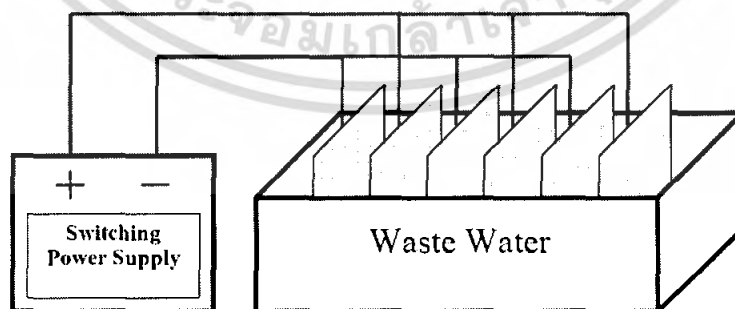
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโทรด 1 คู่



รูปที่ 5.9 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโทรด 2 คู่



รูปที่ 5.10 แสดงวงจรการทดลองเมื่อจ่ายไฟตรงให้กับขั้วแผ่นอิเล็กโทรด 3 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มากะที่ขั้วของอิเล็กโทรด แผ่นเพลท อะลูมิเนียม 1 คู่

ขั้วแผ่นเพลท	น้ำหนักแผ่นเพลทก่อน การทดลอง (กรัม)	น้ำหนักแผ่นเพลทหลัง การทดลอง (กรัม)	น้ำหนักแผ่นเพลทที่ เปลี่ยนแปลง (กรัม)
บวก	4.5453	4.3479	-0.1974
ลบ	4.7117	4.9170	0.2059

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปใน สารละลาย (CuSO_4) แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 1 คู่

เวลา (นาท)	แรงดันที่เอาต์พุต (V)	กระแสที่เอาต์พุต (A)
0	24.16	6.317
4	24.04	10.52
8	24.07	12.63
10	24.07	12.63

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มากะที่ขั้วของอิเล็กโทรด แผ่นเพลท อะลูมิเนียม 2 คู่

ขั้วแผ่นเพลท	น้ำหนักแผ่นเพลท ก่อนการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักแผ่นเพลทหลัง การทดลอง (กรัม)	น้ำหนักแผ่นเพลทที่ เปลี่ยนแปลง (กรัม)
บวก แผ่นที่ 1	4.3829	3.9723	-0.4106
แผ่นที่ 2	4.6166	4.1093	-0.5073
ลบ แผ่นที่ 1	4.6155	5.0536	0.4381
แผ่นที่ 2	4.8399	5.4203	0.5804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้ใช้ประโยชน์จากเอกสารนี้แล้ว กรุณาแจ้งให้ทราบถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปใน
สารละลาย (CuSO_4) แผ่นเพลทอะลูมิเนียม 2 คู่

เวลา (นาที)	แรงดันที่เอาต์พุต (V)	กระแสที่เอาต์พุต (A)
0	24.06	8.421
4	24.04	23.15
8	24.05	23.15
10	24.03	23.15

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่มากเกาะที่ขั้วของอิเล็กโทรด แผ่นเพลท
อะลูมิเนียม 3 คู่

ขั้วแผ่นเพลท	น้ำหนักแผ่นเพลท		น้ำหนักแผ่นเพลทที่ เปลี่ยนแปลง (กรัม)
	ก่อนการทดลอง (กรัม)	การทดลอง (กรัม)	
บวก แผ่นที่ 1 แผ่นที่ 2 แผ่นที่ 3	4.5753	4.0653	-0.5100
	4.5454	4.0402	-0.5052
	4.5068	3.9126	-0.5942
ลบ แผ่นที่ 1 แผ่นที่ 2 แผ่นที่ 3	4.6549	5.2826	0.6277
	4.5847	5.3868	0.8021
	4.4261	5.2260	0.7999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย (CuSO₄) เพลทอะลูมิเนียม 3 คู่

เวลา (นาทีก)	แรงดันที่เอาต์พุต (V)	กระแสที่เอาต์พุต (A)
0	24.04	27.36
4	24.03	29.47
8	23.97	33.68
10	23.96	37.89

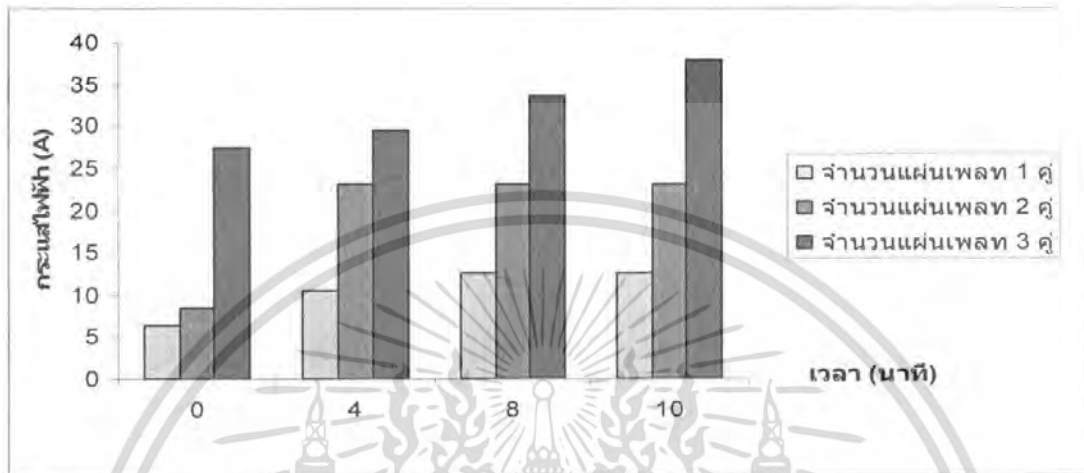
5.2.4 นำข้อมูลในตารางมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นเพลท และน้ำหนักรวมของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นเพลทกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) และน้ำหนักรวมของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนแปลง

จำนวนแผ่นเพลท (คู่)	ขั้วของแผ่นเพลท	น้ำหนักรวมของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนแปลง (กรัม)
1	บวก	-0.1974
	ลบ	0.2059
2	บวก	-0.9179
	ลบ	1.0185
3	บวก	-1.6242
	ลบ	1.4298

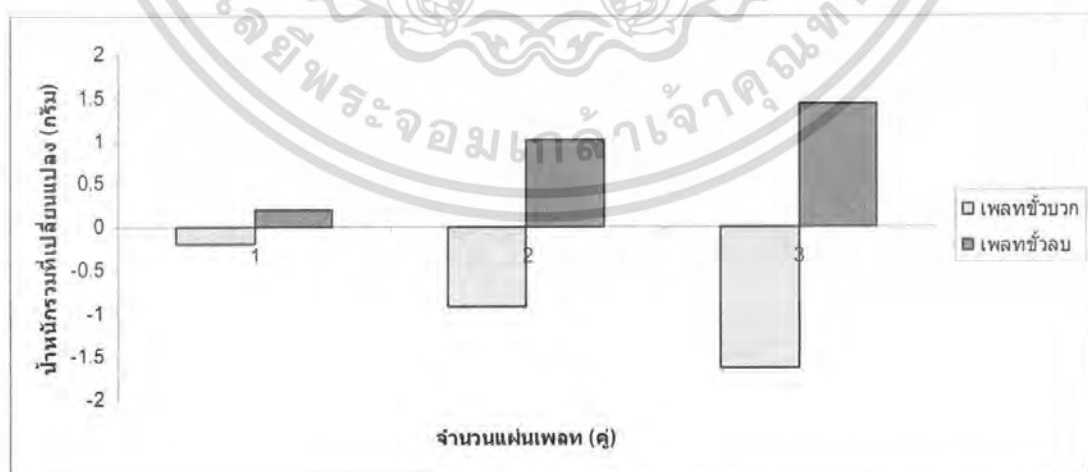
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา เมื่อเปลี่ยนจำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ



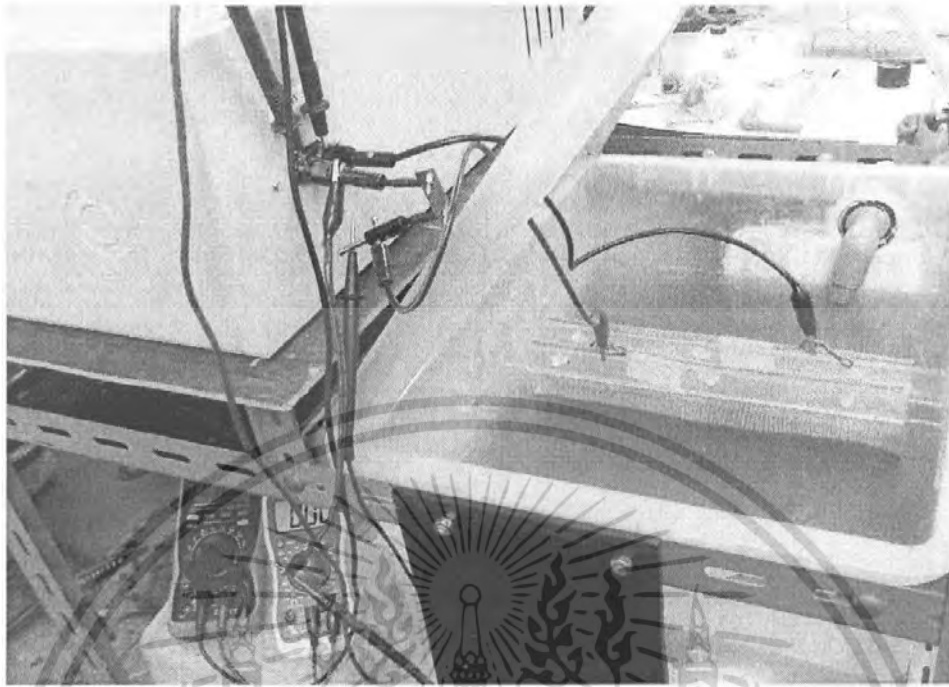
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา เมื่อเปลี่ยนจำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมที่เปลี่ยนแปลงระหว่างขั้วแผ่นเพลทขั้วบวก และขั้วลบ ที่จำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมที่เปลี่ยนแปลงระหว่างขั้วแผ่นเพลทขั้วบวก และขั้วลบ ที่จำนวนแผ่นเพลทค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

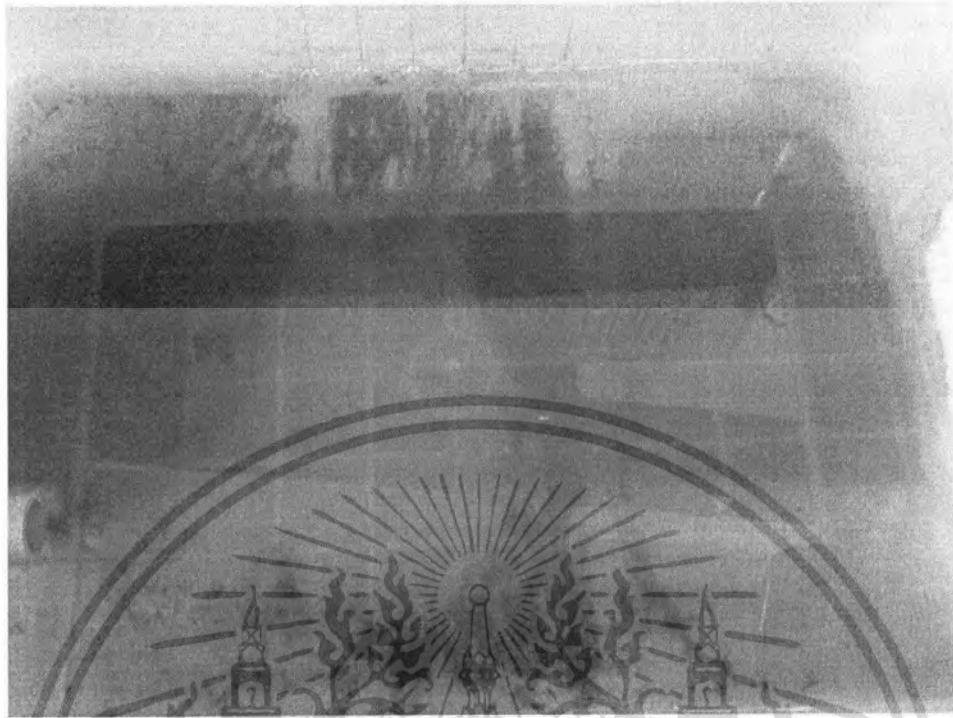


รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของการต่อระบบของกระบวนกรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะขั้วของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการทดลอง โดยที่ขั้วอาโนดจะเกิดการกัดกร่อน ที่ขั้วคาโทดจึงทองแดงมาเกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงรูปของการตักตะกอนทองแดงที่กินตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

หลักการการทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะเริ่มจากแรงดันไฟสลับ 220 V ผ่านเข้ามาทางวงจรอินพุต แล้วถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูง 311V โดยวงจรเรกติไฟเออร์ จากนั้นจะถูกสวิตซ์เป็นช่วงๆด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์ด้วยความถี่ 30 KHz ซึ่งจะได้พัลส์ขนาดประมาณ 311 Vpp ต่อจากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกแปลงแรงดันลงออกทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตซ์แบบเซ็นเตอร์เท็บ ที่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตซ์จะมีไดโอด MUR 3040 และตัวเก็บประจุ ซึ่งทั้งหมดนี้ทำหน้าที่เรียงกระแสและกรองแรงดัน เพื่อให้สัญญาณพัลส์เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท การสวิตซ์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมการสวิตซ์โดยสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมซึ่งประกอบด้วยไอซีสร้างพัลส์ SG3526 วงจรทรานซิสเตอร์ TIP31, TIP32 ที่ต่อพ่วงและหม้อแปลงคัปปลิ่ง ซึ่งมีลำดับการทำงานคือ SG3526 ทำหน้าที่สร้างพัลส์ที่มีความถี่ 30 KHz และขนาด 15 Vpp สัญญาณพัลส์ที่ได้จะสวิตซ์ขาเบส ของทรานซิสเตอร์ทำให้น้ำกระแสเป็นช่วงๆจึงได้สัญญาณพัลส์ที่ออกที่ขาอีมิเตอร์ ซึ่งมีขนาดและความถี่เท่าเดิมและผ่านหม้อแปลงคัปปลิ่งเพื่อแยกกราวด์แล้วนำไปควบคุมการทำงานที่ขาเกต ในการควบคุมแรงดันที่เอาท์พุทให้มีค่าคงที่สามารถทำได้โดยการป้อนกลับแรงดันที่เอาท์พุทผ่านเข้าวงจรคอมพาราเตอร์ LM339 ซึ่งจะเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง คือ 5 V ซึ่งค่าเอาท์พุทที่ได้จากคอมพาราเตอร์นี้จะนำไปควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ออกจาก SG3526 ซึ่งจะมีผลต่อช่วงการนำกระแสของคอนเวอร์เตอร์ทำให้ได้ค่าแรงดันที่เอาท์พุทคงที่ตามต้องการ จากการทดลองจะเห็นว่าแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซ์ซึ่งเครื่องนี้สามารถจ่ายแรงดันได้คงที่ ที่ความต้านทานต่างๆกัน สำหรับการควบคุมกระแสที่เอาท์พุททำได้โดยการป้อนแรงดันจาก Shunt มีค่าน้อยมากจึงต้องนำมาขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงด้วยคอมพาราเตอร์ แล้วนำไปควบคุมความกว้างของพัลส์ที่ออกจาก SG3526 ต่อไป หลักการออกแบบวงจรป้องกันกระแสเกิน ต้องทำการเลือกความต้านทานที่เป็น Shunt ซึ่งหลักการเลือกจะต้องเลือกความต้านทานต่ำๆและวัตต์สูงๆ เลือกความต้านทาน 0.0125 Ω / 80 W (ตัวต้านทาน 0.1 Ω / 10 W 8 ตัวขนานกัน) เมื่อกระแสไหลผ่านจะมีแรงดันตกคร่อมค่าหนึ่ง ถ้ากระแสที่เอาท์พุทมีค่ามาก แรงดันที่ตกคร่อม Shunt จะมีค่ามาก และเมื่อถูกขยายด้วยออปแอมป์จะทำให้ได้แรงดันมากกว่า 5 V นั่นคือเอาท์พุทคอมพาราเตอร์จะเป็นศูนย์โวลต์ ทำให้ช่วงการนำกระแสของคอนเวอร์เตอร์แคบลง กระแสที่เอาท์พุทจึงลดลง ดังนั้นค่ากระแสที่เอาท์พุทมีค่าตามที่เราปรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส จากการทดลองจะได้ว่า เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลาย CuSO_4 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันขึ้นที่แอโนด (แผ่นเพลทอะลูมิเนียมขั้วบวก) และคาโทด (แผ่นเพลทอะลูมิเนียมขั้วลบ) ดังต่อไปนี้

(ก.) Cu^{2+} เคลื่อนไปสู่คาโทด (-)

(ข.) ที่คาโทดทั้ง Cu^{2+} และ H_2O อาจถูกรีดิวซ์ แต่ Cu^{2+} ถูกรีดิวซ์ง่ายกว่า H_2O (เพราะค่า E_0 ในการรับอิเล็กตรอนของ Cu^{2+} มากกว่า H_2O) ดังนั้นจึงได้โลหะทองแดงที่คาโทด ดังปฏิกิริยา $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$ ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าโลหะทองแดงส่วนมาจะมาตกตะกอนที่ก้นถัง มาเกาะที่แผ่นเพลทส่วนน้อย

(ค.) SO_4^{2-} เคลื่อนที่ไปสู่แอโนด (+)

(ง.) ที่แอโนด อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ทั้ง H_2O และ SO_4^{2-} แต่ H_2O ถูกออกซิเดชันได้ง่ายกว่า SO_4^{2-} ดังนั้นจึงได้ก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นดังปฏิกิริยา

$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$ ซึ่งจากการทดลองจะเกิดฟองอากาศเกิดขึ้นที่แผ่นเพลท

ขั้วบวก นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่า แผ่นอะลูมิเนียมเพลทขั้วบวกยังเกิดการกัดกร่อน ขึ้นซึ่งอธิบายได้โดยปฏิกิริยาดังนี้ $2\text{Al} + 3\text{Cu}^{2+} \longrightarrow 2\text{Al}^{3+} + 3\text{Cu}$ จากปฏิกิริยาจะเห็นว่าอะลูมิเนียมสูญเสียอิเล็กตรอนให้กับไอออนของทองแดง ทำให้ได้อะลูมิเนียมไอออนและตะกอนของโลหะทองแดง ดังนั้นแผ่นเพลทอะลูมิเนียมจึงเกิดการกัดกร่อนนั่นเอง

ดังนั้นปฏิกิริยาของเซลล์

$$2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Cu} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+$$

$$2\text{Al} + 3\text{Cu}^{2+} \longrightarrow 2\text{Al}^{3+} + 3\text{Cu}$$

เมื่อทำการเพิ่มจำนวนแผ่นเพลท จะเห็นว่ากระแสที่จ่ายให้กับสารละลาย CuSO_4 จะมากขึ้น โดยที่ความเข้มข้นและเวลาที่ทำการทดลองนั้นคงที่ จะได้ว่าปริมาณของโลหะทองแดงที่มากเกาะที่คาโทดจะเพิ่มขึ้นด้วย และจากการทดลองยังสังเกตเห็นว่าปริมาณทองแดงที่ตกตะกอนกันดังที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งการทดลองนี้จะสอดคล้องกับ กฎของ Faraday ข้อที่ 1 กล่าวคือ “ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดเป็นปฏิภาคกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านสารละลาย”

นั่นคือ น้ำหนักของสารหนึ่งสารใดที่เกิดขึ้น โดยอิเล็กโทรไลซิสขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านสารละลาย

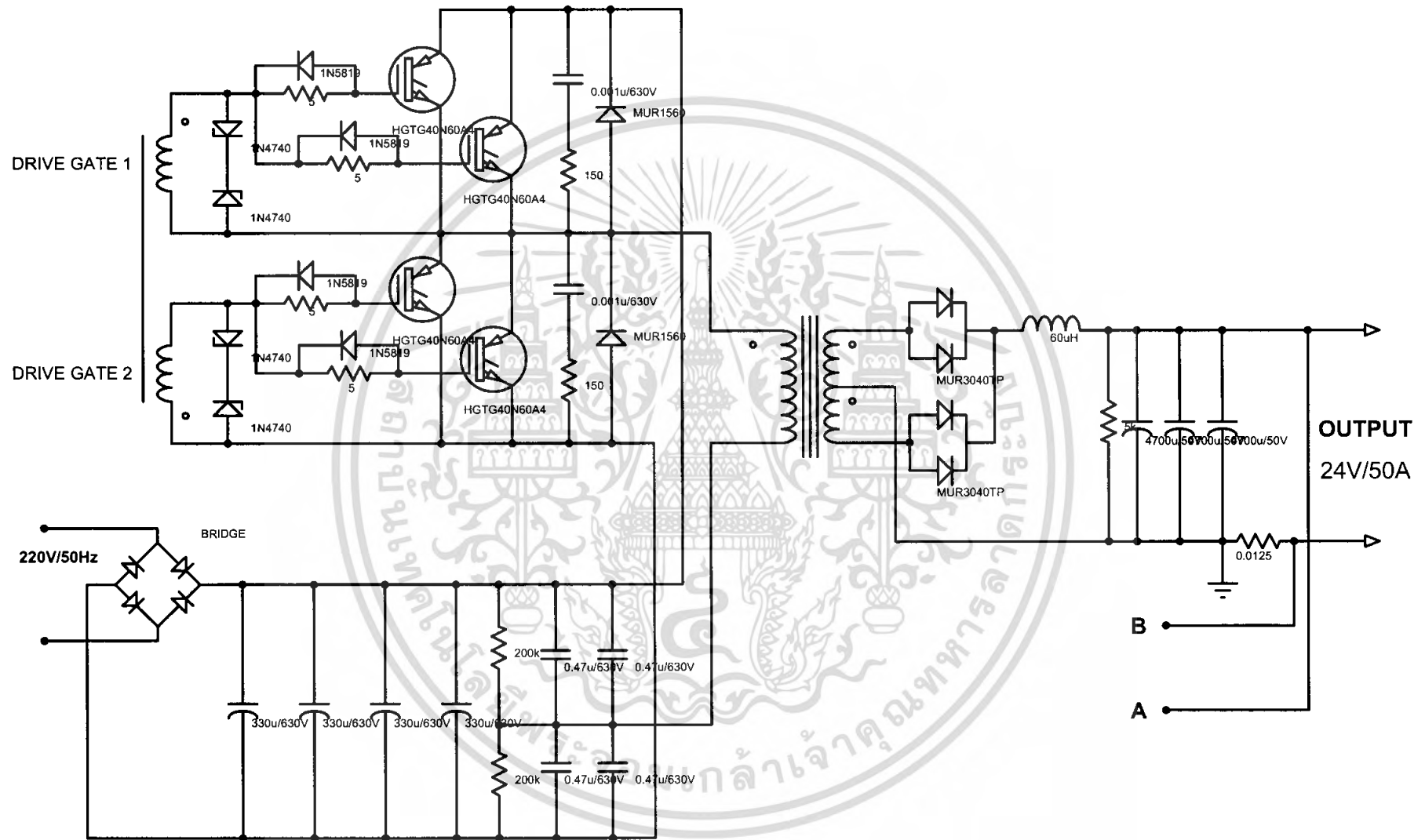
บรรณานุกรม

1. ประสิทธิ์พร แซ่เฮ้ง, “สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538
2. สุวัฒน์ คั่น. “เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย” บ.เอนเทลไทย, 2537
3. Chermisinoff, Nicholas P. “ Water Treatment and Waste Recovery” ,PTR Psentice-Hall Inc., 1993.
4. Cheryssis, G. , “High Frequency Switching Power Supplies Theory and Design” , McGraw-Hill, 1989
5. Muhammad H. Rashid, “Power electronics circuit, device and application (Third Edition)”, Pearson Education, Inc., 2004.
6. Pressman, A.I., “Switching Power Supply Design”, McGraw-Hill, 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรภาคเพาเวอร์สวิตซิ่ง

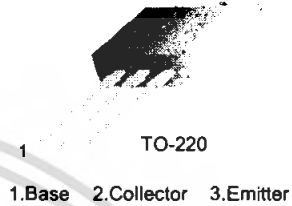


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP32 Series(TIP32/32A/32B/32C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complement to TIP31/31A/31B/31C



PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	- 100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	- 100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	- 5	A
I_B	Base Current	- 3	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	40	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = - 30\text{mA}, I_B = 0$	-40		V
	: TIP32				
	: TIP32A				
	: TIP32B				
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = - 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = - 60\text{V}, I_B = 0$		- 0.3	mA
	: TIP32/32A				
	: TIP32B/32C				
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = - 40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = - 60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = - 80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = - 100\text{V}, V_{CE} = 0$		- 200	μA
	: TIP32				
	: TIP32A				
	: TIP32B				
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = - 5\text{V}, I_C = 0$		- 1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 1\text{A}$ $V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 3\text{A}$	25	10	50
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = - 3\text{A}, I_B = - 375\text{mA}$		- 1.2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 3\text{A}$		- 1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = - 10\text{V}, I_C = - 500\text{mA}$	3.0		MHz

* Pulse Test: PWs300 μs , Duty Cycles2%

Typical Characteristics

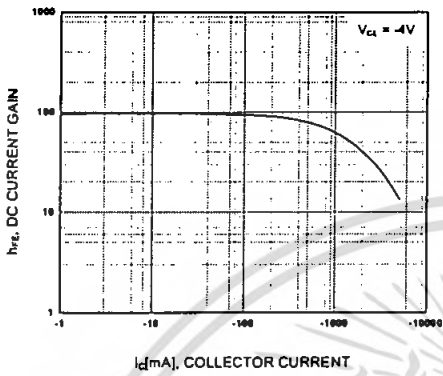


Figure 1. DC current Gain

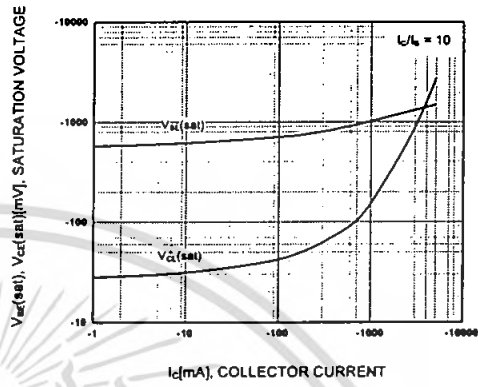


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

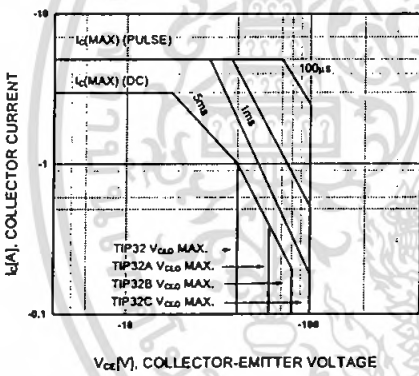


Figure 3. Safe Operating Area

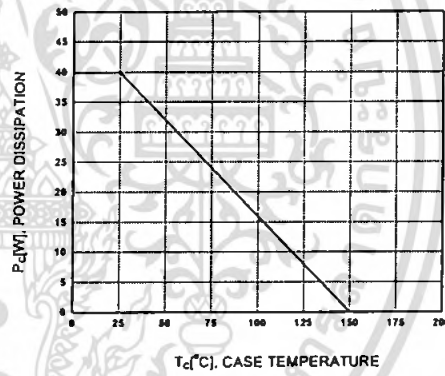
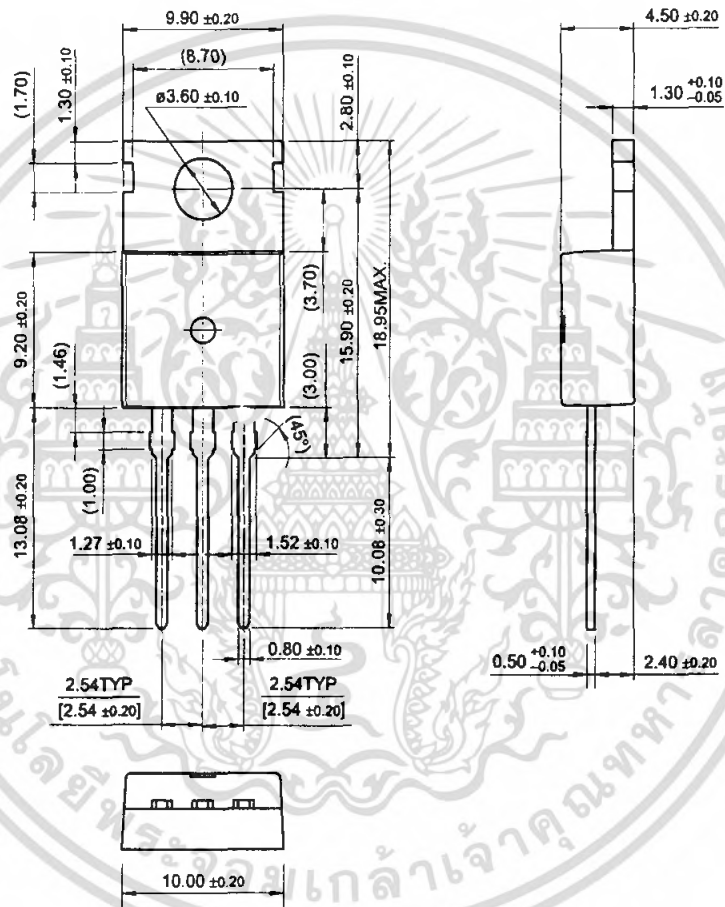


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-220



Dimensions in Millimeters

TIP32 Series (TIP32/32A/32B/32C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	Hi ² oC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² CMOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FAST ^r ™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

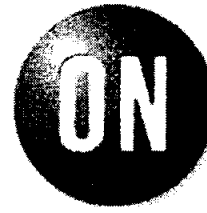
PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

Designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector-Emitter Saturation Voltage -
 $V_{CE(sat)} = 1.2 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 3.0 \text{ Adc}$
- Collector-Emitter Sustaining Voltage -
 $V_{CEO(sus)} = 40 \text{ Vdc (Min) - TIP31, TIP32}$
 $= 60 \text{ Vdc (Min) - TIP31A, TIP32A}$
 $= 80 \text{ Vdc (Min) - TIP31B, TIP32B}$
 $= 100 \text{ Vdc (Min) - TIP31C, TIP32C}$
- High Current Gain - Bandwidth Product
 $f_T = 3.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO-220 AB Package

**3 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
40-60-80-100 VOLTS
40 WATTS**

MAXIMUM RATINGS

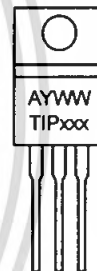
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage TIP31, TIP32 TIP31A, TIP32A TIP31B, TIP32B TIP31C, TIP32C	V_{CEO}	40 60 80 100	Vdc
Collector-Base Voltage TIP31, TIP32 TIP31A, TIP32A TIP31B, TIP32B TIP31C, TIP32C	V_{CB}	40 60 80 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current Continuous Peak	I_C	3.0 5.0	Adc
Base Current	I_B	1.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	40 0.32	Watts W/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	Watts W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	32	mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	°C

1. $I_C = 1.8 \text{ A, L} = 20 \text{ mH, P.R.F.} = 10 \text{ Hz, } V_{CC} = 10 \text{ V, } R_{BE} = 100 \Omega.$

MARKING DIAGRAM



STYLE 1:
PIN 1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR



TO-220AB
CASE 221A-09
STYLE 1

xxx = Specific Device Code:
31, 31A, 31B, 31C, 32, 32A, 32B, 32C
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 6 of this data sheet.

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	3.125	$^{\circ}C/W$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^{\circ}C$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 2) ($I_C = 30 \text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	TIP31, TIP32 TIP31A, TIP32A TIP31B, TIP32B TIP31C, TIP32C	$V_{CE(sus)}$	40 60 80 100	- - - -	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30 \text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 60 \text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	TIP31, TIP32, TIP31A, TIP32A TIP31B, TIP31C, TIP32B, TIP32C	I_{CEO}	- -	0.3 0.3	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 40 \text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 60 \text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 80 \text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 100 \text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$)	TIP31, TIP32 TIP31A, TIP32A TIP31B, TIP32B TIP31C, TIP32C	I_{CES}	- - - -	200 200 200 200	μAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	-	1.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (Note 2)					
DC Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$)		h_{FE}	25 10	- 50	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0 \text{ Adc}$, $I_B = 375 \text{ mAdc}$)		$V_{CE(sat)}$	-	1.2	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$)		$V_{BE(on)}$	-	1.8	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Current-Gain - Bandwidth Product ($I_C = 500 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f_{rest} = 1.0 \text{ MHz}$)		f_T	3.0	-	MHz
Small-Signal Current Gain ($I_C = 0.5 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)		h_{fe}	20	-	-

2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)

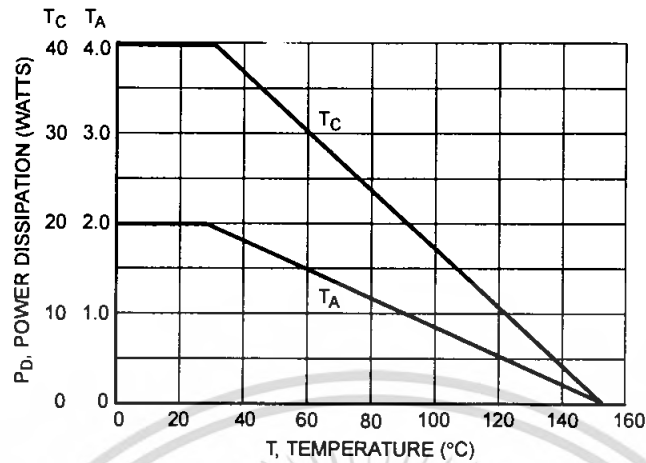


Figure 1. Power Derating

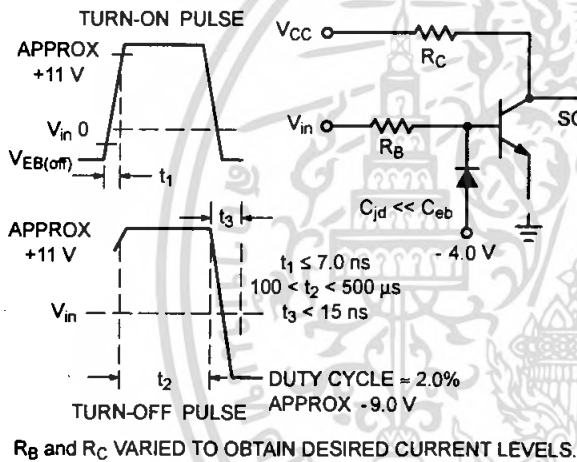


Figure 2. Switching Time Equivalent Circuit

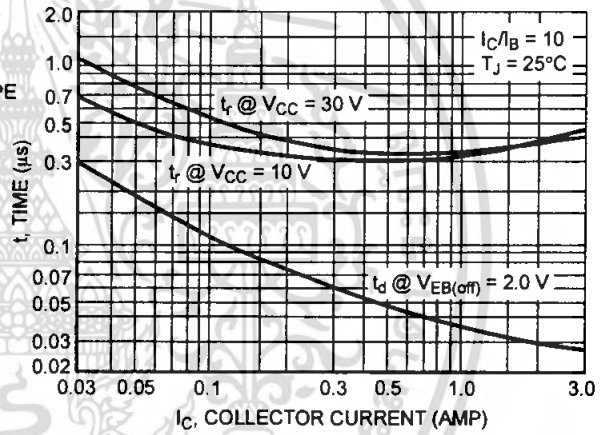


Figure 3. Turn-On Time

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)

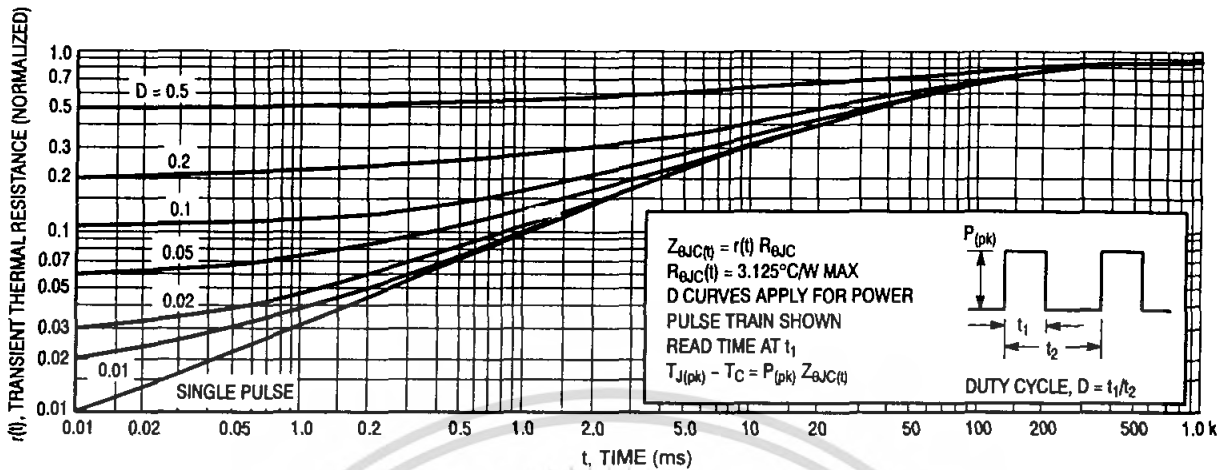


Figure 4. Thermal Response

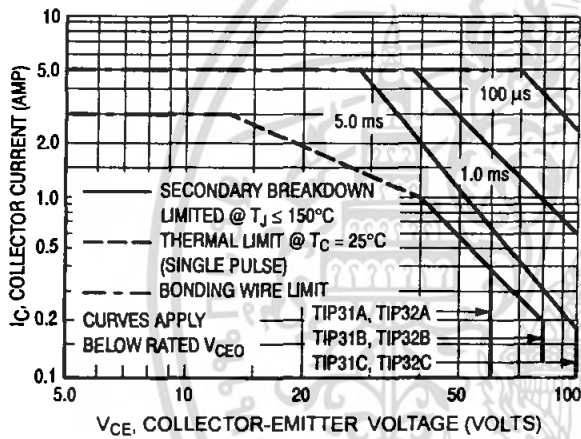


Figure 5. Active Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 5 is based on $T_{J(pk)} = 150^\circ\text{C}$; T_C is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(pk)} \leq 150^\circ\text{C}$. $T_{J(pk)}$ may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

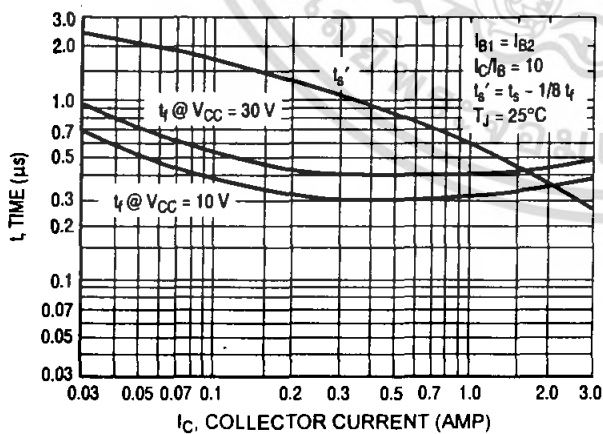


Figure 6. Turn-Off Time

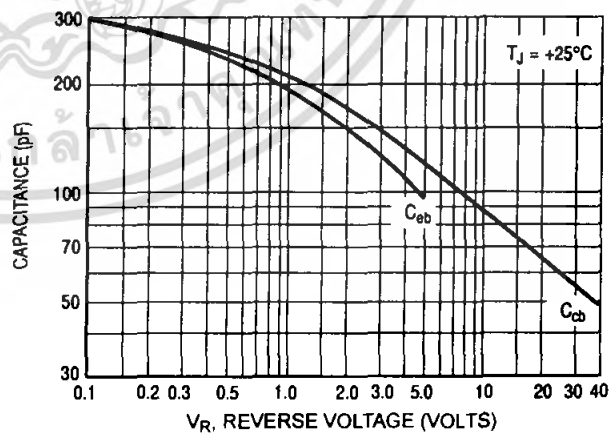


Figure 7. Capacitance

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)

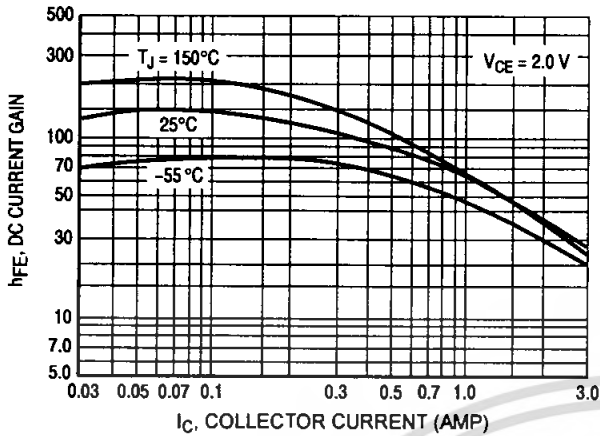


Figure 8. DC Current Gain

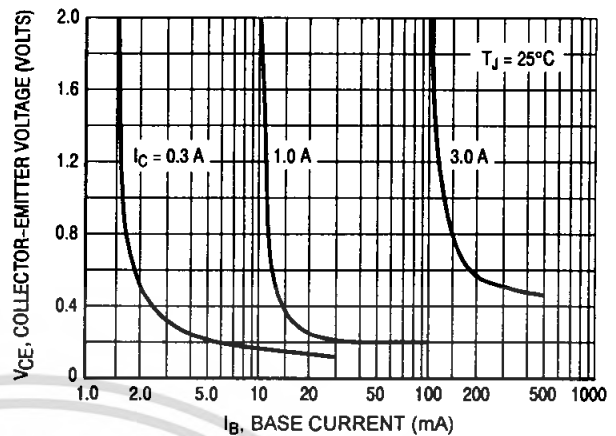


Figure 9. Collector Saturation Region

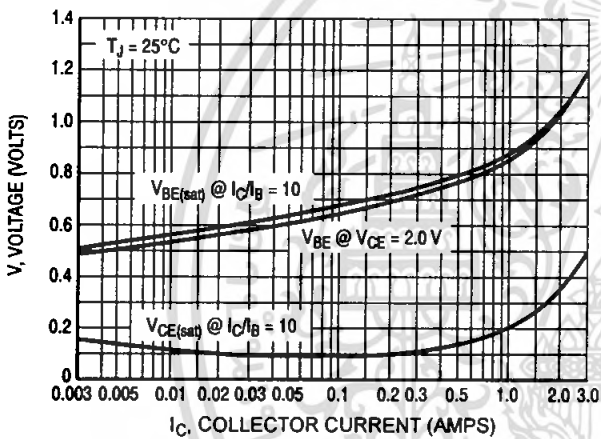


Figure 10. "On" Voltages

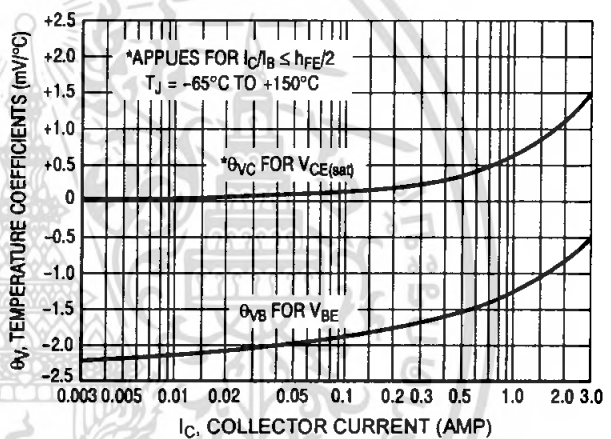


Figure 11. Temperature Coefficients

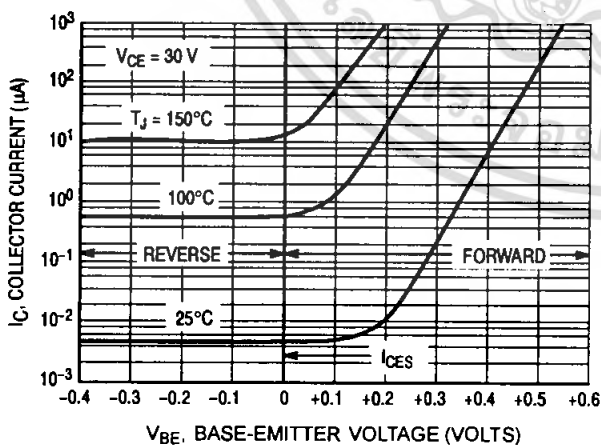


Figure 12. Collector Cut-Off Region

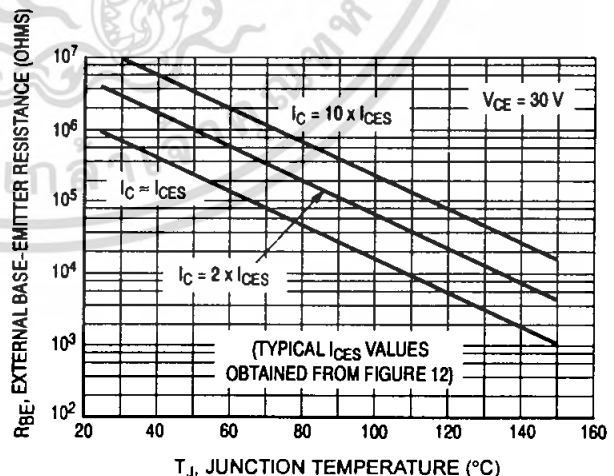


Figure 13. Effects of Base-Emitter Resistance

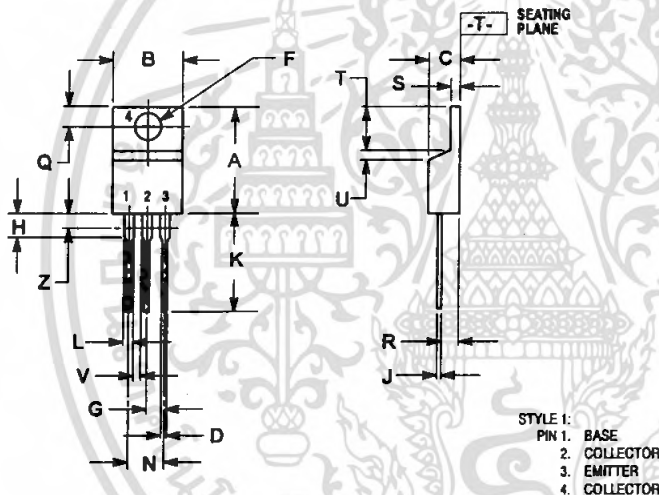
TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP31	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP31A	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP31B	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP31C	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP32	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP32A	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP32B	TO-220AB	50 Units/Rail
TIP32C	TO-220AB	50 Units/Rail

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220AB CASE 221A-09 ISSUE AA



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.180	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.060	---	2.04

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

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

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

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

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
 2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
 Phone: 81-3-5773-3850
 Email: r14525@onsemi.com

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

For additional information, please contact your local Sales Representative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ TIP31A/D
 ไม่สามารถแก้ไข ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- High Voltage Capability to 600 Volts
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures
- Epoxy Meets UL94, V₀ @ 1/8"
- High Temperature Glass Passivated Junction

Mechanical Characteristics:

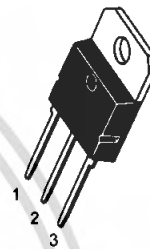
- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 4.3 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 30 units per plastic tube
- Marking: U3020, U3040, U3060



MUR3020PT
MUR3040PT*
MUR3060PT*

*Motorola Preferred Devices

ULTRAFAST RECTIFIERS
30 AMPERES
200-400-600 VOLTS



CASE 340D-02, Style 2
TO-218AC

MAXIMUM RATINGS, PER LEG

Rating	Symbol	MUR3020PT	MUR3040PT	MUR3060PT	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{VRWM} V _R	200	400	600	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated V _R) Per Leg Per Device	I _{F(AV)}	15 @ T _C = 150°C 30 @ T _C = 150°C		15 @ T _C = 30 @ 145°C	Amps
Peak Rectified Forward Current, Per Leg (Rated V _R , Square Wave, 20 kHz, T _C = 150°C)	I _{FRM}	30 @ T _C = 150°C		30 @ T _C = 145°C	Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions, halfwave, single phase, 60 Hz) Per Leg	I _{FSM}	200	150		Amps
Operating Junction and Storage Temperature	T _J , T _{stg}	- 65 to +175			°C

THERMAL CHARACTERISTICS PER DIODE LEG

Maximum Thermal Resistance — Junction to Case — Junction to Ambient	R _{θJC} R _{θJA}	1.5 40	°C/W
--	--------------------------------------	-----------	------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS PER DIODE LEG

Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) (I _F = 15 Amp, T _C = 150°C) (I _F = 15 Amp, T _C = 25°C)	V _F	0.85 1.05	1.12 1.25	1.2 1.5	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated DC Voltage, T _J = 150°C) (Rated DC Voltage, T _J = 25°C)	i _R	500 10		1000 10	μA
Maximum Reverse Recovery Time (i _F = 1.0 Amp, di/dt = 50 Amps/μs)	t _{rr}	35	60		ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

SWITCHMODE is a trademark of Motorola, Inc.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Rev 4

MUR3020PT MUR3040PT MUR3060PT

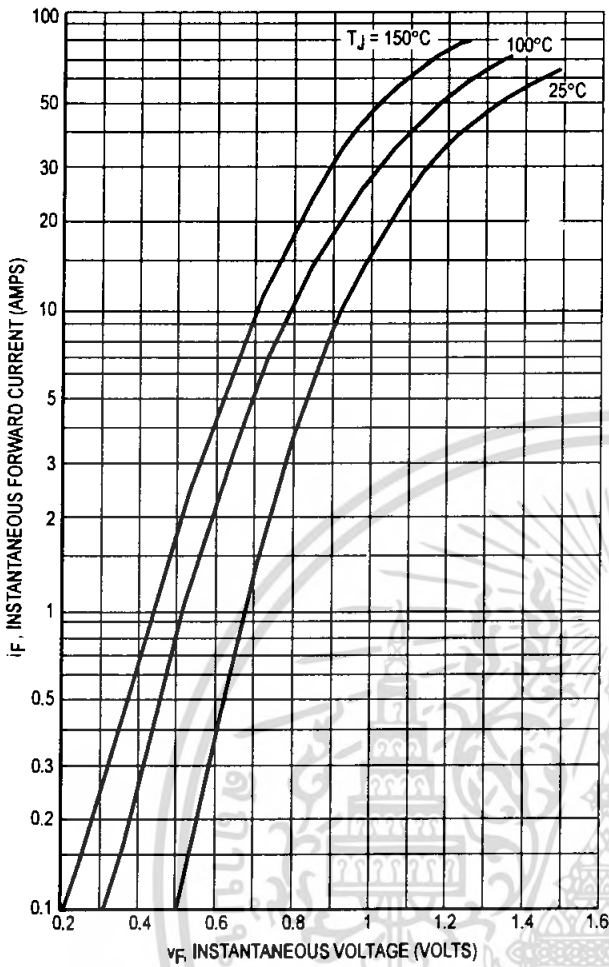


Figure 1. Typical Forward Voltage (Per Leg)

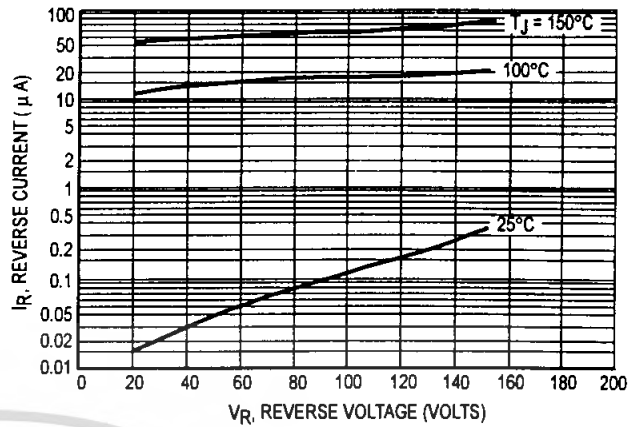


Figure 2. Typical Reverse Current (Per Leg)

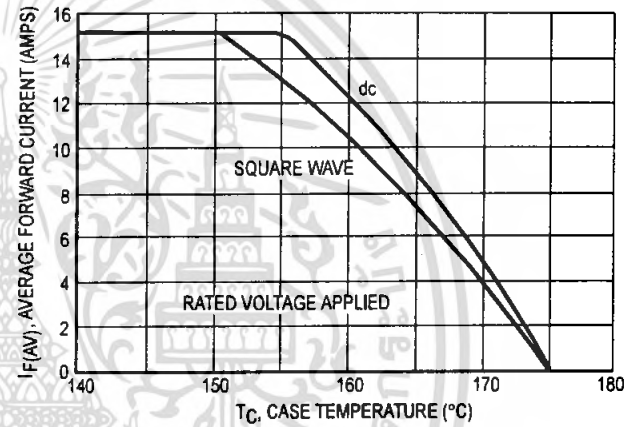


Figure 3. Current Derating, Case (Per Leg)

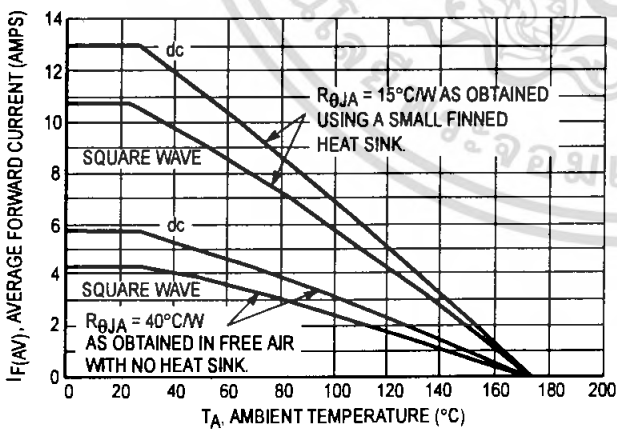


Figure 4. Current Derating, Ambient (Per Leg)

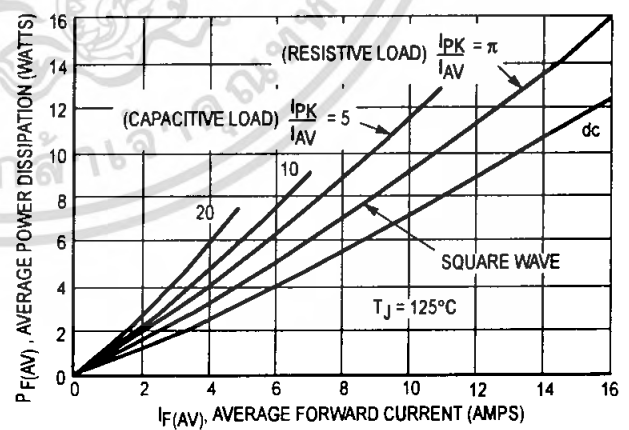


Figure 5. Power Dissipation (Per Leg)

MUR3020PT MUR3040PT MUR3060PT

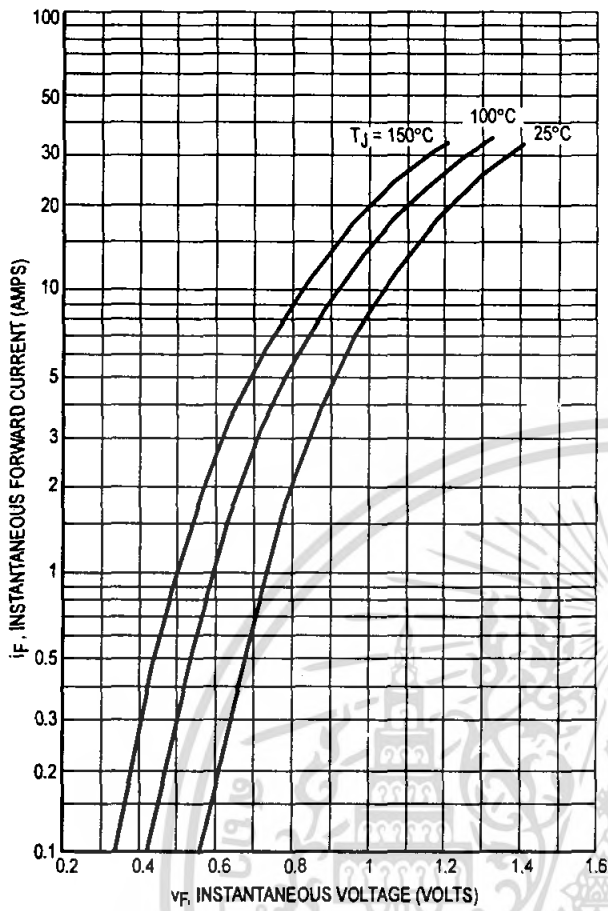


Figure 6. Typical Forward Voltage (Per Leg)

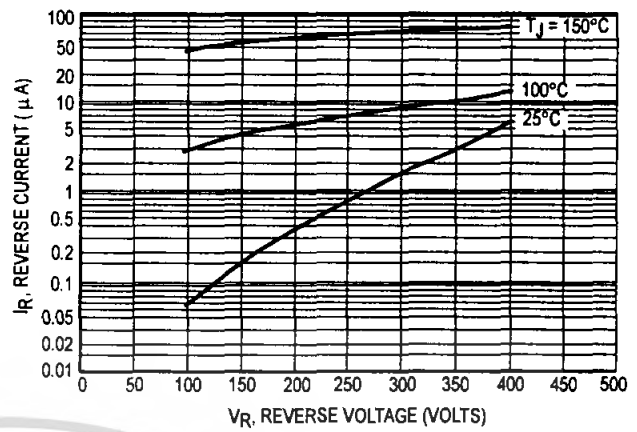


Figure 7. Typical Reverse Current (Per Leg)

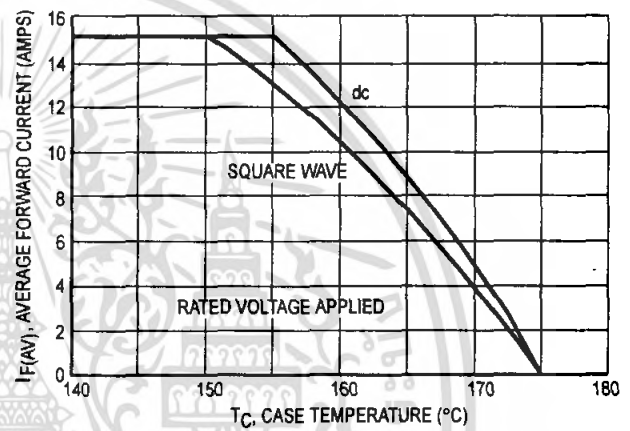


Figure 8. Current Derating, Case (Per Leg)

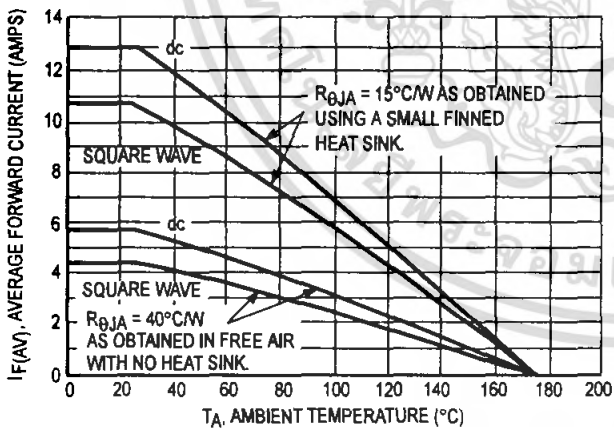


Figure 9. Current Derating, Ambient (Per Leg)

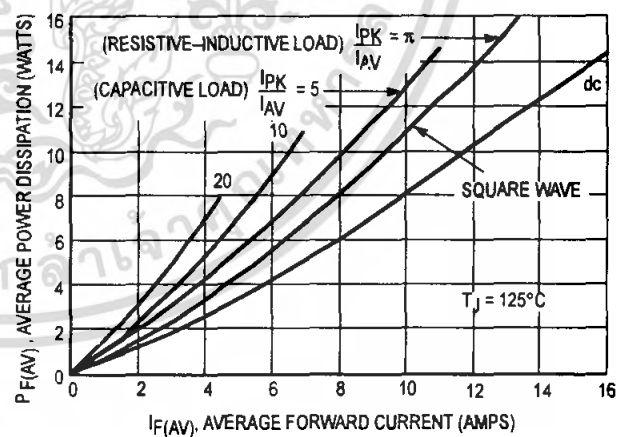


Figure 10. Power Dissipation (Per Leg)

MUR3020PT MUR3040PT MUR3060PT

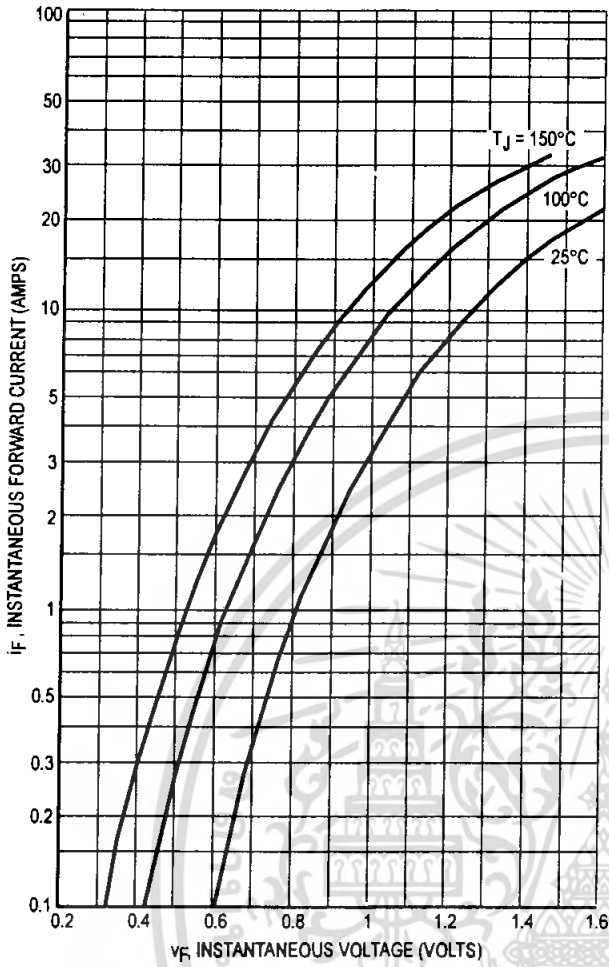


Figure 11. Typical Forward Voltage (Per Leg)

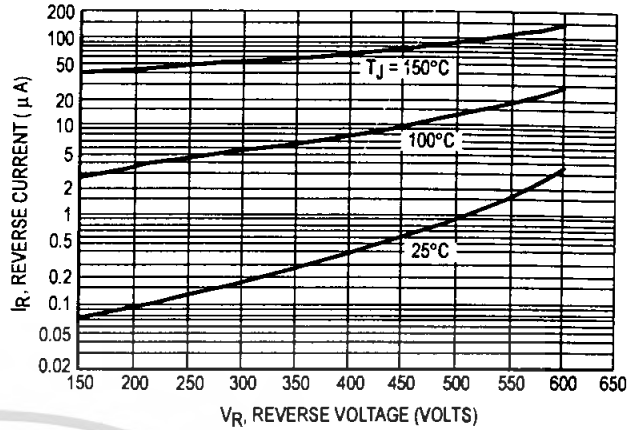


Figure 12. Typical Reverse Current (Per Leg)

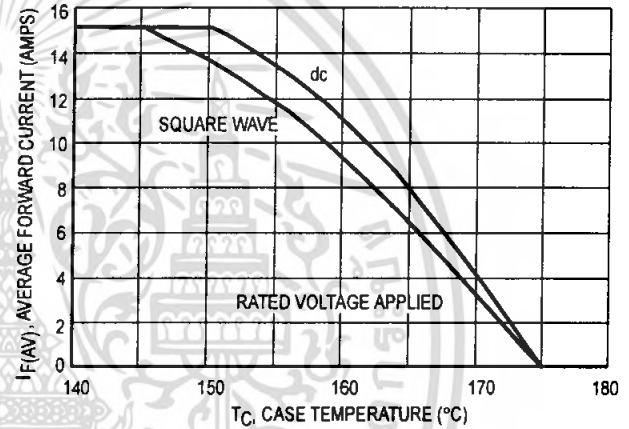


Figure 13. Current Derating, Case (Per Leg)

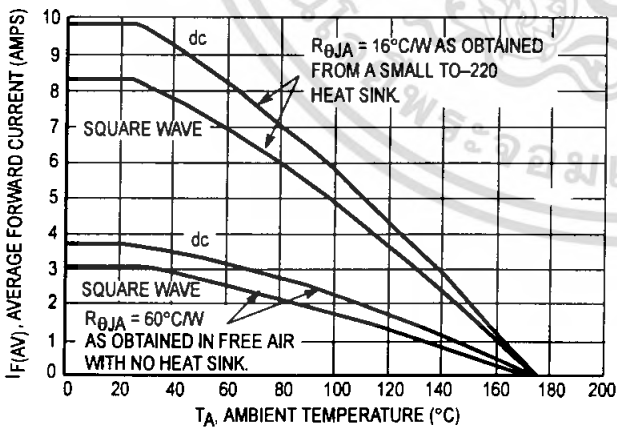


Figure 14. Current Derating, Ambient (Per Leg)

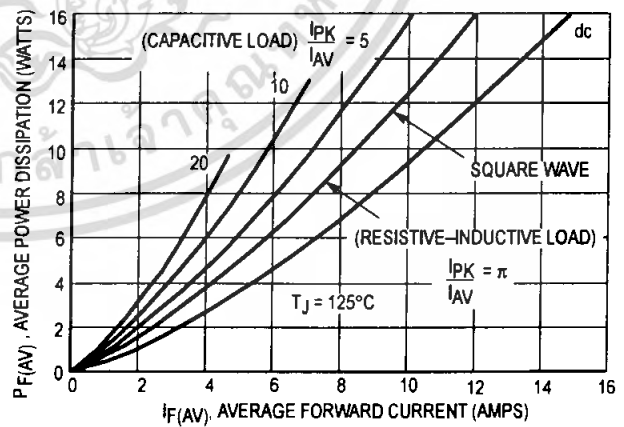


Figure 15. Power Dissipation (Per Leg)

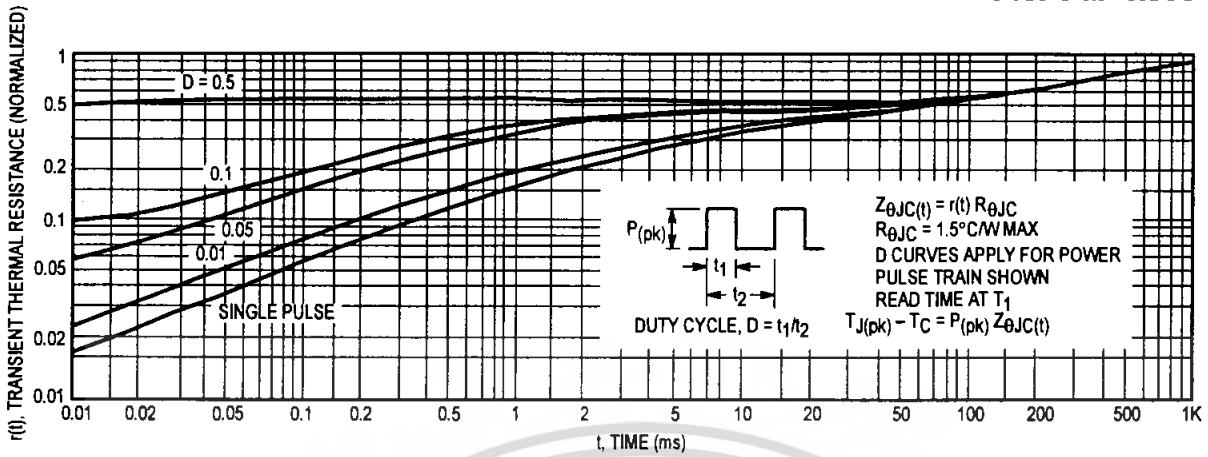


Figure 16. Thermal Response

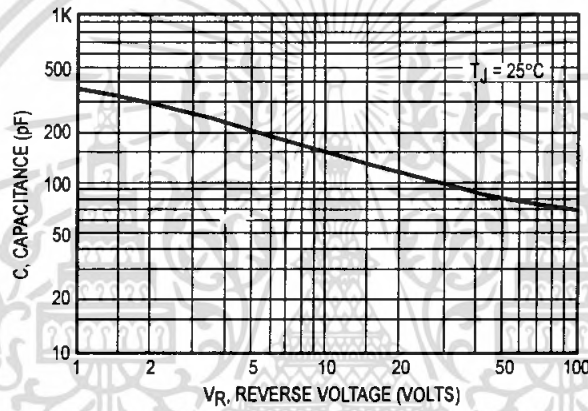
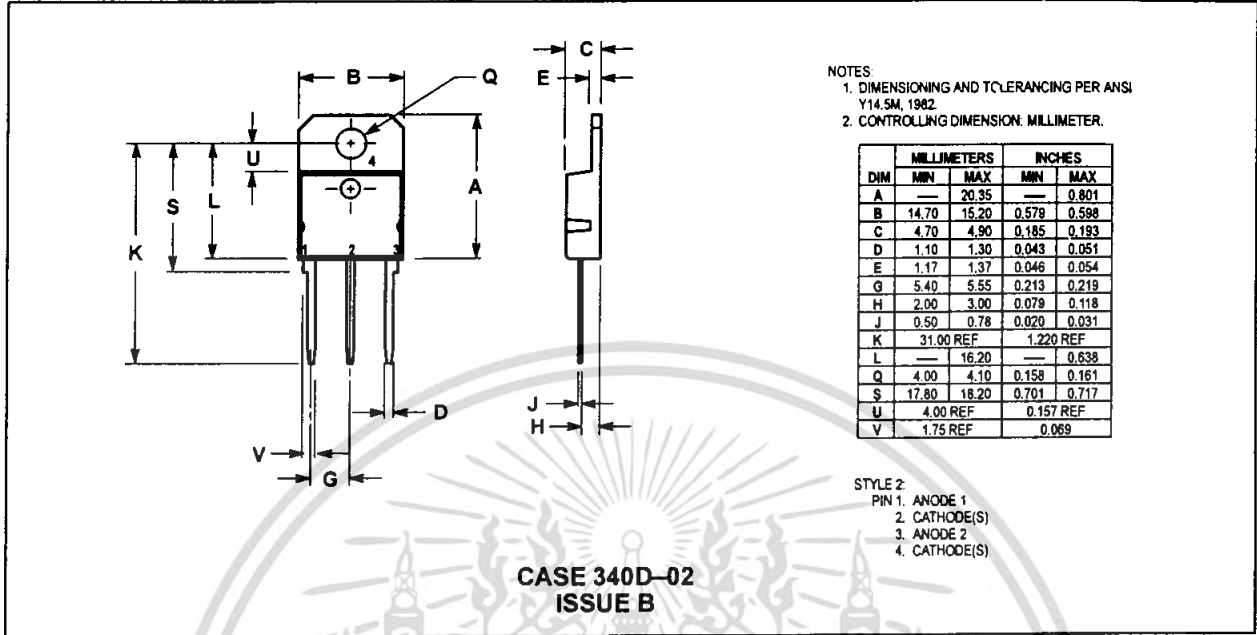


Figure 17. Typical Capacitance (Per Leg)

MUR3020PT MUR3040PT MUR3060PT

OUTLINE DIMENSIONS



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 are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:
USA / EUROPE / Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447
JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 4-32-1,
 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan. 81-3-5487-8488

Customer Focus Center: 1-800-521-6274

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 1-602-244-6609
 Motorola Fax Back System - US & Canada ONLY 1-800-774-1848
 - http://sps.motorola.com/mfax/
ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

HOME PAGE: http://motorola.com/sps/

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

Preferred Devices

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

These state-of-the-art devices are a series designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes.

Features

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- High Voltage Capability to 600 V
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics:

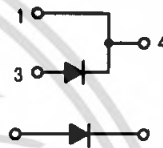
- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 Grams (Approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

ULTRAFAST RECTIFIERS 15 AMPERES, 100–600 VOLTS

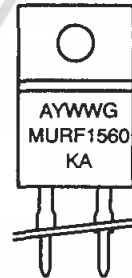
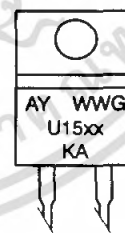


TO-220AC
CASE 221B
STYLE 1



TO-220 FULLPAK
CASE 221E
STYLE 1

MARKING DIAGRAMS



- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- G = Pb-Free Package
- U15xx = Device Code
xx = 10, 15, 20, 40 or 60
- KA = Diode Polarity

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 7 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR					Unit
		1510	1515	1520	1540	1560	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	100	150	200	400	600	V
Average Rectified Forward Current (Rated V_R)	$I_{F(AV)}$	15 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			15 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		A
Peak Rectified Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz)	I_{FRM}	30 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			30 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	200			150		A
Operating Junction Temperature and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +175					$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

THERMAL CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Value	Unit
MUR1510 Series: Thermal Resistance Junction-to-Case Junction-to-Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	1.5 73	$^\circ\text{C/W}$
MURF1560: Thermal Resistance Junction-to-Case Junction-to-Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	4.25 75	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	1520	1540	1560	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) ($I_F = 15\text{ A}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$) ($I_F = 15\text{ A}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.85 1.05	1.12 1.25	1.20 1.50	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1) (Rated DC Voltage, $T_C = 150^\circ\text{C}$) (Rated DC Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	I_R	500 10	500 10	1000 10	μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0\text{ A}$, $di/dt = 50\text{ A}/\mu\text{s}$)	t_{rr}	35		60	ns

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

MUR1510, MUR1515, MUR1520

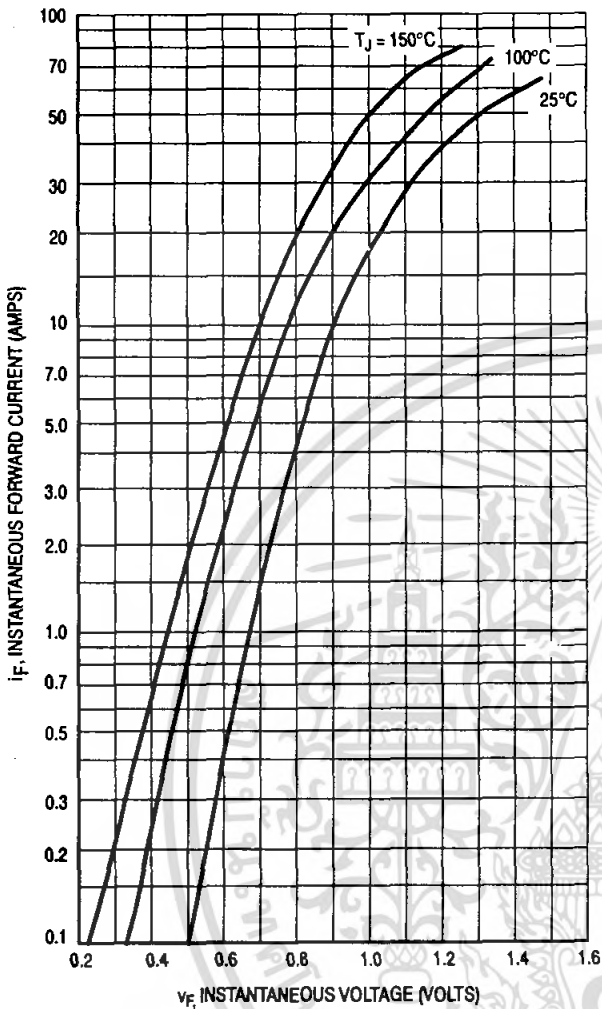


Figure 1. Typical Forward Voltage

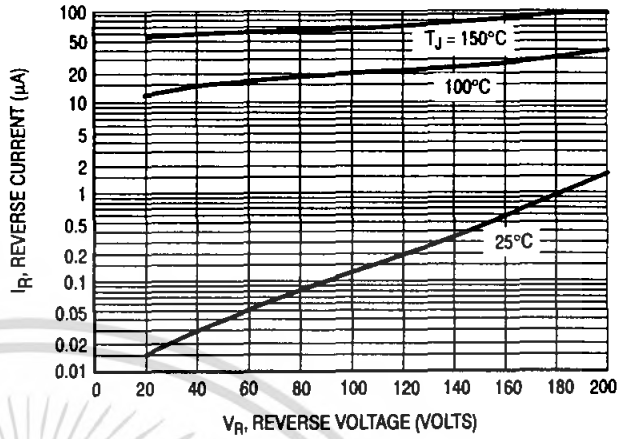


Figure 2. Typical Reverse Current

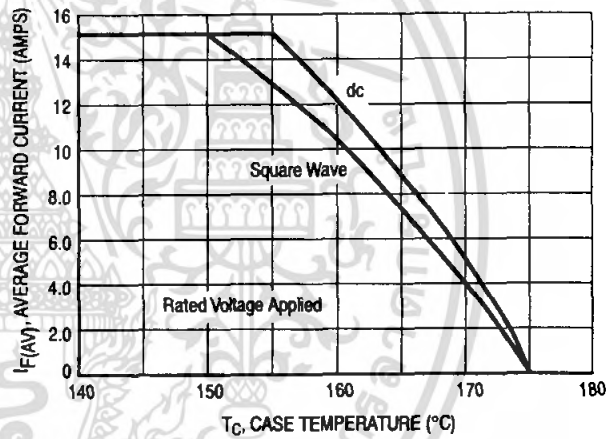


Figure 3. Current Derating, Case

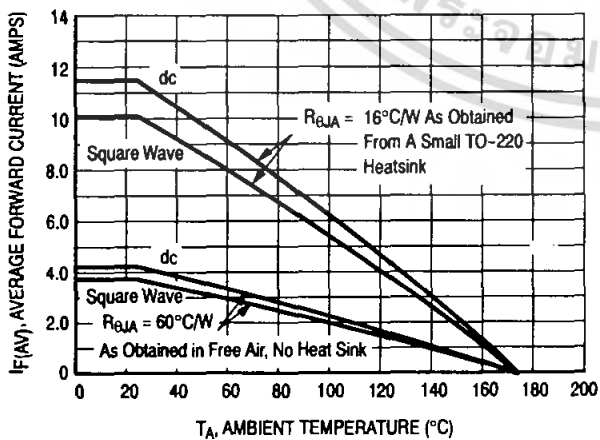


Figure 4. Current Derating, Ambient

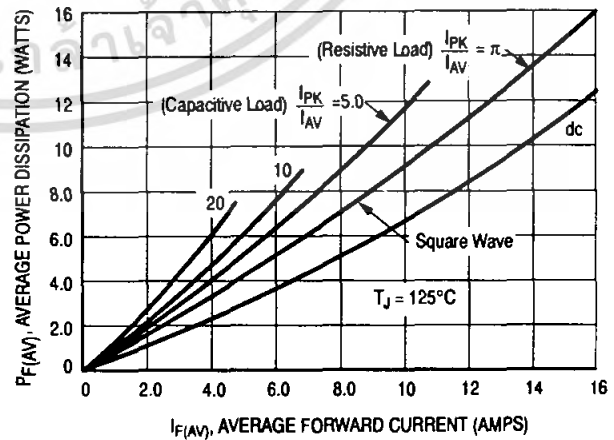


Figure 5. Power Dissipation

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

MUR1540

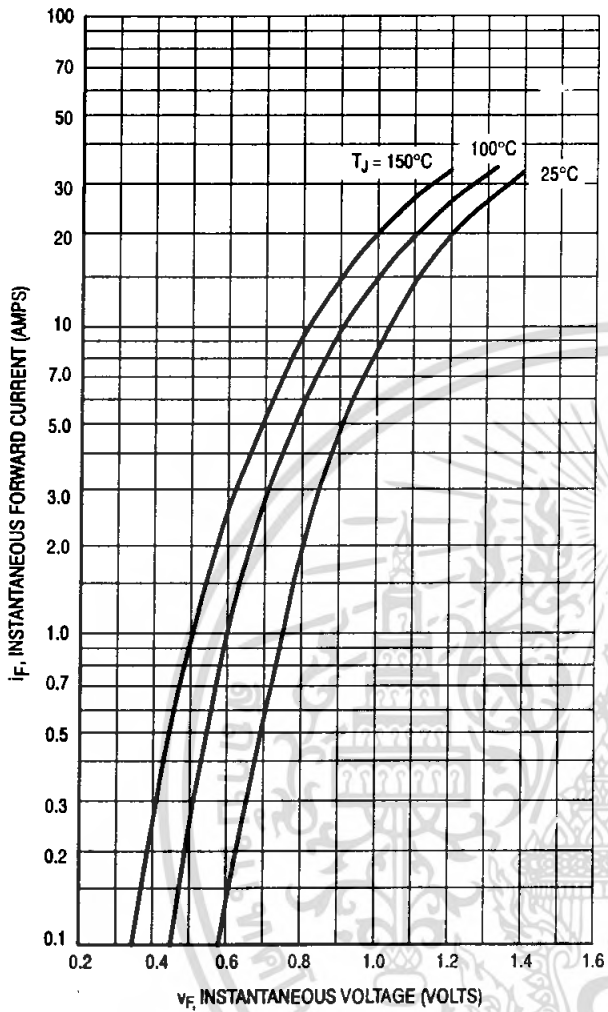


Figure 6. Typical Forward Voltage

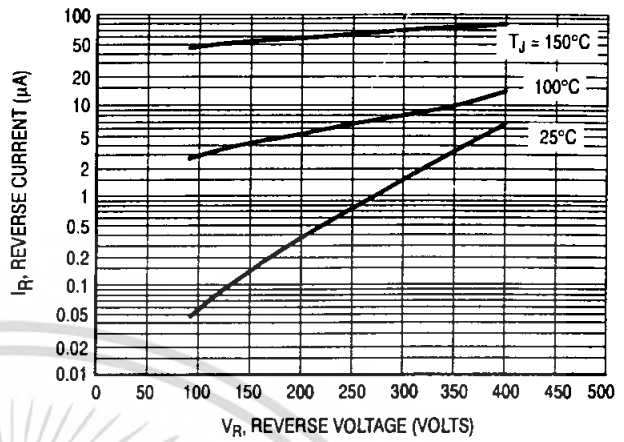


Figure 7. Typical Reverse Current

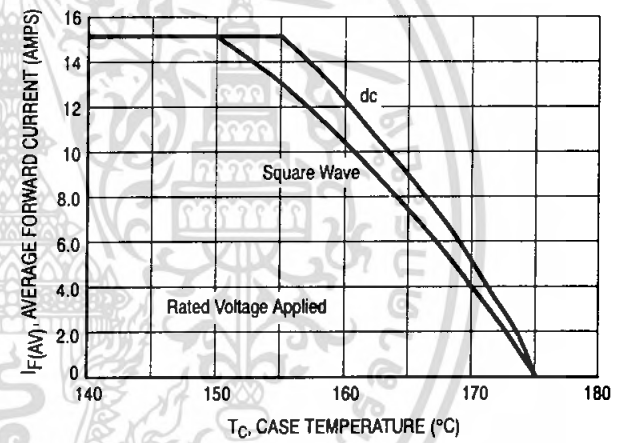


Figure 8. Current Derating, Case

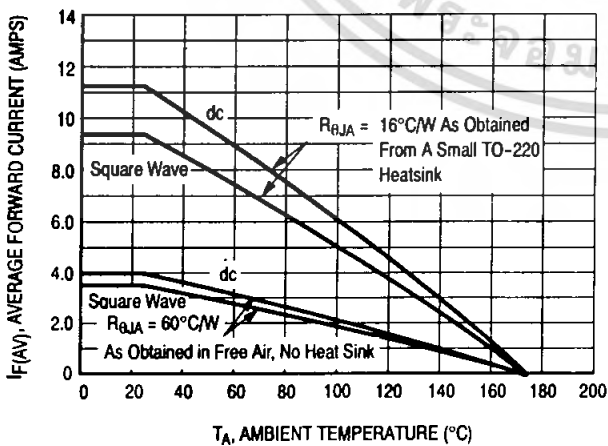


Figure 9. Current Derating, Ambient

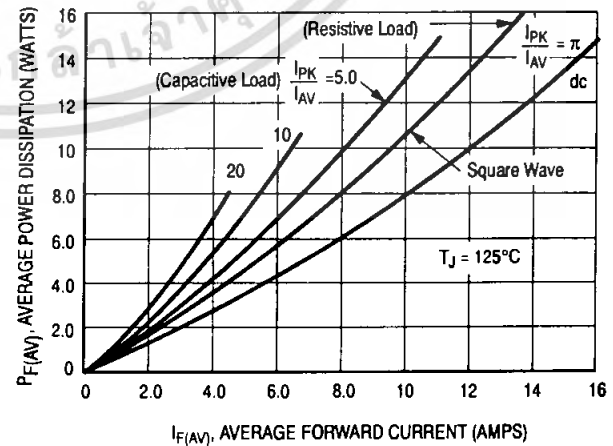


Figure 10. Power Dissipation

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

MUR1560, MURF1560

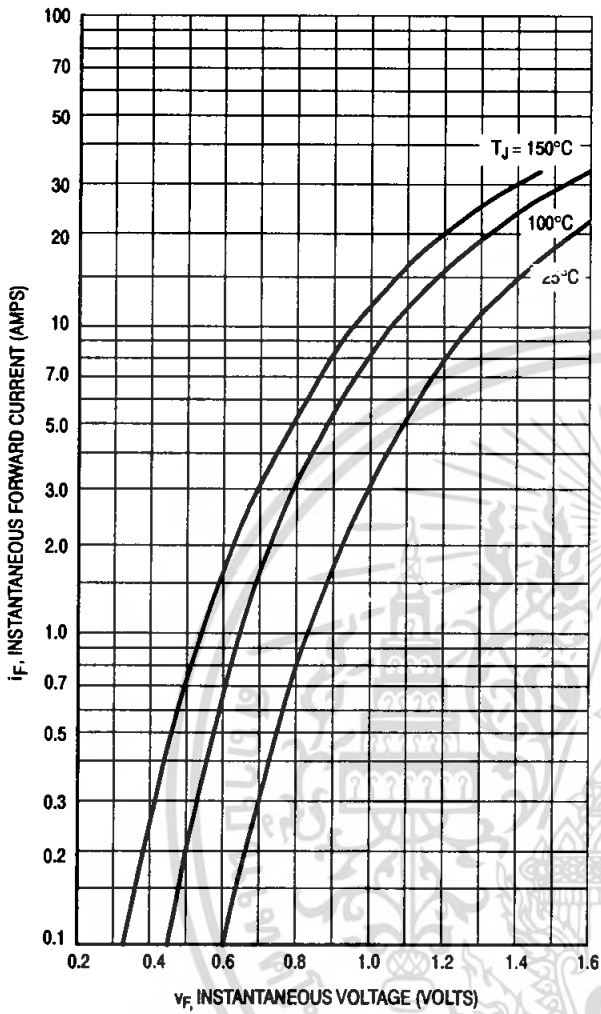


Figure 11. Typical Forward Voltage

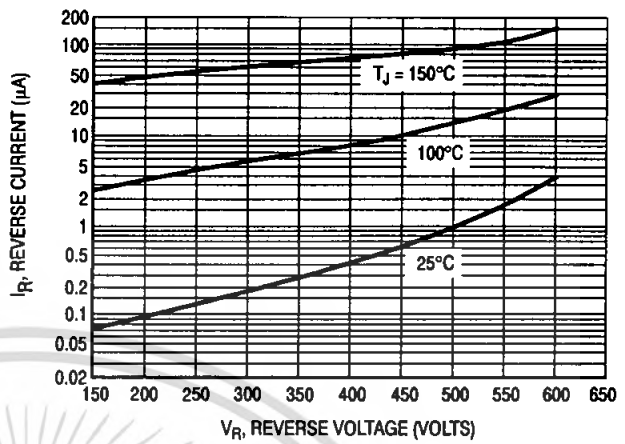


Figure 12. Typical Reverse Current

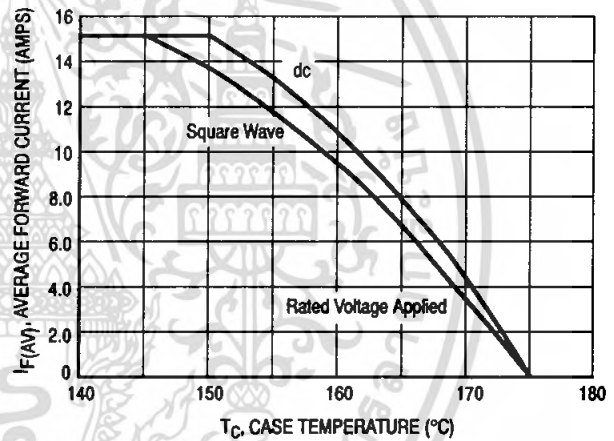


Figure 13. Current Derating, Case

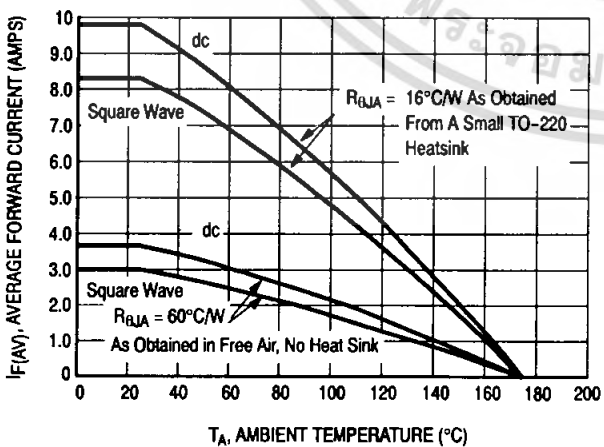


Figure 14. Current Derating, Ambient

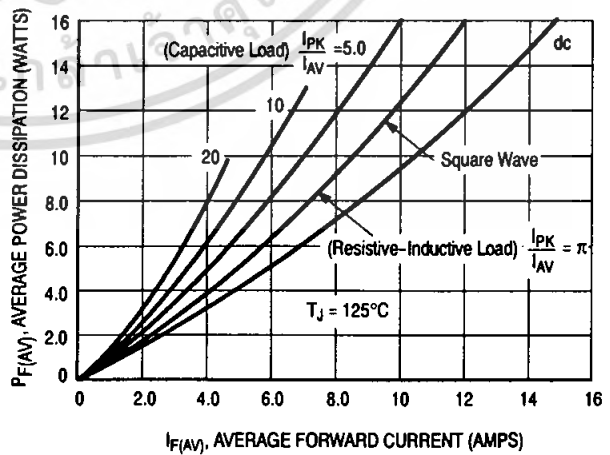


Figure 15. Power Dissipation

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

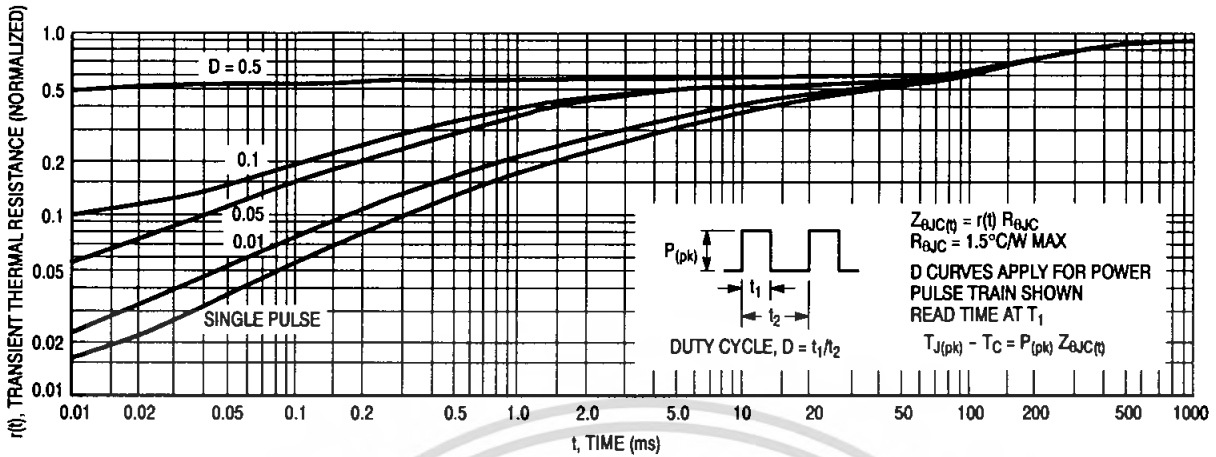


Figure 16. Thermal Response

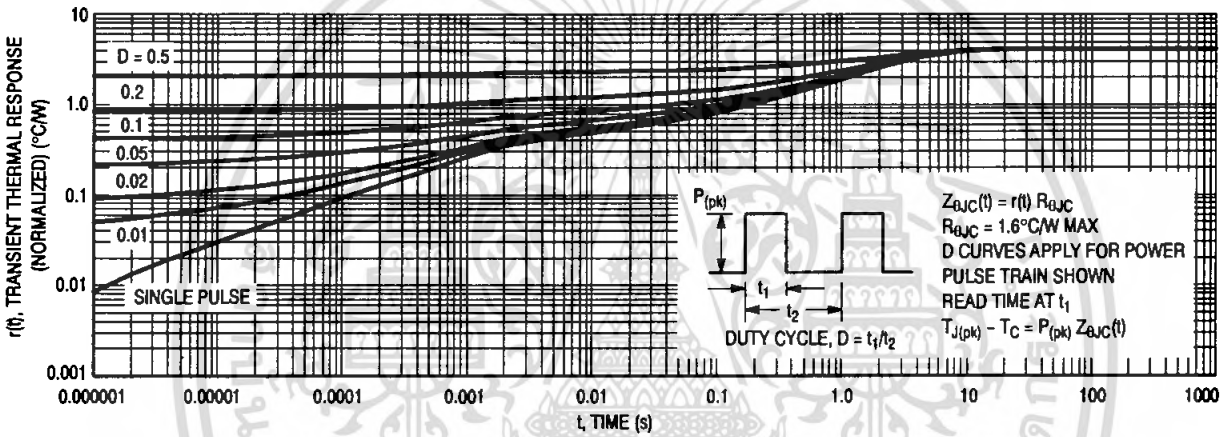


Figure 17. Thermal Response, (MURF1560) Junction-to-Case ($R_{\theta JC}$)

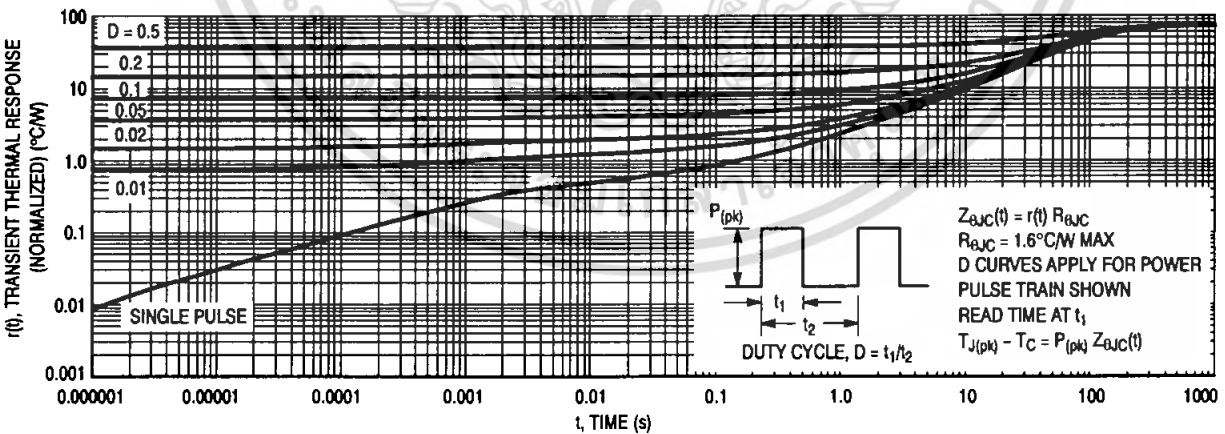


Figure 18. Thermal Response, (MURF1560) Junction-to-Ambient ($R_{\theta JA}$)

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

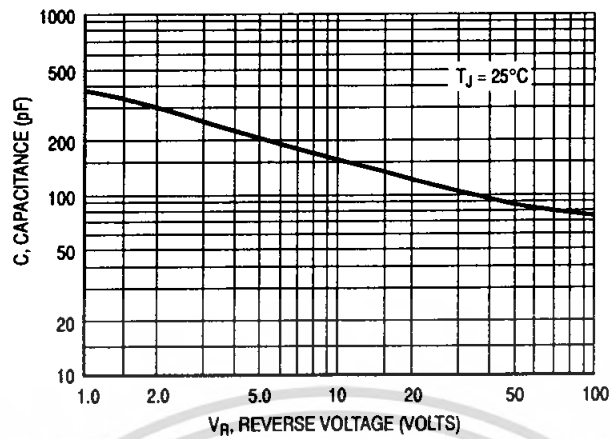


Figure 19. Typical Capacitance

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
MUR1510	TO-220AC	50 Units / Rail
MUR1510G	TO-220AC (Pb-Free)	
MUR1515	TO-220AC	
MUR1515G	TO-220AC (Pb-Free)	
MUR1520	TO-220AC	
MUR1520G	TO-220AC (Pb-Free)	
MUR1540	TO-220AC	
MUR1540G	TO-220AC (Pb-Free)	
MUR1560	TO-220AC	
MUR1560G	TO-220AC (Pb-Free)	
MURF1560G	TO-220FP (Pb-Free)	

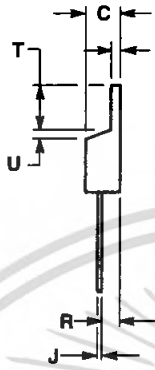
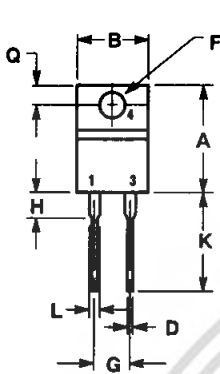
†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ <http://onsemi.com> เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

PACKAGE DIMENSIONS

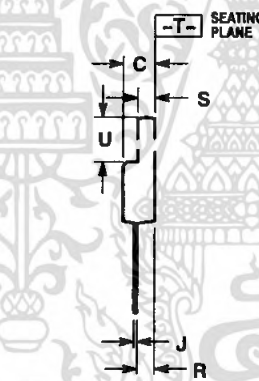
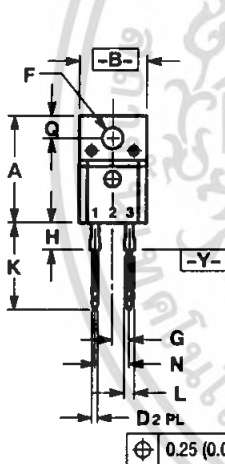
TO-220 TWO-LEAD CASE 221B-04 ISSUE D



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.620	15.11	15.75
B	0.380	0.405	9.65	10.29
C	0.160	0.190	4.06	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.89
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.190	0.210	4.83	5.33
H	0.110	0.130	2.79	3.30
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.14	1.52
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.060	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.14	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.48
U	0.000	0.050	0.000	1.27

TO-220 FULLPAK, 2-LEAD CASE 221E-01 ISSUE A



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.617	0.633	15.67	16.07
B	0.392	0.406	9.96	10.36
C	0.177	0.193	4.50	4.90
D	0.024	0.039	0.60	1.00
F	0.121	0.129	3.06	3.28
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.117	0.133	2.98	3.38
J	0.018	0.025	0.45	0.64
K	0.499	0.562	12.68	14.27
L	0.045	0.060	1.14	1.52
N	0.200 BSC		5.08 BSC	
Q	0.122	0.138	3.10	3.50
R	0.101	0.117	2.56	2.96
S	0.092	0.106	2.34	2.74
U	0.255	0.271	6.48	6.88

- STYLE 1:
PIN 1. CATHODE
2. N/A
3. ANODE

⊕ 0.25 (0.010) M B M Y

SWITCHMODE is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC.

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

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

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

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local Sales Representative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

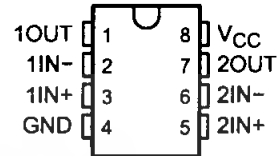
MUR1520/D

LM158, LM158A, LM258, LM258A LM358, LM358A, LM2904 DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

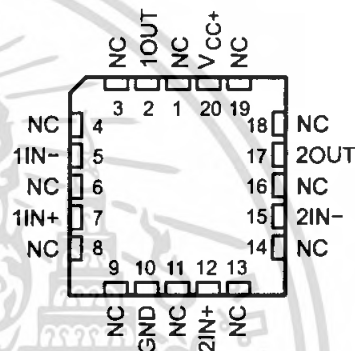
SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

- **Wide Range of Supply Voltages:**
 - Single Supply . . . 3 V to 30 V (LM2904 . . . 3 V to 26 V) (LM2904V . . . 3 V to 32 V) or
 - Dual Supplies
- **Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage . . . 0.7 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**
 - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ
A Versions . . . 2 mV Typ
 - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
 - Input Bias Current . . . 20 nA Typ
A Versions . . . 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . ± 32 V**
(LM2904 . . . ± 26 V)
(LM2904V . . . ± 32 V)
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**

LM158, LM158A . . . JG PACKAGE
LM258, LM258A . . . D OR P PACKAGE
LM358 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
LM358A . . . D, DGK, OR P PACKAGE
LM2904 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM158, LM158A . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 30 V (3 V to 26 V for the LM2904 and 3 V to 32 V for the LM2904V), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional ± 5 -V supplies.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS
INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T_A	V_{IOmax} AT 25°C	MAX V_{CC}	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	7 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358P	LM358P
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358D	LM358
				Reel of 2500	LM358DR	
			SOP (PS)	Reel of 2000	LM358PSR	L358
			TSSOP (PW)	Tube of 150	LM358PW	L358
				Reel of 2000	LM358PWR	
	VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM358DGKR	M5S		
	3 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358AP	LM358AP
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358AD	LM358A
				Reel of 2500	LM358ADR	
VSSOP (DGK)			Reel of 2500	LM358ADGKR	M6S	
-25°C to 85°C	5 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258P	LM258P
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258D	LM258
	Reel of 2500	LM258DR				
	3 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258AP	LM258AP
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258AD	LM258A
				Reel of 2500	LM258ADR	
VSSOP (DGK)			Reel of 2500	LM258ADGKR	M6S	
-40°C to 125°C	7 mV	26 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM2904P	LM2904P
			SOIC (D)	Tube of 75	LM2904D	LM2904
				Reel of 2500	LM2904DR	
			SOP (PS)	Reel of 2000	LM2904PSR	L2904
			TSSOP (PW)	Tube of 150	LM2904PW	L2904
				Reel of 2000	LM2904PWR	
	VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM2904DGKR	MBS		
	7 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2904VQDR	L2904V
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2904VQPWR	L2904V
	2 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2904AVQDR	L2904AV
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2904AVQPWR	L2904AV
	-55°C to 125°C	5 mV	30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158JG
LCCC (FK)				Tube of 55	LM158FK	LM158FK
2 mV		30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158AJG	LM158AJG
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM158AFK	LM158AFK

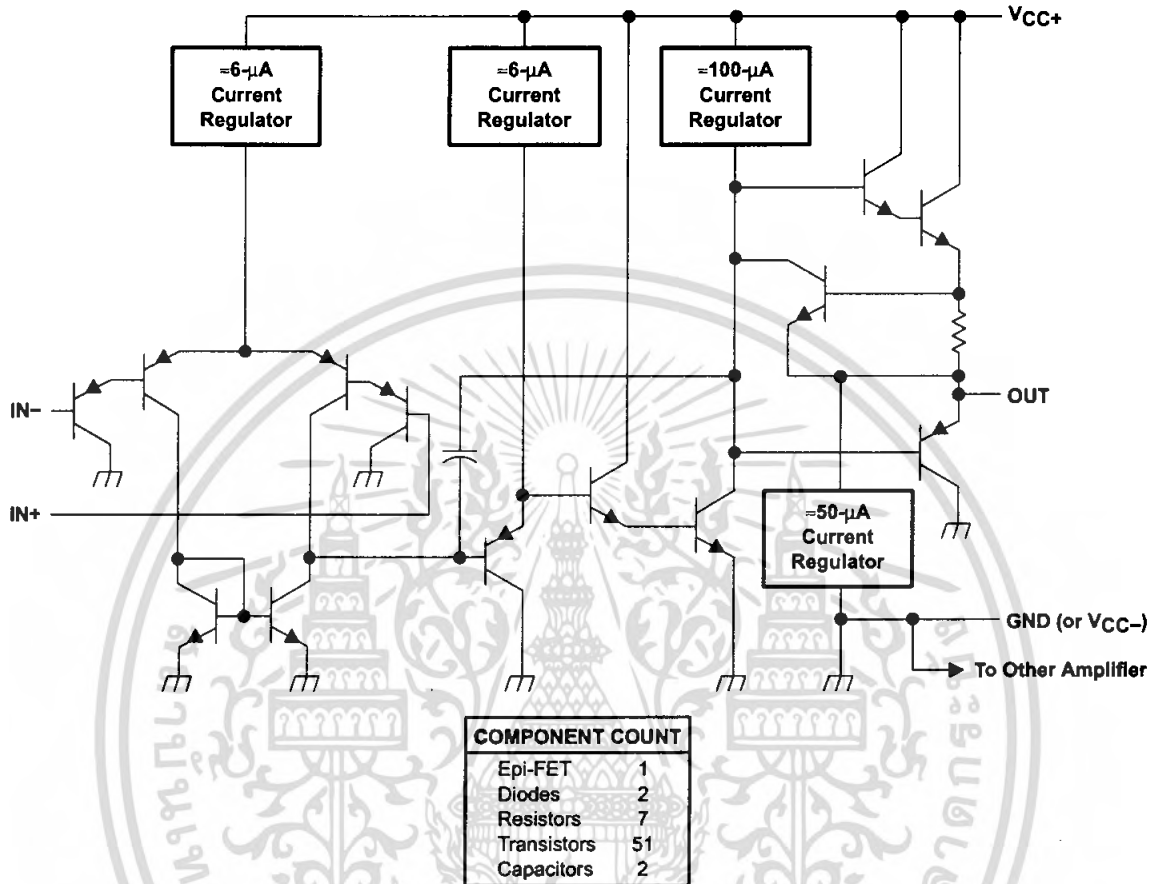
† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

symbol (each amplifier)



LM158, LM158A, LM258, LM258A
 LM358, LM358A, LM2904
 DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

schematic (each amplifier)



**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS088J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

		LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A LM2904V	LM2904	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		±16 or 32	±13 or 26	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)		±32	±26	V
Input voltage, V_I (either input)		-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ($V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)		Unlimited	Unlimited	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5)	D package	97	97	°C/W
	DGK package	172	172	
	P package	85	85	
	PS package	95	95	
	PW package	149	149	
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61		°C/W
	JG package	14.5		
Operating free-air temperature range, T_A	LM158, LM158A	-55 to 125		°C
	LM258, LM258A	-25 to 85		
	LM358, LM358A	0 to 70		
	LM2904	-40 to 125	-40 to 125	
Operating virtual junction temperature, T_J		150	150	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300	°C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	-65 to 150	°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
- All voltage values, except differential voltages and V_{CC} specified for measurement of I_{OS} , are with respect to the network ground terminal.
 - Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
 - Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
 - Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 - The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
 - Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 - The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM158 LM258			LM358			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$, $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	3		5	3		7	mV
		Full range			7			9	
$\alpha_{V_{IO}}$	Average temperature coefficient of input offset voltage	Full range		7		7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO}	Input offset current $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2		30	2		50	nA
		Full range			100			150	
$\alpha_{I_{IO}}$	Average temperature coefficient of input offset current	Full range		10		10			$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB}	Input bias current $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-20		-150	-20		-250	nA
		Full range			-300			-500	
V_{ICR}	Common-mode input voltage range $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C	0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$			V
		Full range	0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$			
V_{OH}	High-level output voltage $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = \text{MAX}$	25°C	$V_{CC}-1.5$			$V_{CC}-1.5$			V
		25°C							
		Full range	26			26			
		Full range	27	28		27	28		
V_{OL}	Low-level output voltage $R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20		5	20	mV
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	50		100	25		100	V/mV
		Full range	25			15			
CMRR	Common-mode rejection ratio $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$, $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$	25°C	70		80	65		80	dB
kSVR	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$) $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C	65		100	65		100	dB
V_{O1}/V_{O2}	Crosstalk attenuation $f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C		120			120		dB
I_O	Output current $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$ $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	25°C	-20		-30	-20		-30	mA
		Full range	-10			-10			
		25°C	10		20	10		20	μA
		Full range	5			5			
I_{OS}	Short-circuit output current V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C	± 40		± 60	± 40		± 60	mA
I_{CC}	Supply current (two amplifiers) $V_O = 2.5\text{ V}$, No load $V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load	Full range	0.7		1.2	0.7		1.2	mA
		Full range	1		2	1		2	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM2904			UNIT	
			MIN	TYP§	MAX		
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX, } V_{IC} = V_{ICR(min)}, V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	3	7		mV	
		Full range			10		
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range		7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	Non-V device		300	nA	
			Full range				
		Full range	V-suffix device		150		
			25°C				
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range		10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-20	-250		nA	
		Full range			-500		
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C	0 to $V_{CC}-1.5$		V		
		Full range	0 to $V_{CC}-2$				
		25°C	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $V_{CC}-1.5$				
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MAX, Non-V device}$	Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	22	V		
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	23		24	
		Full range	$V_{CC} = \text{MAX, V-suffix device}$	$R_L = 2\text{ k}\Omega$		26	28
				$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$		27	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20	mV	
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V, } V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V, } R_L = \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	25	100		V/mV	
		Full range	15				
$CMRR$ Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX, } V_{IC} = V_{ICR(min)}$	25°C	50	80		dB	
		25°C	65	80			
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C	65	100		dB	
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$	25°C		120		dB	
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V, } V_{ID} = 1\text{ V, } V_O = 0$	25°C	-20	-30	mA		
		Full range	-10				
		25°C	10	20			
	$V_{ID} = -1\text{ V, } V_O = 200\text{ mV}$	25°C	Non-V device		30		
			Full range				
		25°C	12	40	μA		
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C	± 40	± 60		mA	
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V, No load}$	Full range	0.7	1.2		mA	
	$V_{CC} = \text{MAX, } V_O = 0.5\text{ V, No load}$	Full range	1	2			

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904, 32 V for the LM2904V, and 30 V for others.

‡ Full range is $-55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$ for LM158, $-25^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$ for LM258, $0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ for LM358, and $-40^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$ for LM2904.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM158A			LM258A			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2			2	3	mV	
		Full range	4			4			
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range	7	15*		7	15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	10		2	15	nA	
		Full range	30			30			
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range	10	200		10	200	$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-15	-50		-15	-80	nA	
		Full range	-100			-100			
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$		V		
		Full range	0 to $V_{CC}-2$		0 to $V_{CC}-2$				
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	$V_{CC}-1.5$		$V_{CC}-1.5$		V		
		Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		26			
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	27	28	27		28	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range	5	20	5	20	mV		
AVD Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L = \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	50	100	50	100	V/mV		
		Full range	25		25				
CMRR Common-mode rejection ratio		25°C	70	80	70	80	dB		
kSVR Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C	65	100	65	100	dB		
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C	120			120		dB	
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	25°C	-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
		Full range	-10			-10			
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15$	25°C	10	20		10	20		
		Full range	5			5			
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C	± 40 ± 60		± 40 ± 60		mA		
		Full range	0.7 1.2		0.7 1.2				
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	Full range	0.7 1.2		0.7 1.2		mA		
	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load	Full range	1 2		1 2				

*On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



TEXAS INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **INSTRUMENTS** นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J - JUNE 1976 - REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM358A			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	3		mV
		Full range			5	
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range	7	20		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	30		nA
		Full range			75	
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range	10	300		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-15	-100		nA
		Full range			-200	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	0 to $V_{CC}-1.5$			V
		Full range	0 to $V_{CC}-2$			
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	$V_{CC}-1.5$			V
		Full range	26			
		Full range	27	28		
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range	5	20		mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L = \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	25	100		V/mV
		Full range	15			
CMRR Common-mode rejection ratio		25°C	65	80		dB
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C	65	100		dB
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C		120		dB
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	25°C	-20	-30	-60	mA
		Full range	-10			
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15\text{ V}$	25°C	10	20		
		Full range	5			
	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	25°C		30		μA
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C	± 40	± 60		mA
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	Full range	0.7	1.2		mA
	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ No load	Full range	1	2		

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS068J - JUNE 1978 - REVISED MARCH 2004

operating conditions, $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 30\text{ pF}$, $V_I = \pm 10\text{ V}$ (see Figure 1)	0.3	V/ μs
B_1 Unity-gain bandwidth	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 1)	0.7	MHz
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$, $V_I = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$ (see Figure 2)	40	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

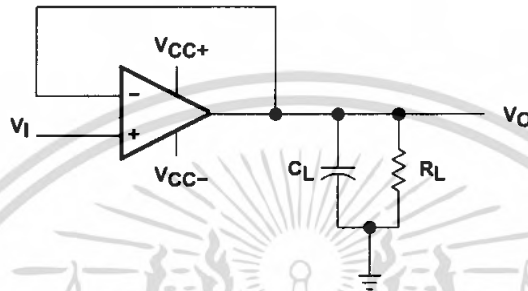


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

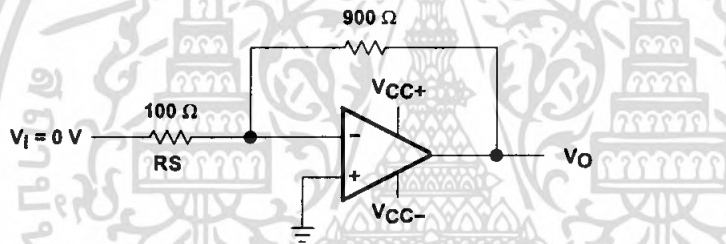


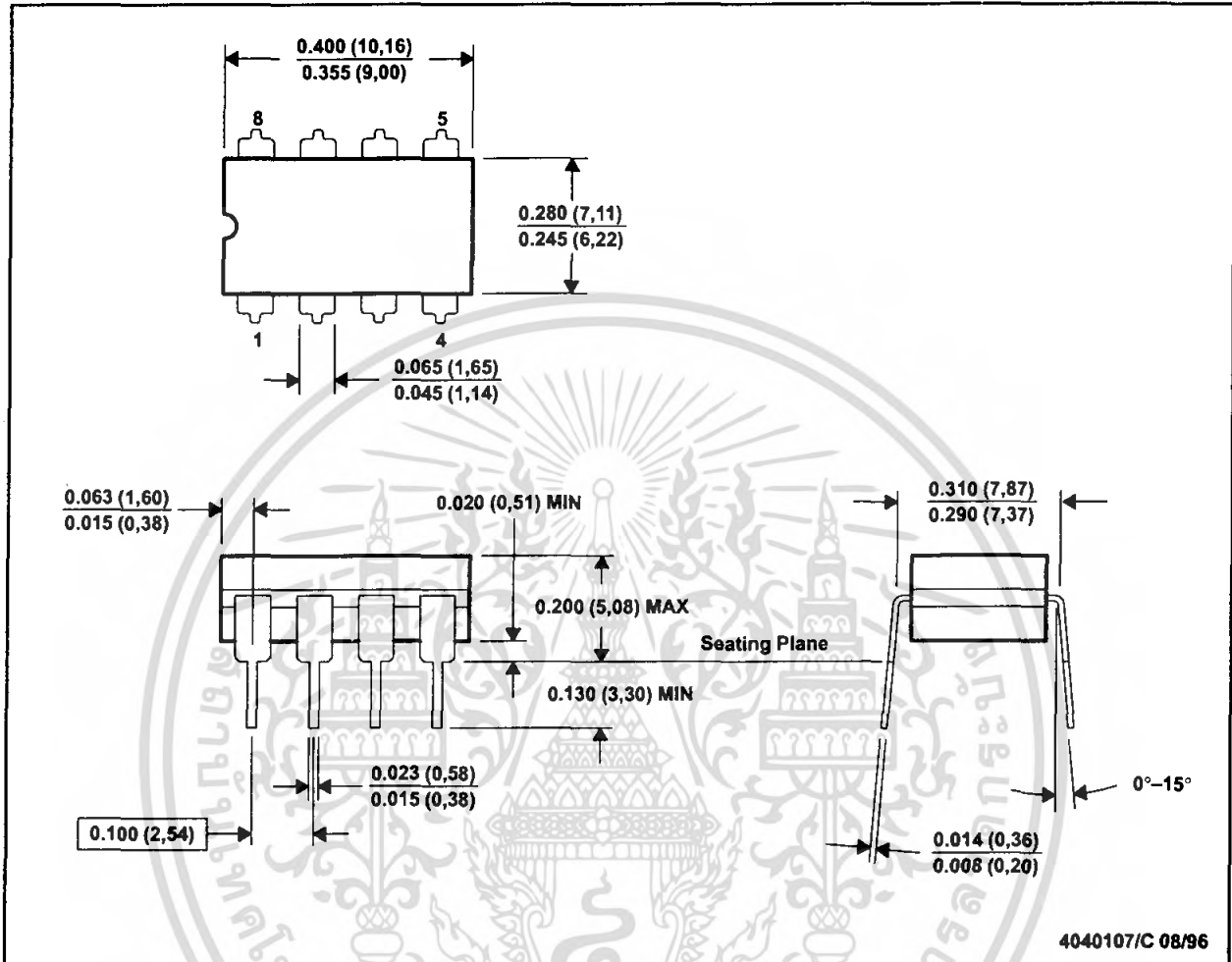
Figure 2. Noise-Test Circuit

MECHANICAL DATA

MCER001A - JANUARY 1995 - REVISED JANUARY 1997

JG (R-GDIP-T8)

CERAMIC DUAL-IN-LINE



4040107/C 08/96

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - D. Index point is provided on cap for terminal identification.
 - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T8.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 855303 • DALLAS, TEXAS 75265 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

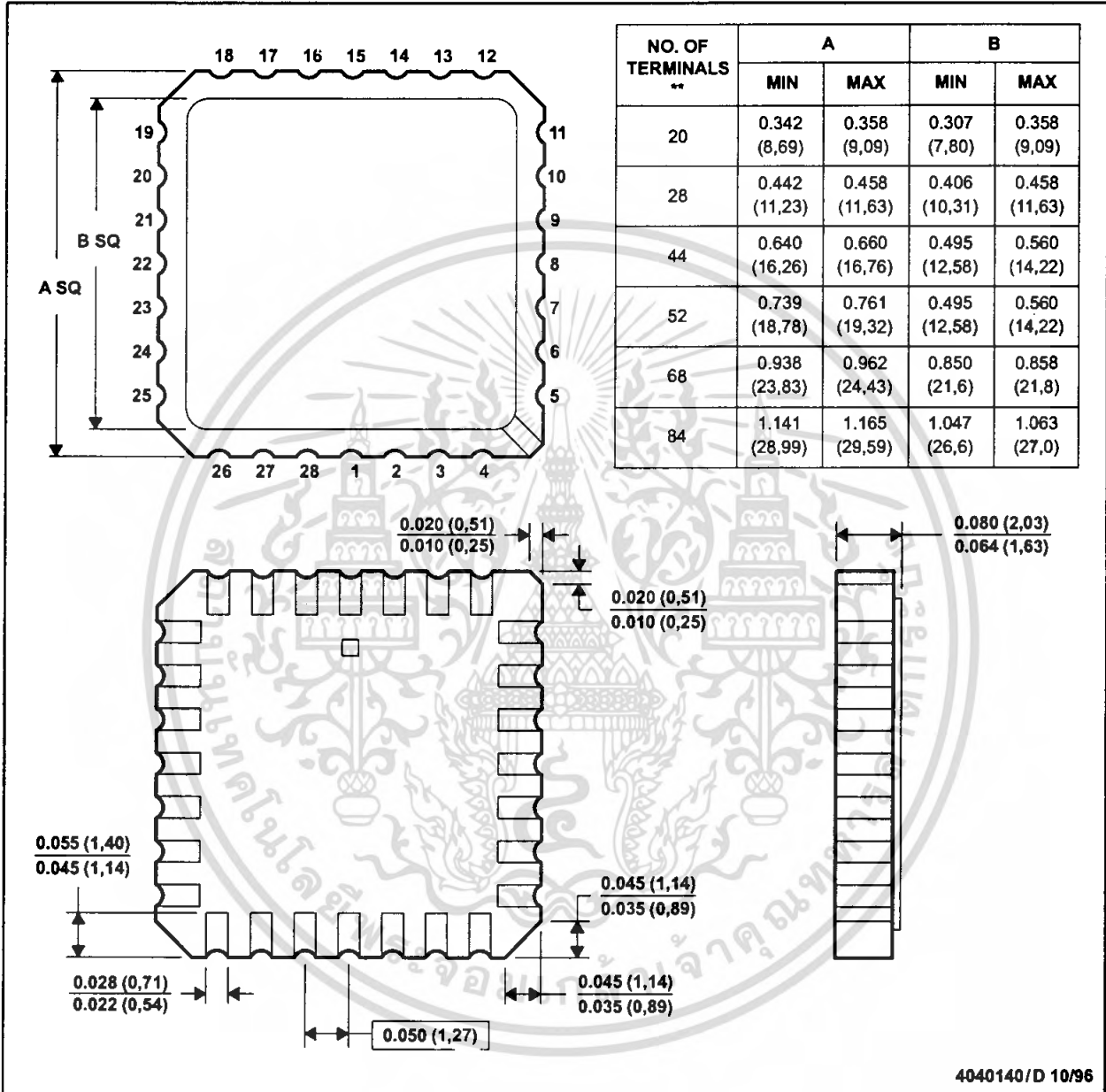
MECHANICAL DATA

MLCC006B - OCTOBER 1996

FK (S-CQCC-N**)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
 - D. The terminals are gold plated.
 - E. Falls within JEDEC MS-004

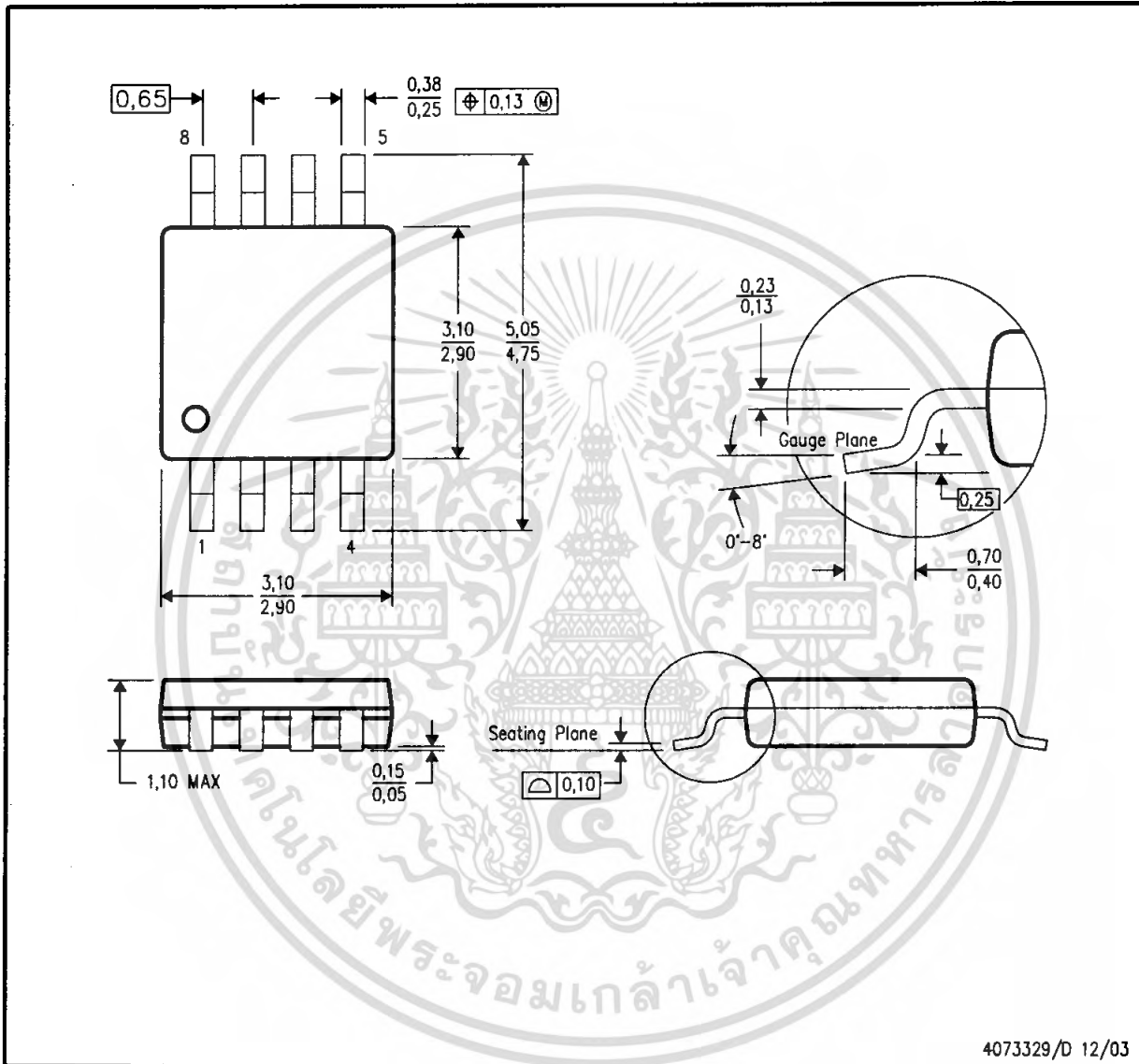
TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

DGK (S-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4073329/D 12/03

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion.
 - D. Falls within JEDEC MO-187 variation AA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

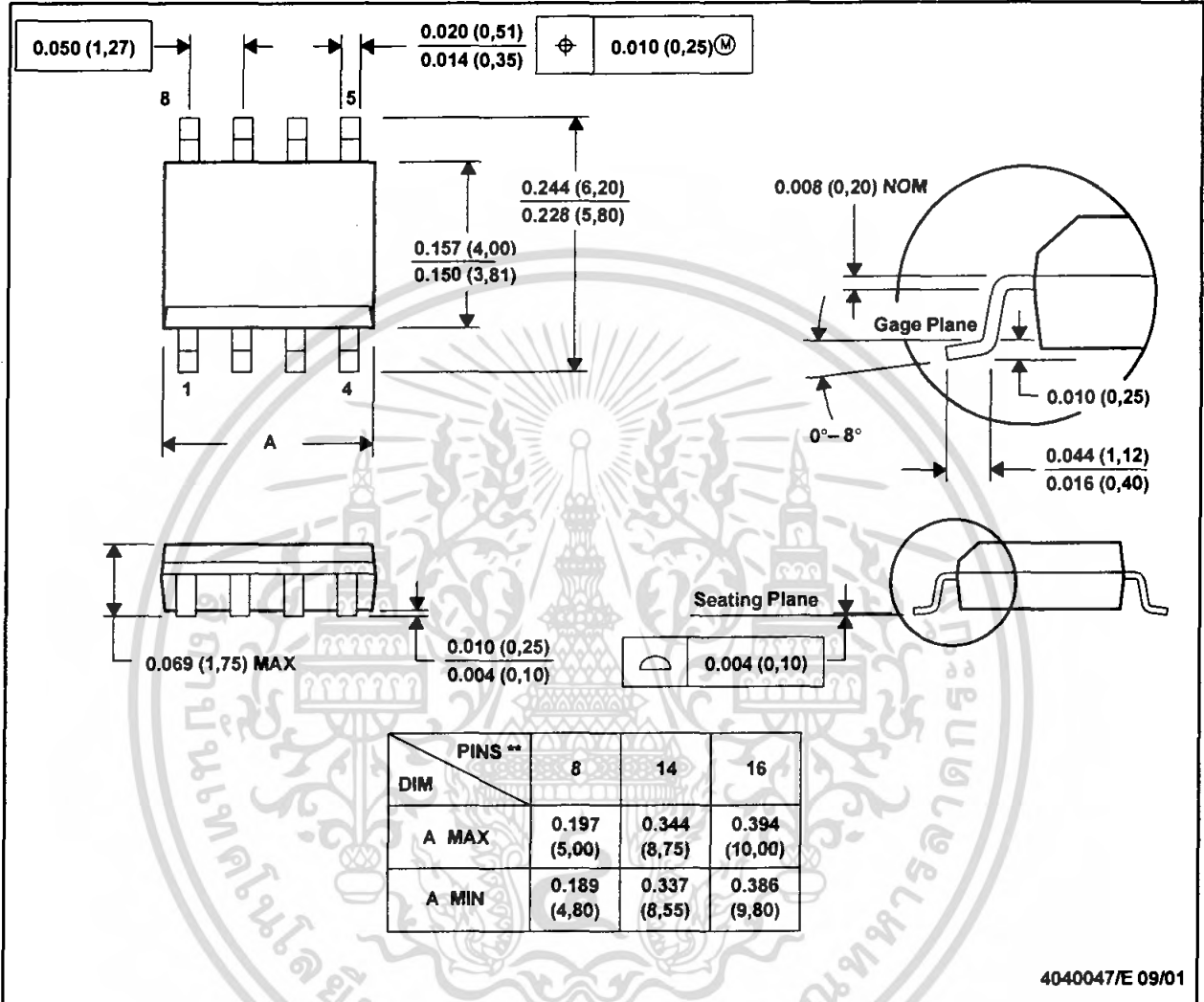
MECHANICAL DATA

MSOI002B - JANUARY 1995 - REVISED SEPTEMBER 2001

D (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

8 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0.006 (0,15).
 D. Falls within JEDEC MS-012



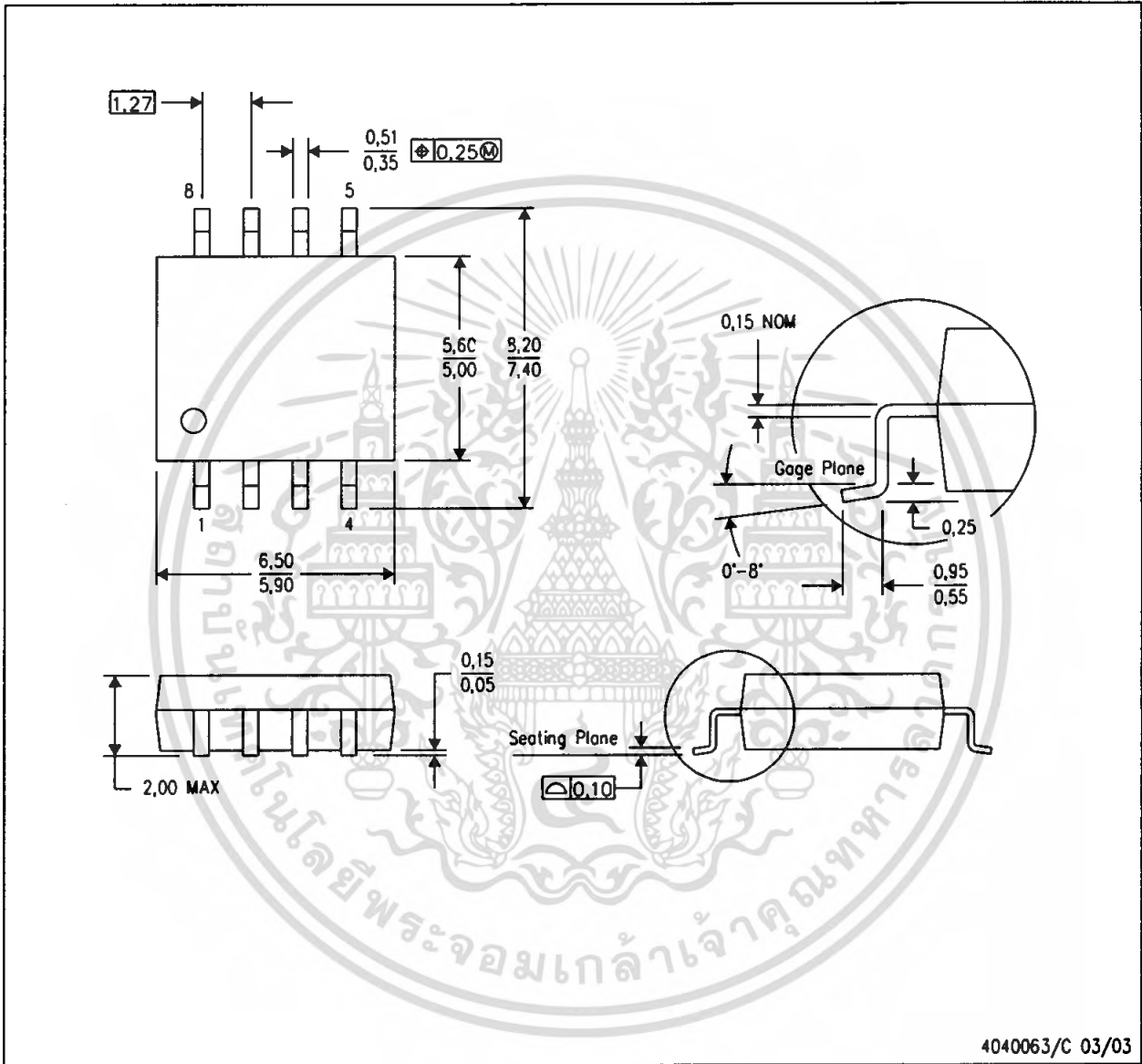
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0.15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXAS INSTRUMENTS
 www.ti.com

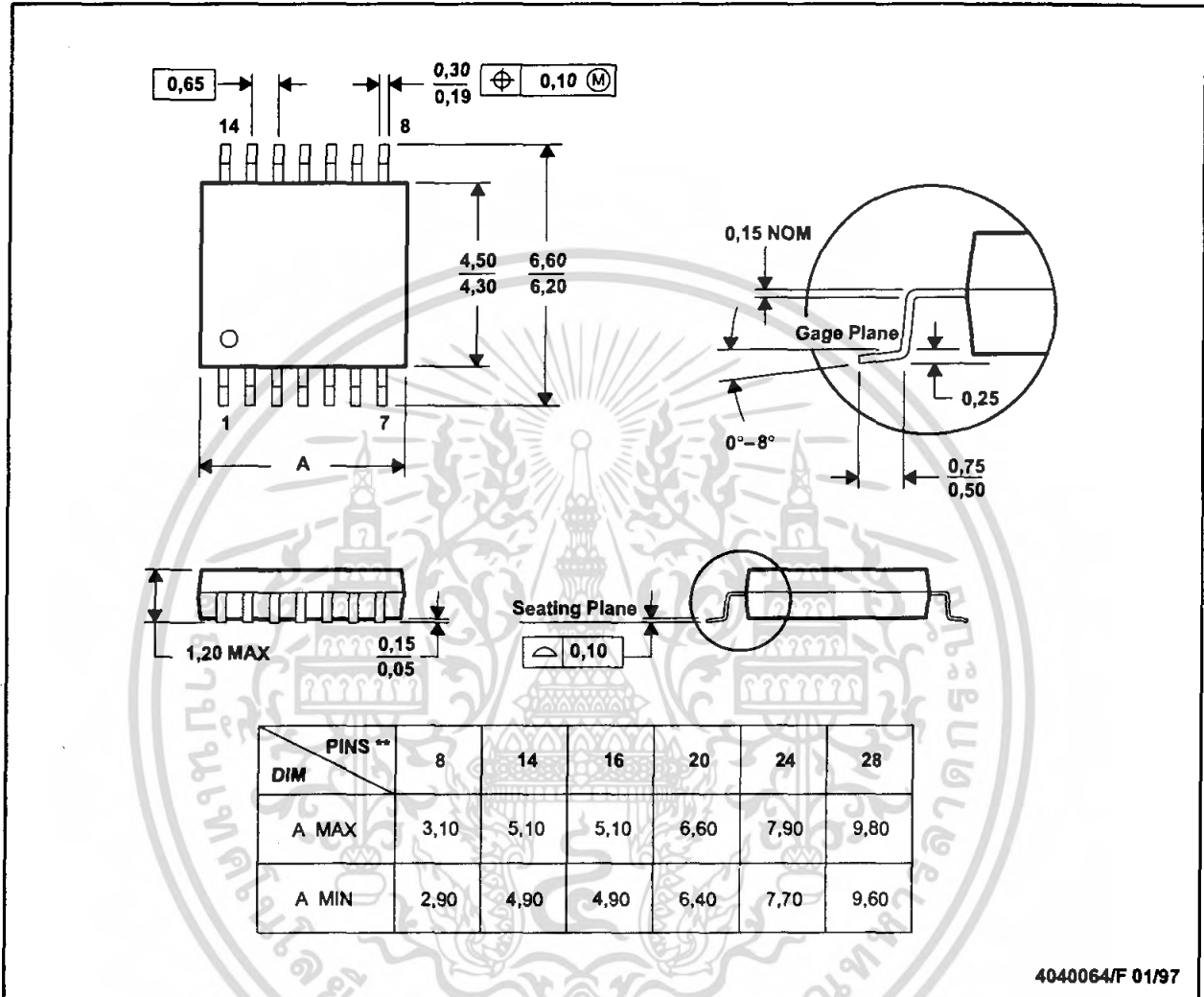
MECHANICAL DATA

MTSS001C - JANUARY 1995 - REVISED FEBRUARY 1999

PW (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
 D. Falls within JEDEC MO-153



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

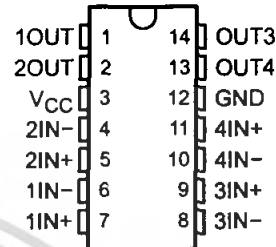
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139, LM139A, LM239, LM239A, LM339, LM339A, LM2901, LM2901V

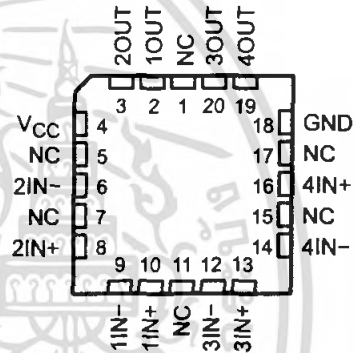
SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

- Single Supply or Dual Supplies
- Wide Range of Supply Voltage:
 - Max Rating . . . 2 V to 36 V
 - Tested to 30 V . . . Non-V Devices
 - Tested to 32 V . . . V-Suffix Devices
- Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.8 mA Typ
- Low Input Bias Current . . . 25 nA Typ
- Low Input Offset Current . . . 3 nA Typ (LM139)
- Low Input Offset Voltage . . . 2 mV Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . ± 36 V
- Low Output Saturation Voltage
- Output Compatible With TTL, MOS, and CMOS

LM139, LM139A . . . D, J, OR W PACKAGE
 LM239 . . . D, N, OR PW PACKAGE
 LM239A . . . D PACKAGE
 LM339, LM339A . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
 LM2901 . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE
 (TOP VIEW)



LM139, LM139A . . . FK PACKAGE
 (TOP VIEW)



NC - No internal connection

description/ordering information

These devices consist of four independent voltage comparators that are designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from dual supplies also is possible as long as the difference between the two supplies is 2 V to 36 V, and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. Current drain is independent of the supply voltage. The outputs can be connected to other open-collector outputs to achieve wired-AND relationships.

The LM139 and LM139A are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The LM239 and LM239A are characterized for operation from -25°C to 125°C . The LM339 and LM339A are characterized for operation from 0°C to 70°C . The LM2901 is characterized for operation from -40°C to 125°C .



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated
 On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**

SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

TA	V _{IO} max AT 25°C	MAX V _{CC}	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	5 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM339N	LM339N
			SOIC (D)	Tube of 50	LM339D	LM339
				Reel of 2500	LM339DR	
			SOP (NS)	Reel of 2000	LM339NSR	LM339
			SSOP (DB)	Reel of 2000	LM339DBR	LM339
	TSSOP (PW)	Tube of 90	LM339PW	L339		
		Reel of 2000	LM339PWR			
	2 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM339AN	LM339AN
			SOIC (D)	Tube of 50	LM339AD	LM339A
				Reel of 2500	LM339ADR	
SOP (NS)			Reel of 2000	LM339ANSR	LM339A	
SSOP (DB)			Reel of 2000	LM339ADBR	L339A	
TSSOP (PW)	Tube of 90	LM339APW	L339A			
	Reel of 2000	LM339APWR				
-25°C to 85°C	5 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM239N	LM239N
			SOIC (D)	Tube of 50	LM239D	LM239
				Reel of 2500	LM239DR	
	TSSOP (PW)	Tube of 90	LM239PW	L239		
		Reel of 2000	LM239PWR			
	2 mV	30 V	SOIC (D)	Tube of 50	LM239AD	LM239A
Reel of 2500			LM239ADR			
-40°C to 125°C	7 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM2901N	LM2901N
			SOIC (D)	Tube of 50	LM2901D	LM2901
				Reel of 2500	LM2901DR	
			SOP (NS)	Reel of 2000	LM2901NSR	LM2901
	TSSOP (PW)	Tube of 90	LM2901PW	L2901		
		Reel of 2000	LM2901PWR			
	7 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2901VQDR	L2901V
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2901VQPWR	L2901V
	2 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2901AVQDR	L2901AV
TSSOP (PW)			Reel of 2000	LM2901AVQPWR	L2901AV	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **TEXAS INSTRUMENTS** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**
SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

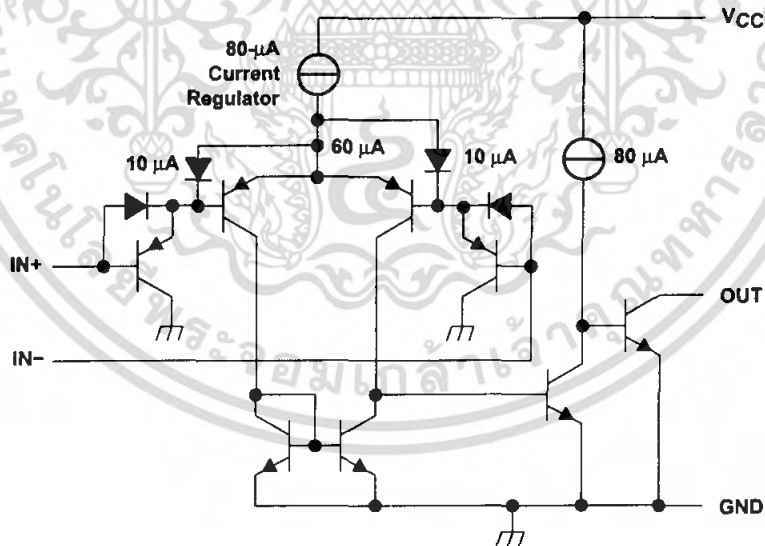
TA	V _{IO} max AT 25°C	MAX VCC	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-55°C to 125°C	5 mV	30 V	CFP (W)	Tube of 25	LM139W	LM139W
			CDIP (J)	Tube of 25	LM139J	LM139J
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM139FK	LM139FK
			SOIC (D)	Tube of 50	LM139D	LM139D
		Reel of 2500	LM139DR			
	2 mV	30 V	CFP (W)	Tube of 25	LM139AW	LM139AW
			CDIP (J)	Tube of 25	LM139AJ	LM139AJ
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM139AFK	LM139AFK
SOIC (D)			Tube of 50	LM139AD	LM139AD	
	Reel of 2500	LM139ADR				

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

symbol (each comparator)



schematic (each comparator)



All current values shown are nominal.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**

SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	36 V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	± 36 V
Input voltage range, V_I (either input)	-0.3 V to 36 V
Output voltage, V_O	36 V
Output current, I_O	20 mA
Duration of output short circuit to ground (see Note 3)	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5):	
D package	86°C/W
DB package	96°C/W
N package	80°C/W
NS package	76°C/W
PW package	113°C/W
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7):	
FK package	5.61°C/W
J package	15.05°C/W
W package	14.65°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package	300°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to network ground.
 2. Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
 3. Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
 4. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
 6. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 7. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **TEXAS INSTRUMENTS** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**
SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM139			LM139A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V},$ $V_{IC} = V_{ICR}(\text{min}),$ $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	5		1	2	mV
		Full range			9			4	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		3	25		3	25	nA
		Full range			100			100	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-25	-100		-25	-100	nA
		Full range			-300			-300	
V_{ICR} Common-mode input-voltage range		25°C		0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$		V
		Full range		0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$		
A_{VD} Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} \pm = \pm 7.5\text{ V},$ $V_O = -5\text{ V to }5\text{ V}$	25°C		200		50	200	V/mV	
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C		0.1		0.1	nA	
		$V_{OH} = 30\text{ V}$	Full range			1		1	μA
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V},$ $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C		150	400		150	400	mV
		Full range			700			700	
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V},$ $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C		6	16		6	16	mA
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V},$ No load	25°C		0.8	2		0.8	2	mA

† All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Full range (MIN to MAX) for LM139 and LM139A is -55°C to 125°C . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM139 LM139A			UNIT	
		MIN	TYP	MAX		
Response time	R_L connected to 5 V through 5.1 k Ω , $C_L = 15\text{ pF}$, See Note 8	100-mV input step with 5-mV overdrive			1.3	μs
		TTL-level input step			0.3	

§ C_L includes probe and jig capacitance.

NOTE 8: The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**
SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM239 LM339			LM239A LM339A			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	5		1	3	mV	
		Full range			9			4		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		5	50		5	50	nA	
		Full range			150			150		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-25	-250		-25	-250	nA	
		Full range			-400			-400		
V_{ICR} Common-mode input-voltage range		25°C		0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$		V	
		Full range		0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$			
A_{VD} Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V to }11.4\text{ V}$, $R_L \geq 15\text{ k}\Omega\text{ to }V_{CC}$	25°C		50	200		50	200	V/mV	
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	$V_{OH} = 5\text{ V}$	25°C		0.1	50		0.1	50	nA
		$V_{OH} = 30\text{ V}$	Full range			1			1	μA
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C		150	400		150	400	mV	
		Full range			700			700		
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C		6	16		6	16	mA	
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	25°C		0.8	2		0.8	2	mA	

† All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Full range (MIN to MAX) for LM239 and LM239A is -25°C to 85°C, for LM339 and LM339A is 0°C to 70°C. All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM239, LM239A, LM339, LM339A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Response time	R_L connected to 5 V through 5.1 k Ω , $C_L = 15\text{ pF}$, See Note 8	100-mV input step with 5-mV overdrive		1.3	μs
		TTL-level input step		0.3	

§ C_L includes probe and jig capacitance.

NOTE 8: The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.



**LM139, LM139A, LM239, LM239A,
LM339, LM339A, LM2901, LM2901V
QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS**
SLCS006L - OCTOBER 1979 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM2901			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{IC} = V_{ICR}(\text{min})$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $V_{CC} = 5\text{ V to MAX}\S$	25°C	Non-A devices			mV
			Full range			
		25°C	A-suffix devices			
			Full range			
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	5			nA
		Full range			200	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-25			nA
		Full range			-500	
V_{ICR} Common-mode input-voltage range		25°C	0 to $V_{CC}-1.5$			V
		Full range			0 to $V_{CC}-2$	
AVD Large-signal differential-voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V to }11.4\text{ V}$, $R_L \geq 15\text{ k}\Omega\text{ to }V_{CC}$	25°C	25	100		V/mV
I_{OH} High-level output current	$V_{ID} = 1\text{ V}$	25°C	$V_{OH} = 5\text{ V}$			nA
		Full range			$V_{OH} = V_{CC}\text{ MAX}\S$	1
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $I_{OL} = 4\text{ mA}$	25°C	Non-V devices			mV
			V-suffix devices			
		Full range			All devices	
I_{OL} Low-level output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_{OL} = 1.5\text{ V}$	25°C	6	16		mA
I_{CC} Supply current (four comparators)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	25°C	$V_{CC} = 5\text{ V}$			mA
			$V_{CC} = \text{MAX}\S$			

† All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Full range (MIN to MAX) for LM2901 is -40°C to 125°C . All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

§ $V_{CC}\text{ MAX} = 30\text{ V}$ for non-V devices, and 32 V for V-suffix devices.

switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM2901			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Response time	R_L connected to 5 V through $5.1\text{ k}\Omega$, $C_L = 15\text{ pF}$ ¶, See Note 8	100-mV input step with 5-mV overdrive			μs
		TTL-level input step			

¶ C_L includes probe and jig capacitance.

NOTE 8: The response time specified is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
5962-7700801VCA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
5962-87739012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
5962-8773901CA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
5962-8773901DA	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
77008012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
7700801CA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
7700801DA	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
JM38510/11201BCA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	TBD	CU NIPDAU	Level-3-245C-168 HR
LM139ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR Level-1-235C-UNLIM
LM139AFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139AJ	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139AJB	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139AN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM139AW	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139AWB	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	TBD	CU NIPDAU	Level-1-220C-UNLIM
LM139DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	TBD	CU NIPDAU	Level-1-220C-UNLIM
LM139FK	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139FKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
LM139J	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139JB	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139N	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM139W	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM139WB	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
LM239AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239AN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM239D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
LM239DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM239NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM239PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM239PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901AVQDR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
LM2901AVQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	TBD	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM
LM2901D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM2901NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM2901NSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901NSRE4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	14		TBD	Call TI	Call TI
LM2901PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM2901QD	OBSOLETE	SOIC	D	14		TBD	Call TI	Call TI

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
LM2901QN	OBSOLETE	PDIP	N	14		TBD	Call TI	Call TI
LM2901VQDR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-250C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
LM2901VQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	TBD	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM
LM339AD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADBR	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADBRG4	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1YEAR
LM339AN	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339ANE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339ANSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339ANSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339APWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339D	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DBLE	OBSOLETE	SSOP	DB	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339DBR	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DBRE4	ACTIVE	SSOP	DB	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339DRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
LM339DRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339N	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339NE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
LM339NSLE	OBSOLETE	SO	NS	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339NSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339NSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	14		TBD	Call TI	Call TI
LM339PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
LM339Y	OBSOLETE			0		TBD	Call TI	Call TI

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

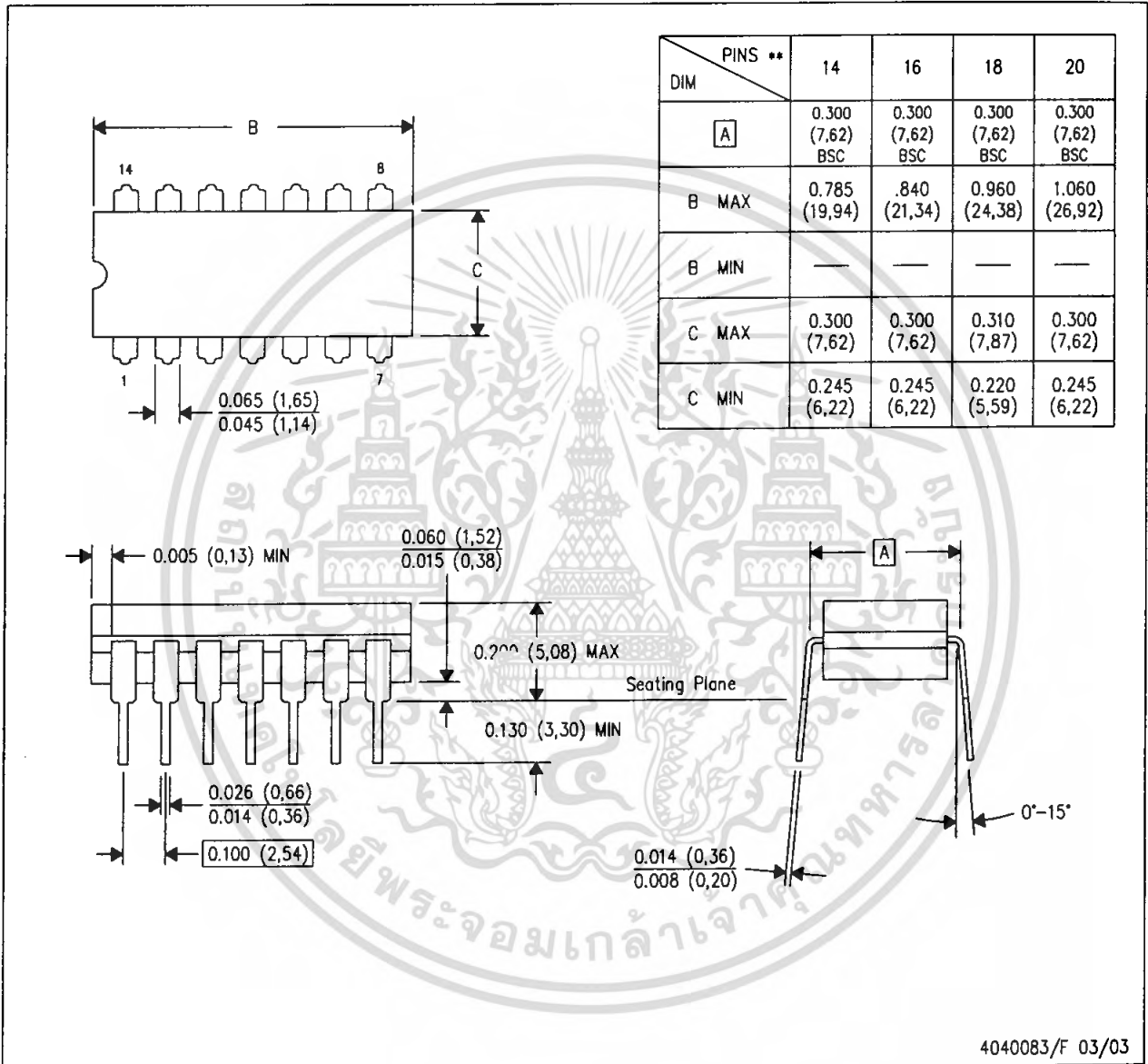
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



J (R-GDIP-T**)

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE

14 LEADS SHOWN



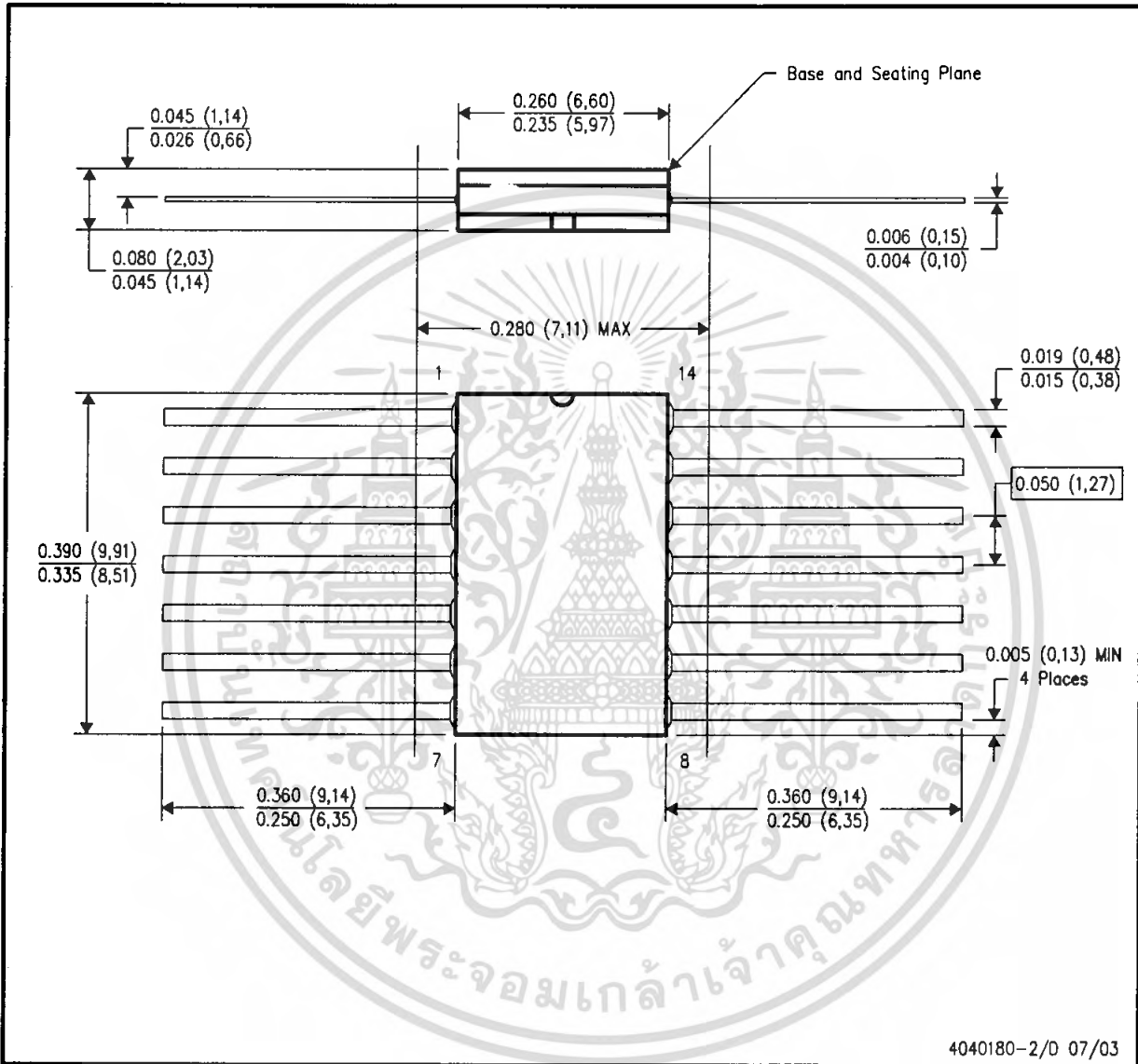
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
 - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, GDIP1-T18 and GDIP1-T20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

W (R-GDFP-F14)

CERAMIC DUAL FLATPACK



4040180-2/D 07/03

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - D. Index point is provided on cap for terminal identification only.
 - E. Falls within MIL STD 1835 GDFP1-F14 and JEDEC MO-092AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

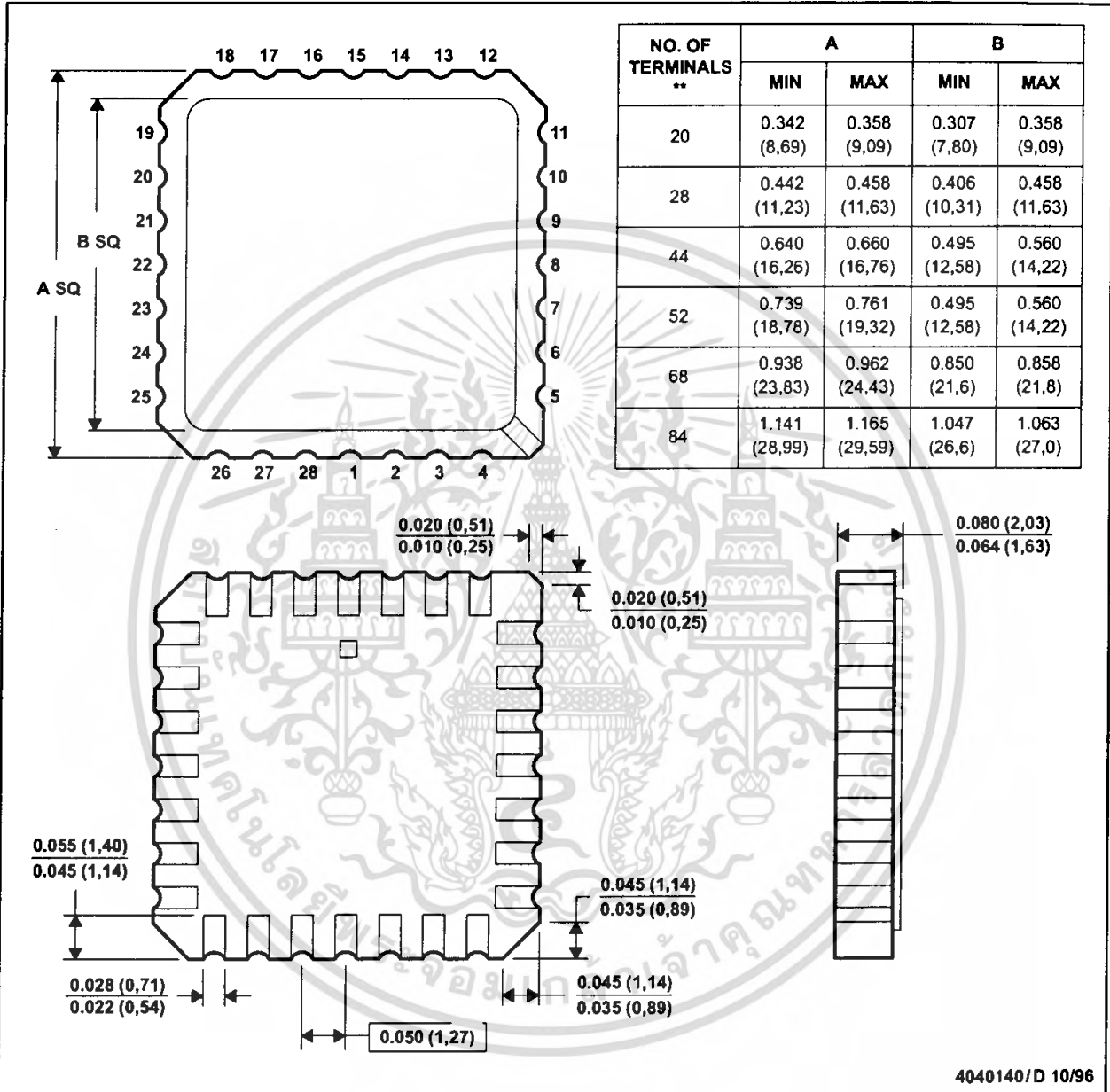
MECHANICAL DATA

MLCC006B – OCTOBER 1996

FK (S-CQCC-N**)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



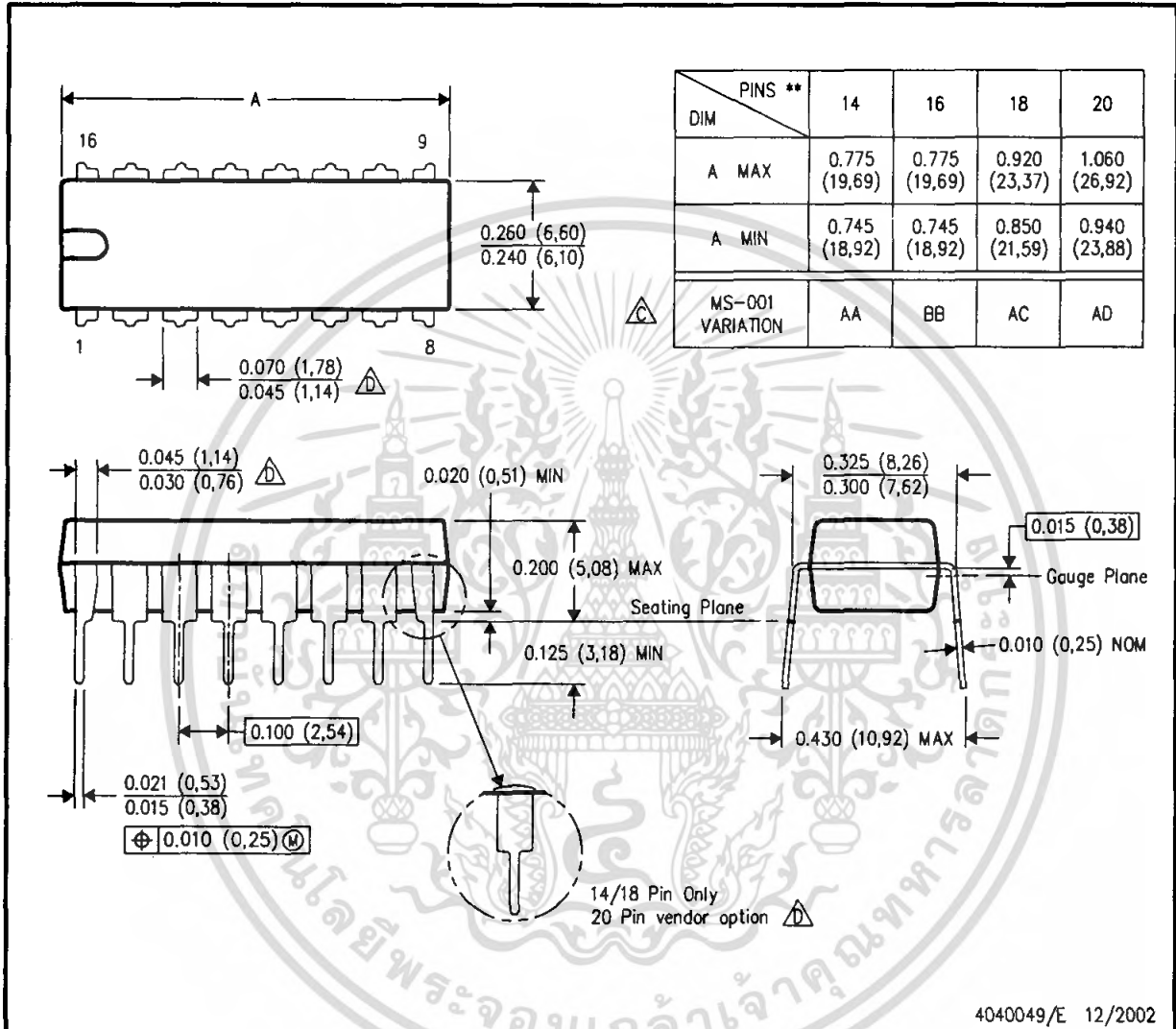
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
 - D. The terminals are gold plated.
 - E. Falls within JEDEC MS-004

MECHANICAL DATA

N (R-PDIP-T**)

16 PINS SHOWN

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

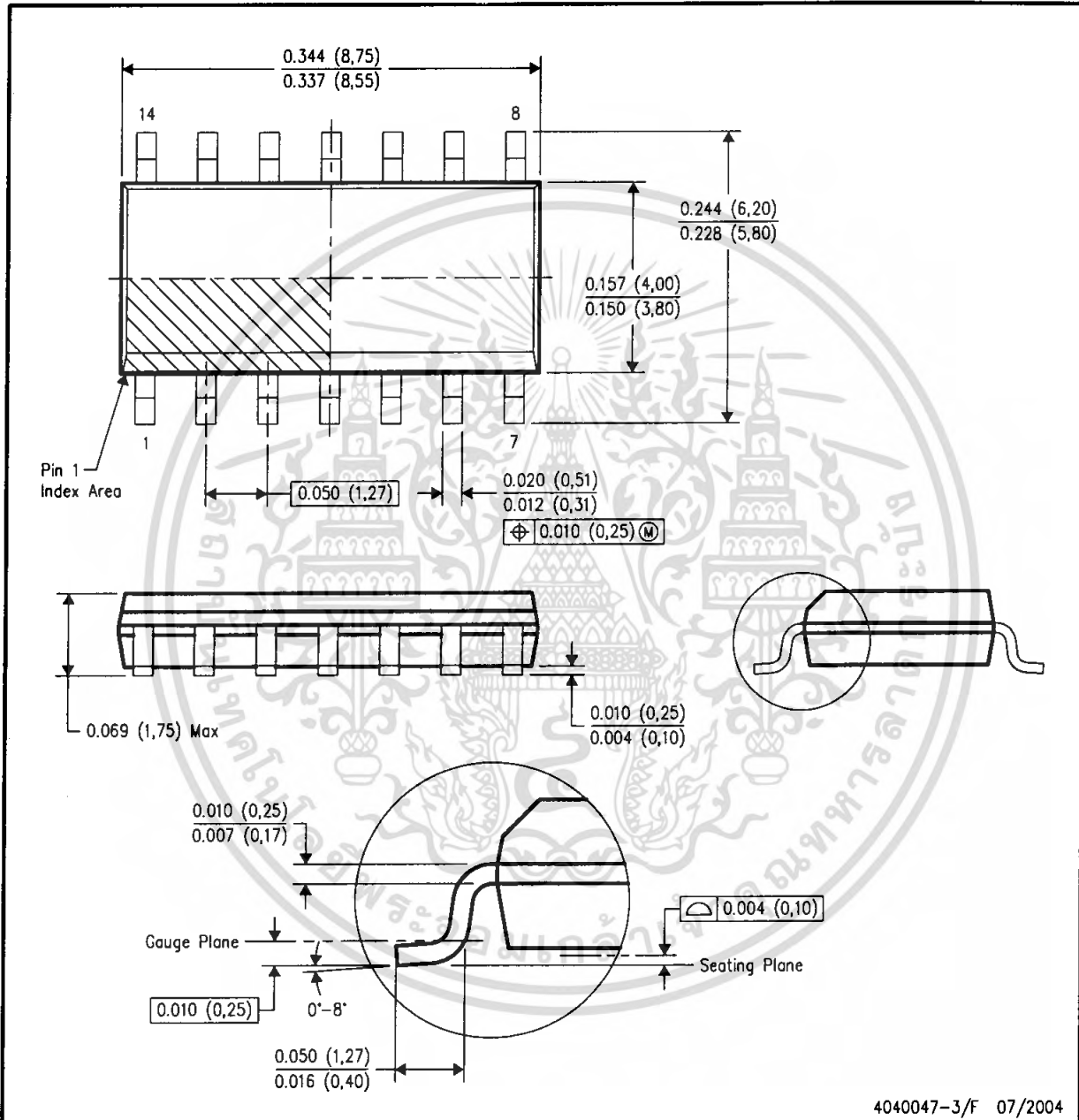


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
 - D. Falls within JEDEC MS-012 variation AB.



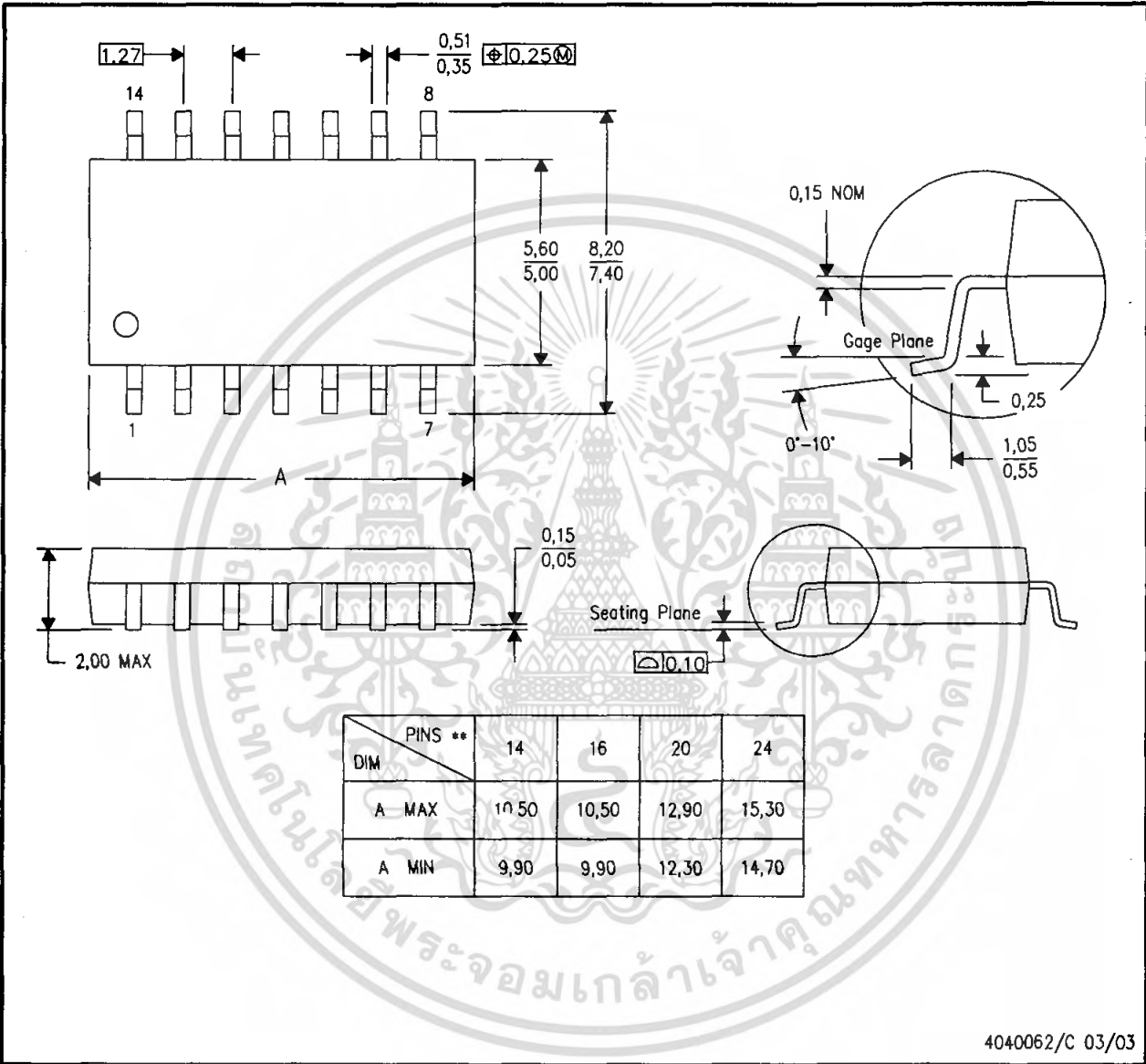
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14-PINS SHOWN



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0.15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน www.ti.com เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

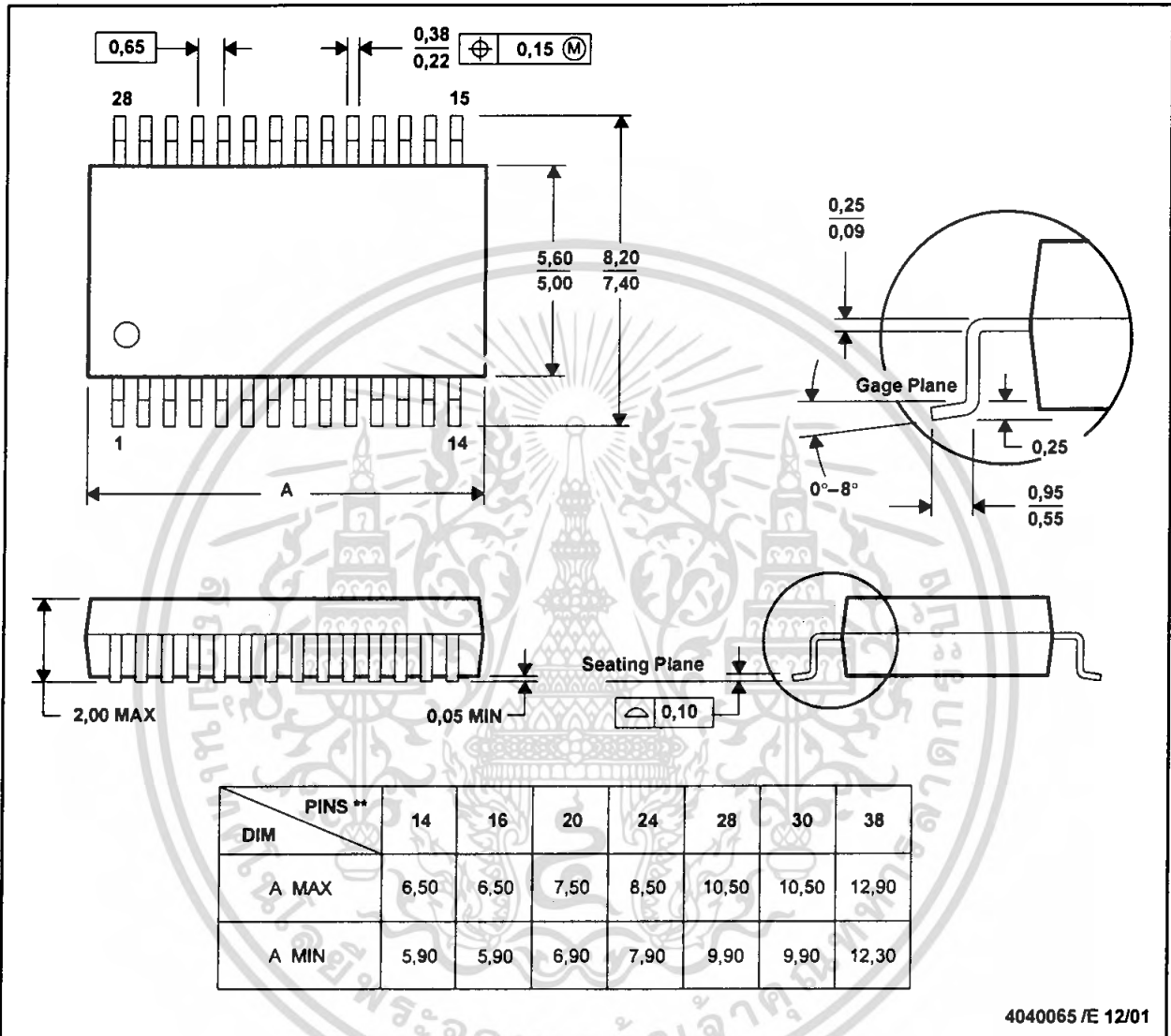
MECHANICAL DATA

MSS0002E - JANUARY 1995 - REVISED DECEMBER 2001

DB (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE

28 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
 D. Falls within JEDEC MO-150



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

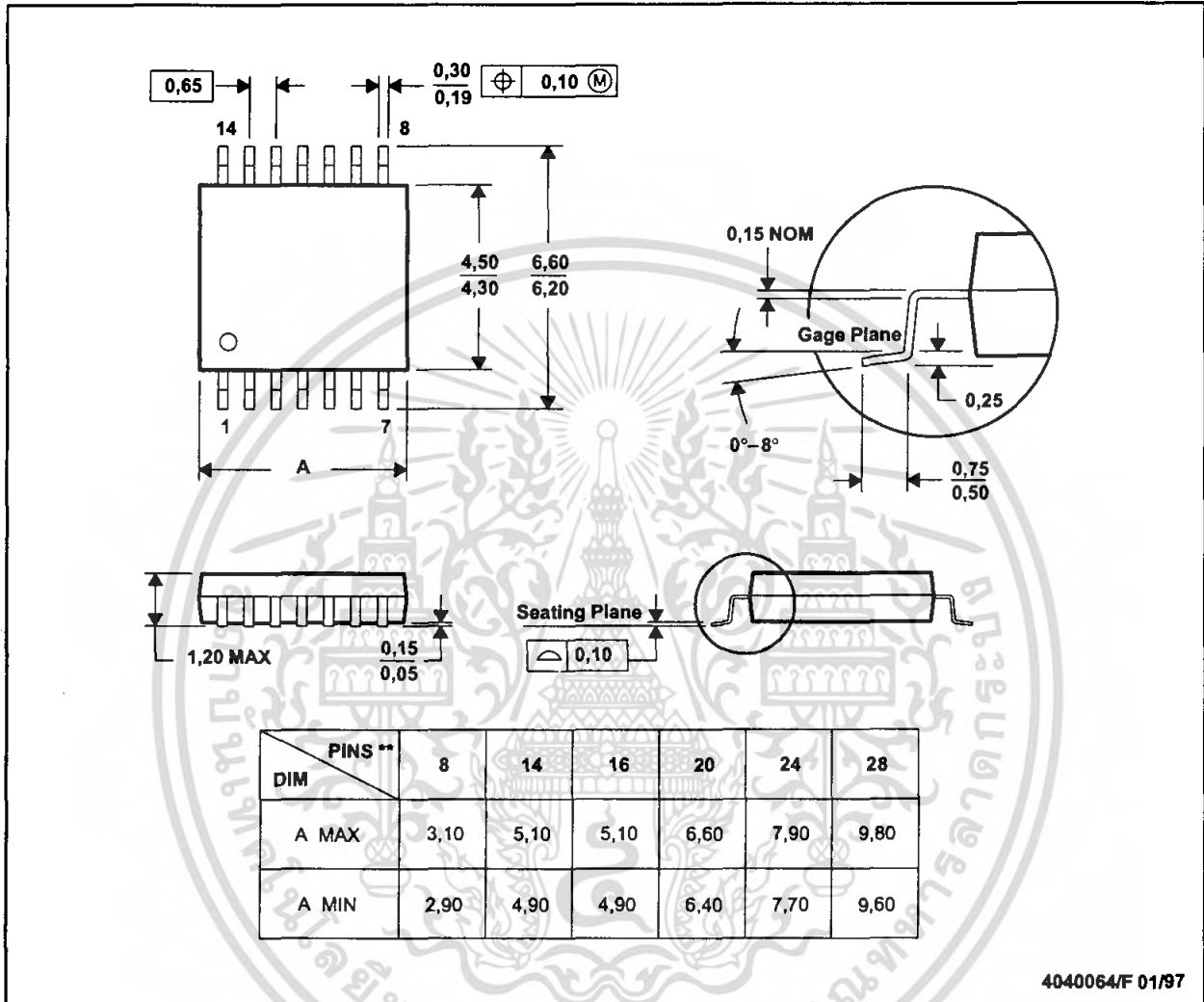
MECHANICAL DATA

MTSS001C - JANUARY 1995 - REVISED FEBRUARY 1999

PW (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14 PINS SHOWN



4040064/F 01/97

- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
 D. Falls within JEDEC MO-153



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **TEXAS INSTRUMENTS** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

600V, SMPS Series N-Channel IGBT

The HGTG40N60A4 is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of a MOSFET and a bipolar transistor. This device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. This IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at high frequencies where low conduction losses are essential. This device has been optimized for high frequency switch mode power supplies.

Formerly Developmental Type TA49347.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG40N60A4	TO-247	40N60A4

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol



Features

- 100kHz Operation At 390V, 40A
- 200kHz Operation At 390V, 20A
- 600V Switching SOA Capability
- Typical Fall Time.....55ns at T_J = 125°
- Low Conduction Loss

Packaging



FAIRCHILD CORPORATION IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

4,364,073	4,417,385	4,430,792	4,443,931	4,466,176	4,516,143	4,532,534	4,587,713
4,598,461	4,605,948	4,620,211	4,631,564	4,639,754	4,639,762	4,641,162	4,644,637
4,682,195	4,684,413	4,694,313	4,717,679	4,743,952	4,783,690	4,794,432	4,801,986
4,803,533	4,809,045	4,809,047	4,810,665	4,823,176	4,837,606	4,860,080	4,883,767
4,888,627	4,890,143	4,901,127	4,904,609	4,933,740	4,963,951	4,969,027	

HGTG40N60A4

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

	HGTG40N60A4	UNITS
Collector to Emitter Voltage	600	V
Collector Current Continuous		
At $T_C = 25^\circ\text{C}$	75	A
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	63	A
Collector Current Pulsed (Note 1)	300	A
Gate to Emitter Voltage Continuous	± 20	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed	± 30	V
Switching Safe Operating Area at $T_J = 150^\circ\text{C}$, Figure 2	200A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	625	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$	5	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering	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:

1. Pulse width limited by maximum junction temperature.

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Collector to Emitter Breakdown Voltage	BV_{CES}	$I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V	
Emitter to Collector Breakdown Voltage	BV_{ECS}	$I_C = -10\text{mA}$, $V_{GE} = 0\text{V}$	20	-	-		
Collector to Emitter Leakage Current	I_{CES}	$V_{CE} = BV_{CES}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
			$T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	3.0	mA
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = 40\text{A}$, $V_{GE} = 15\text{V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-	1.7	2.7	V
			$T_J = 125^\circ\text{C}$	-	1.5	2.0	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{CE} = V_{GE}$	4.5	5.6	7	V	
Gate to Emitter Leakage Current	I_{GES}	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 250	nA	
Switching SOA	SSOA	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $R_G = 2.2\Omega$, $V_{GE} = 15\text{V}$ $L = 100\mu\text{H}$, $V_{CE} = 600\text{V}$	200	-	-	A	
Gate to Emitter Plateau Voltage	V_{GEP}	$I_C = 40\text{A}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.5	-	V	
On-State Gate Charge	$Q_{g(ON)}$	$I_C = 40\text{A}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	$V_{GE} = 15\text{V}$	-	350	405	nC
			$V_{GE} = 20\text{V}$	-	450	520	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_d(ON)$	IGBT and Diode at $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 40\text{A}$ $V_{CE} = 0.65 BV_{CES}$ $V_{GE} = 15\text{V}$ $R_G = 2.2\Omega$ $L = 200\mu\text{H}$ Test Circuit (Figure 20)	-	25	-	ns	
Current Rise Time	t_r		-	18	-	ns	
Current Turn-Off Delay Time	$t_d(OFF)$		-	145	-	ns	
Current Fall Time	t_f		-	35	-	ns	
Turn-On Energy (Note 3)	E_{ON1}		-	400	-	μJ	
Turn-On Energy (Note 3)	E_{ON2}		-	850	-	μJ	
Turn-Off Energy (Note 2)	E_{OFF}		-	370	-	μJ	

HGTG40N60A4

Electrical Specifications T_J = 25°C, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	IGBT and Diode at T _J = 125°C I _{CE} = 40A V _{CE} = 0.65 BV _{CES} V _{GE} = 15V R _G = 2.2Ω L = 200μH Test Circuit (Figure 20)	-	27	-	ns
Current Rise Time	t_{r1}		-	20	-	ns
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	185	225	ns
Current Fall Time	t_{f1}		-	55	95	ns
Turn-On Energy (Note 3)	E _{ON1}		-	400	-	μJ
Turn-On Energy (Note 3)	E _{ON2}		-	1220	1400	μJ
Turn-Off Energy (Note 2)	E _{OFF}		-	700	800	μJ
Thermal Resistance Junction To Case	R _{θJC}	-	-	0.2	°C/W	

NOTES:

2. Turn-Off Energy Loss (E_{OFF}) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero (I_{CE} = 0A). All devices were tested per JEDEC Standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss.
3. Values for two Turn-On loss conditions are shown for the convenience of the circuit designer. E_{ON1} is the turn-on loss of the IGBT only. E_{ON2} is the turn-on loss when a typical diode is used in the test circuit and the diode is at the same T_J as the IGBT. The diode type is specified in Figure 20.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

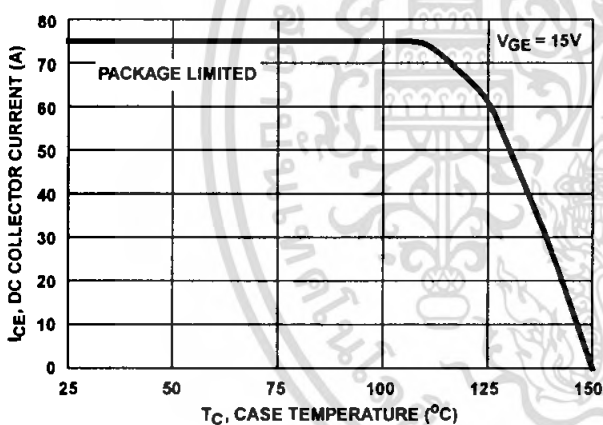


FIGURE 1. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

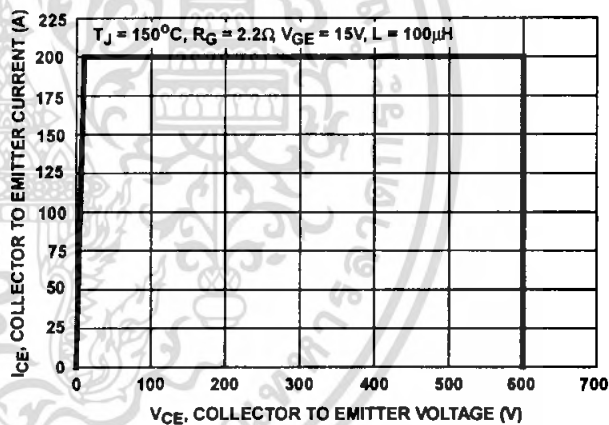


FIGURE 2. MINIMUM SWITCHING SAFE OPERATING AREA

HGTG40N60A4

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

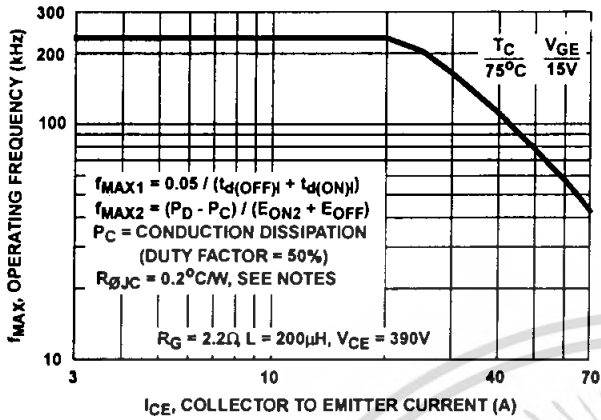


FIGURE 3. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

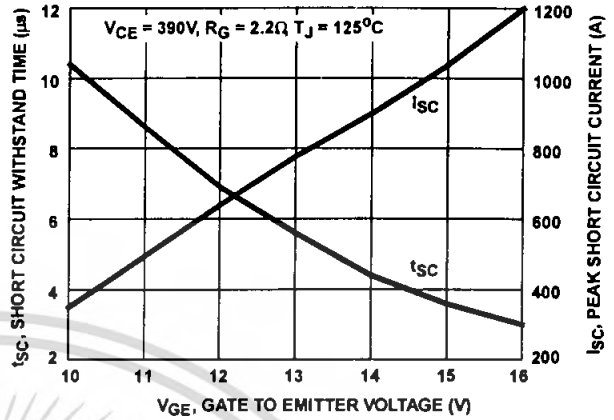


FIGURE 4. SHORT CIRCUIT WITHSTAND TIME

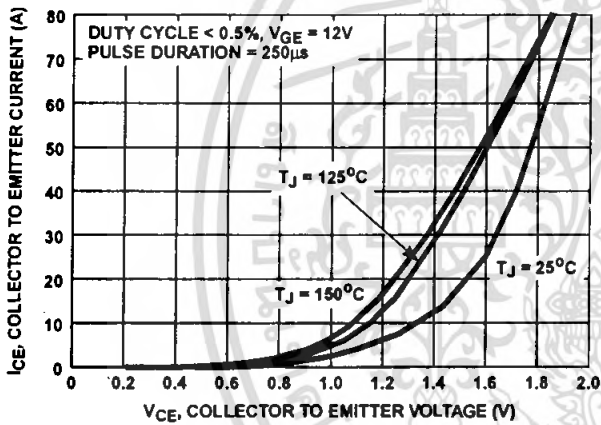


FIGURE 5. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

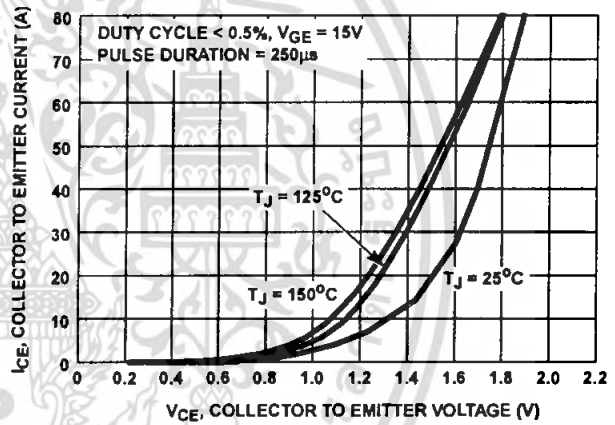


FIGURE 6. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

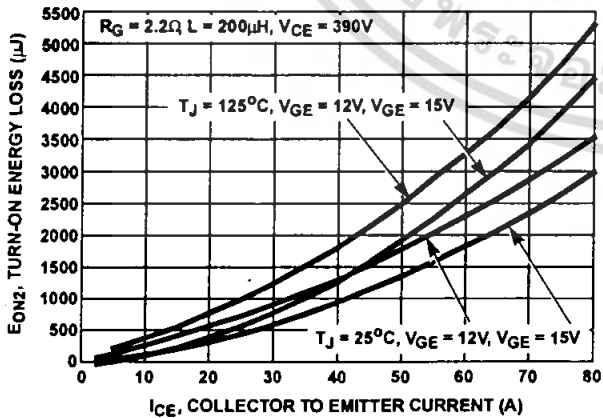


FIGURE 7. TURN-ON ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

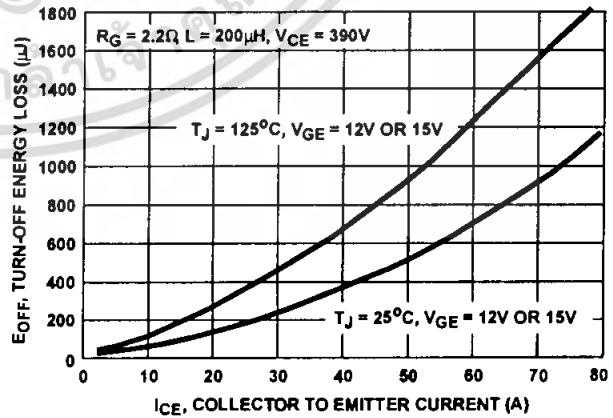


FIGURE 8. TURN-OFF ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

HGTG40N60A4

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

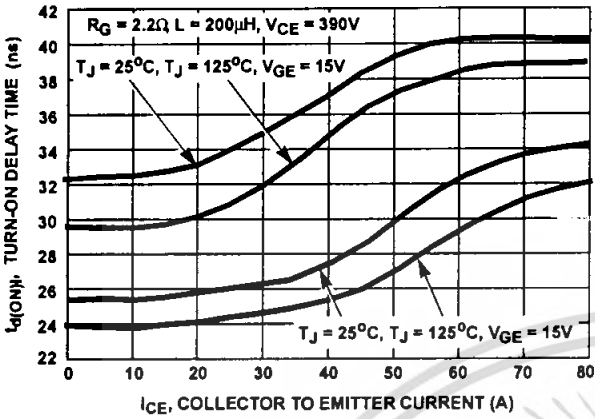


FIGURE 9. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

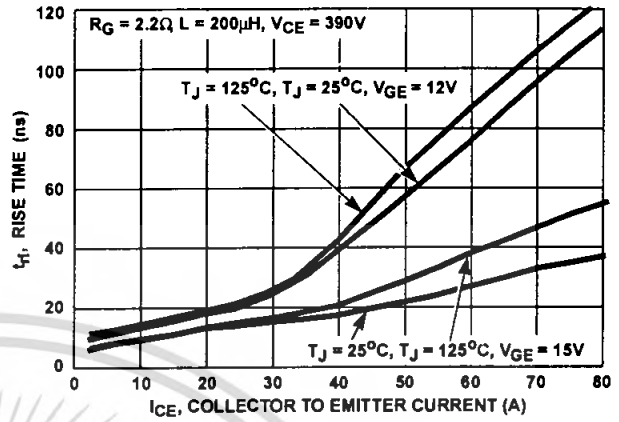


FIGURE 10. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

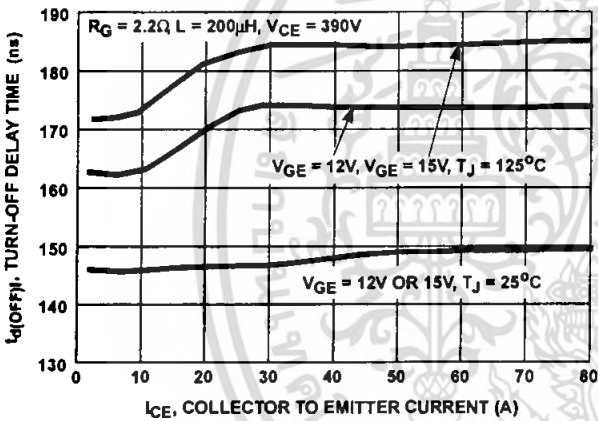


FIGURE 11. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

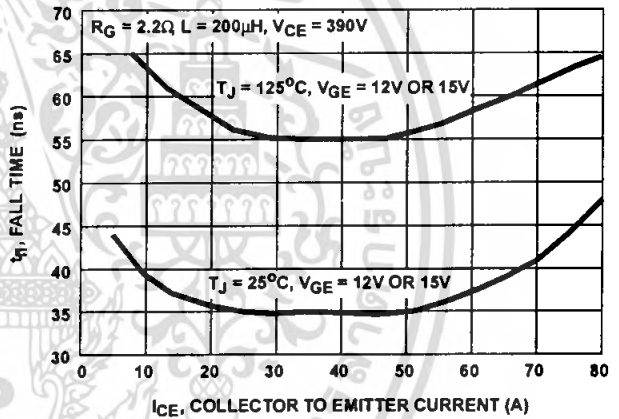


FIGURE 12. FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

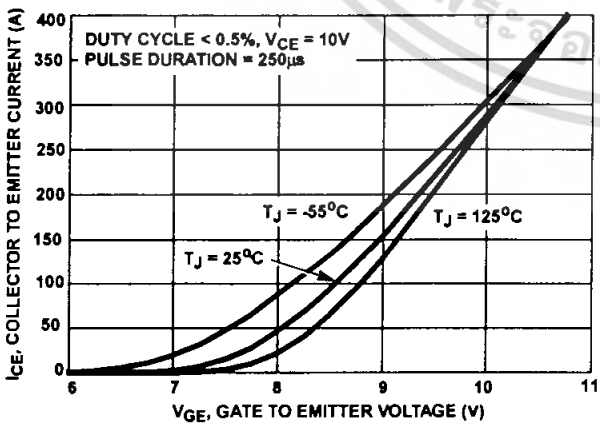


FIGURE 13. TRANSFER CHARACTERISTIC

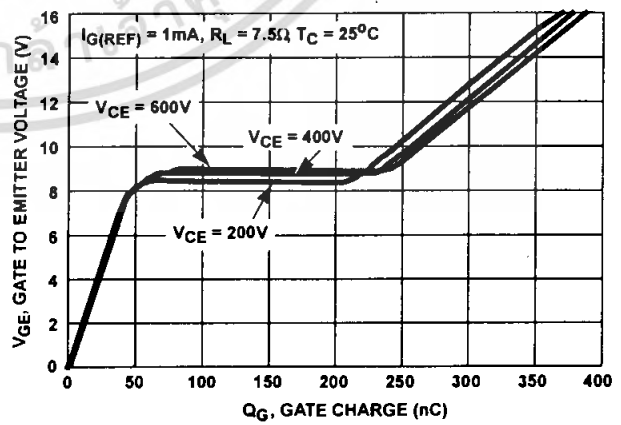


FIGURE 14. GATE CHARGE WAVEFORMS

HGTG40N60A4

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

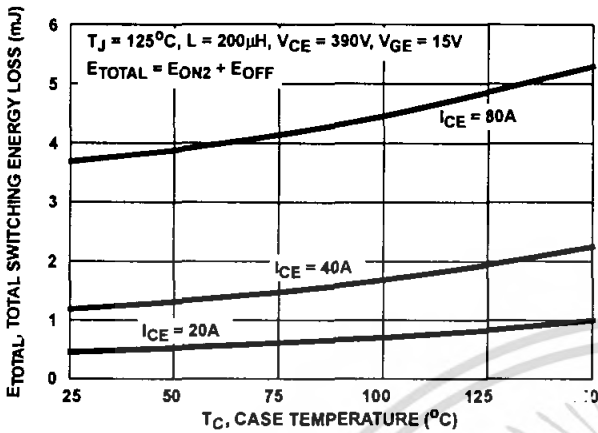


FIGURE 15. TOTAL SWITCHING LOSS vs CASE TEMPERATURE

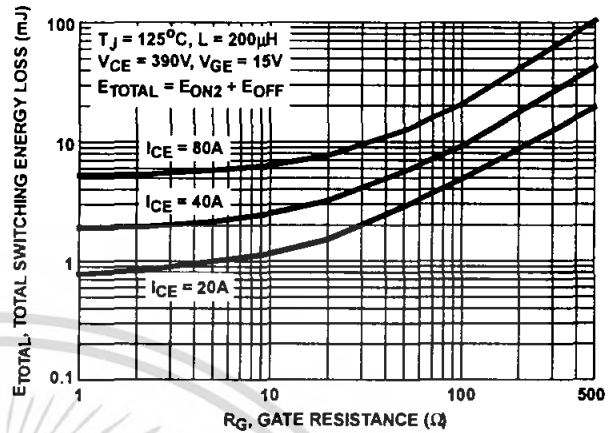


FIGURE 16. TOTAL SWITCHING LOSS vs GATE RESISTANCE

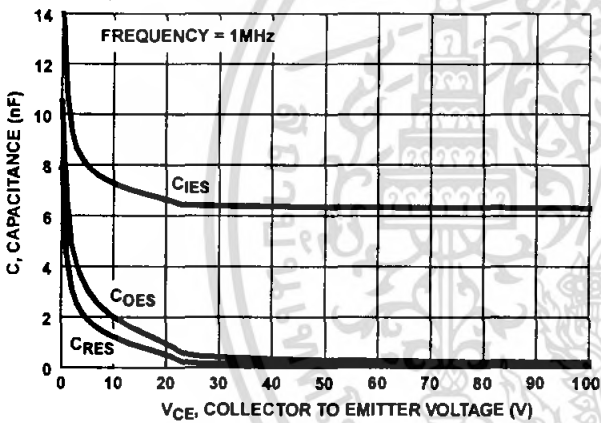


FIGURE 17. CAPACITANCE vs COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE

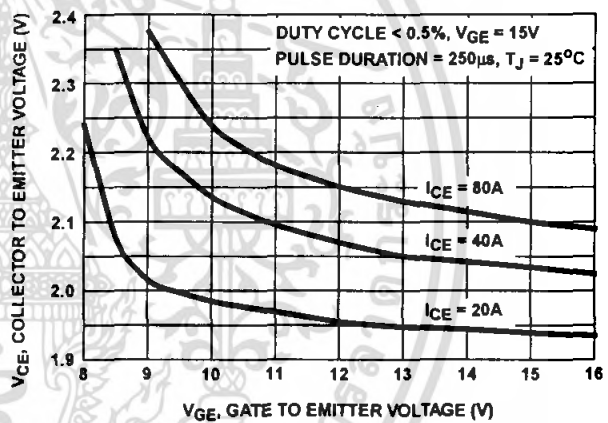


FIGURE 18. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE vs GATE TO EMITTER VOLTAGE

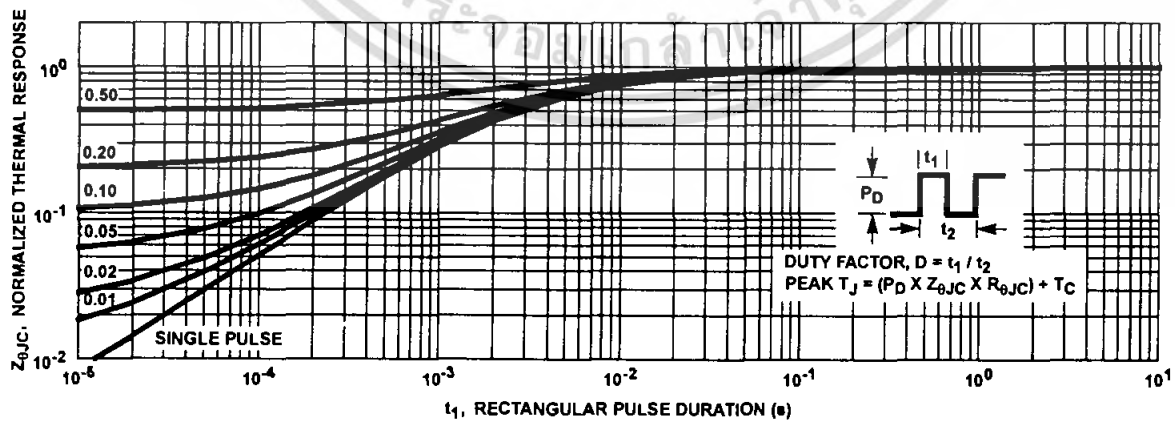


FIGURE 19. NORMALIZED TRANSIENT THERMAL RESPONSE, JUNCTION TO CASE

Test Circuit and Waveforms

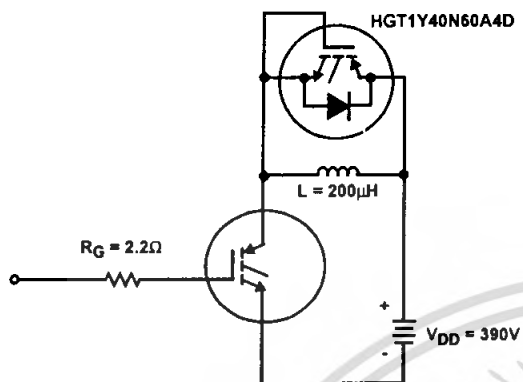


FIGURE 20. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

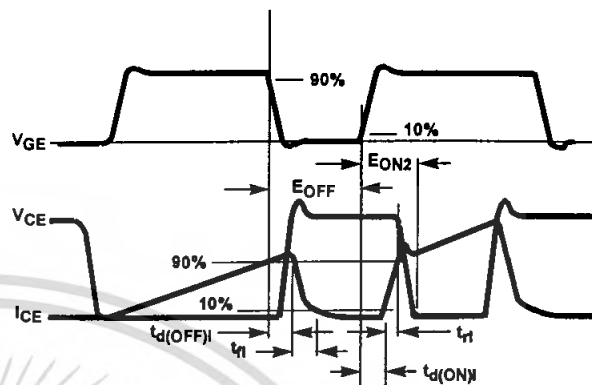


FIGURE 21. SWITCHING TEST WAVEFORMS

Handling Precautions for IGBTs

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and application procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of V_{GEM} . Exceeding the rated V_{GE} can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic Zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external Zener is recommended.

Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 3) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current (I_{CE}) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 6, 7, 8, 9 and 11. The operating frequency plot (Figure 3) of a typical device shows f_{MAX1} or f_{MAX2} ; whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

f_{MAX1} is defined by $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{d(OFF)|} + t_{d(ON)|})$. Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible. $t_{d(OFF)|}$ and $t_{d(ON)|}$ are defined in Figure 21. Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than T_{JM} . $t_{d(OFF)|}$ is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

f_{MAX2} is defined by $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON2})$. The allowable dissipation (P_D) is defined by $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{θJC}$. The sum of device switching and conduction losses must not exceed P_D . A 50% duty factor was used (Figure 3) and the conduction losses (P_C) are approximated by $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$.

E_{ON2} and E_{OFF} are defined in the switching waveforms shown in Figure 21. E_{ON2} is the integral of the instantaneous power loss ($I_{CE} \times V_{CE}$) during turn-on and E_{OFF} is the integral of the instantaneous power loss ($I_{CE} \times V_{CE}$) during turn-off. All tail losses are included in the calculation for E_{OFF} ; i.e., the collector current equals zero ($I_{CE} = 0$).

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FACT Quiet Series™	LittleFET™	Power247™	SuperSOT™-6
ActiveArray™	FAST®	MICROCOUPLER™	PowerTrench®	SuperSOT™-8
Bottomless™	FASTr™	MicroFET™	QFET®	SyncFET™
CoolFET™	FRFET™	MicroPak™	QS™	TinyLogic®
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	MICROWIRE™	QT Optoelectronics™	TINYOPTO™
DOVE™	GTO™	MSX™	Quiet Series™	TruTranslation™
EcoSPARK™	HiSeC™	MSXPro™	RapidConfigure™	UHC™
E ² CMOS™	i ² C™	OCX™	RapidConnect™	UltraFET®
EnSigna™	ImpliedDisconnect™	OCXPro™	SILENT SWITCHER®	VCX™
FACT™	ISOPANAR™	OPTOLOGIC®	SMART START™	
Across the board. Around the world.™		OPTOPLANAR™	SPM™	
The Power Franchise™		PACMAN™	Stealth™	
Programmable Active Droop™		POP™	SuperSOT™-3	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

1N5817 THRU 1N5819

SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER

Reverse Voltage 20 to 40 Volts

Forward Current - 1.0Ampere

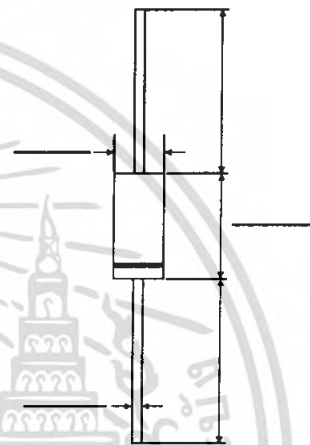
FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- Metal silicon junction ,majority carrier conduction
- Guard ring for overvoltage protection
- Low power loss ,high efficiency
- High current capability ,Low forward voltage drop
- High surge capability
- For use in low voltage ,high frequency inverters, free wheeling ,and polarity protection applications
- High temperature soldering guaranteed:250 C/10 seconds at terminals, 0.375"(9.5mm)lead length,5lbs.(2.3kg)tension

MECHANICAL DATA

- Case: JEDEC DO-41 malded plastic body
- Terminals: Plated axial leads, solderable per MIL-STD-750,method 2026
- Polarity: color band denotes cathode end
- Mounting Position: Any
- Weight: 0.012ounce, 0.33 gram

DO-41



Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Ratings at 25 C ambient temperature unless otherwise specified ,Single phase ,half wave ,resistive or inductive load. For capacitive load,derate by 20%.)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Maximum repetitive peak reverse voltage	VRRM		Volts
Maximum RMS voltage	VRMS	28	Volts
Maximum DC blocking voltage	VDC	40	Volts
Maximum non-repetitive peak reverse voltage	VRSM	24 48	Volts
Maximum average forward rectified current 0.375"(9.5mm)lead length at TL=90 C	I(AV)	1.0	Amp
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method) at TL=70 C	IFSM	25.0	Amps
Maximum instantaneous forward voltage at 1.0 A(note 1)	VF		Volts
Maximum instantaneous forward voltage at 3.1 A(note 1)	VF	0.875	Volts
Maximum instantaneous reverse current at rated DC blocking voltage(Note 1)	IR	TA=25°C	0.5
		TA=100°C	10.0
Typical junction capacitance(Note 3)	CJ	110.0	PF
Typical thermal resistance(Note 2)	Rθ JA	50.0	°C/W
	Rθ JL	15.0	°C/W
Operating junction and storage temperature range	TJTSG	-65 to +125	°C

Notes: 1.Pulse test: 300 μs pulse width,1% duty cycle

2.Thermal resistance (from junction to ambient)Vertical P.C.B. mounted , with 1.5X1.5"(38X38mm)copper pads

3.Measured at 1.0MHz and reverse voltage of 4.0 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES 1N5817 THRU 1N5819



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GOOD-ARK

1N4728 THRU 1N4764

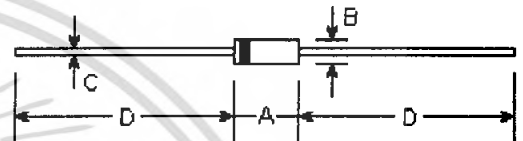
SILICON PLANAR POWER ZENER DIODES

Features

Silicon Planar Power Zener Diodes

for use in stabilizing and clipping circuits with high power rating. Standard Zener voltage tolerance is $\pm 10\%$. Add suffix "A" for $\pm 5\%$ tolerance. Other tolerances available upon request.

DO-41



DIM	DIMENSIONS				Note
	inches		mm		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
A	-	0.169	-	4.3	
B	-	0.110	-	2.8	ϕ
C	-	0.031	-	0.8	ϕ
D	1.102	-	28.0	-	

Absolute Maximum Ratings ($T_j = 25^\circ\text{C}$)

	Symbols	Values	Units
Zener current see Table "Characteristics"			
Power dissipation at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	P_{tot}	1 ⁽¹⁾	W
Junction temperature	T_j	200	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	T_s	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

Note:

(1) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.

Characteristics at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

	Symbols	Min.	Typ.	Max.	Units
Thermal resistance junction to ambient Air	$R_{\theta JA}$	-	-	170 ⁽¹⁾	K/W
Forward voltage at $I_f = 200\text{mA}$	V_f	-	-	1.2	V

Note:

(1) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type	Zener voltage range ³⁾		Maximum Zener Impedance ¹⁾			Reverse leakage current		Surge current at $T_A=25^\circ\text{C}$	Maximum regulator current ²⁾
	V_{znom}	I_{zT}	r_{zT} and r_{zK} at I_{zK}			I_R at V_R		I_R	I_{zM}
	V	mA	Ω	Ω	mA	μA	V	mA	mA
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	150	1	1375	275
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	100	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	50	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91
1N4741	11	23	8	700	0.25	5	8.4	414	83
1N4742	12	21	9	700	0.25	5	9.1	380	76
1N4743	13	19	10	700	0.25	5	9.9	344	69
1N4744	15	17	14	700	0.25	5	11.4	304	61
1N4745	16	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285	57
1N4746	18	14	20	750	0.25	5	13.7	250	50
1N4747	20	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225	45
1N4748	22	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205	41
1N4749	24	10.5	25	750	0.25	5	18.2	190	38
1N4750	27	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170	34
1N4751	30	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150	30
1N4752	33	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135	27
1N4753	36	7.0	50	1000	0.25	5	27.4	125	25
1N4754	39	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115	23
1N4755	43	6.0	70	1500	0.25	5	32.7	110	22
1N4756	47	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95	19
1N4757	51	5.0	95	1500	0.25	5	38.8	90	18
1N4758	56	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80	16
1N4759	62	4.0	125	2000	0.25	5	47.1	70	14
1N4760	68	3.7	150	2000	0.25	5	51.7	65	13
1N4761	75	3.3	175	2000	0.25	5	56.0	60	12
1N4762	82	3.0	200	3000	0.25	5	62.2	55	11
1N4763	91	2.8	250	3000	0.25	5	69.2	50	10
1N4764	100	2.5	350	3000	0.25	5	76.0	45	9

Notes:

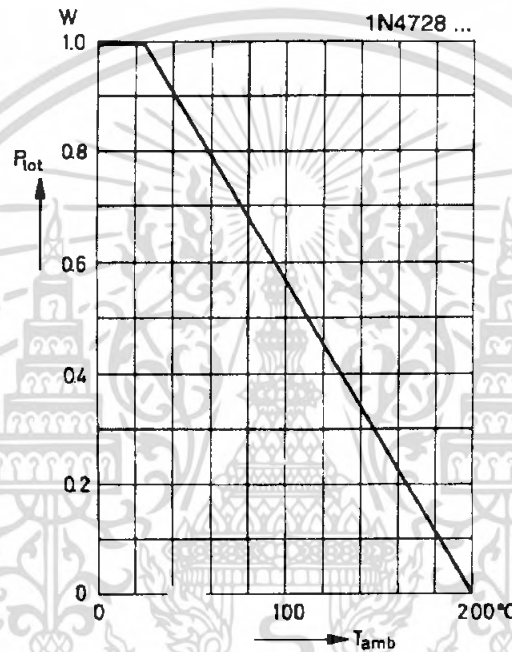
- (1) The Zener Impedance is derived from the 60 Hz AC voltage which results when an AC current having an RMS value equal to 10% of the Zener current (I_{zT} or I_{zK}) is superimposed on I_{zT} or I_{zK} . Zener Impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units.
- (2) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.
- (3) Measured under thermal equilibrium and DC test conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES

Admissible power dissipation versus ambient temperature

Valid provided that leads are kept at ambient
temperature at a distance of 10 mm from case.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้