

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดโปรแกรมค่าแรงดันและจำกัดค่ากระแส

PROGRAMMABLE D.C. VOLTAGE
AND LIMIT CURRENT POWER SUPPLY



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดโปรแกรมค่าแรงดันและจำกัดค่ากระแส
PROGRAMMABLE D.C. VOLTAGE AND LIMIT CURRENT
POWER SUPPLY

ผู้จัดทำ นายเทพสัมฤทธิ์ บุญยังมี 47015284
นายธนากร บุญพิเศษ 47015287


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ กมวัชระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดโปรแกรมค่าแรงดันและจำกัดค่ากระแส

โดย

เทพสัมฤทธิ์ บุญมั่งมี 47015284

ธนากร บุญพิเศษ 47015287

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

เพื่อเป็นการออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) มาควบคุมการจ่ายกระแสและแรงดันของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อลดความผิดพลาดจากการปรับค่าด้วยมือของผู้ใช้และเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน โดยมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก(D/A) และวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล(A/D) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่กำหนดแรงดันและกระแส และนำค่าของแรงดันและกระแสจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ามาแสดงผลที่จอ LCD ตามลำดับ

PROGRAMMABLE D.C. VOLTAGE AND LIMIT CURRENT POWER SUPPLY

By

Mr.Tepsomrit Boonmungmee 47015284

Mr.Thanakharn Boonpised 47015287

Advisor

Assoc.Prof.Dr.Kiattisak Kumwachara

Academic Year 2006

ABSTRACT

To design and make power circuit is control by microcontroller that is take microcontroller to control current and voltage of power for decrease error from tune by owner and increase speed by digital to analog converter and analog to digital converter to be digital link between microcontroller and power circuit for control current voltage and take voltage and current from power circuit to show in LCD monitor

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งท่านเป็นผู้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่าง ๆ

ขอขอบคุณอาจารย์รัชชัย คำศรี ที่ให้คำแนะนำทางการเขียนโปรแกรม รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณ คุณอาริต ศิริพิน ที่ได้มอบเครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้มาใช้ในการทำโครงงาน รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	3
2.2 ไอซีเรกูเลเตอร์	6
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	8
2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอก	14
2.5 ไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกขนาด 8 บิต DAC-08	19
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	22
3.1 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	22
3.2 ส่วนควบคุมและสั่งการ	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	34
4.1 ผลของโครงการ	34
4.2 ผลการทดสอบวงจร	39
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป	49
5.1 วิจารณ์และสรุป	49

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งาน	ก
ภาคผนวก ข โปรแกรม	ข
ภาคผนวก ค คู่มือไอซีทีใช้ในโครงการ	ค



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ความสามารถในการทดสอบความเที่ยงตรงของแรงดันเอาต์พุตขณะที่ไม่มีโหลด	40
4.2 ความสามารถในการตั้งสเกลลงของเครื่อง	42
4.3 ความสามารถในการตั้งสเกลขึ้นของเครื่อง	42
4.4 แสดงการตั้งกระแสควบคุม	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	4
2.2 วงจรกรองกระแสแบบบังกัป	4
2.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ที่ใช้ตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์	5
2.4 แผนผังวงจรพื้นฐานของโวลต์เตจเรกูเลเตอร์	7
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	8
2.6 ระบบแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก	14
2.7 ทราานเฟอร์ฟังก์ชันในอุดมคติของ DAC ขนาด 3 บิต	15
2.8 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder	16
2.9 พื้นฐานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ R-2R	17
2.10 วงจรDAC แบบ R-2R ที่มีการใช้ออปแอมป์ ในการแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันไฟฟ้า	18
2.11 ลักษณะรูปร่างของ DAC 0800	19
2.12 การต่อ DAC-08 เพื่อให้แรงดันอนาลอกเอาต์พุตเป็นบวก	20
3.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรอง	22
3.2 ภาคควบคุมแรงดัน	23
3.3 ภาคจ่ายไฟและกระแสช็อบววก	24
3.4 ภาคจ่ายไฟและกระแสช็กลบ	25
3.5 วงจรตรวจจับกระแสเกิน	26
3.6 แผนผังการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของส่วนควบคุม	27
3.7 วงจรของสวิทช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์	27
3.8 วงจรของสวิทช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพค	28
3.9 การต่อคีย์แพคเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักษร	30
3.11 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษร	31
3.12 การต่อ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.13 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจ่ายไฟ	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจจับกระแสเกิน และวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก	34
4.2 แสดงคีย์แพด	35
4.3 แสดงจอแสดงผล LCD	35
4.4 แสดงชุดวงจรควบคุมกระแส	36
4.5 แสดงวงจรปรับแรงดัน	36
4.6 แสดงวงจรมิลเลอร์เคอร์เร็นท์	37
4.7 แสดงวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	37
4.8 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน	38
4.9 แสดงวงจรตัดการติดต่อกับโหลด	38
4.10 รูปแสดงวงจรทดสอบการสร้างแรงดัน	39
4.11 แสดงวงจรทดสอบการสร้างแรงดัน ขณะที่มีการใช้โหลดตัวต้านทาน	43
4.12 แสดงวงจรทดสอบการลัดวงจร	45
4.13 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับโหลดคริสตเตอร์	45
4.14 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อ โหลดคริสตเตอร์	46
4.15 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับโหลดอินดักแตนซ์	46
4.16 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อ โหลดอินดักแตนซ์	47
4.17 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับโหลดคาปาซิแตนซ์	47
4.18 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อ โหลดคาปาซิแตนซ์	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยทั่วไปที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าแรงดันเอาต์พุตนั้นพบปัญหาบางอย่าง คือ ในการทดลองที่ต้องการความถูกต้องของแรงดันเอาต์พุตสูงนั้น จะทำได้ยาก เนื่องจากคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จำกัด

ในด้านความละเอียดนั้นพบว่า การปรับค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานเพียงเล็กน้อย ทำให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปหลายโวลต์ ซึ่งถ้าต้องการความละเอียดระดับมิลลิโวลต์แล้วทำให้ปรับค่าได้ยากและต้องเสียเวลานานกว่าจะได้ค่าตามต้องการ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากโครงสร้างของตัวต้านทานปรับค่าได้ ถ้าเราแก้ไขโดยการเพิ่มตัวต้านทานปรับค่าได้อีกหนึ่งตัวเพื่อปรับใช้แบบหยาบและปรับแบบละเอียด ก็สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้แต่จะเกิดปัญหาในด้านความถูกต้องตามมาอีก

ในด้านความถูกต้องนั้นปัญหาที่พบคือ ค่าแรงดันที่ปรับไว้ในตอนแรกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากในหลักการของแหล่งจ่ายไฟก็คือการสร้างแรงดันอ้างอิง เมื่อแรงดันอ้างอิงเปลี่ยนแปลงย่อมมีผลกับแรงดันเอาต์พุตด้วย การที่แรงดันอ้างอิงเปลี่ยนแปลงได้เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง มีสาเหตุมาจากตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีผลกับอุณหภูมิ ในขณะที่ใช้งานอุณหภูมิย่อมมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ค่าความต้านทานเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลง

จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมาในข้างต้นทางผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงาน เพื่อสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีความถูกต้องสูงขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวมา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 1 ชุด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์
- 1.3.2 เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบ Dual Supply ปรับแรงดันด้านออกได้ตั้งแต่ 0-30 โวลต์ ตั้งสเกลได้ตั้งแต่ 0.1 - 5 โวลต์
- 1.3.3 ตั้งการตัดกระแสได้ตั้งแต่ 0.1 - 3 แอมป์แปร์
- 1.3.4 แสดงค่าแรงดันและกระแส ผ่านจอแสดงผล LCD
- 1.3.5 สามารถป้องกันการลัดวงจรได้
- 1.3.6 ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 โดยสั่งงานผ่านคีย์แพด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ช่วยให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องของแรงดันเอาต์พุต ทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีข้อแตกต่างกับแหล่งจ่ายไฟทั่วไป คือ จะมีการควบคุมการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

- 2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
- 2.2 ไอซีเรกูเลเตอร์
- 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877
- 2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอก
- 2.5 ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอกขนาด 8 บิต DAC-08

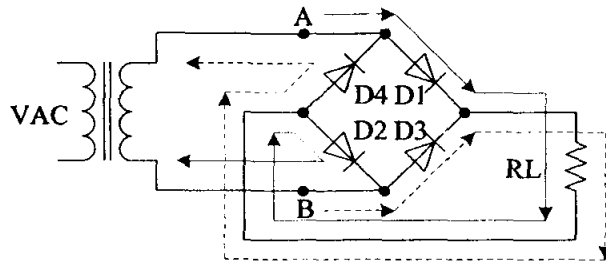
2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

2.1.1 การเรียงกระแส

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยส่วนใหญ่ จะใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงก็มีขั้วเดียวแน่นอน นั่นคือกระแสจะไหลในทิศทางเดียวกัน วงจรเรียงกระแสจึงเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น จึงนำไดโอดมาต่อเป็นวงจรเรียงกระแส ซึ่งวงจรเรียงกระแสสามารถแบ่งได้หลายชนิด แต่จะกล่าวถึงเฉพาะวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (bridge rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier) ประกอบด้วย ไดโอด 4 ตัว แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.1 ในวงจรบริดจ์นี้ไม่ต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดขมวดแบบมีแทปกลาง ซึ่งก็เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป ขั้วของด้านปลายของขดลวดขมวดจะมีขั้วตรงกันข้ามเสมอ ดังนั้นในแต่ละครึ่งไซเคิล ไดโอด 2 ตัวได้รับไบแอสกลับ โดยพิจารณาดังนี้

ในครึ่งไซเคิลแรก แรงดันที่จุด A จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด B ดังนั้นไดโอด $D1$ และ $D2$ จะได้รับไบแอสตรง ในขณะที่ไดโอด $D3$ และ $D4$ ได้รับไบแอสกลับ กระแสจะไหลออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด A ผ่านไดโอด $D1$ ตัวด้านทานที่เป็นโหลด RL ไดโอด $D2$ แล้วจึงไหลกลับเข้าสู่ขดลวดขมวดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด B



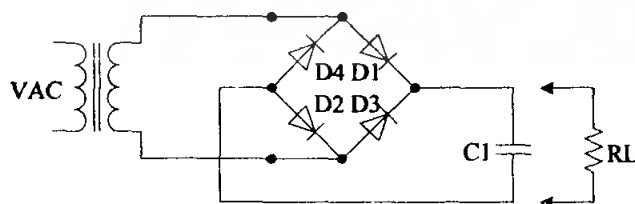
รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในครึ่งไซเคิลที่สอง ขั้วของกระแสไฟสลับจะเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม ทำให้จุด A มีขั้วเป็นลบ และจุด B มีขั้วเป็นบวก ภายใต้สภาวะนี้ไดโอด D3 และ D4 จะได้รับไบแอสตรง ส่วนไดโอด D1 และ D2 จะได้รับไบแอสกลับ กระแสจะไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด B ผ่าน ไดโอด D3 , RL และ D4 แล้วจึงไหลกลับเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าทางจุด A และเช่นเดียวกันกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทั่ว ๆ ไป ทิศทางการไหลของกระแสในตัวต้านทานที่เป็นโหลด จะมีทิศทางเดียวกันทั้งสองครึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ

ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเนื่องจากในวงจรีเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบกว่านี้ ดังนั้นต้องใช้วงจรกรองเพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบยิ่งขึ้น วงจรกรองในรูปแบบที่ง่ายที่สุด ได้แก่การต่อตัวเก็บประจุตัวเดียวขนานคร่อมตัวต้านทานที่เป็นโหลด

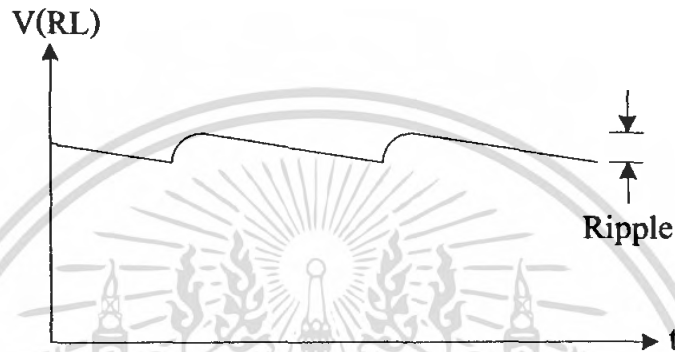
2.1.2 วงจรกรอง

หน้าที่ของวงจรกรองในแหล่งจ่ายไฟคือ ทำให้รูปคลื่นของไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อมนั้นราบเรียบขึ้น และทำให้ใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสตรงบริสุทธิ วงจรกรองที่ง่ายที่สุด ได้แก่ การต่อตัวเก็บประจุขนานกับทางออกของวงจรเรียงกระแสและโหลด วงจรกรองแบบนี้เรียกว่า วงจรกรองกระแสแบบบังก์บ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรกรองกระแสแบบบังก์บ

ในระหว่างที่แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสกำลังเพิ่มขึ้น ตัวเก็บประจุ C_1 จะได้รับการประจุ หลังจากทีระดับแรงดันสูงสุดได้ผ่านไป โดยระดับแรงดันที่ผ่านการเรียงกระแสเริ่มลดลง และมาถึงจุดที่ความต่างศักย์ลดต่ำกว่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ สำหรับกรองกระแส C_1 ที่ระยะเวลานั้นประจุที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุจะเริ่มคายประจุเข้าสู่โหลด RL ซึ่งการกระทำนี้จะมีผลในการเติมเข้าไปในช่องว่างระหว่างขดคลื่น เป็นการเพิ่มระดับแรงดันเฉลี่ยที่ขาออก ให้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันสูงสุด (V_p)



รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ที่ใช้ตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์

ประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุ กำหนดโดย

1. ขนาดของตัวเก็บประจุ
2. ขนาดของโหลด
3. เวลาระหว่างพัลส์แต่ละลูก

ปัจจัยทั้งสามนี้ สัมพันธ์กันด้วยสมการที่ (2.1)

$$T = RL \times C_1 \quad (2.1)$$

- เมื่อ T คือ เวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)
 RL คือ ความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 C_1 คือ ความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

ผลของ $RL \times C_1$ เรียกว่า ค่าคงที่เวลา (time constant) ตัวเก็บประจุที่อัดประจุแล้วจะสูญเสีย 63.2 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน ในเวลา T วินาที และใช้เวลาประมาณ $5 \times T$ วินาที เพื่อคายประจุทั้งหมดออกจากตัวเก็บประจุ

การเลือกค่าตัวเก็บประจุ สามารถทำได้ ด้วยสมการที่ (2.2) ดังนี้

$$C_1 = \left(\frac{I}{V_{P-P}} \right) \times T \quad (2.2)$$

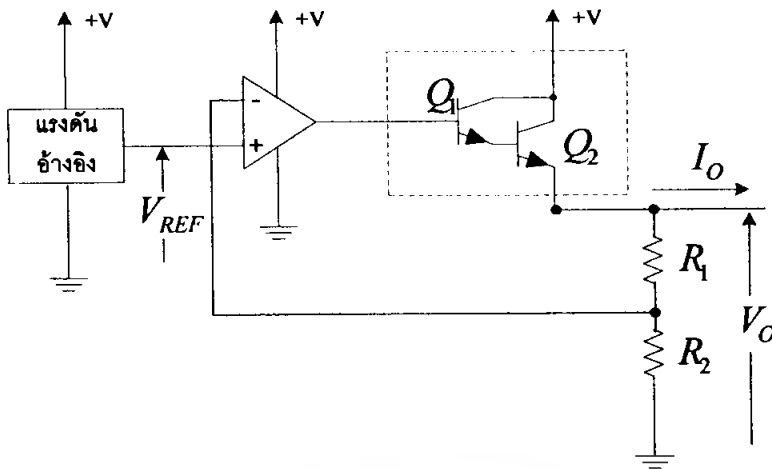
- เมื่อ C_1 คือ ความจุไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นฟารัด (F)
 I คือ กระแสไหลด ในหน่วยแอมป์แปร์ (A)
 V_{P-P} คือ ค่ายอดถึงยอดของริบเบิลมีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
 T คือ คาบเวลามีหน่วยเป็นวินาที (s)

2.2 ไอซีเรกูเลเตอร์

โวลเตจเรกูเลเตอร์ คืออุปกรณ์หรือวงจรประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันคงที่ค่าหนึ่งให้กับ โหลด ภายในประกอบด้วยวงจรซึ่งทำหน้าที่อย่างอิสระในการจ่ายกระแสไปยังโหลด และถูกควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ ทั้งนี้ปริมาณกระแสที่จ่ายจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณโหลด โดยไม่ขึ้นกับแรงดันอินพุตที่จ่ายให้กับเรกูเลเตอร์ หรืออูณหภูมิจริง วงจรพื้นฐานของโวลเตจเรกูเลเตอร์ สามารถจำแนกลักษณะวงจรพื้นฐานออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. เรกูเลเตอร์แบบค่อขนาน (shunt regulator)
2. เรกูเลเตอร์แบบค่อผ่านอนุกรม (series pass regulator)
3. เรกูเลเตอร์แบบสวิตชิง (switching regulator)

แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรกูเลเตอร์แบบค่อผ่านอนุกรม ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้ แผนผังวงจรพื้นฐานของเรกูเลเตอร์แบบค่อผ่านอนุกรม แบ่งย่อยออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 2.4 แผนผังวงจรพื้นฐานของโวลต์เตจเรกูเลเตอร์

1. วงจรแรงดันอ้างอิง (voltage reference circuit) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นอิสระต่อทั้งอุณหภูมิและแรงดันที่จ่ายให้กับเรกูเลเตอร์
2. วงจรขยายความผิดพลาด (error amplifier) ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันระหว่างแรงดันอ้างอิงและสัดส่วนของแรงดันเอาต์พุตที่ป้อนกลับมาที่ขาอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์
3. ซีรี่พาสทรานซิสเตอร์ (series pass transistors) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสเอาต์พุตให้เพียงพอกับความต้องการของโหลด

เมื่อป้อนแรงดันอินพุตให้กับ ไอซีเรกูเลเตอร์ แรงดันเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับมายังอินพุตโดยผ่าน R_1 และ R_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน โดยแรงดันที่ตกคร่อม R_2 (V_{R_2}) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันเอาต์พุต โดยวงจรขยายความผิดพลาดจะทำหน้าที่รักษาสัดส่วนของแรงดันอ้างอิง (V_{REF}) กับ V_{R_2} ให้เท่า ถ้าแรงดัน V_{R_2} มากกว่า V_{REF} วงจรขยายความผิดพลาดจะลดระดับการขยายสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ทรานซิสเตอร์จ่ายกระแสลดลง เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดลดลงด้วย

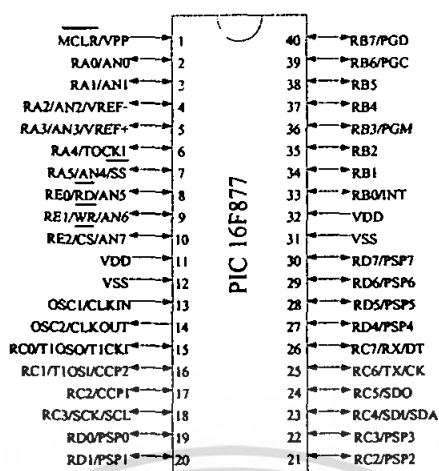
ถ้าแรงดัน V_{R_2} น้อยกว่า V_{REF} วงจรขยายความผิดพลาดจะเพิ่มระดับการขยายสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ทรานซิสเตอร์จ่ายกระแสเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้นด้วยการกระทำแบบนี้จะทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ สมการของแรงดัน V_{REF} และ V_O เป็นดังนี้

$$V_{REF} = (V_O R_2) / (R_1 + R_2) \quad (2.3)$$

$$V_O = V_{REF} (R_1 + R_2) / R_2 \quad (2.4)$$

$$V_O = V_{REF} (1 + R_1) / R_2 \quad (2.5)$$

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877



รูปที่ 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

2.3.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีโครงสร้างหลายลักษณะ ทั้ง 8 ขา , 14 ขา , 28 ขา และ 40 ขา สามารถแบ่งหน่วยความจำได้ 3 แบบ คือ

1. หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช(FLASH Program Memory)
2. หน่วยความจำข้อมูล(Data Memory RAM) มีขนาดความจุ 64 ถึง 1536 ไบต์
3. หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม(EEPROM Data Memory) มีขนาดความจุ 256 ไบต์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีพอร์ตใช้งานทั้งสิ้น 5 พอร์ต คือ PORTA 6 บิต , PORTB 8 บิต , PORTC 8 บิต , PORTD 8 บิต และPORTE 3 บิต เป็นพอร์ตแบบมี 2 ทิศทาง คือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต และยังเป็นพอร์ตที่สามารถแปลงสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ได้อีกด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีพอร์ต อินพุตเอาต์พุต ขนาด 3 บิต , 6 บิต , 8 บิต จำนวน 5 พอร์ต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 1 ถึง 32 kwords
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม RAM 64 ถึง 1536 ไบต์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม EEPROM 256 ไบต์
- ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์
- ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต
- ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต
- ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต

- มีกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส(High Sink / Source Current) 25 mA
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter 10 บิต
- มีหน่วยความจำแบบแฟลช สามารถเขียนและลบได้มากกว่า 100,000 ครั้ง

2.3.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU:Central Processing Unit)

หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลกลางประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ หลายวงจร เช่น วงจรควบคุมเวลาและระบบการทำงาน(Timing and Control Unit) ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการทั้งหมดของวงจรทั้งหมดและควบคุมตามคำสั่งที่ได้รับ การคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก(ALU:Arithmetic and Logic Unit) โดยจะทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลทางคณิตศาสตร์และระบบลอจิก วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) จะทำหน้าที่แปลงคำสั่งทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) วงจรควบคุมการทำงานของเคาน์เตอร์ (Program Counter) วงจรควบคุมสัญญาณนาฬิกา (Oscillator) ตลอดจนหน่วยความจำภายใน และอื่น ๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง เป็นต้น

2.3.1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องคำนึงถึงชนิดของหน่วยความจำและวิธีการเข้าถึงด้วย สำหรับหน่วยความจำในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้นจะมีหน่วยความจำในการใช้งาน ดังนี้

- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช(FLASH Program Memory)

หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash ROM) ในปัจจุบันนี้หน่วยความจำชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์หลายบริษัทหลายรุ่น โดยมีคุณสมบัติในการเขียนโปรแกรมและลบโปรแกรมได้มากกว่า 100,000 ครั้ง ซึ่งการทำงานจะมีความเร็วสูงมากเหมาะกับการพัฒนางานที่มีขนาดใหญ่

- หน่วยความจำโปรแกรม (Data Memory RAM)

หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้ใช้เก็บข้อมูลขณะประมวลผลโปรแกรม สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ขณะมีไฟเลี้ยง แต่เมื่อไม่จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลต่าง ๆ จะสลายไป หากหน่วยความจำส่วนนี้ไม่พอใช้งานจะต้องต่อหน่วยความจำแรมภายนอกเพิ่ม (External RAM หรือ Data Memory) ปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นมากชิปบางตัวจะมีการบรรจุหน่วยความจำประเภท Data Memory เข้าไปในชิปเลย

- หน่วยความจำแบบอีพรอม (EEPROM Data Memory)

หน่วยความจำแบบอีพรอม เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยกระแสไฟฟ้าในหน่วยความจำถาวรของ PROM (Programmable Read Only Memory) โดยภายในมี

การพัฒนาให้แรมที่มีหน่วยความจำชั่วคราวให้เก็บข้อมูลได้ถาวรแบบหน่วยความจำรวม โดยสามารถเขียนและลบโปรแกรมจำนวนหลาย ๆ ครั้งได้

2.3.1.3 พอร์ตอินพุต / เอาต์พุต (I / O port)

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานและคุณสมบัติของพอร์ต โดยสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกทำหน้าที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตได้

ในตัว CPU ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ขนาด 40 ขา มีขาสัญญาณที่ใช้ติดต่อ อินพุต/เอาต์พุตพอร์ต มีจำนวนขาสัญญาณทั้งสิ้น 33 ขา ดังนี้

- PORTA RA0-RA5 จำนวน 6 ขา
- PORTB RB0-RB7 จำนวน 8 ขา
- PORTC RC0-RC7 จำนวน 8 ขา
- PORTD RD0-RD7 จำนวน 8 ขา
- PORTE RE0-RE2 จำนวน 3 ขา

ขาสัญญาณแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีหน้าที่การทำงานดังนี้

1. PORT RA0-RA5 พอร์ต A มีขาสัญญาณจำนวน 6 ขา โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่ออินพุต / เอาต์พุตพอร์ต และยังทำหน้าที่เป็นอินพุตของสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ด้วย

RA0/AN0	- ขาสัญญาณติดต่ออินพุต / เอาต์พุตพอร์ต - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 0
RA1/AN1	- ขาสัญญาณติดต่ออินพุต / เอาต์พุตพอร์ต - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 1
RA2/AN2	- ขาสัญญาณติดต่ออินพุต / เอาต์พุตพอร์ต - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 2
RA3/AN3	- ขาสัญญาณติดต่ออินพุต / เอาต์พุตพอร์ต - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 3
RA4/TOCK1/C1OUT	- ขาสัญญาณนาฬิกา อินพุตไทมเมอร์ 0 - ขาสัญญาณเอาต์พุต เปรียบเทียบ ADC ช่อง 1
RA5/AN4/SS	- ขาสัญญาณอินพุต สำหรับ ADC ช่อง 4 - ขาสัญญาณ Slave Select สื่อสารพอร์ตอนุกรมแบบซิงโครนัส - ขาสัญญาณเอาต์พุต เปรียบเทียบ ADC ช่อง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.PORTB RB0-RB7 พอร์ต B มีขาสัญญาณจำนวน 8 ขา ภายในมีวงจรถ่วง (R-Pull_Up) ใช้ติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุตพอร์ต และยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอินพุตในการอินเตอร์รัพท์จากภายนอกด้วย

- | | |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RB0/INT | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณอินพุต รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากภายนอก |
| RB1 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุตเอาต์พุต พอร์ต |
| RB2 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุตเอาต์พุต พอร์ต |
| RB3/LVP | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุตเอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณอินพุตรับแรงดันต่ำ(5V) ถ้ามีการ Enable |
| RB4-RB7 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุตเอาต์พุต พอร์ต
- ภายในมีวงจรถ่วง (R-Pull_Up) และ Interrupt Logic
- ขาที่สามารถเกิดอินเตอร์รัพท์ได้ ถ้ามีการ Enable |

3.PORTC RC0-RC7 พอร์ต C มีขาสัญญาณจำนวน 8 ขา โดยพอร์ต C เป็นพอร์ตที่ติดต่อกับสัญญาณได้หลายรูปแบบ

- | | |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RC0/TI0SO/TICK1 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณเอาต์พุตวงจรถ่วงอสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์ 1
- ขาสัญญาณอินพุตของสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1 |
| RC1/TI0SI/CCP2 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณอินพุตวงจรถ่วงอสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์ 1
- ขาสัญญาณเอาต์พุตวงจรถ่วงเปรียบเทียบสัญญาณของโมดูล CCP2
- ขาสัญญาณเอาต์พุตของ PWM |
| RC2/CCP1 | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณเอาต์พุตวงจรถ่วงเปรียบเทียบสัญญาณของโมดูล CCP1
- ขาสัญญาณเอาต์พุตของ PWM |
| RC3/SCK/SCL | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจรถ่วง SPI (SCK)
- ขาสัญญาณนาฬิกาของระบบบัส I ² C (SCL) |
| RC4/SDI/SDA | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณอินพุต / ข้อมูลแบบอนุกรม ของระบบ SPI (SDI)
- ขาสัญญาณข้อมูลของระบบบัส I ² C (SCA) |
| RC5/SDO | - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาสัญญาณเอาต์พุต / ข้อมูลแบบอนุกรม ของระบบ SPI (SDO)
- RC6/TxD/CK - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณส่งข้อมูลแบบอนุกรม (TxD)
- ขาสัญญาณนาฬิกา / จิง โครนีส (CK)
- RC7/RxD/DT - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณรับข้อมูลแบบอนุกรม (RxD)
- ขาสัญญาณข้อมูล / จิง โครนีส (DT)

4.PORTD RD0-RD7 พอร์ต D มีขาสัญญาณจำนวน 8 ขา โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุตพอร์ต และยังทำหน้าที่ขยายพอร์ตแบบขนาน (PSP:Parallel Slave Port)

- RD0/PSP0 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
- RD1/PSP1 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
- RD1/PSP2 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
- RD1/PSP3 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
- RD1/PSP4 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
- RD1/PSP5 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
- RD1/PSP6 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
- RD1/PSP7 - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7

5.PORTE RE0-RE2 พอร์ต E มีขาสัญญาณจำนวน 3 ขา โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุตพอร์ต และยังทำหน้าที่เป็นอินพุตของสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ด้วย

- RE0/AN5/RD - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
- ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 5
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการอ่าน (RD:Read)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RE1/AN6/WR - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
 - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 6
 - ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเขียน (WR:Write)
- RE2/AN7/CS - ขาสัญญาณติดต่อกับอินพุต / เอาต์พุต พอร์ต
 - ขาสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 7
 - ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเลือกอุปกรณ์ (CS:Chip Select)

6. ขาสัญญาณทั่วไปจะมีหน้าที่ในการติดต่อกับสัญญาณดังนี้

- MCLR/Vpp - ขาสัญญาณสำหรับรีเซ็ต จะทำงานที่ลอจิก 0 (Master Clear Input)
 - ขาสัญญาณรับแรงดันโปรแกรม (Programming Voltage)
- OSC1/CLKIN - ขาสัญญาณสำหรับต่อคริสตอล / รับสัญญาณนาฬิกา
- OSC2/CLKIN - ขาสัญญาณสำหรับต่อคริสตอล / รับสัญญาณนาฬิกา
- Vdd - ขาดไฟเลี้ยง (+5V)
- Vss - ขาดกราวด์

2.3.2 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 แบบ Flash Memory มีหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) แบบ RAM 368 ไบต์ และ EEPROM 256 ไบต์ โดย CPU จะมีการจัดสรรพื้นที่ในการใช้งานทั้งหมด 4 bank ในแต่ละ bank จะมีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ โดยในแต่ละ bank จะมีพื้นที่ในการทำงานที่แตกต่างกัน การจัดสรรพื้นที่ที่มีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ bank 0 Address (0x00-0x7F)

Address (0x00-0x1F) เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์

Address (0x20-0x7F) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 90 ไบต์

พื้นที่ bank 1 Address (0x80-0xFF)

Address (0x80-0x9F) เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์

Address (0xA0-0xEF) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 80 ไบต์

Address (0xF0-0xFF) พื้นที่ในการทำงานจะเหมือนกับ Address (0x70-0x7F) ใน bank 0 โดยสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้

พื้นที่ bank 2 Address (0x100-0x17F)

Address (0x100-0x10F) เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์

Address (0x110-0x11F) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 16 ไบต์

Address (0x120-0x16F) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 80 ไบต์

Address (0x170-0x17F) พื้นที่ในการทำงานจะเหมือนกับ Address (0x70-0x7F) ใน bank 0 โดยสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้

พื้นที่ bank 3 Address (0x180-0x1FF)

Address (0x180-0x18F) เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์

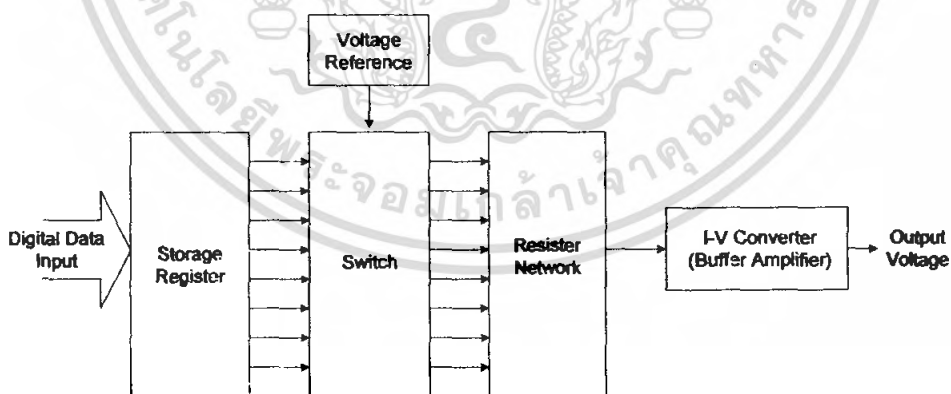
Address (0x190-0x19F) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 16 ไบต์

Address (0x1A0-0x1EF) เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไปโดยมีขนาด 80 ไบต์

Address (0x1F0-0x1FF) พื้นที่ในการทำงานจะเหมือนกับ Address (0x70-0x7F) ใน bank 0 โดยสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้

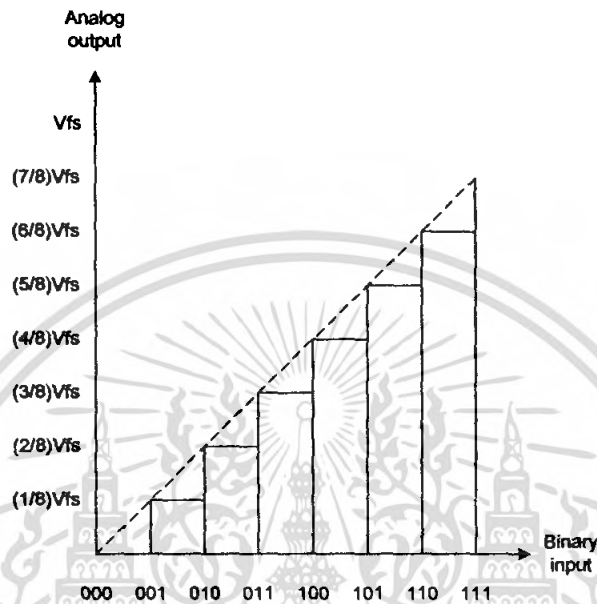
2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านอนาลอก(Analog) จะสามารถควบคุมการทำงานได้โดยการให้ระดับแรงดันที่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำระบบดิจิทัล(Digital) มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านอนาลอก จะต้องมียุทธศาสตร์ที่สามารถเชื่อมต่อระหว่างระบบดิจิทัลกับระบบอนาลอก หรือวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก(Digital to Analog Converter : DAC)



รูป 2.6 ระบบแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

ส่วนสำคัญของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกคือ อาเรย์สวิทช์ที่ควบคุมด้วยลอจิกซึ่งมีจำนวน N ชุด เท่ากับจำนวนไบนารีบิต(Binary Bit) สวิทช์เหล่านี้จะตัดต่อแรงดันอ้างอิงขนาดหนึ่งเข้ากับวงจรอาเรย์รีซิสเตอร์(Array Resistor) ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดน้ำหนักตามรหัสไบนารี(Binary Code) เป็นระดับของกระแส จากนั้นกระแสจะถูกแปลงเป็นแรงดันที่สัมพันธ์ต่อกัน ด้วยบัฟเฟอร์แอมพลิไฟเออร์(Buffer Amplifier)



รูปที่ 2.7 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันในอุดมคติของ DAC ขนาด 3 บิต

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่า เป็นความสัมพันธ์ของแรงดันอนาลอกกับรหัสไบนารี 3 บิต ซึ่งเมื่อรหัสไบนารีเพิ่มขึ้น แรงดันอนาลอกก็จะเพิ่มขึ้นในลักษณะขั้นบันได ขนาดของแต่ละขั้นจะหาได้จาก

$$\text{Resolution} = V_{FS} / 2^N \quad (2.6)$$

เมื่อ V_{FS} คือ ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุด

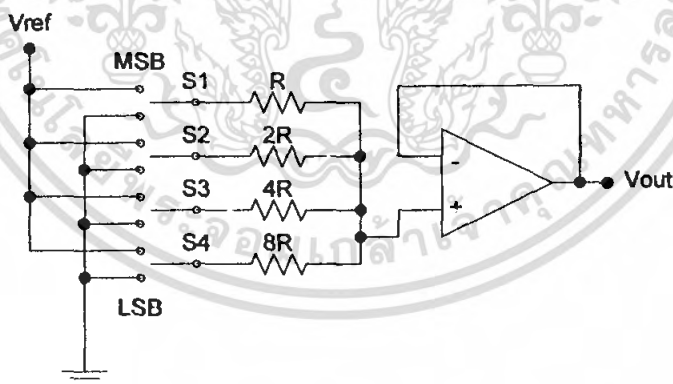
N คือ จำนวนบิตของอินพุต

ถ้าเพิ่มจำนวนบิต ความละเอียดของ DAC จะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใช้ DAC ขนาด 12 บิต และ $V_{FS} = 5 \text{ V}$ ความละเอียดจะเท่ากับ $5 \text{ V} / 4096 = 1.22 \text{ mV}$ ซึ่งจะมากกว่า DAC ขนาด 8 บิตถึง 16 เท่า

2.4.1 ความถูกต้องของ DAC

ความถูกต้องของ DAC จะขึ้นกับหลายส่วน เช่น ควอนไทเซชันเออเรอร์(Quantization Error) DAC บิต $V_{FS} = 5.0 \text{ V}$ เอาต์พุตจะมีความละเอียด 19.53 mV ถ้าต้องการเอาต์พุต 4.00 V DAC จะให้เอาต์พุตได้ใกล้เคียงที่สุดคือ 4.04 V ($19.53 \text{ mV} \times 205$) ผิดพลาด 4 mV โดยทั่วไปค่าผิดพลาดจะเท่ากับ $\pm 0.5 \text{ LSB}$ (Least significant bit) ตัวอย่างเช่น DAC 8 บิต ความผิดพลาดจะเป็น 1 ใน 512 หรือ $\pm 0.195 \%$ ออฟเซ็ทเออเรอร์และเกนเออเรอร์(Offset Error and Gain Errors) เมื่ออินพุตไบนารีเท่ากับ 0 แต่เอาต์พุตของ DAC ไม่เป็น 0 เรียกว่า offset error และอาจเกิดร่วมกับ gain error ความผิดพลาดเหล่านี้ทำให้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ DAC โค้งขึ้นหรือลง ขึ้นอยู่กับความไม่สมมูลภายใน DAC อย่างไรก็ตาม offset error และ gain error จะแก้ไขได้โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้ภายนอก ความไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinearity Error) คือค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ DAC เทียบกับเส้นตรงจากจุดศูนย์และจุดสูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดของส่วนประกอบภายใน DAC ในคาต้าชีท(Data Sheet) ของ DAC จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสูงสุด หรือระบุเป็นเศษส่วนของ LSB (โดยทั่วไปคือ $\pm 0.5 \text{ LSB}$) เวลาเซตติง(Settling time) คือช่วงเวลานับแต่ให้อินพุตจนกระทั่ง DAC ให้เอาต์พุต วัดเมื่อเอาต์พุตที่ได้ผิดพลาดจากค่าจริงน้อยกว่า 0.5 LSB ค่าเวลานี้อาจน้อยกว่า 100 ns สำหรับ DAC ความเร็วสูง และอาจมากกว่า 100 us สำหรับ DAC ราคาถูก

2.4.2 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder

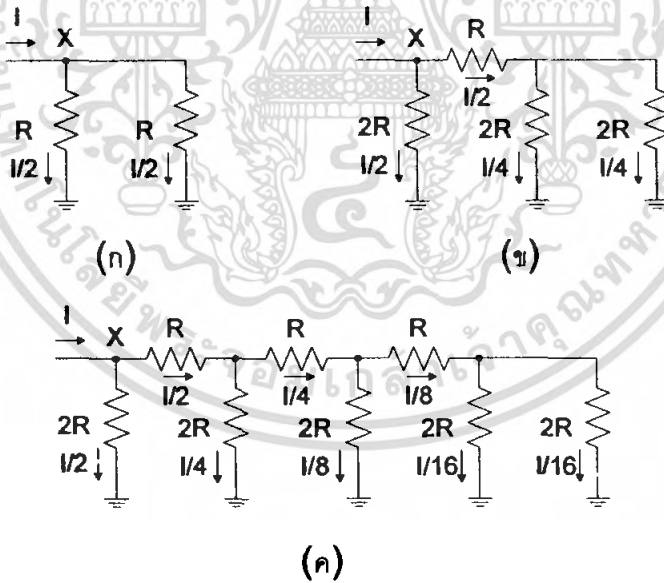


รูปที่ 2.8 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder

จากรูปที่ 2.8 เป็นวงจรอย่างง่ายในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งจะเห็นว่า มีความต้านทานค่า $2R$, $4R$ และ $8R$ เพื่อทำให้กระแสที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าลดลงเป็น 2 เท่า จากนั้น ออปแอมป์ ที่เอาต์พุต จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสรวมให้เป็นแรงดัน โดยจะได้แรงดันเป็น $V_o = (V_{ref}/2^{N-1})(8S_4 + 4S_3 + 2S_2 + S_1)$ เมื่อ S ปิด = 1 , S เปิด = 0

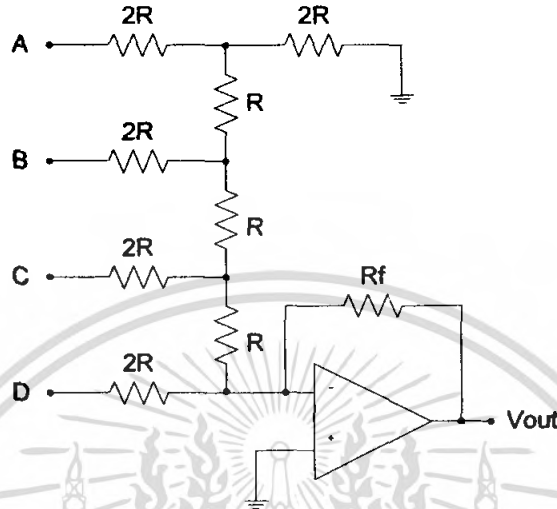
2.4.3 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ R-2R วงจร DAC อีกแบบหนึ่งที่มีความนิยมคือแบบ R-2R แลคเคอร์ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ในการสร้างวงจรได้ง่าย กระบวนการสร้างวงจร DAC จะเริ่มต้นจากวงจรตัวต้านทานต่อขนานกัน 2 ตัว ดังรูปที่ 2.9 (ก) หากตัวต้านทานสองตัวมีค่าเท่ากัน กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสองตัวจะมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ $I/2$ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าของตัวต้านทานเพื่อขยายสาขาของวงจรดังในรูปที่ 2.9 (ข) ค่าความต้านทานที่จุด X จะเท่ากับ $2R$ ดังนั้นค่าความต้านทานทั้งทางด้านซ้ายและขวามือของจุด X จะมีค่าเท่ากันคือ $2R$ ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเท่ากันคือ $I/2$ จากจุด X มีกระแสไหลเข้า $I/2$ จะถูกแยกเป็นสองทางด้วยตัวต้านทาน $2R$ สองตัวที่ต่อขนานกัน



รูปที่ 2.9 พื้นฐานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ R-2R

กระแสที่ไหลผ่านวงจรในสาขาหนึ่งจึงเป็น $I/4$ นั่นหมายความว่า หากต่อพ่วงวงจรตัวต้านทานเข้าไปอีกหลายสาขา ก็จะทำให้กระแสถูกเฉลี่ยมากขึ้น เหมือนกับการสร้างบันไดของกระแสทีละขั้น ด้วยอัตราส่วนของตัวต้านทานที่คงที่คือ R และ $2R$ ดังในวงจรรูปที่ 2.9 (ค) จากนั้นนำวงจร $R-2R$ แลคเคอร์นี้ต่อเข้ากับวงจรแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันโดยใช้โอปแอมป์ รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจร DAC แบบ R-2R ที่มีการใช้โอปแอมป์ในการแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันไฟฟ้า

โดยที่ I_{in} จะเป็นค่าผลรวมของกระแสที่ได้จากวงจร R-2R แลคเคอร์ ยกตัวอย่าง ป้อนข้อมูลดิจิทัล 1011 เข้าที่อินพุต DCBA ทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน R_2 , R_4 และ R_8 เข้ารวมกันที่อินพุตของโอปแอมป์กลายเป็น I_{in} ซึ่งมีค่า

$$I_{in} = \frac{I}{2} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16} \quad (2.7)$$

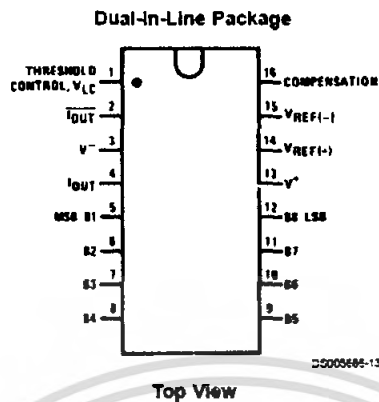
ดังนั้น

$$V_{out} = \left(\frac{I}{2} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16} \right) \times R_f \quad (2.8)$$

จะเห็นได้ว่า การใช้วงจร DAC แบบ R-2R จะซับซ้อนคือ หาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานคือ ใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่า ในขณะที่แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานต้องใช้ตัวต้านทานหลายค่าและต้องมีค่าทวีคูณกัน ไปเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้หาตัวต้านทานได้ยากขึ้น

2.5 ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอกขนาด 8 บิต : DAC-08

DAC-08 เป็น ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอกขนาด 8 บิต



รูปที่ 2.11 ลักษณะรูปร่างของ DAC 0800

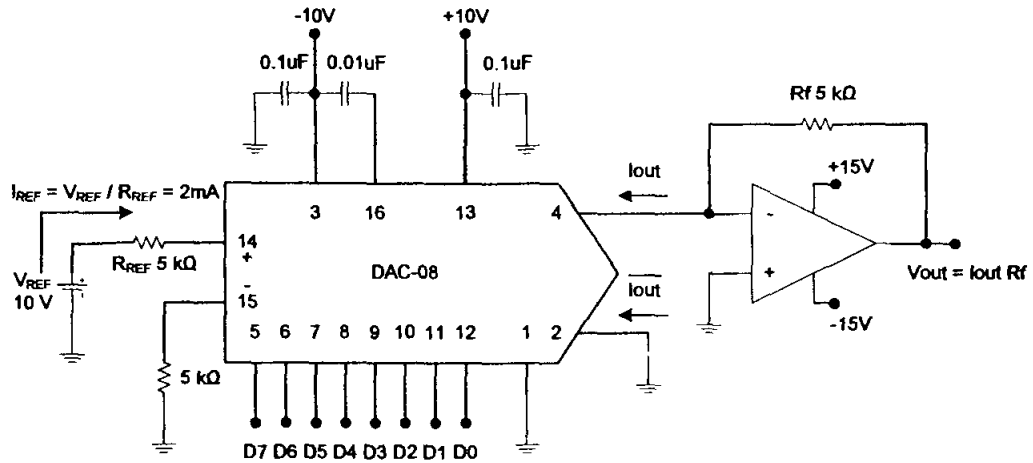
2.5.1 ลักษณะขาต่อใช้งาน

ขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบวก	ขา 13
ขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงลบ	ขา 3
ขาสัญญาณอ้างอิงบวก	ขา 14
ขาสัญญาณอ้างอิงลบ	ขา 15
ขาจิตอลอินพุต D ₀ – D ₇	ขา 5 – 12
กระแสนาลอกเอาต์พุต	ขา 4
กระแสนาลอกเอาต์พุตกลับเฟส	ขา 2

2.5.2 ลักษณะการใช้งาน

1. ขั้วแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (Power Supply Terminals)

ขา 13 และขา 3 ของ DAC-08 คือขั้วแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบวกและไฟเลี้ยงลบตามลำดับ โดยไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับวงจรสามารถแปรค่าได้ในช่วง $\pm 4.5 \text{ V}$ ถึง $\pm 18 \text{ V}$ และควรต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด $0.1 \text{ }\mu\text{F}$ ระหว่างขั้วแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงกับกราวด์ไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการบายพาส (bypass) นำสัญญาณรบกวนลงกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูป 2.12 การต่อ DAC-08 เพื่อให้แรงดันอนาลอกเอาต์พุตมีค่าเป็นบวก

2. ขั้วสัญญาณอ้างอิง (Reference Terminals)

ขา 14 และขา 15 คือขั้วแรงดันอ้างอิงบวกและอ้างอิงลบตามลำดับ การสร้างแรงดันอ้างอิงบวก แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 กระแสอ้างอิง I_{REF} ของวงจรถ่ายแปลง มีค่าเท่ากับ

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_{REF}} \quad (2.9)$$

โดยที่ I_{REF} สามารถปรับค่าให้เปลี่ยนแปลงได้ในช่วง 4 μ A จนถึง 4 mA และโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 2 mA

3. ขั้วคิดิจิตอลอินพุต (Digital Input Terminals)

ขา 5 ถึงขา 12 ถูกกำหนดให้เป็นขั้วรับสัญญาณอินพุตคิดิจิตอล มีคุณสมบัติเป็นขั้วรับสัญญาณแบบ TTL หรือ CMOS โดยที่ขา 5 เป็นบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) D7 และขา 12 เป็นบิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) D0 ลอจิก "0" มีค่าประมาณ 0.8 V หรือน้อยกว่า ในขณะที่ลอจิก "1" จะมีค่าประมาณ 2 V หรือมากกว่านี้โดยขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

4. กระแสอนาลอกเอาต์พุต (Analog Output Currents)

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากไอซี DAC-08 อยู่ในรูปของกระแสเอาต์พุตโดยขา 4 ทำหน้าที่จ่ายกระแสอนาลอกเอาต์พุต I_{out} และขา 2 จะจ่ายกระแสอนาลอกเอาต์พุต $\overline{I_{out}}$ ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแส I_{out} ทำให้เกิดความขัดแย้งและมีความคล่องตัวในการนำเอา DAC-08 ไปใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I_{out} กับ $\overline{I_{out}}$ อธิบายได้ดังนี้ เมื่อสวิตช์ควบคุมภายในอยู่ใน

ตำแหน่ง “1” กระแสเอาต์พุตทั้งหมดจะมีค่าเป็น I_{out} และในทางกลับกันเมื่อสวิตช์ควบคุมทั้งหมดอยู่ในตำแหน่ง “0” กระแสเอาต์พุตของวงจรนี้จะมีค่าเป็น $\overline{I_{out}}$
ค่าของกระแสที่หนึ่งบิต LSB หรือค่ารีโซลูชัน สามารถหาได้จาก

$$resolution = \frac{V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{1}{2^n} \quad (2.10)$$

ดังนั้นกระแสเอาต์พุตของวงจร จึงสามารถคำนวณหาได้จาก

$$I_{out} = resolution \times D \quad (2.11)$$

โดยที่ D คือ เลขฐานสิบของสัญญาณดิจิทัลอินพุต กรณีสัญญาณดิจิทัลอินพุตมีค่าเท่ากับ 11111111 หรือมีค่า $D = 255$ ทำให้กระแสเอาต์พุต I_{out} ที่จ่ายออกจากขา 4 มีสถานะเป็นกระแสเอาต์พุตเต็มสเกล (full-scale output current, I_{FS}) ซึ่งหาได้จาก

$$I_{FS} = resolution \times 255 \quad (2.12)$$

กระแสเอาต์พุตเต็มสเกล I_{FS} นี้เป็นผลรวมของกระแสทั้งหมดในวงจรแลคเคเตอร์ภายใน DAC-08 หรือก็คือผลรวมของกระแส I_{out} กับ $\overline{I_{out}}$ นั่นเอง ทำให้ค่าของกระแส $\overline{I_{out}}$ สามารถหาได้จาก

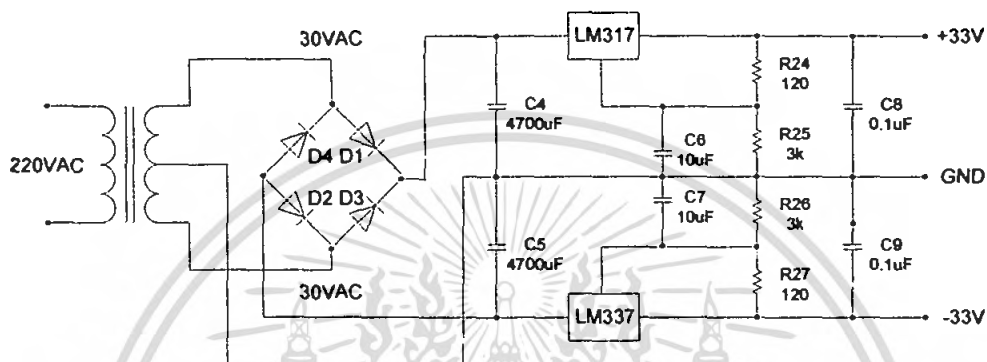
$$\overline{I_{out}} = I_{FS} - I_{out} \quad (2.13)$$

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

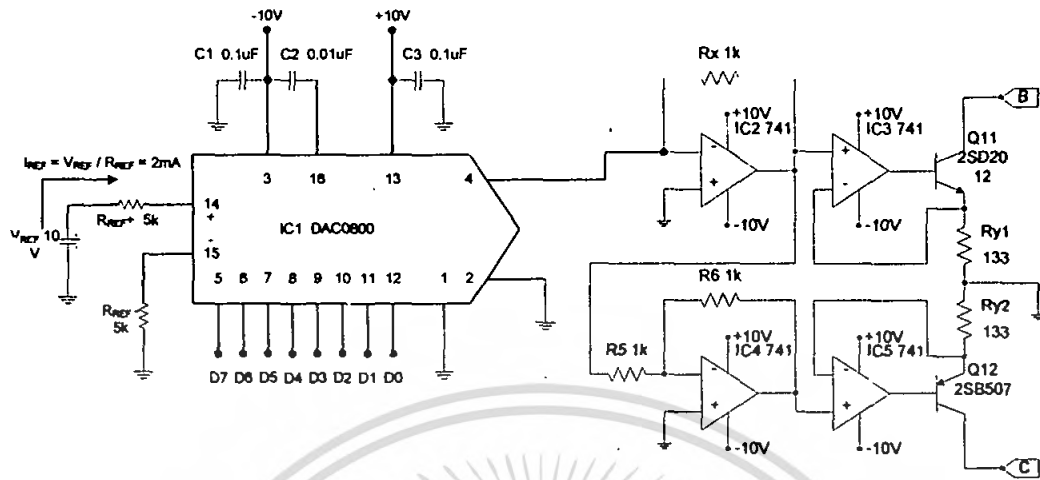
3.1.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรอง



รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรอง

หม้อแปลงจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้เหลือ 30 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ซึ่งจะ ได้แรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสตรงทั้งด้านบวกและด้านลบแบบ ฟูลเวฟ(Full wave) เมื่อผ่านคาปาซิเตอร์ C4 และ C5 จะทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่เรียบขึ้น ซึ่งจะไป จ่ายให้กับขาอินพุตของไอซีเรกูเลเตอร์ LM317 และ LM337 โดยที่ตัวต้านทาน R24 และ R25 เป็น ตัวต้านทานที่จะกำหนดให้ด้านเอาต์พุตของไอซีเรกูเลเตอร์ LM317 มีค่า +33 โวลต์ และตัว ต้านทาน R26 และ R27 เป็นตัวต้านทานที่จะกำหนดให้ด้านเอาต์พุตของไอซีเรกูเลเตอร์ LM337 มี ค่า -33 โวลต์ สำหรับคาปาซิเตอร์ C6 ถึง C9 จะทำหน้าที่บายพาส(by pass) เพื่อสัญญาณรบกวนลง กราวด์

3.1.2 ภาคควบคุมแรงดัน



รูปที่ 3.2 ภาคควบคุมแรงดัน

โดย DAC 0800 จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก โดยออปแอมป์ตัวที่ 1 (IC2) จะทำหน้าที่เปลี่ยนค่ากระแสให้เป็นแรงดัน แล้วผ่านออปแอมป์ตัวที่ 2 (IC3) และออปแอมป์ตัวที่ 3 (IC4) ออปแอมป์ตัวที่ 3 (IC4) ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์ตติ้งแอมป์เพื่อกลับเฟสสัญญาณ ส่งไปยังออปแอมป์ตัวที่ 4 (IC5) ซึ่งออปแอมป์ตัวที่ 2 (IC3) และออปแอมป์ตัวที่ 4 (IC5) จะทำงานลักษณะเดียวกันคือ นำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันให้เป็นกระแสทางด้านบวกที่จุด B เพื่อส่งไปควบคุมภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซิกบวก และทางด้านลบที่จุด C เพื่อส่งไปควบคุมภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซิกลบ

การคำนวณค่า R_x และค่า R_{y1} โดยคำนวณจากสมการ (3.1)

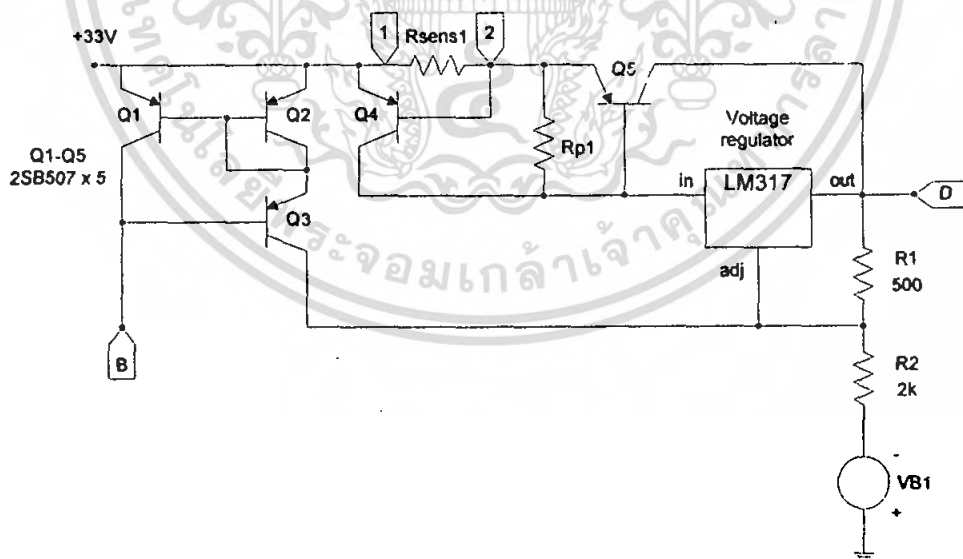
$$\begin{aligned}
 V_o &= V_{ref} + (I_1 + I_{adj} + I_y)R_2 - V_{B1} & (3.1) \\
 &= V_{ref} + \left(\frac{V_{ref}}{R_1} + I_{adj} + I_y\right)R_2 - V_{B1} \\
 &= (V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{adj}R_2) - V_{B1} + I_yR_2 \\
 &= (1.25(1 + \frac{2k}{500})) + (50\mu)(2k) - V_{B1} + I_yR_2 \\
 &= (6.25 + 0.1) - V_{B1} + I_yR_2 \\
 &= (6.35 - V_{B1}) + I_yR_2
 \end{aligned}$$

สร้าง $-V_{B1} = 6.35V$ เพื่อมาหักล้างค่า 6.35 ให้หายไป
จะเหลือเทอม $I_y R_2$ คั้งนั้น

$$\begin{aligned} V_o &= I_y R_2 \\ &= \left(\left(\frac{R_x}{R_{y1}} \right) I_{dac} \right) R_2 \\ &= \left(\left(\frac{R_x}{R_{y1}} \right) 2mA \right) 2k \\ 30 &= \left(\frac{R_x}{R_{y1}} \right) 4 \\ \left(\frac{R_x}{R_{y1}} \right) &= \frac{30}{4} \\ \left(\frac{R_x}{R_{y1}} \right) &= 7.5 \end{aligned}$$

เลือก $R_x = 1k$ โอห์ม
ซึ่งค่า R_{y1} จะมีค่าเท่ากับ R_{y2}
จะได้ $R_{y1} = R_{y2} = 133$ โอห์ม

3.1.3 ภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซีกบวก

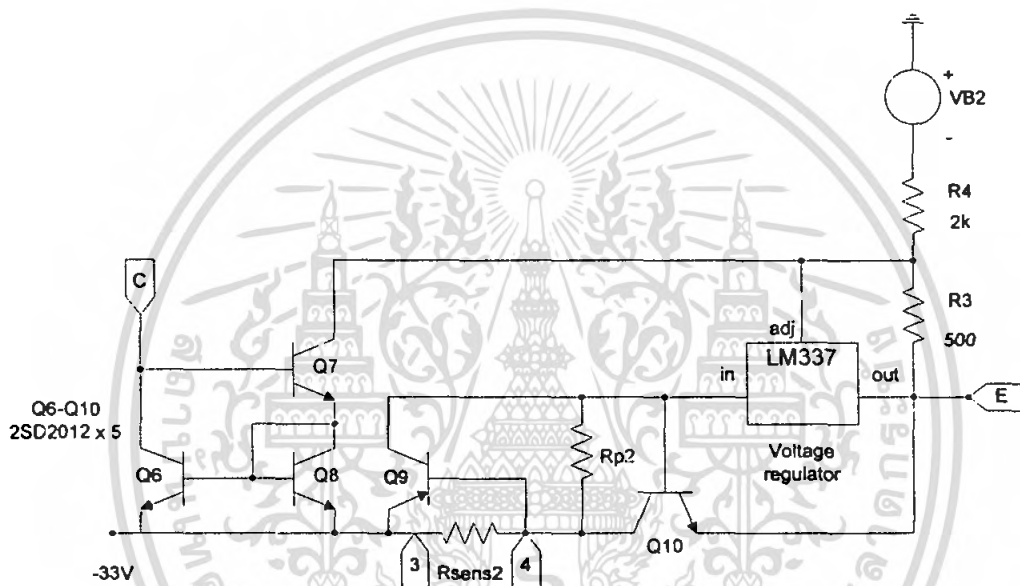


รูปที่ 3.3 ภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซีกบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน +33 โวลต์ ได้รับมาจากหม้อแปลงที่ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SB507 โดยทรานซิสเตอร์ Q1 – Q3 ทำหน้าที่ปรับปรุกระแสที่รับค่ามาจากจุด B ของภาคควบคุมแรงดัน เพื่อสะท้อนกระแสส่งไปยังขาปรับแต่งแรงดันของไอซีเรกกูเลเตอร์ (adj) เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจร ส่วนทรานซิสเตอร์ Q4 และ Q5 ทำหน้าที่เพิ่มกระแสให้กับเอาต์พุต โดยจุดที่ 1 และ 2 เป็นตัวควบคุมกระแส แหล่งจ่ายแรงดันด้าน (VB1) จะทำหน้าที่ปรับแต่งค่าให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ (zero adjust)

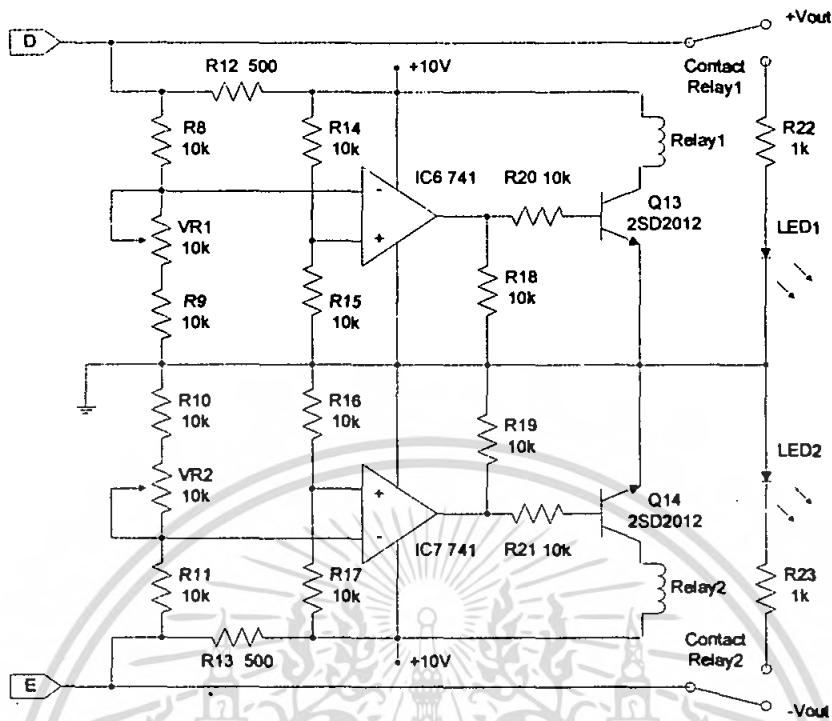
3.1.4 ภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซิกลอบ



รูปที่ 3.4 ภาคจ่ายไฟฟ้าและกระแสที่ซิกลอบ

แรงดัน -33 โวลต์ ได้รับมาจากหม้อแปลงที่ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SD2012 โดยทรานซิสเตอร์ Q6 – Q8 ทำหน้าที่ปรับปรุกระแสที่รับค่ามาจากจุด C ของภาคควบคุมแรงดัน เพื่อสะท้อนกระแสส่งไปยังขาปรับแต่งแรงดันของไอซีเรกกูเลเตอร์ (adj) เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจร ส่วนทรานซิสเตอร์ Q9 และ Q10 ทำหน้าที่เพิ่มกระแสให้กับเอาต์พุต โดยจุดที่ 9 และ 10 เป็นตัวควบคุมกระแส แหล่งจ่ายแรงดันด้าน (VB2) จะทำหน้าที่ปรับแต่งค่าให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ (zero adjust)

3.1.5 วงจรตรวจจับกระแสเกิน

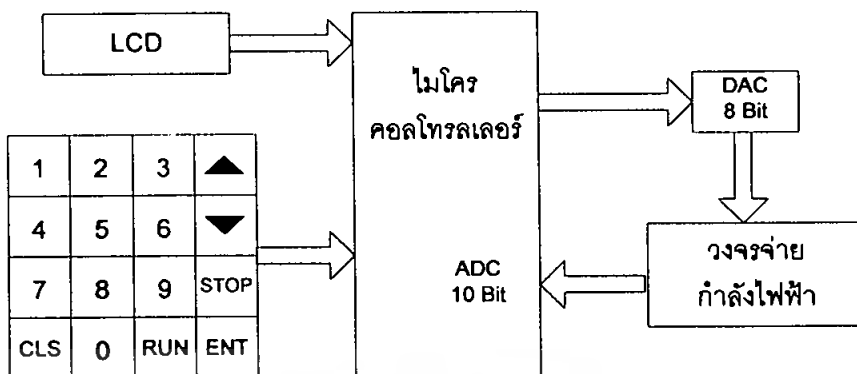


รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับกระแสเกิน

การทำงานของวงจรตรวจจับกระแสเกิน ซึ่งจะทำงานในขณะที่มีกระแสเกิน (over current) โดยจะทำให้มีสถานะสูงที่เอาต์พุต เมื่อกระแสไหลเกินกว่าระดับที่กำหนด ซึ่งเราสามารถตั้งระดับกระแสโดยปรับความต้านทานปรับค่าได้ (VR_1) ซึ่งค่าของ R_x ที่ถูกเลือกจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 100 มิลลิโวลต์ เมื่อเกิดการไหลของกระแสแรงดันเกิน ณ จุดข้างอิงมีค่าคงที่ประมาณ $\frac{1}{2}$ ของแหล่งจ่าย จะถูกส่งไปยังขานอนอินเวอร์ตติ้ง ของออปแอมป์ ผ่านวงจรแบ่งแรงดันและวงจรแบ่งกระแสจะต่อกันอยู่ในลักษณะวีสโตนบริดจ์ (wheostone bridge) ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่จะส่งเข้าที่ขานอนอินเวอร์ตติ้ง และอีกส่วนจะส่งเข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง และออปแอมป์จะใช้ตรวจวัดความสมดุลของวงจรบริดจ์ เป็นผลให้จุด ทริปพ้อยต์ (trip point) ของวงจรไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายแต่จะมีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหล

โดยวงจรนี้จะติดตั้งในส่วนของเอาต์พุต เมื่อกระแสเกินวงจรนี้จะสั่งให้ รีเลย์ทำการตัดวงจรออกจากในส่วนของโหลด เพื่อป้องกันการเสียหายภายในวงจร

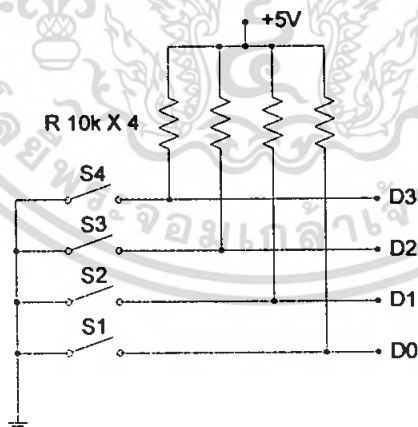
3.2 ส่วนควบคุมและสั่งการ



รูปที่ 3.6 แผนผังการต่ออุปกรณ์ต่างๆ ของส่วนควบคุม

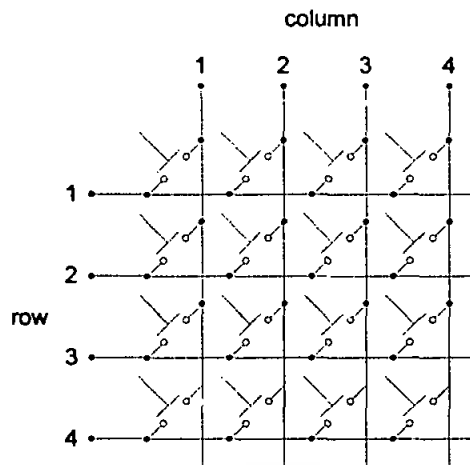
3.2.1 ภาคขแทนการกดคีย์แปด

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วยได้ วงจรของสวิตช์มี 2 ลักษณะ คือ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรงดังในรูปที่ 3.7 วงจรในลักษณะนี้ไม่มี ความซับซ้อน สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าหากจำนวนของสวิตช์ มีมาก ขึ้น จำนวนสายข้อมูลก็จะมีมากตามไปด้วย ทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และ ต้นเปลือง



รูปที่ 3.7 วงจรของสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์

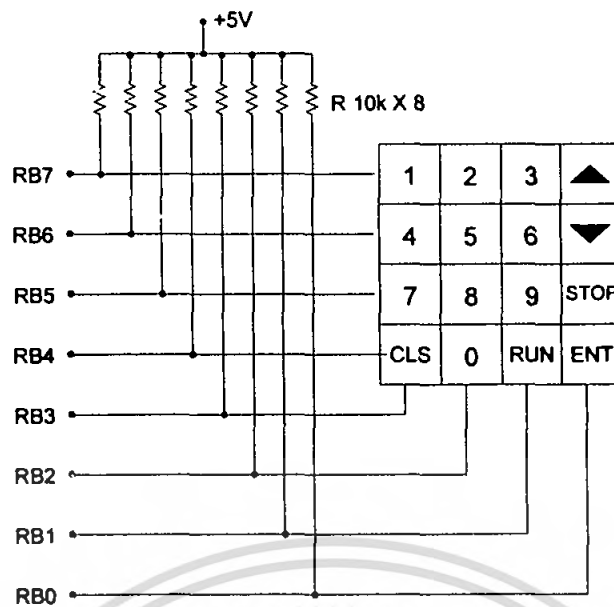
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

วงจรของสวิตช์อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์(matrix switch) ดังในรูปที่ 3.8 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์(column) ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่าแถวหรือโรว์(row) ดังนั้นค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วยตำแหน่งในแนวหลักและแนวแถว กระบวนการที่จะทำได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือ สามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติมจำนวนสวิตช์และแก้ไขที่ตัวโปรแกรมอีกเล็กน้อย ทำให้วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้มากในระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไปจะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด(key pad)

ลักษณะการต่อใช้งานของคีย์แพดกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.9



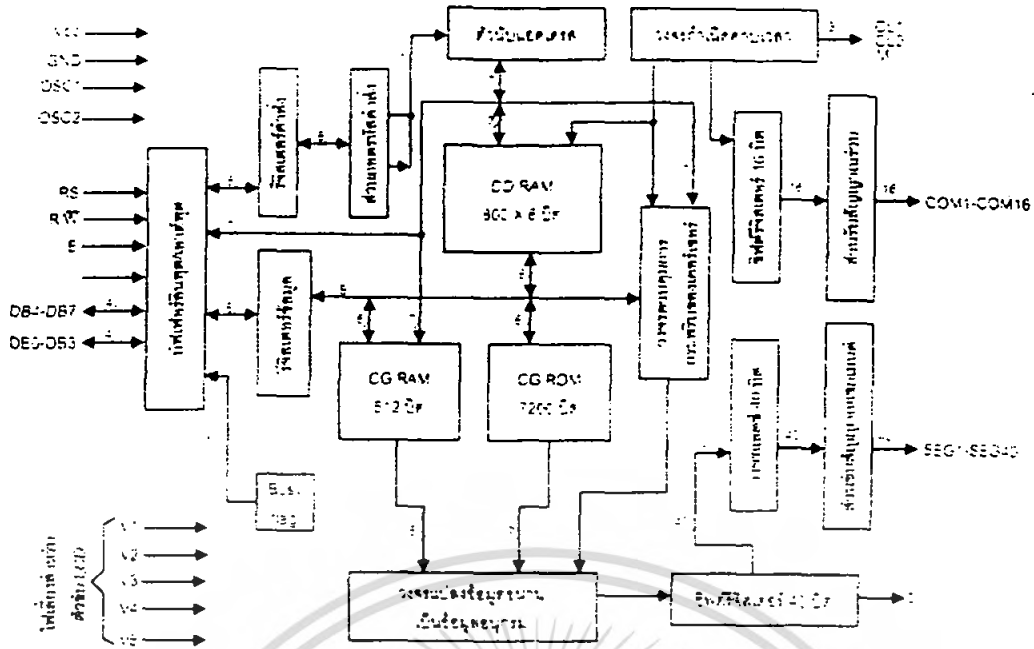
รูปที่ 3.9 การต่อคีย์แพคเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ภาคแสดงผลด้วย LCD โมดูล

รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

1. ตัวแสดงผล(display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นได้โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD
2. ตัวควบคุม(controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น
3. ตัวขับ(driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุม มาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนดโครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ดังรูป 3.10 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักษร



รูปที่ 3.10 บล็อกโคะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักษร

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผลหรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

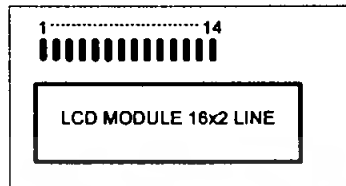
แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM : DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รวมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7,200 บิต โคจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียน

และอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะ
มาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

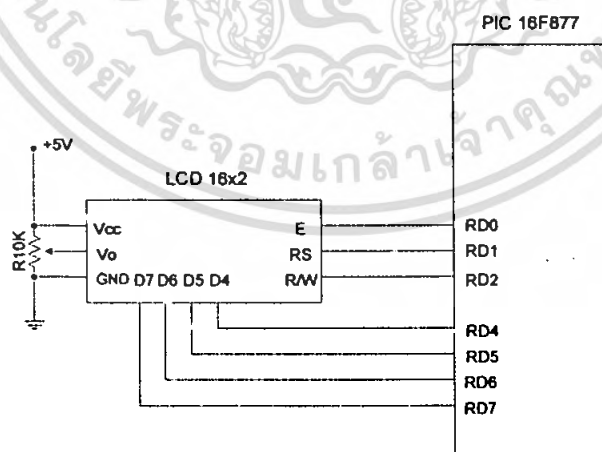
แฟลค BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอก
ทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัว
ควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลค BUSY นี้เสียก่อน



รูปที่ 3.11 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษร

- ขา 1 : GND
- ขา 2 : +V , Vcc
- ขา 3 : Vo , Brightness ปรับแต่งความสว่าง
- ขา 4 : RS
- ขา 5 : R/W
- ขา 6 : E
- ขา 7-14 : D0-D7

ลักษณะการต่อใช้งานของ LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.12



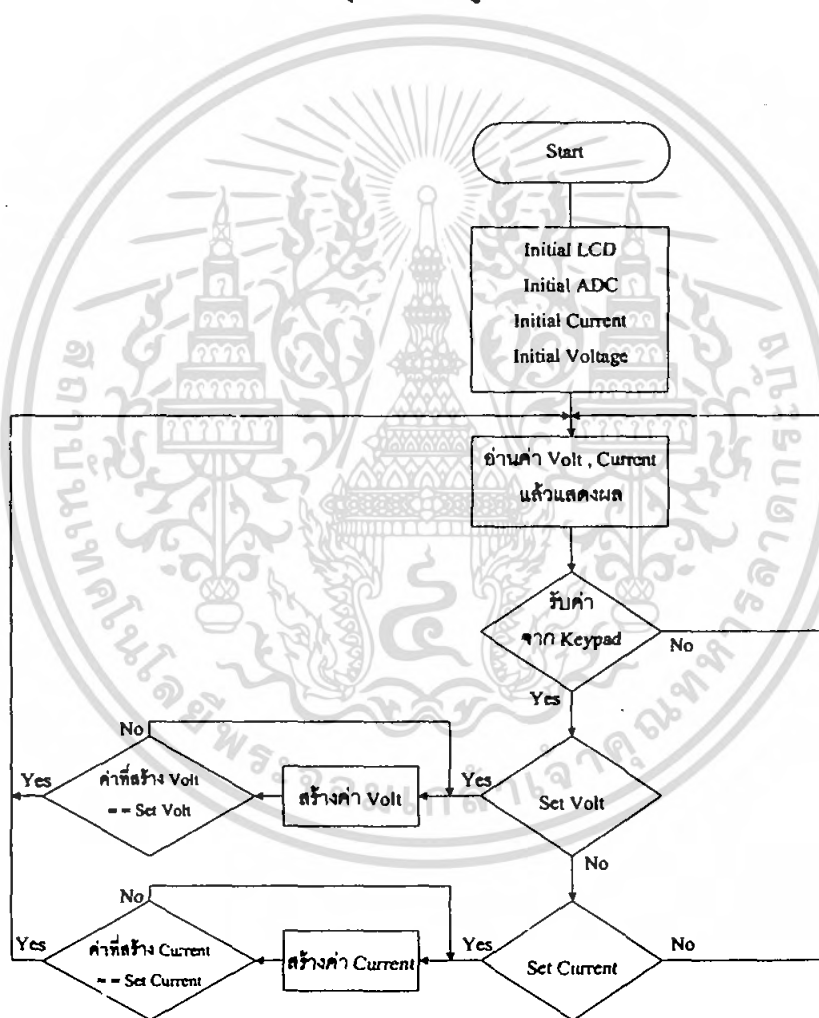
รูปที่ 3.12 การต่อ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรอรับคำสั่งจากคีย์แพด โดยถ้ามีการตั้งปรับค่ากระแสหรือแรงดัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้ DAC 0800 ซึ่งเป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งค่าออกไปยังส่วนวงจรกำลังไฟฟ้าเพื่อควบคุมให้เกิดเอาต์พุตตามที่ได้มีการตั้งปรับไว้ เมื่อได้ค่าตามที่ต้องการแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการตรวจสอบว่าค่าที่ได้นั้นตรงกับค่าที่ตั้งปรับไว้หรือไม่ โดยการนำค่าเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ามาป้อนเข้า ADC (Analog to Digital) ซึ่งมีอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 อยู่แล้ว ซึ่งจะคอยสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ตรวจสอบค่าที่ได้รับจากคีย์แพดตรงกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการหรือไม่ ถ้าตรงแล้วจะส่งค่าไปแสดงผลที่จอ LCD ต่อไป

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจากเมื่อเริ่มต้นเปิดเครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์จะเซตค่าเริ่มต้น (initial) ให้กับจอแสดงผล LCD ค่ากระแส ค่าแรงดัน และโมดูลการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (analog to digital converter) จากนั้นจอแสดงผล LCD จะแสดงค่าของแรงดันและกระแสเริ่มต้น

จากนั้นจะเป็นการรอรับค่าจากคีย์แพคเพื่อที่จะกำหนดค่าแรงดัน หรือค่าของกระแส โดยป้อนค่าแรงดันหรือกระแสเข้ามาจะมีวงจรสร้างค่าแรงดันหรือกระแสให้ได้ตามค่าแรงดันตามที่รับเข้ามา จากคีย์แพคเพื่อส่งออกเป็นแรงดันและกระแสทางเอาต์พุต และขณะเดียวกันก็จะมีการนำแรงดันหรือกระแสเข้ามาตรวจสอบที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย โดยถ้าค่าที่ได้ไม่ตรงกันไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งงานให้วงจรสร้างค่าแรงดันหรือกระแสทำการเพิ่มหรือลดค่าแรงดันหรือกระแส และจะวนการตรวจสอบนี้ตลอดการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานโครงการ เพื่อให้เป็นไปตามขั้นตอนขอบเขตที่กำหนดไว้ นั้นการดำเนินงานของโครงการนี้จะสามารถแบ่งผลที่ได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 4.1 ผลของโครงการ
- 4.2 ผลของการทดสอบโครงการ

4.1 ผลของโครงการ

เป็นผลที่ได้จากการปฏิบัติงานผลตามขอบเขตที่กำหนดไว้ดังรูปต่าง ๆ ซึ่งแสดงส่วนประกอบของวงจรต่างๆ



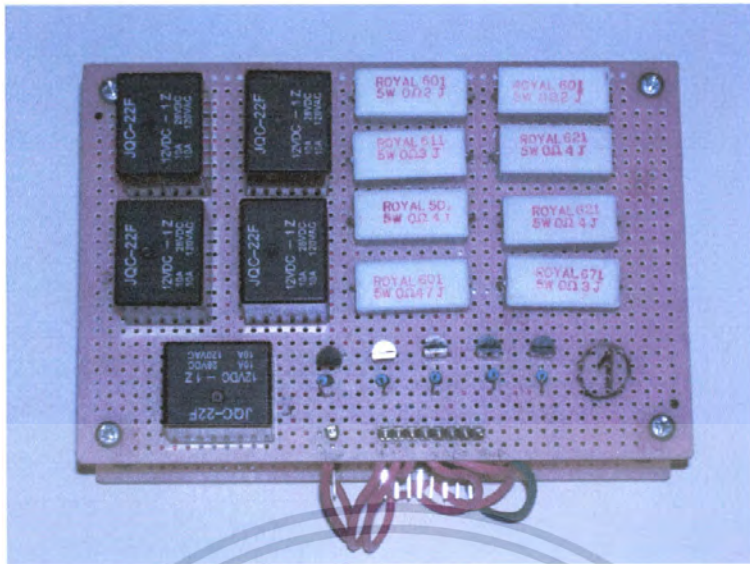
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจจับกระแสเกิน และวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

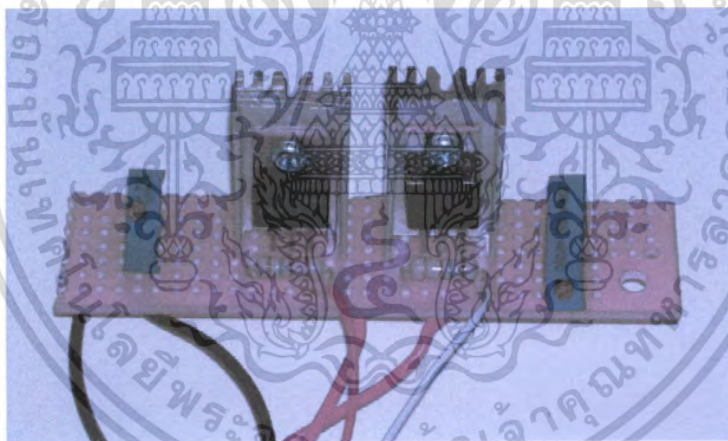


รูปที่ 4.3 แสดงจอแสดงผล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

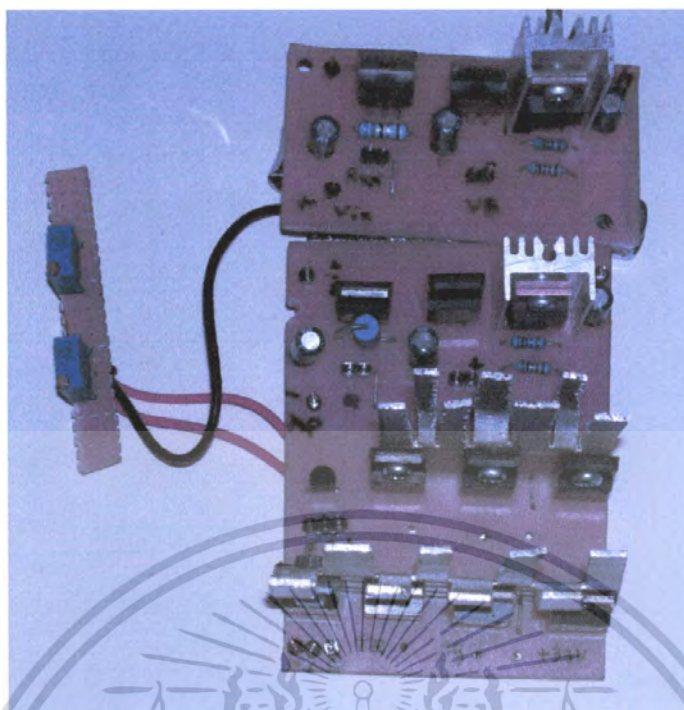


รูปที่ 4.4 แสดงชุดวงจรควบคุมกระแส

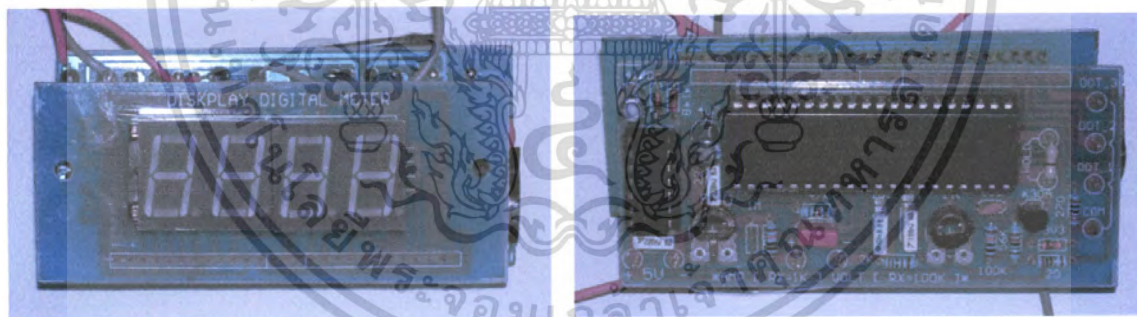


รูปที่ 4.5 แสดงวงจรปรับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

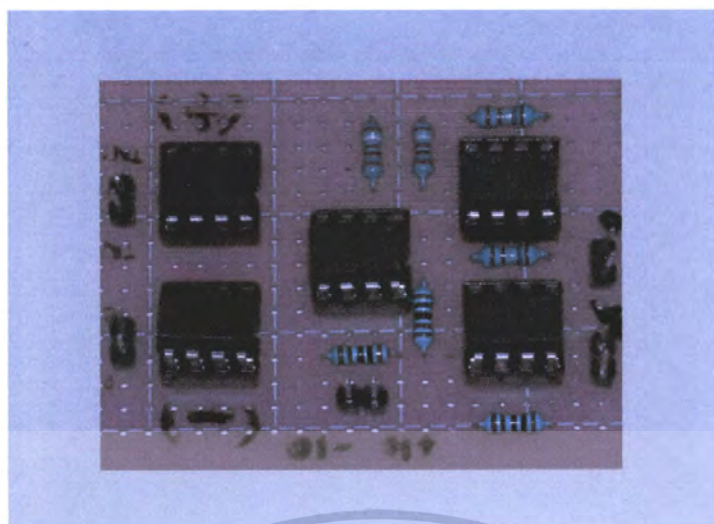


รูปที่ 4.6 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เร็นท์

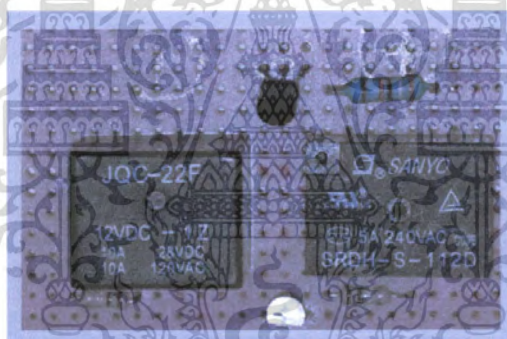


รูปที่ 4.7 แสดงวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรตัดการติดต่อกับ โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบของวงจร

หลังจากที่ออกแบบและสร้างวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เสร็จแล้วนั้น เราจำเป็นต้องมีการวัดผลเพื่อหาประสิทธิภาพของโครงการว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ นั่นก็คือ การทดสอบคุณสมบัติของวงจรมันเอง โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

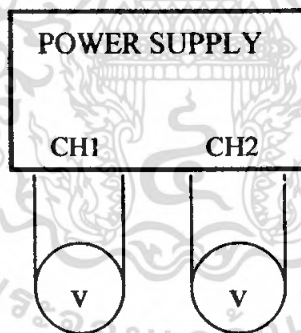
1. ออสซิลโลสโคป
2. คิวติตอลมิเตอร์
3. โหลดตัวต้านทานไฟฟ้า, ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า, ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

และได้ทำการทดสอบเป็นข้อๆตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

- 4.2.1 จ่ายไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 – 30 โวลต์ ตั้งสเกลได้ 0.1 – 5 โวลต์ จำนวน 2 ช่อง
- 4.2.2 ตั้งกระแสได้ตั้งแต่ 0.1 – 3 แอมป์
- 4.2.3 Output Regulation ต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ที่ Full Load
- 4.2.4 การป้องกันการลัดวงจรและลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อโหลดชนิดต่าง ๆ

4.2.1จ่ายไฟได้ตั้งแต่ 0 – 30 โวลต์ ตั้ง สเกลได้ 1 – 5 โวลต์ จำนวน 2 ช่อง

โดยทดสอบการใช้งาน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.10 รูปแสดงวงจรทดสอบการสร้างแรงดัน

- ตั้งค่าแรงดันของทั้งสองช่องสัญญาณไว้ที่ 30 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ และตั้งสเกลไว้ที่ 1.0 โวลต์ โดยใช้มิเตอร์วัดแรงดันด้านเอาต์พุต แล้วให้เครื่องสร้างแรงดันทั้งสองช่องสัญญาณออกมา ดังวงจรในรูปที่ 4.10 ได้ผลทดสอบตามตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการทดสอบความเที่ยงตรงของแรงดันเอาต์พุตขณะที่ไม่มีการโหลด

แรงดันที่ปรับ (V)	แรงดันของCH 1 (V)	แรงดันของCH 2 (V)
0	0	0
0.5	0.534	-0.534
1.0	1.074	-1.074
1.5	1.541	-1.530
2.0	2.017	-2.007
2.5	2.599	-2.551
3.0	3.071	-3.001
3.5	3.548	-3.508
4.0	4.026	-4.000
4.5	4.511	-4.510
5.0	5.001	-5.000
5.5	5.500	-5.501
6.0	6.003	-6.003
6.5	6.505	-6.505
7.0	7.020	-7.020
7.5	7.530	-7.530
8.0	8.060	-8.060
8.5	8.580	-8.580
9.0	9.100	-9.050
9.5	9.500	-9.505
10.0	10.03	-10.03
10.5	10.57	-10.57
11.0	11.11	-11.11
11.5	11.51	-11.51
12.0	12.05	-12.05
12.5	12.47	-12.47
13.0	13.02	-13.02
13.5	13.6	-13.60
14.0	14.01	-14.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ปรับ (V)	แรงดันของCH 1 (V)	แรงดันของCH 2 (V)
14.5	14.57	-14.57
15.0	15.13	-15.13
15.5	15.55	-15.55
16.0	16.11	-16.11
16.5	16.53	-16.53
17.0	17.08	-17.08
17.5	17.52	-17.52
18.0	18.09	-18.09
18.5	18.51	-18.51
19.0	19.09	-19.05
19.5	19.52	-19.50
20.0	20.09	-20.02
20.5	20.54	-20.50
21.0	20.96	-21.00
21.5	21.57	-21.51
22.0	22.01	-22.00
22.5	22.58	-22.51
23.0	23.01	-23.01
23.5	23.58	-23.52
24.0	24.01	-24.00
24.5	24.60	-24.55
25.0	25.00	-25.00
25.5	25.44	-25.51
26.0	26.03	-26.01
26.5	26.51	-26.50
27.0	27.07	-27.00
27.5	27.55	-27.51
28.0	28.08	-28.01
28.5	28.53	-28.50
29.0	29.06	-29.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ปรับ (V)	แรงดันของCH 1 (V)	แรงดันของCH 2 (V)
29.5	29.54	-29.50
30.0	30.05	-30.00

- จากนั้นทำการกด คีย์ DOWN เพื่อลดค่าแรงดันที่ตั้งไว้ลงมา เป็นจำนวน 3 สเตปแล้วให้เครื่องสร้างแรงดันใหม่ขึ้นมาทั้งสองช่องสัญญาณ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการตั้งสเตปลงของเครื่อง

แรงดันที่ต้องการ (V)	แรงดันของCH 1 (V)	แรงดันของCH 2 (V)
30.00	30.05	-30.00
29.00	29.06	-29.01
28.00	28.07	-28.01

- จากนั้น จึงทำการกดคีย์ UP เพื่อเพิ่มค่าแรงดันที่ตั้งไว้ไปอีกครั้งจำนวน 3 สเตป แล้วให้เครื่องสร้างแรงดันใหม่ขึ้นมาอีกครั้ง ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.3

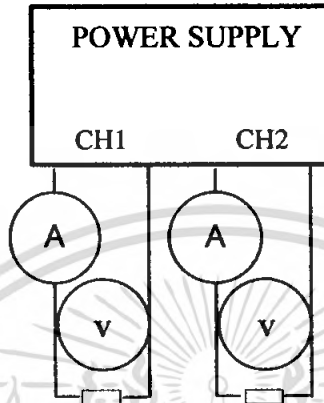
ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการตั้งสเตปขึ้นของเครื่อง

แรงดันที่ต้องการ (V)	แรงดันของCH 1 (V)	แรงดันของCH 2 (V)
28.00	28.07	-28.01
29.00	29.06	-29.01
30.00	30.05	-30.00

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแหล่งจ่ายไฟสามารถจ่ายไฟได้สูงสุด 30 โวลต์ และสามารถตั้งสเตปค่าแรงดันขึ้นลงเพื่อควบคุมการทำงานได้จริง ทั้งสองช่องสัญญาณ ตามขอบเขตที่กำหนดไว้

4.2.2 ตั้งกระแสได้ตั้งแต่ 0.1 – 3 แอมป์

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบ โดยตั้งค่าแรงดันไว้ที่ 30 โวลต์ ตั้งกระแส 3 แอมป์ ทำการวัดค่าแรงดันและกระแสทั้งสองช่องสัญญาณ ดังรูปที่ 4.11 แล้วมีการใช้โหลดความต้านทานมาเพิ่มภาระให้กับเครื่องโดยโหลดที่ใช้มีการลดค่าลงจาก 12 โอห์ม จนถึง 0 โอห์ม ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรทดสอบการสร้างแรงดัน ขณะที่มีการใช้โหลดตัวต้านทาน

ตารางที่ 4.4 แสดงการตั้งกระแสควบคุม

ค่าความต้านทานโหลด(โอห์ม)	แรงดันของCH1 (โวลต์)	แรงดันของCH2 (โวลต์)	กระแสของCH1 (แอมป์)	กระแสของCH2 (แอมป์)
30	30.03	-29.98	1.0	-1.0
12	30.03	-29.98	2.5	-2.5
10	30.03	-29.98	3	-3
5	Over Load	Over Load	Over Load	Over Load

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า หากมีการตั้งกระแสของโหลดเกินกว่าค่ากระแสที่ตั้งไว้เครื่องจะหยุดการทำงานทันที ซึ่งการตั้งกระแส จะสามารถตั้งได้สูงสุด 3 แอมป์

จากการทดสอบดังกล่าว สามารถทำได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้

4.2.3 Output Regulation ต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ที่ Full Scale

โดยนำผลการทดสอบจากข้อที่ 2 มาทำการคำนวณค่า เปอร์เซ็นต์ของ Output Regulation ได้จากสมการคือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์โหลดเรกูเลชัน} = \frac{V_o - V_L}{V_o} \times 100 \quad (4.1)$$

ดังนั้นเราจึงได้ค่าของ เปอร์เซ็นต์ของ Output Regulation ช่องที่ 1 คือ

$$\frac{30.05 - 30.03}{30.05} \times 100\% = 0.06\%$$

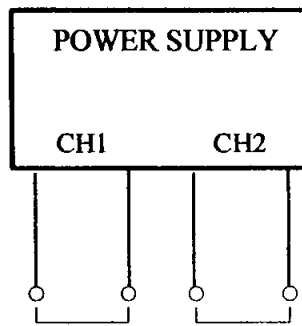
และค่าของเปอร์เซ็นต์ของ Output Regulation ช่องที่ 2 คือ

$$\frac{30.00 - 29.98}{30.00} \times 100\% = 0.06\%$$

ค่าที่ได้นั้นสรุปได้ว่า Output Regulation ที่ได้ของเครื่อง คือค่าที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตคือ 0.1 เปอร์เซ็นต์

4.2.4 การป้องกันการลัดวงจรและลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อโหลดชนิดต่าง ๆ

ในการทดสอบการป้องกันการลัดวงจรนี้ เพื่อทดสอบ ว่าเครื่องยังสามารถทำงานได้หลังจากมีการลัดวงจรนี้ เพื่อทดสอบระบบป้องกันการลัดวงจร ซึ่งตัดการทำงานก่อนที่วงจรภายในจะเสียหาย การทดสอบการป้องกันการลัดวงจรนั้น ทดสอบโดยตั้ง ค่าแรงดันทั้งสองช่องไว้ที่ 30 โวลต์ ตั้งกระแส 3 แอมป์ ทำการลัดวงจรโดยสายไฟดังรูปที่ 4.12



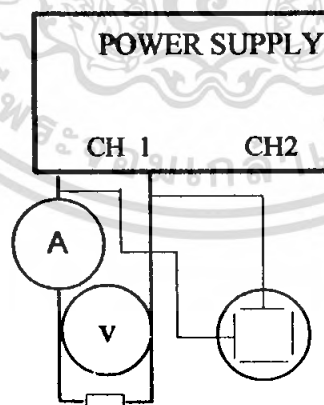
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรทดสอบการลัดวงจร

ผลการทดสอบคือ วงจรป้องกันแรงดันในช่องสัญญาณที่ทำการลัดวงจรจะทำงานโดยแสดง LED สว่างขึ้นและสั่งการทำงานไปควบคุมการตัดวงจรทั้งหมดออก เป็นการสิ้นสุดการทำงานของเครื่อง โดยสามารถ กดปุ่ม Reset เพื่อเริ่มใช้งานใหม่ได้

จากการทดสอบเครื่องสามารถตัดการทำงานได้ทันที และวงจรภายในไม่เสียหาย สามารถทำงานได้ ปกติ หลังจากกดปุ่ม Reset แล้ว

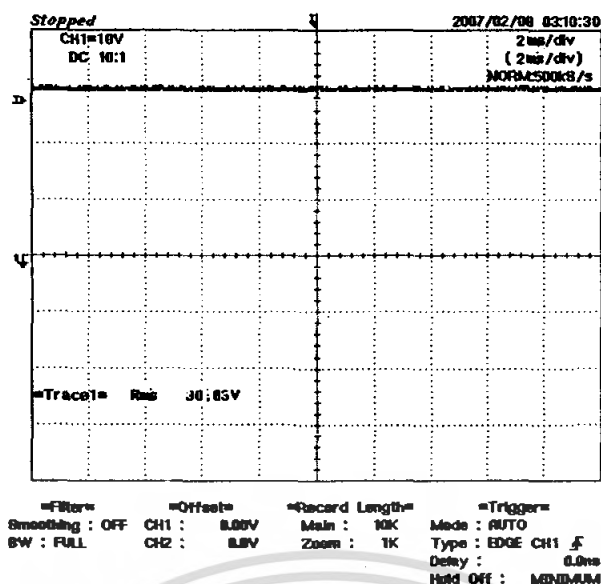
ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อ โหลดชนิดต่างๆ การทดสอบว่าเครื่องสามารถจ่ายแรงดันไฟตรง ได้เสมอแม้สภาวะ โหลดมีการเปลี่ยนแปลงไป มีการทดสอบดังนี้

- โดยตั้งแรงดัน 30 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ เพื่อต่อกับโหลดคริสตแชนซ์ขนาด 10 โอห์ม ซึ่งมีวงจรการทดสอบและ ใ้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



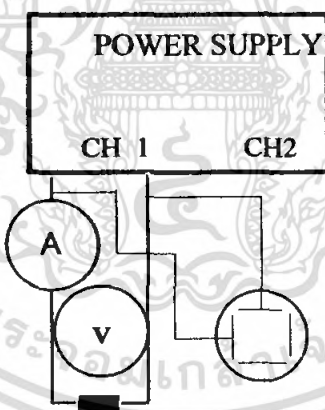
รูปที่ 4.13 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับ โหลดคริสตแชนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



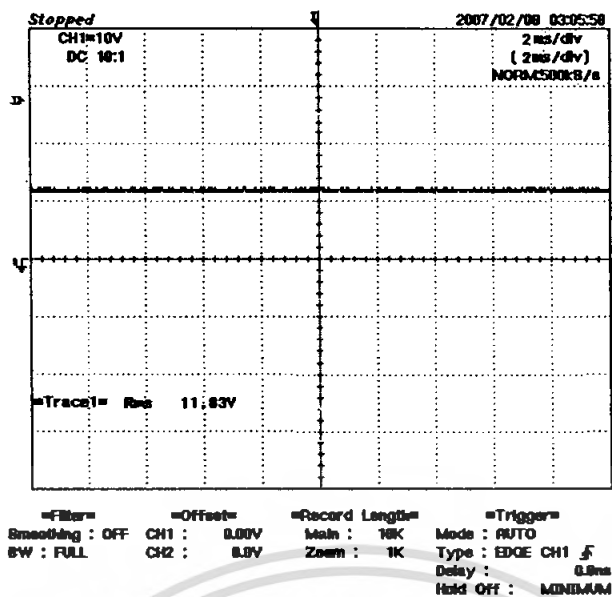
รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อคือ โหลดคริสตแชนซ์

- จากนั้นตั้งค่าแรงดัน 12 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ เพื่อต่อกับโหลดอินดักแตนซ์ ซึ่งมีวงจรการทดสอบ และได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ



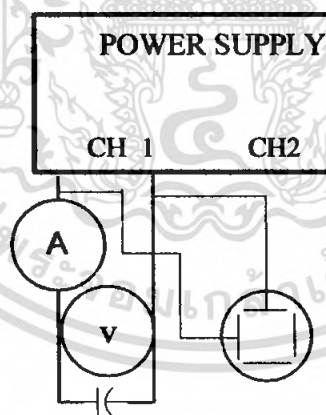
รูปที่ 4.15 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับ โหลดอินดักแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



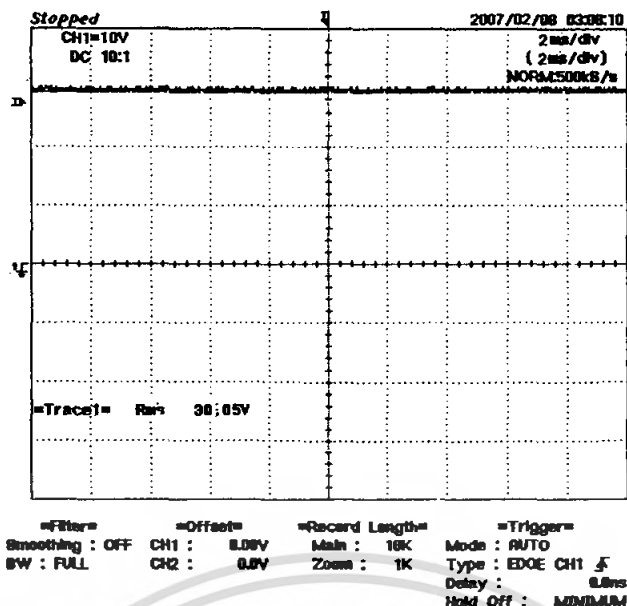
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อโหลดอินดักแตนซ์

- จากนั้นตั้งแรงดัน 30 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ เพื่อทดสอบกับโหลด คาปาซิแตนซ์ ซึ่งมีวงจรทดสอบ และสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 วงจรการทดสอบเมื่อต่อกับโหลดคาปาซิแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อโหลดคาปาซิแตนซ์

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าในสภาวะโหลดชนิดต่าง ๆ นั้น เมื่อต่อเข้ากับเอาต์พุตของเครื่องแล้วลักษณะของสัญญาณไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของเครื่องแล้วลักษณะของสัญญาณไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของแหล่งจ่ายไฟ แต่โหลดก็มีผลกระทบกับการตั้งแรงดันและกระแสกล่าวคือ ถ้าเป็นโหลดอินดักแตนซ์จะต้องตั้งกระแสที่ใช้งานสูงกว่ากระแสที่ใช้งานจริงเนื่องจากจะมีการกระชากของกระแสขณะตั้งแรงดันออกเอาต์พุต แต่ถ้าโหลดคาปาซิแตนซ์ จะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตนั้นทำได้ช้า จะต้องให้เวลาในการเปลี่ยนแรงดันจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่ง

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์และสรุป

จากการทดสอบคุณสมบัติของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถสรุปผลการทดลองในบทที่ 4 ได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ค่าแรงดันที่วัดได้จากเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟ จากการปรับแรงดันและการปรับสเตปแรงดัน จะมีความผิดพลาดอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากในปริยายานิพนธ์นี้ได้ใช้การปรับแรงดันและกระแสโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ DAC 0800 ส่งค่าออกไปควบคุมวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งความละเอียดของ DAC 0800 มีขนาด 8 บิต เกิดค่าผิดพลาดขึ้นสาเหตุจากความละเอียดไม่มากพอ หากต้องการลดค่าผิดพลาดลงก็ควรจะต้องเพิ่มความละเอียดของ DAC

จากตารางที่ 4.4 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า หากมีการดึงกระแสของโหลดเกินกว่าค่ากระแสที่ตั้งไว้เครื่องจะหยุดการทำงานทันที ทำให้เกิดความปลอดภัยเมื่อมีการใช้งานขณะโหลดเกิน

โดยรวมแล้ว เครื่องสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ตามขอบเขตที่ได้วางไว้ สามารถจ่ายแรงดันได้ 0 ถึง 30 โวลต์ สามารถป้องกันกระแสเกินได้ 0.1 ถึง 3 แอมป์

เอกสารอ้างอิง

เชษฐฤทธิ์ มณีธรรม, สำเร็จ เต็มราม. คัมภีร์ไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC. กรุงเทพมหานคร :

เกทีพี. 2549

ศศ.วรวงศ์ ตั้งศรีรัตน์. ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก. กรุงเทพมหานคร :

ว.เพชรสกุล. 2545.

แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์. โครงการเครื่องจ่ายไฟ. กรุงเทพมหานคร :

บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2538.

แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์. ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ. กรุงเทพมหานคร :

บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2538.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

ลักษณะสมบัติ

1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์
2. เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบ Dual Supply ปรับแรงดันด้านออกได้ตั้งแต่ 0-30 โวลต์
ตั้งสเตปได้ตั้งแต่ 0.1 - 5 โวลต์
3. ตั้งการตัดกระแสได้ตั้งแต่ 0.1 - 3 แอมป์แปร์
4. แสดงค่าแรงดันและกระแส ผ่านจอแสดงผล LCD
5. สามารถป้องกันการลัดวงจรได้
6. ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 โดยสั่งงานผ่าน
คีย์แพค

การใช้งาน

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

1.VOLT_MODE
2.STEP_MODE

การทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดแรงดัน และ โหมดสเตปแรงดัน

1. โหมดแรงดัน

เมื่อต้องการใช้งานในโหมดแรงดัน (VOLT MODE) เลือกโดยการกด 1 จากนั้นจอแสดงผลจะ
แสดงข้อความ

SET V = XX.XX

ป้อนค่าด้วยตัวเลขเพื่อกำหนดค่าแรงดันตามที่ต้องการ จากนั้นกด ENT 1 ครั้ง
แต่ถ้าต้องการตั้งค่าใหม่ กด CLR 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าแรงดันเสร็จ จอแสดงผลจะแสดงข้อความ

SET A = X.X

ป้อนค่าด้วยตัวเลขเพื่อกำหนดค่ากระแสเกินตามที่ต้องการ จากนั้นกด ENT 1 ครั้ง

แต่ถ้าต้องการตั้งค่าใหม่ กด CLR 1 ครั้ง

จากนั้นกด RUN เพื่อสั่งให้เครื่องทำงานตามค่าที่ได้กำหนดไว้ โดยจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

V = XX.XX / A = X.X

เมื่อต้องการหยุดการทำงานกด STOP โดยจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

STOP RUN ...

และจะกลับมาให้เลือกโหมดการทำงานของเครื่องใหม่อีกครั้งเหมือนกับช่วงเริ่มเปิดเครื่อง

2. โหมดสเตปแรงดัน

เมื่อต้องการใช้งานในโหมดสเตปแรงดัน (STEP MODE) เลือกโดยการกด 2 จากนั้นจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

STEP V = X.X

ป้อนค่าด้วยตัวเลขเพื่อกำหนดค่าสเตปแรงดันตามที่ต้องการ จากนั้นกด ENT 1 ครั้ง

แต่ถ้าต้องการตั้งค่าใหม่ กด CLR 1 ครั้ง

เมื่อตั้งค่าแรงดันเสร็จ จอแสดงผลจะแสดงข้อความ

SET A = X.X

ป้อนค่าด้วยตัวเลขเพื่อกำหนดค่ากระแสเกินตามที่ต้องการ จากนั้นกด ENT 1 ครั้ง

แต่ถ้าต้องการตั้งค่าใหม่ กด CLR 1 ครั้ง

จากนั้นกด RUN เพื่อสั่งให้เครื่องทำงานตามค่าที่ได้กำหนดไว้ โดยจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

V = X.X / A = X.X

จากนั้นกด ▲ เพื่อเพิ่มแรงดันตามค่าสเกลที่ได้ตั้งไว้ โดยค่าที่ได้จะแสดงในบรรทัดที่ 2

กด ▼ เพื่อลดแรงดันตามค่าสเกลที่ได้ตั้งไว้ โดยค่าที่ได้จะแสดงในบรรทัดที่ 2

โดยจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

V = X.X / A = X.X
U/D V = X.X

เมื่อต้องการหยุดการทำงานกด STOP โดยจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

STOP RUN ...

และจะกลับมาให้เลือกโหมดการทำงานของเครื่องใหม่อีกครั้งเหมือนกับช่วงเริ่มเปิดเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <16F877.h>
#device adc=10
#fuses HS,NOWDT,NOLVP,NOPROTECT
#use delay(clock=10000000)

#include <math.h>
#include <stdlib.h>

#use fast_io(A)
#define vref_LM 0.02932551319648

#define latch_a   PIN_C0
#define clear_a   PIN_C1
#define clk_a     PIN_C2
#define datainput_a PIN_C3

#define latch_v   PIN_C4
#define clear_v   PIN_C5
#define clk_v     PIN_C6
#define datainput_v PIN_C7

#byte port_b=0x06
#byte port_c=0x07
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define use_portd_lcd
#include "LCD.C"

int8 value_key,mode_select,temp1,temp2,temp3,temp4,num_set,time_delay_key;
int16 step_num1,step_num2,step_num3,step_num4;
int16 step_num5,step_num6;
int16 step_num7,step_num8;
float step_num9,step_num10,step_num12;
int8 step_num11,step_num13; // use in function step_set
int8 step_num0[8];
int8 inc_n=0; // use in step V
int8 value_volt_03;
float value_volt_02;
int16 value_adc1;
float value_adc2;

void show_mode(void)
{
switch(mode_select)
{
case(0):
    lcd_putc("\f");
    lcd_putc("1.VOLT_MODE");
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("2.STEP_MODE");
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case(1): // show set volt
```

```
    lcd_putc("\f");
```

```
    lcd_putc("SET V = ");
```

```
    if(temp1==0xFF)
```

```
        lcd_putc(" _");
```

```
    else
```

```
        lcd_putc(temp1+0x30);
```

```
    if(temp2==0xFF)
```

```
        lcd_putc(" _");
```

```
    else
```

```
        lcd_putc(temp2+0x30);
```

```
    lcd_putc(".");
```

```
    if(temp3==0xFF)
```

```
        lcd_putc(" _");
```

```
    else
```

```
        lcd_putc(temp3+0x30);
```

```
    if(temp4==0xFF)
```

```
        lcd_putc(" _");
```

```
    else
```

```
        lcd_putc(temp4+0x30);
```

```
    break;
```

```
case(2): // show set current
```

```
    lcd_putc("\f");
```

```
    lcd_putc("SET A = ");
```

```
    if(temp1==0xFF)
```

```
        lcd_putc(" _");
```

```
    else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd_putc(temp1+0x30);
lcd_putc(".");
    if(temp2==0xFF)
        lcd_putc("_");
    else
        lcd_putc(temp2+0x30);
    break;

```

```

case(3): // show set step volt

```

```

    lcd_putc("\f");
    lcd_putc("STEP V = ");
    if(temp1==0xFF)
        lcd_putc("_");
    else
        lcd_putc(temp1+0x30);
    lcd_putc(".");
    if(temp2==0xFF)
        lcd_putc("_");
    else
        lcd_putc(temp2+0x30);
    if(temp3==0xFF)
        lcd_putc("_");
    else
        lcd_putc(temp3+0x30);
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(4): // show set current
    lcd_putc("\f");
    lcd_putc("SET A = ");
    if(temp1==0xFF)
        lcd_putc(" ");
    else
        lcd_putc(temp1+0x30);
    lcd_putc(".");
    if(temp2==0xFF)
        lcd_putc(" ");
    else
        lcd_putc(temp2+0x30);
    break;
}
// end of show_mode

int8 scan_key(void)
{
    int8 a1=0x00;
    int8 key_out;
    key_out=0;

    port_b=0xF7; //column1
    delay_ms(100);
    a1=port_b;
    a1=a1 & 0xF0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

switch(a1)
{
    case(0x70): key_out=1; break;
    case(0xB0): key_out=4; break;
    case(0xD0): key_out=7; break;
    case(0xE0): key_out=10; break;
}

```

```

port_b=0xFB; //column2
delay_ms(100);
a1=port_b;
a1=a1 & 0xF0;
switch(a1)
{ case(0x70): key_out=2; break;
  case(0xB0): key_out=5; break;
  case(0xD0): key_out=8; break;
  case(0xE0): key_out=11; break;
}

```

```

port_b=0xFD; //column3
delay_ms(100);
a1=port_b;
a1=a1 & 0xF0;
switch(a1)
{ case(0x70): key_out=3; break;
  case(0xB0): key_out=6; break;
  case(0xD0): key_out=9; break;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        case(0xE0): key_out=12; break;
    }

    port_b=0xFE; //column4
    delay_ms(100);
    a1=port_b;
    a1=a1 & 0xF0;
    switch(a1)
    {
        case(0x70): key_out=13; break;
        case(0xB0): key_out=14; break;
        case(0xD0): key_out=15; break;
        case(0xE0): key_out=16; break;
    }
    return(key_out);
} //end of scan_key

#separate
void max_v(void)
{
    temp1=3; num_set++;
    temp2=0; num_set++;
    temp3=0; num_set++;
    temp4=0; num_set++;
    show_mode();
} // end of max_v(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#separate
void max_step(void)
{
    temp1=5; num_set++;
    temp2=0; num_set++;
    temp3=0; num_set++;
    show_mode();
} // end of max_step(void)
```

```
#separate
void max_amp(void)
{
    temp1=3; num_set++;
    temp2=0; num_set++;
    show_mode();
} // end of max_amp(void)
```

```
#separate
void stop_run(void)
{
    lcd_putc("\f");
    lcd_putc("STOP RUN...");
    delay_ms(600);
} // end of stop_run
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#separate
void show_run_v(void)
{
    printf(lcd_putc, "\f V=%lu%lu.%lu%lu /
A=%lu.%lu", step_num1, step_num2, step_num3, step_num4, step_num5, step_num6);
} // end of show_run_v

```

```

#separate
void show_run_step(void)
{
    printf(lcd_putc, "\f V=%lu.%lu%lu /
A=%lu.%lu", step_num1, step_num2, step_num3, step_num5, step_num6);
} // end of show_run_step

```

```

#separate
void shift_byte_a(int put_a1)
{
    int8 con_bit[8];
    int8 shift;
    unsigned int1 m1=0,m2=0,m3=0,m4=0,m5=0,m6=0,m7=0,m8=0;
    unsigned int8 b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7,b8;
    m1=put_a1%2; // LSB
    con_bit[7]=m1;
    b1=put_a1/2;
    m2=b1%2;
    con_bit[6]=m2;
    b2=b1/2;
    m3=b2%2;

```

```

con_bit[5]=m3;
b3=b2/2;
m4=b3%2;
con_bit[4]=m4;
b4=b3/2;
m5=b4%2;
con_bit[3]=m5;
b5=b4/2;
m6=b5%2;
con_bit[2]=m6;
b6=b5/2;
m7=b6%2;
con_bit[1]=m7;
b7=b6/2;
m8=b7%2; // MSB
con_bit[0]=m8;
output_low(clear_a);
delay_us(1);
output_high(clear_a);
output_low(latch_a);
for(shift=0;shift<8;shift++)
{
    output_bit(datainput_a,con_bit[shift]); // con_bit[0] is MSB
    output_high(clk_a);
    delay_us(10);
    output_low(clk_a);
    delay_us(10);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
output_high(latch_a);  
break;  
} // end of shift_byte_a(int put_a1)
```

#separate

```
void detect_a(int8 detect_a2)  
{  
    int8 detect_a3;  
    switch(detect_a2)  
    {  
        case 0: detect_a3=5; break;  
        case 1: detect_a3=5; break;  
        case 2: detect_a3=5; break;  
        case 3: detect_a3=5; break;  
        case 4: detect_a3=5; break;  
        case 5: detect_a3=5; break;  
        case 6: detect_a3=5; break;  
        case 7: detect_a3=5; break;  
        case 8: detect_a3=5; break;  
        case 9: detect_a3=5; break;  
        case 10: detect_a3=5; break;  
        case 11: detect_a3=1; break;  
        case 12: detect_a3=1; break;  
        case 13: detect_a3=10; break;  
        case 14: detect_a3=10; break;  
        case 15: detect_a3=2; break;  
        case 16: detect_a3=2; break;  
        case 17: detect_a3=2; break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 18: detect_a3=16; break;
case 19: detect_a3=16; break;
case 20: detect_a3=16; break;
case 21: detect_a3=16; break;
case 22: detect_a3=16; break;
case 23: detect_a3=16; break;
case 24: detect_a3=0; break;
case 25: detect_a3=0; break;
case 26: detect_a3=0; break;
case 27: detect_a3=0; break;
case 28: detect_a3=0; break;
case 29: detect_a3=0; break;
case 30: detect_a3=0; break;
}
shift_byte_a(detect_a3);
} // end of void detect_a(int8 detect_a2)

#separate
void convert_amp(void)
{
int8 tmp1,tmp2;
int8 value_amp;
tmp1=tmp1;
tmp2=tmp2;
value_amp=(tmp1*10)+tmp2;
detect_a(value_amp);
} // end of convert_amp(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#separate
void shift_byte_v(int put_v1)
{
    int8 con_bit[8];
    int8 shift;
    unsigned int1 m1=0,m2=0,m3=0,m4=0,m5=0,m6=0,m7=0,m8=0;
    unsigned int8 b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7,b8;
    m1=put_v1%2; // LSB
    con_bit[7]=m1;
    b1=put_v1/2;
    m2=b1%2;
    con_bit[6]=m2;
    b2=b1/2;
    m3=b2%2;
    con_bit[5]=m3;
    b3=b2/2;
    m4=b3%2;
    con_bit[4]=m4;
    b4=b3/2;
    m5=b4%2;
    con_bit[3]=m5;
    b5=b4/2;
    m6=b5%2;
    con_bit[2]=m6;
    b6=b5/2;
    m7=b6%2;
    con_bit[1]=m7;
    b7=b6/2;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

m8=b7%2; // MSB
con_bit[0]=m8;
output_low(clear_v);
delay_us(1);
output_high(clear_v);
output_low(latch_v);
for(shift=0;shift<8;shift++)
{
    output_bit(datainput_v,con_bit[shift]); // con_bit[0] is MSB
    output_high(clk_v);
    delay_us(10);
    output_low(clk_v);
    delay_us(10);
}
output_high(latch_v);
printf("volt_step U/D = %u\n\r",step_num11);
break;
} // end of shift_byte_a(int put_v1)

#separate
void convert_volt(void)
{
    int16 value_volt;
    float value_volt_01;
    value_volt=(step_num1*1000)+(step_num2*100)+(step_num3*10)+step_num4;
    value_volt_01=value_volt;
    value_volt_02=0.085*value_volt_01; // 255/3000 = 0.085
    value_volt_03=value_volt_02;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    shift_byte_v(value_volt_03);
} // end of convert_volt(void)

#separate
void use_adc(void)
{
    delay_us(100);
    value_adc1=Read_ADC0;
    value_adc2=vref_LM*(float)value_adc1;
    while(value_volt_02!=value_adc2)
    {
        if(value_volt_02 > value_adc2)
        {
            value_volt_02 += 1.0;
            value_volt_03 = value_volt_02;
            shift_byte_v(value_volt_03);
        }
        else if(value_volt_02 < value_adc2)
        {
            value_volt_02 -= 1.0;
            value_volt_03 = value_volt_02;
            shift_byte_v(value_volt_03);
        }
    }
}

```

```

#separate
void step_set(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    step_num7=((step_num1*100)+(step_num2*10)+step_num3);
    step_num8 = (step_num7*inc_n);
    step_num9 = step_num8;
    step_num12=step_num9;
    step_num12 /= 100.0;
    step_num13=step_num12;
    step_num10 = (step_num9*0.085); // 255/3000 = 0.085
    step_num11 = step_num10;
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf lcd_putc," U/D V = %u",step_num13);
    shift_byte_v(step_num11);
} // end of step_set

void process_key(void)
{
    switch(value_key)
    {
        case(1):
            time_delay_key=20;
            switch(mode_select)
            {
                case(0):
                    mode_select=1; // for use set v
                    temp1=0xFF;
                    temp2=0xFF;
                    temp3=0xFF;
                    temp4=0xFF;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

num_set=0;
show_mode();
break;
case(1):
switch(num_set)
{
case(0): temp1=1; num_set++; break;
case(1): temp2=1; num_set++; break;
case(2): temp3=1; num_set++; break;
case(3): temp4=1; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
case(2):
switch(num_set)
{
case(0): temp1=1; num_set++; break;
case(1): temp2=1; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
case(3):
switch(num_set)
{
case(0): temp1=1; num_set++; break;
case(1): temp2=1; num_set++; break;
case(2): temp3=1; num_set++; break;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        show_mode();
        break;
    case(4):
        switch(num_set)
        {
            case(0): temp1=1; num_set++; break;
            case(1): temp2=1; num_set++; break;
        }
        show_mode();
        break;
    }
    break;
case(2):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(0):
            mode_select=3; // for use set step v
            temp1=0xFF;
            temp2=0xFF;
            temp3=0xFF;
            temp4=0xFF;
            num_set=0;
            show_mode();
            break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case(1):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=2; num_set++; break;
        case(1): temp2=2; num_set++; break;
        case(2): temp3=2; num_set++; break;
        case(3): temp4=2; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
```

```
case(2):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=2; num_set++; break;
        case(1): temp2=2; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
```

```
case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=2; num_set++; break;
        case(1): temp2=2; num_set++; break;
        case(2): temp3=2; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=2; num_set++; break;
        case(1): temp2=2; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;
case(3):
time_delay_key=20;
switch(mode_select)
{
case(1):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_v();
            break;
        case(1): temp2=3; num_set++; break;
        case(2): temp3=3; num_set++; break;
        case(3): temp4=3; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(2):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=3; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=3; num_set++; break;
        case(1): temp2=3; num_set++; break;
        case(2): temp3=3; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=3; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;
case(4):
time_delay_key=20;
switch(mode_select)
{
case(1):
switch(num_set)
{
case(0): max_v();
break;
case(1): temp2=4; num_set++; break;
case(2): temp3=4; num_set++; break;
case(3): temp4=4; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
case(2):
switch(num_set)
{
case(0): max_amp();
break;
case(1): temp2=4; num_set++; break;
}
show_mode();
break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=4; num_set++; break;
        case(1): temp2=4; num_set++; break;
        case(2): temp3=4; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;

```

```

case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
        break;
        case(1): temp2=4; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;

```

```

case(5):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(1):
            switch(num_set)
            {
                case(0): max_v();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;

        case(1): temp2=5; num_set++; break;
        case(2): temp3=5; num_set++; break;
        case(3): temp4=5; num_set++; break;
    }

    show_mode();

    break;

case(2):

    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=5; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
case(3):

    switch(num_set)
    {
        case(0): max_step();
            break;
        case(1): temp2=5; num_set++; break;
        case(2): temp3=5; num_set++; break;
    }

    show_mode();

    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=5; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;
case(6):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(1):
            switch(num_set)
            {
                case(0): max_v();
                    break;
                case(1): temp2=6; num_set++; break;
                case(2): temp3=6; num_set++; break;
                case(3): temp4=6; num_set++; break;
            }
            show_mode();
            break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case(2):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=6; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
```

```
case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_step();
            break;
        case(1): temp2=6; num_set++; break;
        case(2): temp3=6; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
```

```
case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=6; num_set++; break;
    }
    show_mode();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    }
    break;
case(7):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(1):
        switch(num_set)
        {
        case(0): max_v();
            break;
        case(1): temp2=7; num_set++; break;
        case(2): temp3=7; num_set++; break;
        case(3): temp4=7; num_set++; break;
        }
        show_mode();
        break;
    case(2):
        switch(num_set)
        {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=7; num_set++; break;
        }
        show_mode();
        break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_step();
            break;
        case(1): temp2=7; num_set++; break;
        case(2): temp3=7; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;

```

```

case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=7; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;

```

```

case(8):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(1):
            switch(num_set)

```

```

{
    case(0): max_v0();
        break;
    case(1): temp2=8; num_set++; break;
    case(2): temp3=8; num_set++; break;
    case(3): temp4=8; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
case(2):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=8; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_step();
            break;
        case(1): temp2=8; num_set++; break;
        case(2): temp3=8; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): max_amp();
            break;
        case(1): temp2=8; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;
case(9):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(1):
            switch(num_set)
            {
                case(0): max_v();
                    break;
                case(1): temp2=9; num_set++; break;
                case(2): temp3=9; num_set++; break;
                case(3): temp4=9; num_set++; break;
            }
            show_mode();
            break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

case(2):

```
switch(num_set)
{
    case(0): max_amp();
        break;
    case(1): temp2=9; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
```

case(3):

```
switch(num_set)
{
    case(0): max_step();
        break;
    case(1): temp2=9; num_set++; break;
    case(2): temp3=9; num_set++; break;
}
show_mode();
break;
```

case(4):

```
switch(num_set)
{
    case(0): max_amp();
        break;
    case(1): temp2=9; num_set++; break;
}
show_mode();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    }
    break;
case(10):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(1):
        temp1=0xFF; temp2=0xFF; temp3=0xFF; temp4=0xFF;
        num_set=0;
        mode_select=1;
        show_mode();
        break;
    case(2):
        temp1=0xFF; temp2=0xFF;
        num_set=0;
        mode_select=2;
        show_mode();
        break;
    case(3):
        temp1=0xFF; temp2=0xFF; temp3=0xFF;
        inc_n=0;
        num_set=0;
        step_num5=0;
        mode_select=3;
        show_mode();
        break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case(4):
    temp1=0xFF; temp2=0xFF;
    num_set=0;
    mode_select=4;
    show_mode();
    break;
}
break;

```

```

case(11):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(1):
        switch(num_set)
        {
        case(0): temp1=0; num_set++; break;
        case(1): temp2=0; num_set++; break;
        case(2): temp3=0; num_set++; break;
        case(3): temp4=0; num_set++; break;
        }
        show_mode();
        break;
    case(2):
        switch(num_set)
        {
        case(0): temp1=0; num_set++; break;
        case(1): temp2=0; num_set++; break;
        }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    show_mode();
    break;
case(3):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=0; num_set++; break;
        case(1): temp2=0; num_set++; break;
        case(2): temp3=0; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
case(4):
    switch(num_set)
    {
        case(0): temp1=0; num_set++; break;
        case(1): temp2=0; num_set++; break;
    }
    show_mode();
    break;
}
break;
case(12):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
        case(5): // run step volt
            mode_select=6; // use function step up/down
            convert_amp();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        show_run_step();
        break;
    case(8): // run volt
        show_run_v();
        convert_amp();
        convert_volt();
        use_adc();
        break;
    }
    break;
case(13):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(6):
        inc_n ++;
        step_set();
        value_volt_02=step_num10;
        use_adc();
        break;
    }
    break; // break of case 13
case(14):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(6):
        inc_n --;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    step_set();
    value_volt_02=step_num10;
    use_adc();
    break;
}
break;
case(15):
    time_delay_key=20;
    switch(mode_select)
    {
    case(1):
        step_num1=0; step_num2=0; step_num3=0; step_num4=0;
        step_num5=0; step_num6=0;
        temp1=0; temp2=0; temp3=0; temp4=0;
        inc_n=0;
        num_set=0;
        mode_select=0;
        show_mode();
        break;
    case(2): // exit set a at fig voltage
        step_num1=0; step_num2=0;
        mode_select=0;
        num_set=0;
        show_mode();
        break;
    case(3):
        step_num1=0; step_num2=0; step_num3=0;
        step_num5=0; step_num6=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mode_select=0;
```

```
num_set=0;
```

```
show_mode();
```

```
break;
```

```
case(4):
```

```
step_num1=0; step_num2=0;
```

```
mode_select=0;
```

```
num_set=0;
```

```
show_mode();
```

```
break;
```

```
case(5): // exit run step v is not push up / down
```

```
stop_run();
```

```
step_num1=0; step_num2=0; step_num3=0;
```

```
step_num5=0; step_num6=0;
```

```
step_num7=0; step_num8=0;
```

```
step_num9=0.0; step_num10=0.0; step_num12=0.0;
```

```
step_num11=0; step_num13=0;
```

```
temp1=0; temp2=0; temp3=0;
```

```
inc_n=0.0;
```

```
mode_select=0;
```

```
show_mode();
```

```
break;
```

```
case(6): // exit run step v is up / down
```

```
stop_run();
```

```
step_num1=0; step_num2=0; step_num3=0;
```

```
step_num5=0; step_num6=0;
```

```
step_num7=0; step_num8=0;
```

```
step_num9=0.0; step_num10=0.0; step_num12=0.0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

step_num11=0;step_num13=0;
value_volt_02=0.0;
step_set(); // reset step volt is up / down
temp1=0; temp2=0; temp3=0;
inc_n=0.0;
mode_select=0;
show_mode();
break;
case(8): // exit run v
stop_run();
step_num1=0; step_num2=0; step_num3=0; step_num4=0;
step_num5=0; step_num6=0;
value_volt_03=0;
value_volt_02=0.0;
value_adc1=0;
value_adc2=0.0;
convert_volt(); // reset fig volt
shift_byte_v(value_volt_03);
mode_select=0;
num_set=0;
show_mode();
break;
}
break;
case(16):
time_delay_key=20;
switch(mode_select)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

case(1):

```
if(num_set>3)
{
    mode_select=2;
    step_num1=temp1; step_num2=temp2; step_num3=temp3;
    step_num4=temp4;
    temp1=0xFF; temp2=0xFF; temp3=0xFF; temp4=0xFF;
    num_set=0;
}
```

```
lcd_gotoxy(16,2);
```

```
lcd_putc("E");
```

```
delay_ms(400);
```

```
show_mode();
```

```
break;
```

case(2):

```
if(num_set>1)
{
    mode_select=8; // use function run volt
    step_num5=temp1; step_num6=temp2;
    temp1=0xFF; temp2=0xFF;
    num_set=0;
}
```

```
lcd_gotoxy(16,2);
```

```
lcd_putc("E");
```

```
break;
```

case(3):

```
if(num_set>2)
{
```

```

mode_select=4;
step_num1=temp1; step_num2=temp2; step_num3=temp3;
temp1=0xFF; temp2=0xFF; temp3=0xFF;
num_set=0;
}
lcd_gotoxy(16,2);
lcd_putc("E");
delay_ms(400);
show_mode();
break;
case(4):
if(num_set>1)
{
mode_select=5; // use function run step_v
step_num5=temp1; step_num6=temp2;
temp1=0xFF; temp2=0xFF;
num_set=0;
}
lcd_gotoxy(16,2);
lcd_putc("E");
break;
}
break;
}
} // end of process_key(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main()
{
    set_tris_b(0xF0);
    set_tris_c(0x90);

    lcd_init();
    delay_ms(200);

    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);

    mode_select=0;
    show_mode();
    value_key=0;
    time_delay_key=0;

    while(TRUE)
    {
        delay_ms(10);
        if(time_delay_key>0)
            time_delay_key--;
        if(time_delay_key==0)
        {
            value_key=scan_key();
            delay_ms(5);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
process_key();
}
}
} // end of main
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC0800/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V_{p-p} with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current drift: ±10 ppm/°C
- High output compliance: -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ±4.5V to ±18V
- Low power consumption: 33 mW at ±5V
- Low cost

Typical Applications

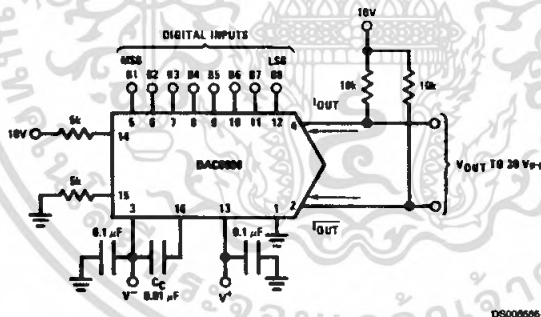


FIGURE 1. ±20 V_{p-p} Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	DAC-08HQ	N Package (N16E) (Note 1)	DAC-08HP	SO Package (M16A)
±0.1% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^+ plus 36V
Analog Current Outputs ($V_{e^-} = -15V$)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	$260^\circ C$
Dual-In-Line Package (ceramic)	$300^\circ C$
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^\circ C$
Infrared (15 seconds)	$220^\circ C$

Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0800L	-55	+125	$^\circ C$
DAC0800LC	0	+70	$^\circ C$
DAC0802LC	0	+70	$^\circ C$

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{e^-} = \pm 15V$, $I_{REF} = 2$ mA and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				± 0.1			± 0.19	%FS
t_s	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$		100	135				ns
		DAC0800L				100	135		ns
		DAC0800LC				100	150		ns
t_{PLH} , t_{PHL}	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60	ns
				35	60		35	60	ns
TCI_{FS}	Full Scale Tempco			± 10	± 50		± 10	± 50	ppm/ $^\circ C$
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M Ω Typ	-10		18	-10		18	V
I_{FS4}	Full Scale Current	$V_{REF} = 10.000V$, $R_{14} = 5.000$ k Ω $R_{15} = 5.000$ k Ω , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
I_{FS5}	Full Scale Symmetry	$I_{FS4} - I_{FS2}$		± 0.5	± 4.0		± 1	± 8.0	μA
I_{ZS}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	μA
I_{eAR}	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
V_{IL}	Logic Input Levels Logic "0"	$V_{IC} = 0V$			0.8			0.8	V
V_{IH}	Logic "1"		2.0			2.0			V
I_{IL}	Logic Input Current Logic "0"	$V_{IC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$		-2.0	-10		-2.0	-10	μA
I_{IH}	Logic "1"	$2V \leq V_{IN} \leq +18V$		0.002	10		0.002	10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	V
I_{IS}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
dI/dt	Reference Input Slew Rate	(Figure 11)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ μs
$PSSI_{FS+}$	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^- \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
$PSSI_{FS-}$		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
		$I_{REF} = 1mA$							

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I ⁺ I ⁻	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		-4.3	-5.8		-4.3	-5.8	mA
I ⁺ I ⁻		$V_S = \pm 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		-6.4	-7.8		-6.4	-7.8	mA
I ⁺ I ⁻		$V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
		$V_S = 15V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		-6.5	-7.8		-6.5	-7.8	mA
		$V_S = 15V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
P _D	Power Dissipation	$\pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48	mW
		$5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174	mW

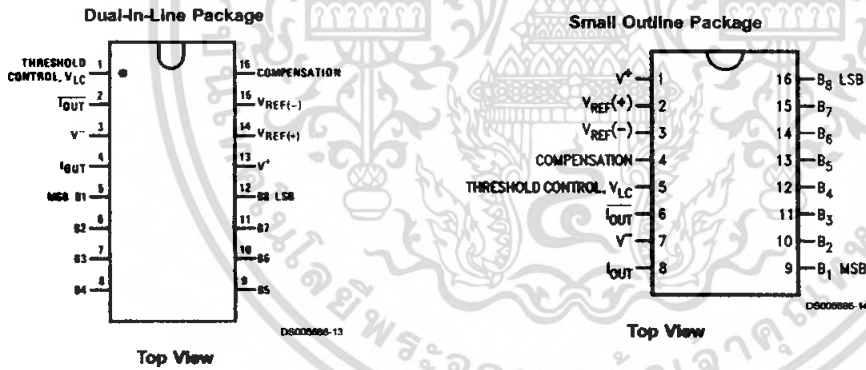
Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

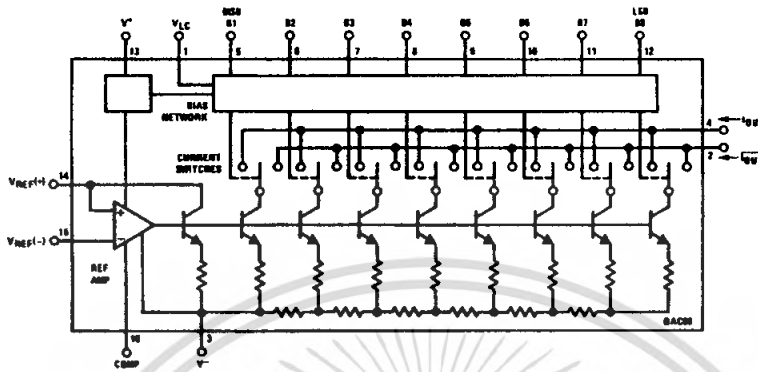
Note 5: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

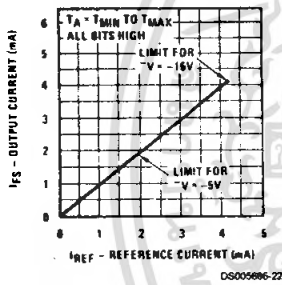
Block Diagram (Note 5)



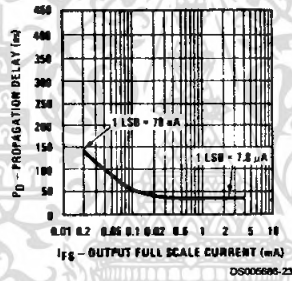
DS005986-2

Typical Performance Characteristics

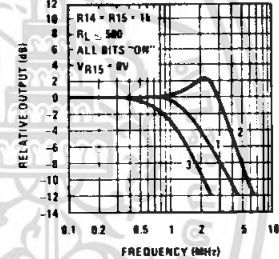
Full Scale Current vs Reference Current



LSB Propagation Delay vs IFS

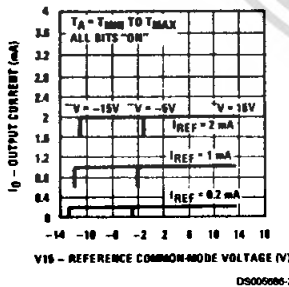


Reference Input Frequency Response



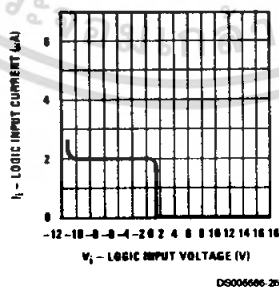
Curve 1: $C_C = 15$ pF, $V_{IN} = 2$ Vp-p centered at 1V.
Curve 2: $C_C = 15$ pF, $V_{IN} = 50$ mVp-p centered at 200 mV.
Curve 3: $C_C = 0$ pF, $V_{IN} = 100$ mVp-p centered at 0V and applied through 50Ω connected to pin 14. 2V applied to R14.

Reference Amp Common-Mode Range

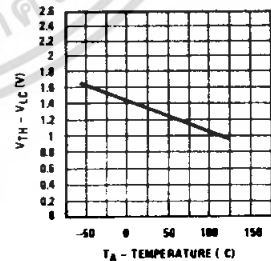


Note. Positive common-mode range is always $(V+) - 1.5V$.

Logic Input Current vs Input Voltage

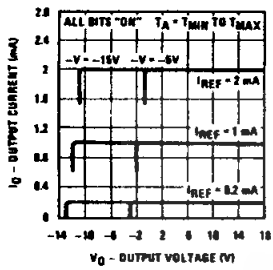


VTH - VLC vs Temperature



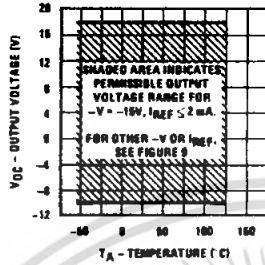
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



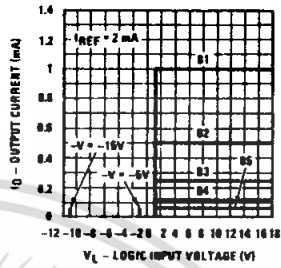
DS000686-28

Output Voltage Compliance vs Temperature



DS000686-29

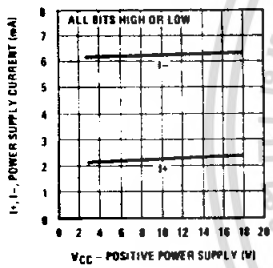
Bit Transfer Characteristics



DS000686-30

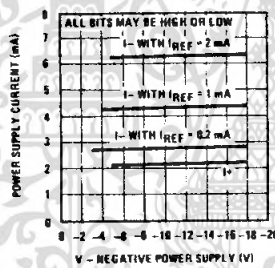
Note. B1-B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1/2 LSB error, at less than ±100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range (VL = 0V).

Power Supply Current vs +V



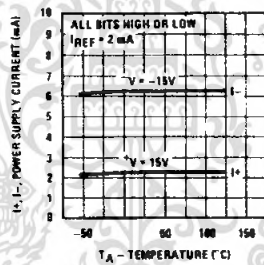
DS000686-31

Power Supply Current vs -V



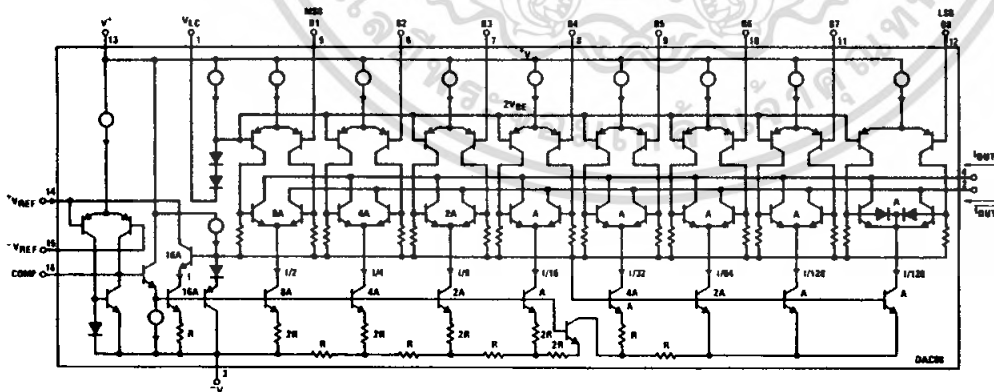
DS000686-32

Power Supply Current vs Temperature



DS000686-33

Equivalent Circuit

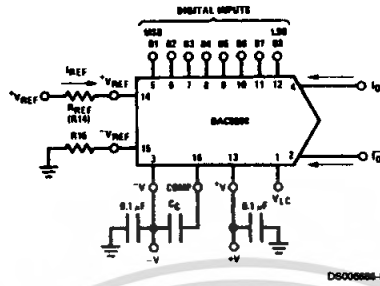


DS000686-15

FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications



DS000886-8

$$I_{FS} \approx \frac{+V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

$I_0 + \bar{I}_0 = I_{FS}$ for all logic states

For fixed reference, TTL operation, typical values are:

$V_{REF} = 10.000V$

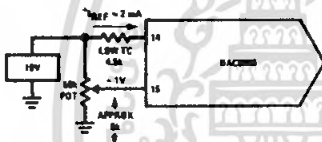
$R_{REF} = 5.000k$

$R15 = R_{REF}$

$C_C = 0.01 \mu F$

$V_{FC} = 0V$ (Ground)

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 5)



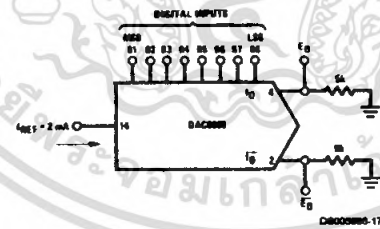
DS000886-21

FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 5)

$$I_{FS} \approx \frac{-V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

Note: R_{REF} sets I_{FS} ; $R15$ is for bias current cancellation

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 5)



DS000886-17

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I_0 mA	\bar{I}_0 mA	E_0	\bar{E}_0
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-8.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-8.960

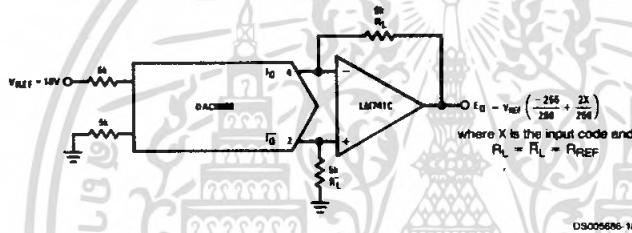
FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 5)

Typical Applications (Continued)



	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_o	\bar{E}_o
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

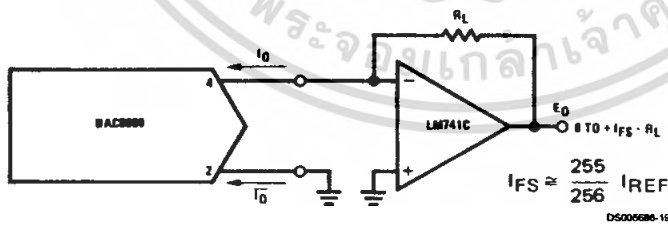
FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 5)



If $R_L = \bar{R}_L$ within $\pm 0.05\%$, output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_o
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.960
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.880
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(-)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	-0.040
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-9.880
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.960

FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 5)

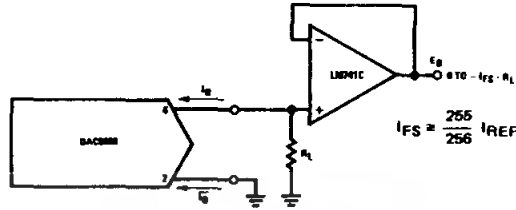


For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to i_0 (pin 2), connect i_0 (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

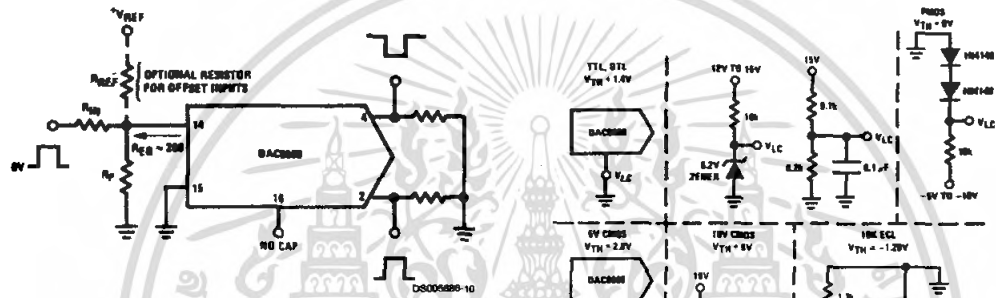
Typical Applications (Continued)



DS00086-20

For complementary output (operation as a negative logic DAC) connect non-inverting input of op amp to \bar{I}_0 (pin 2); connect I_0 (pin 4) to ground.

FIGURE 10. Negative Low Impedance Output Operation (Note 5)



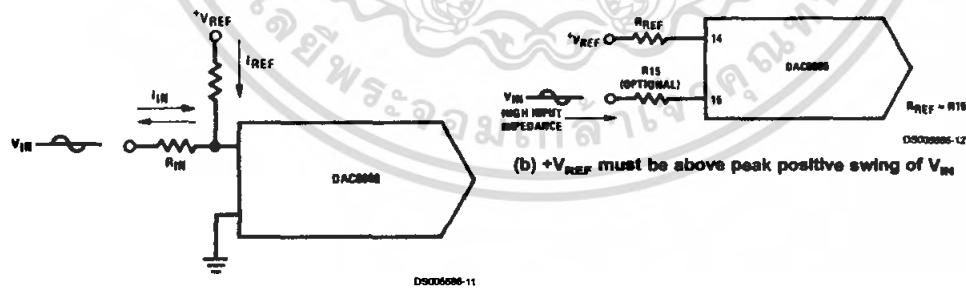
Typical values: $R_{IN} = 5k$, $+V_{IN} = 10V$

FIGURE 11. Pulsed Reference Operation (Note 5)

$V_{TH} = V_{LC} + 1.4V$
15V CMOS, HTL, MNIL
 $V_{TH} = 7.6V$

Note: Do not exceed negative logic input range of DAC.

FIGURE 12. Interfacing with Various Logic Families



(a) $I_{REF} \geq$ peak negative swing of I_{IN}

FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

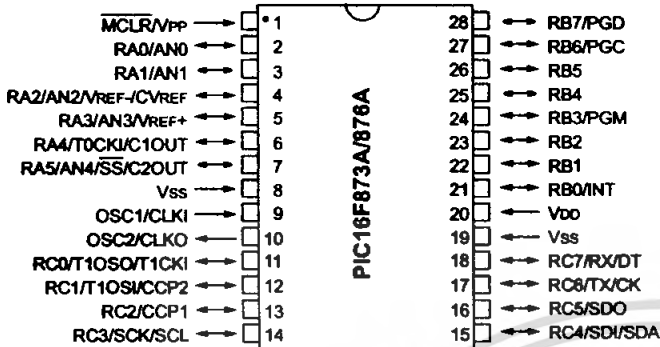
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

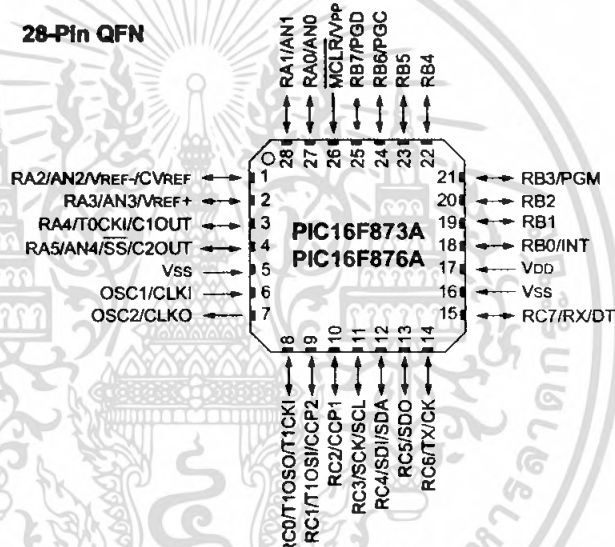
PIC16F87XA

Pin Diagrams

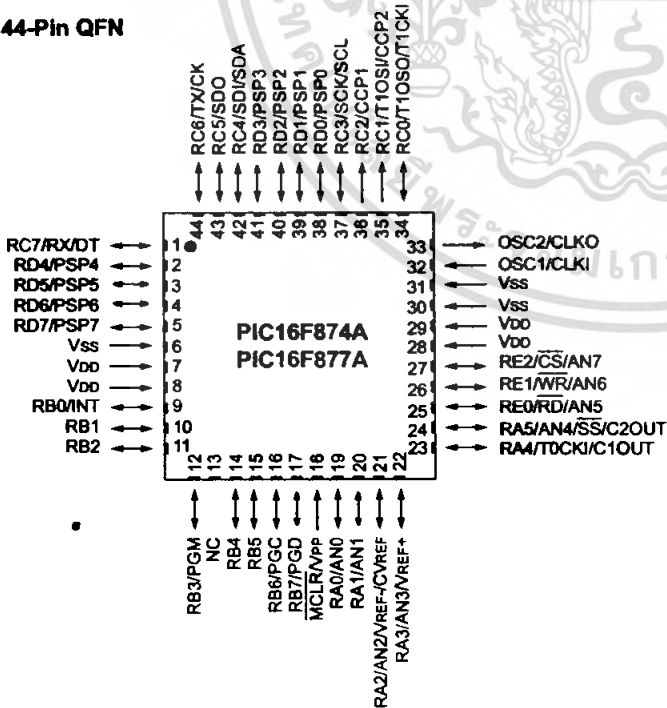
28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



28-Pin QFN



44-Pin QFN

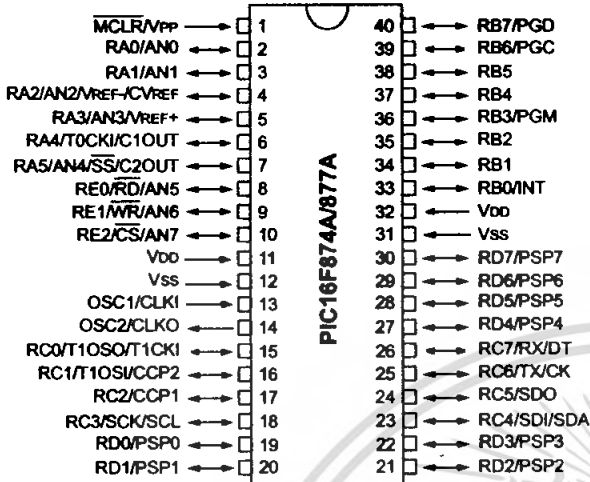


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

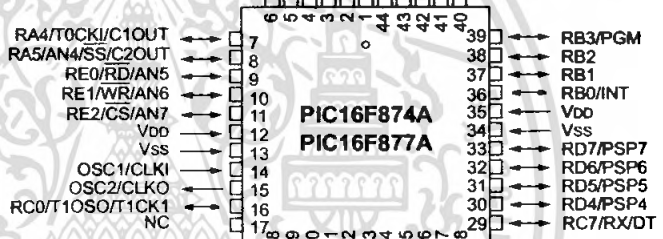
PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)

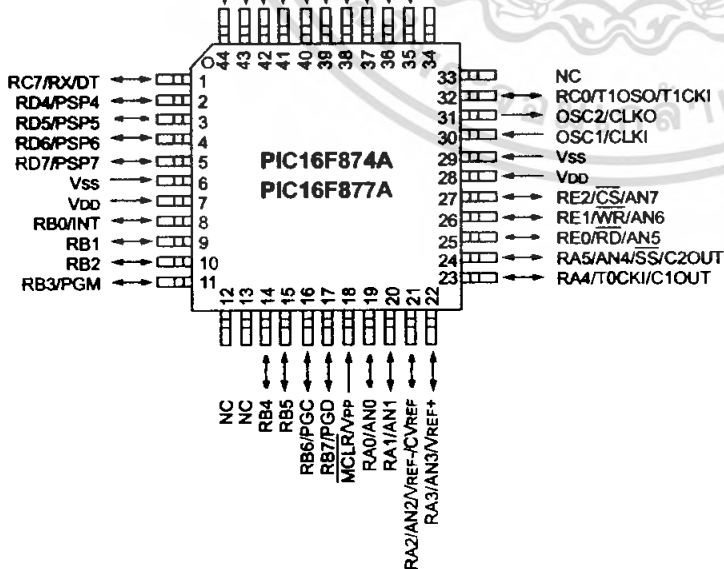
40-Pin PDIP



44-Pin PLCC



44-Pin TQFP



PIC16F87XA

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

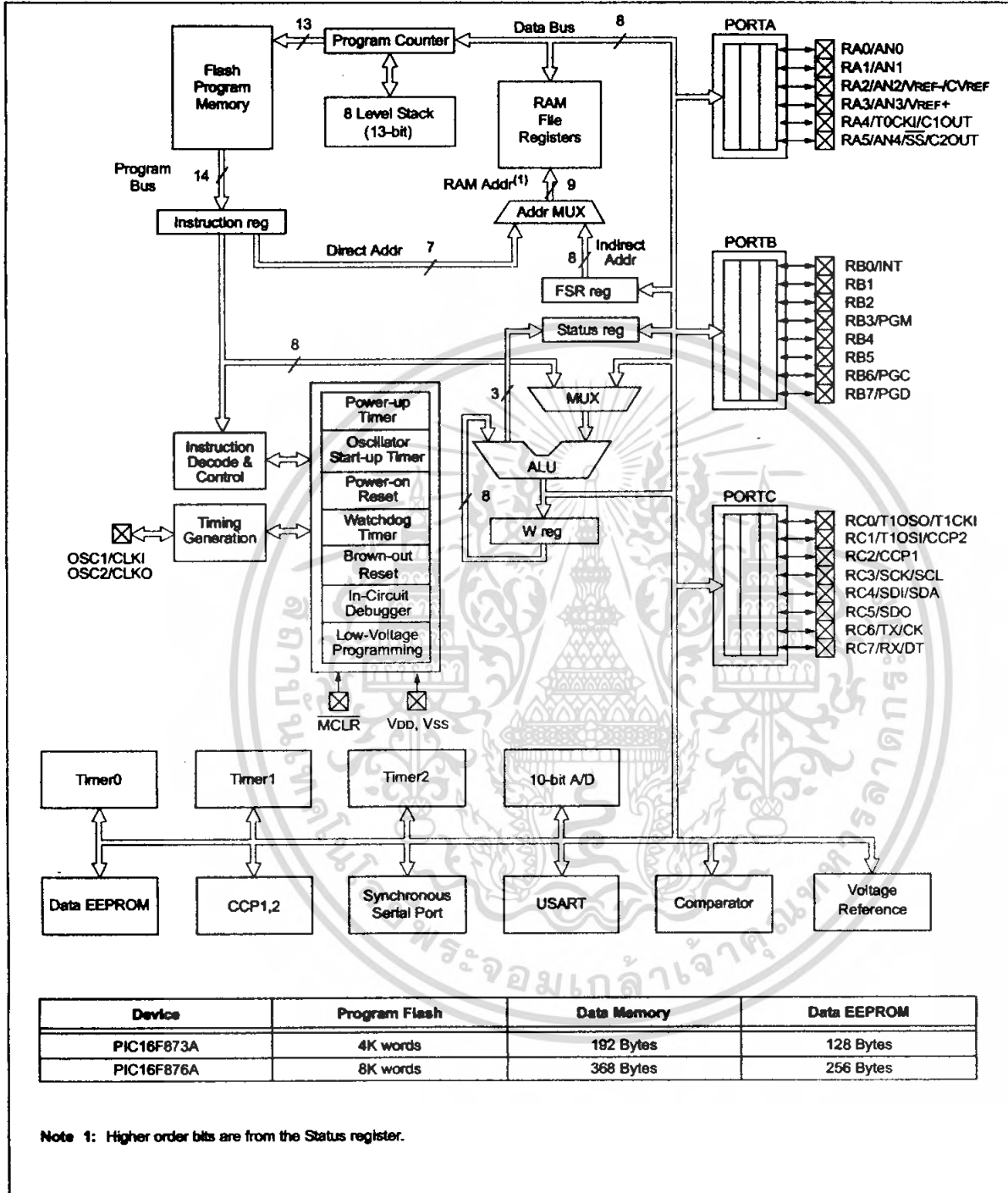
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

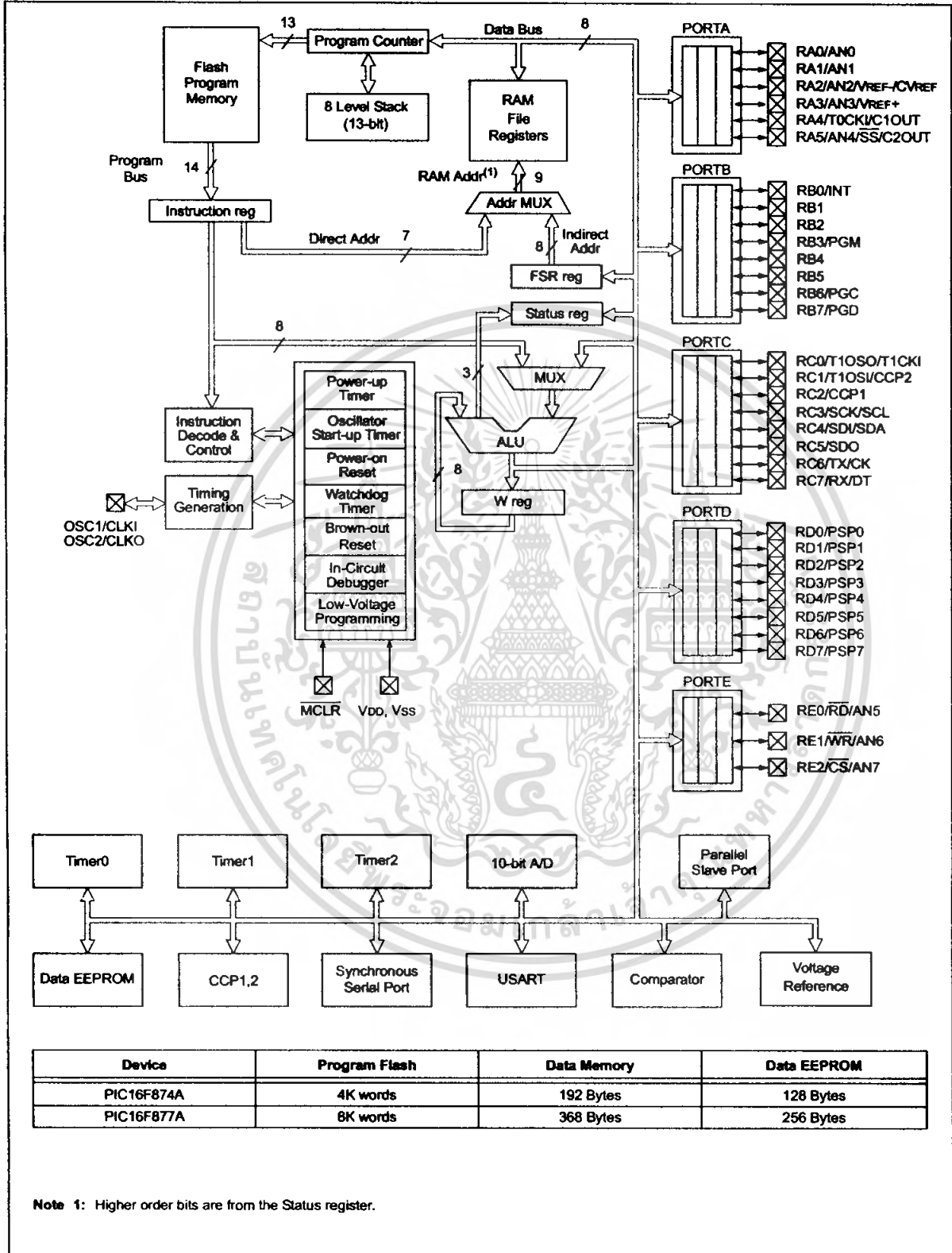
PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	9	6	I I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	10	7	O O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR VPP	1	26	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	27	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	28	I/O I	TTL	
RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	1	I/O I I O	TTL	
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	2	I/O I I	TTL	
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	3	I/O I O	ST	
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	4	I/O I I O	TTL	

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
Vss	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	14	30	32	I I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	14	15	31	33	O O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR VPP	1	2	18	18	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	3	19	19	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	4	20	20	I/O I	TTL	
RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	5	21	21	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	6	22	22	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	7	23	23	I/O I O	ST	Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	8	24	24	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	18	20	37	37	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus. Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/RD/AN5 RE0 RD AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/WR/AN6 RE1 WR AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/CS/AN7 RE2 CS AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

μA741, μA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- Low Power Consumption
- No Latch-Up
- Designed to Be Interchangeable With Fairchild μA741

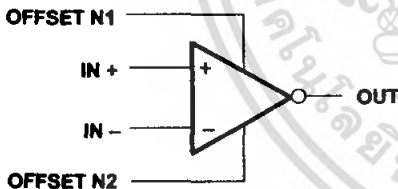
description

The μA741 is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

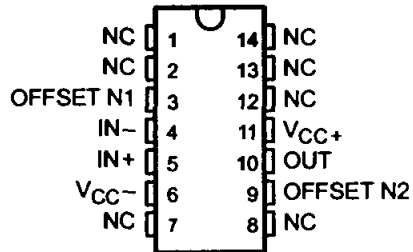
The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 2.

The μA741C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The μA741I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The μA741M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

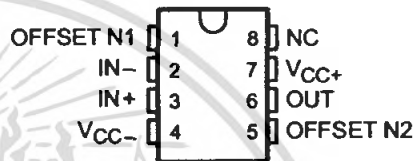
symbol



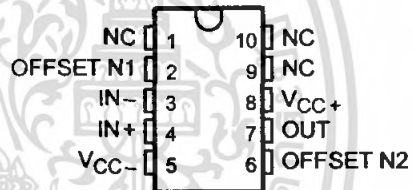
μA741M ... J PACKAGE
(TOP VIEW)



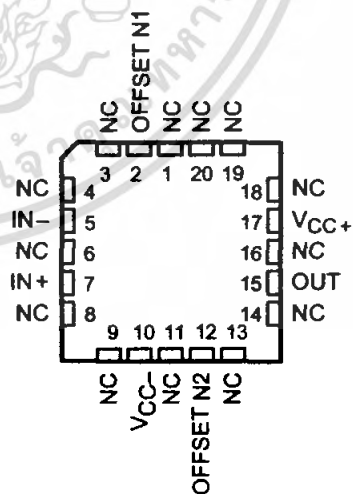
μA741M ... JG PACKAGE
μA741C, μA741I ... D, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



μA741M ... U PACKAGE
(TOP VIEW)



μA741M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

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.

Copyright © 2000, Texas Instruments Incorporated


**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

741, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

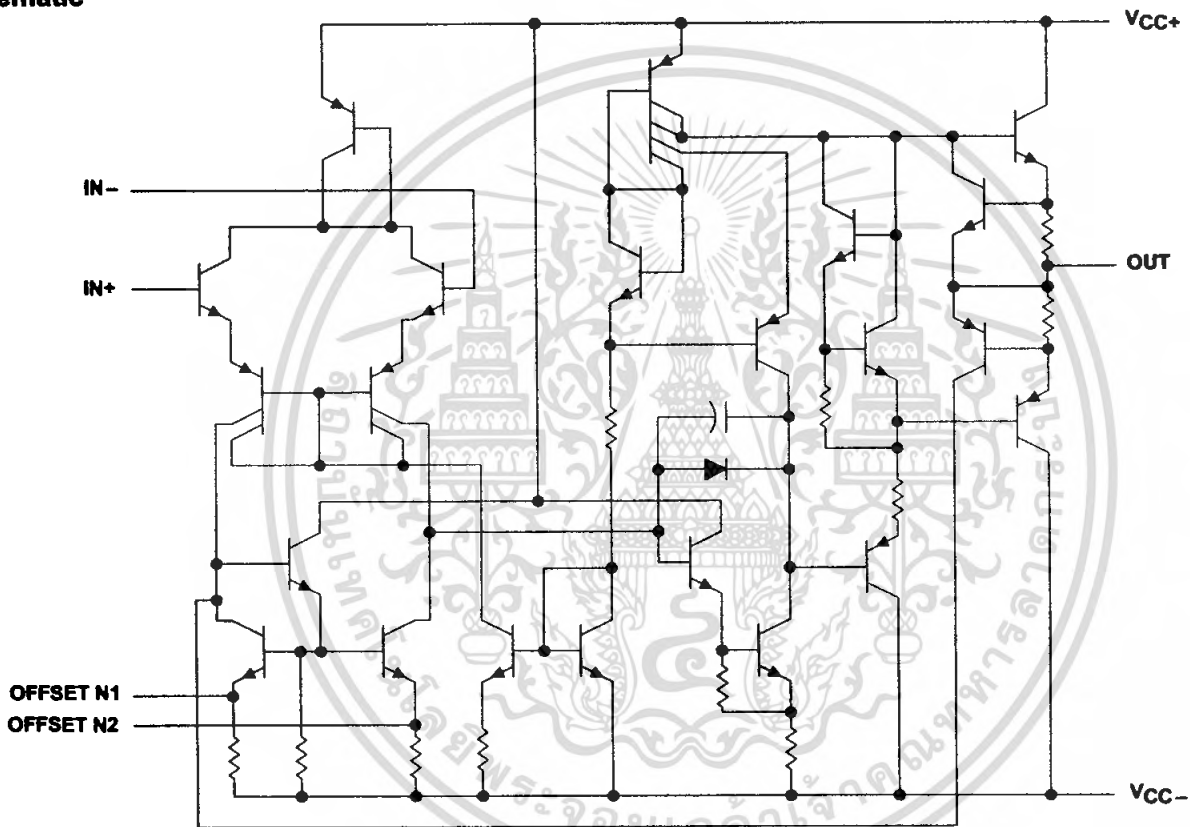
194B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

AVAILABLE OPTIONS

TA	PACKAGED DEVICES							CHIP FORM (Y)
	SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)	FLAT PACK (U)	
0°C to 70°C	μ A741CD				μ A741CP	μ A741CPW		μ A741Y
-40°C to 85°C	μ A741ID				μ A741IP			
-55°C to 125°C		μ A741MFK	μ A741MJ	μ A741MJG			μ A741MU	

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R (e.g., μ A741CDR).

Schematic



Component Count	
Transistors	22
Resistors	11
Diode	1
Capacitor	1



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

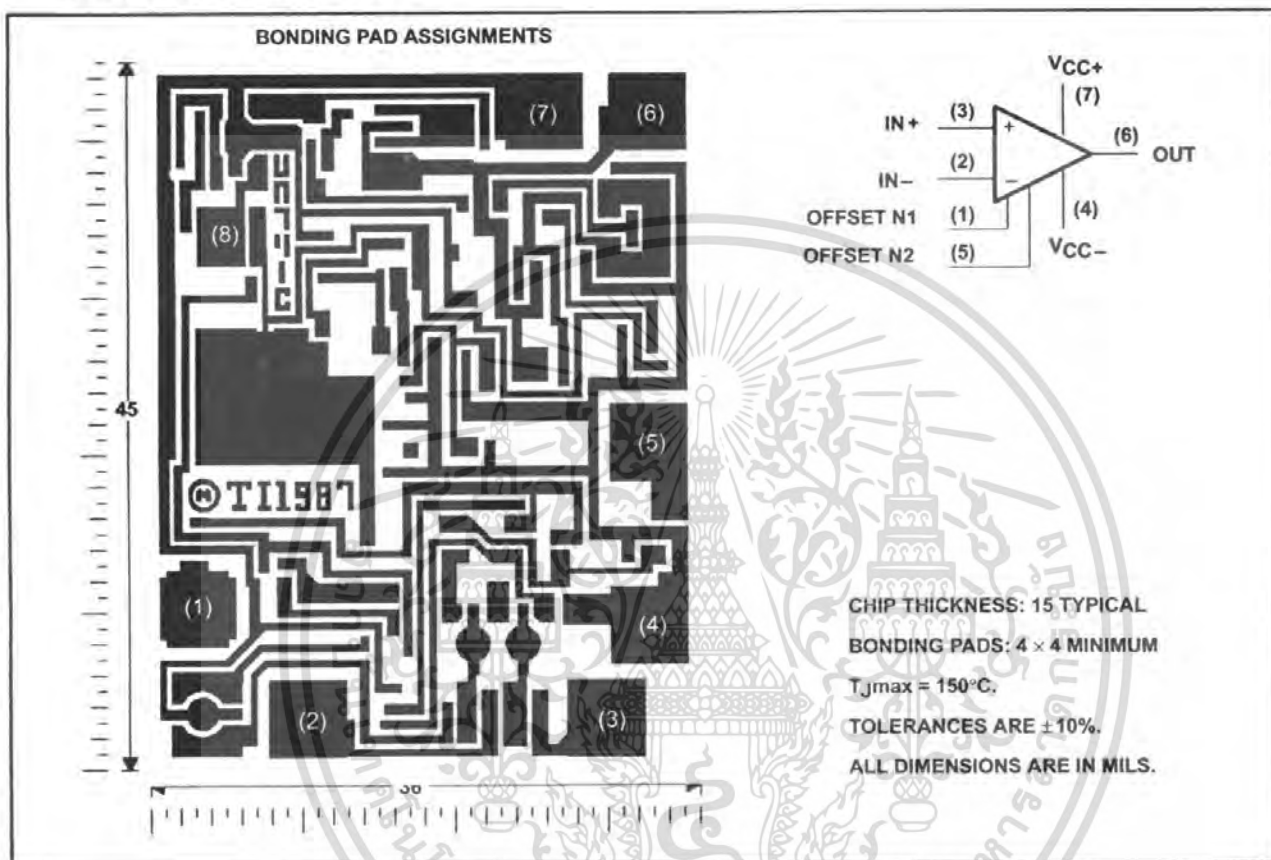
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA741, μA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

μA741Y chip information

This chip, when properly assembled, displays characteristics similar to the μA741C. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **TEXAS INSTRUMENTS** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

41, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

194B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

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

	μ A741C	μ A741I	μ A741M	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	22	22	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-18	-22	-22	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	± 15	± 30	± 30	V
Input voltage, V_I any input (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	V
Voltage between offset null (either OFFSET N1 or OFFSET N2) and V_{CC-}	± 15	± 0.5	± 0.5	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range, T_A	0 to 70	-40 to 85	-55 to 125	$^{\circ}$ C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	$^{\circ}$ C
Case temperature for 60 seconds	FK package			260
Case temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J, JG, or U package			300
Case temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, P, or PW package			260

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

- NOTES:
- All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 - Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
 - The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 - The output may be shorted to ground or either power supply. For the μ A741M only, the unlimited duration of the short circuit applies at (or below) 125 $^{\circ}$ C case temperature or 75 $^{\circ}$ C free-air temperature.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}$ C POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^{\circ}$ C POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}$ C POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}$ C POWER RATING
D	500 mW	5.8 mW/ $^{\circ}$ C	64 $^{\circ}$ C	464 mW	377 mW	N/A
FK	500 mW	11.0 mW/ $^{\circ}$ C	105 $^{\circ}$ C	500 mW	500 mW	275 mW
J	500 mW	11.0 mW/ $^{\circ}$ C	105 $^{\circ}$ C	500 mW	500 mW	275 mW
JG	500 mW	8.4 mW/ $^{\circ}$ C	90 $^{\circ}$ C	500 mW	500 mW	210 mW
P	500 mW	N/A	N/A	500 mW	500 mW	N/A
PW	525 mW	4.2 mW/ $^{\circ}$ C	25 $^{\circ}$ C	336 mW	N/A	N/A
U	500 mW	5.4 mW/ $^{\circ}$ C	57 $^{\circ}$ C	432 mW	351 mW	135 mW



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA741, μA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A †	μA741C			μA741I, μA741M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0$	25°C	1		6	1		5	mV
		Full range			7.5			6	
$\Delta V_{IO(\text{adj})}$ Offset voltage adjust range	$V_O = 0$	25°C	±15			±15			mV
I_{IO} Input offset current	$V_O = 0$	25°C	20		200	20		200	nA
		Full range			300			500	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 0$	25°C	80		500	80		500	nA
		Full range			800			1500	
V_{ICR} Common-mode input voltage range		25°C	±12	±13		±12		±13	V
		Full range	±12				±12		
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	±12	±14		±12		±14	V
		Full range	±12				±12		
		25°C	±10	±13		±10		±13	
		Full range	±10				±10		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_O = \pm 10\text{ V}$	25°C	20		200	50		200	V/mV
		Full range	15				25		
r_i Input resistance		25°C	0.3		2	0.3		2	MΩ
r_o Output resistance	$V_O = 0$, See Note 5	25°C			75			75	Ω
C_i Input capacitance		25°C			1.4			1.4	pF
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$	25°C	70		90	70		90	dB
		Full range	70				70		
k_{SVS} Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	$V_{CC} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$	25°C	30		150	30		150	μV/V
		Full range			150			150	
I_{OS} Short-circuit output current		25°C	±25		±40	±25		±40	mA
I_{CC} Supply current	$V_O = 0$, No load	25°C	1.7		2.8	1.7		2.8	mA
		Full range			3.3			3.3	
P_D Total power dissipation	$V_O = 0$, No load	25°C	50		85	50		85	mW
		Full range			100			100	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for the μA741C is 0°C to 70°C, the μA741I is -40°C to 85°C, and the μA741M is -55°C to 125°C.

NOTE 5: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	μA741C			μA741I, μA741M			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$			0.3			0.3	μs
Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1			5%			5%	
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1			0.5			0.5	V/μs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

741, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

Electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	μ A741Y			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input offset voltage	$V_O = 0$		1	6	mV
(adj) Offset voltage adjust range	$V_O = 0$		± 15		mV
Input offset current	$V_O = 0$		20	200	nA
Input bias current	$V_O = 0$		80	500	nA
Common-mode input voltage range		± 12	± 13		V
Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10$ k Ω	± 12	± 14		V
	$R_L = 2$ k Ω	± 10	± 13		
Large-signal differential voltage amplification	$R_L \geq 2$ k Ω	20	200		V/mV
Input resistance		0.3	2		M Ω
Output resistance	$V_O = 0$, See Note 5		75		Ω
Input capacitance			1.4		pF
Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	70	90		dB
Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	$V_{CC} = \pm 9$ V to ± 15 V		30	150	μ V/V
Short-circuit output current			± 25	± 40	mA
Supply current	$V_O = 0$, No load		1.7	2.8	mA
Total power dissipation	$V_O = 0$, No load		50	85	mW

Electrical characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.

Note 5: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	μ A741Y			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Rise time	$V_I = 20$ mV, $R_L = 2$ k Ω , $C_L = 100$ pF, See Figure 1		0.3		μ s
Overshoot factor	$C_L = 100$ pF, See Figure 1		5%		
Slew rate at unity gain	$V_I = 10$ V, $R_L = 2$ k Ω , $C_L = 100$ pF, See Figure 1		0.5		V/ μ s



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**µA741, µA741Y
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS094B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

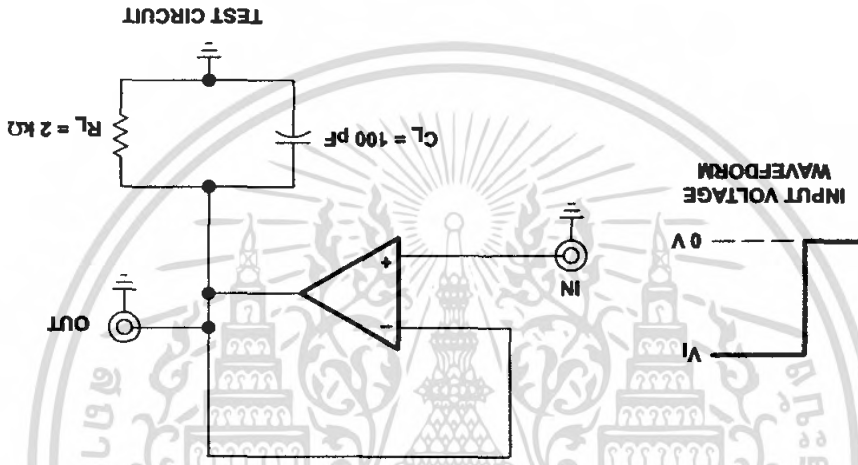


Figure 1. Rise Time, Overshoot, and Slew Rate

APPLICATION INFORMATION

Figure 2 shows a diagram for an input offset voltage null circuit.

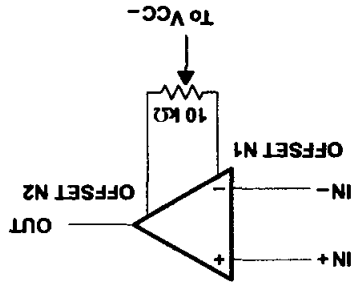


Figure 2. Input Offset Voltage Null Circuit

41, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

194B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

TYPICAL CHARACTERISTICS†

INPUT OFFSET CURRENT
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

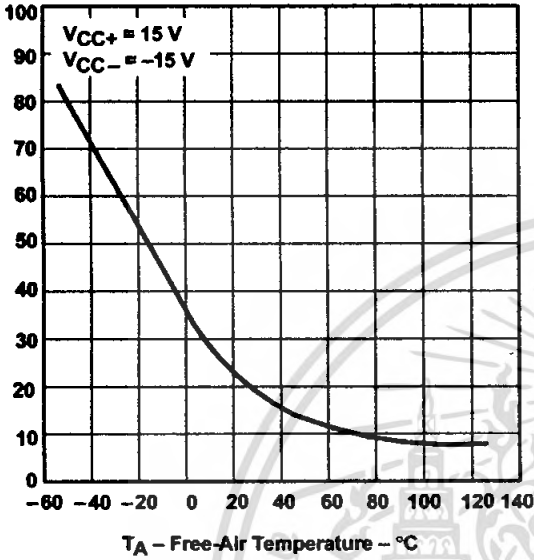


Figure 3

INPUT BIAS CURRENT
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

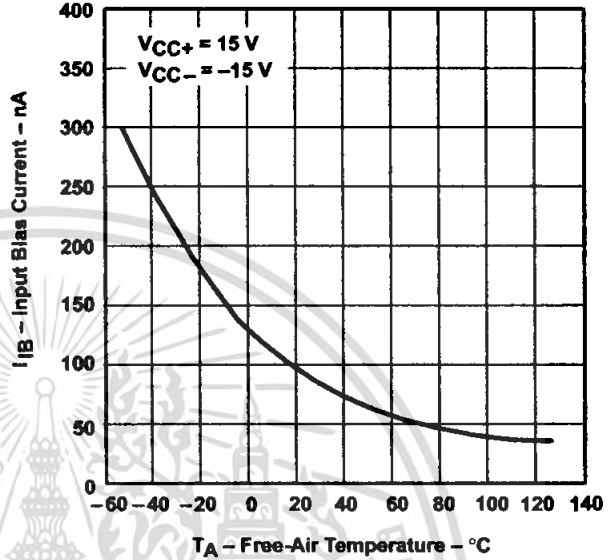


Figure 4

MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE
vs
LOAD RESISTANCE

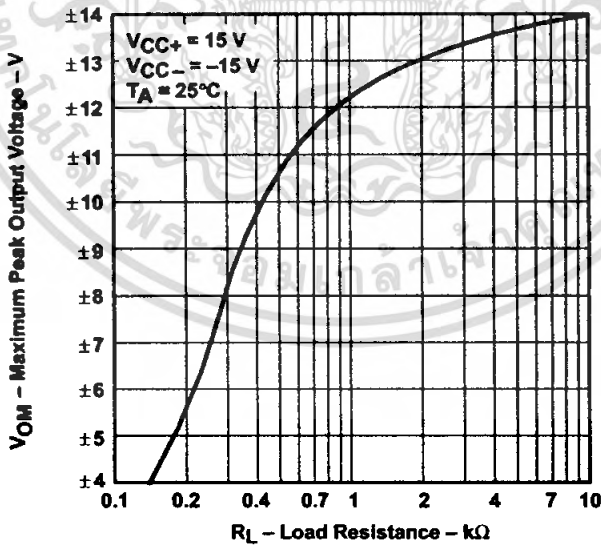


Figure 5

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



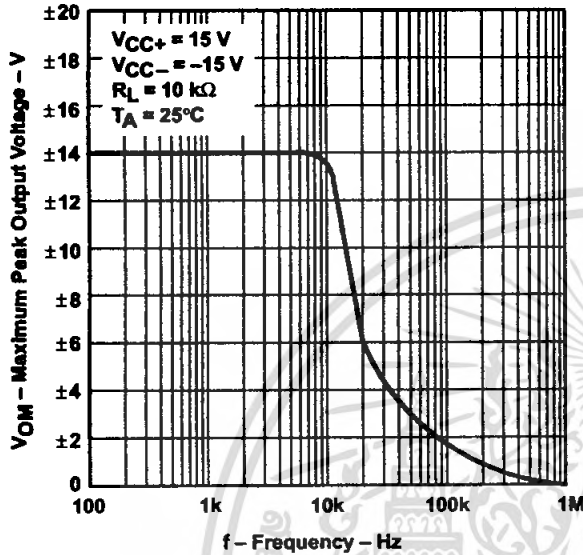
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

μA741, μA741Y
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

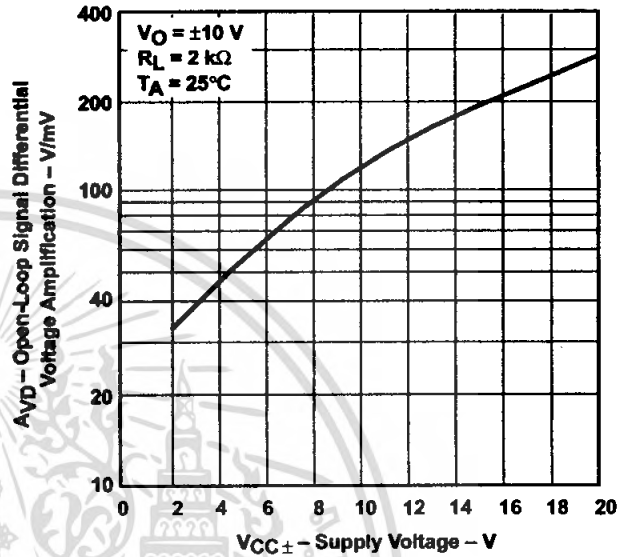
SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

TYPICAL CHARACTERISTICS

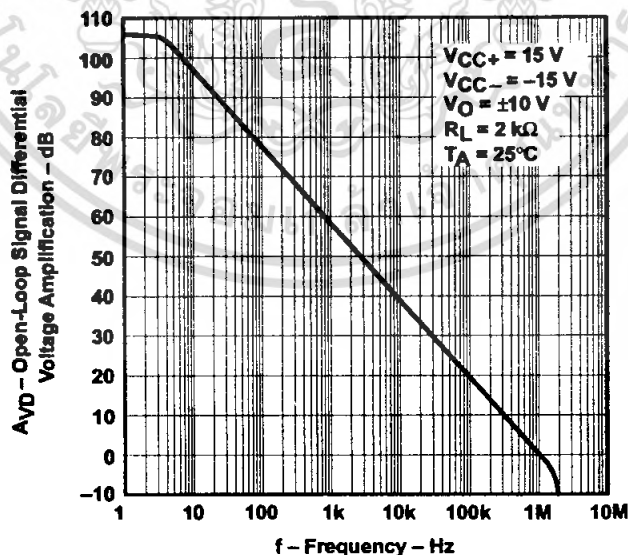
**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE
vs
FREQUENCY**



**OPEN-LOOP SIGNAL DIFFERENTIAL
VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
SUPPLY VOLTAGE**



**OPEN-LOOP LARGE-SIGNAL DIFFERENTIAL
VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY**



741, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

094B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

TYPICAL CHARACTERISTICS

**COMMON-MODE REJECTION RATIO
vs
FREQUENCY**

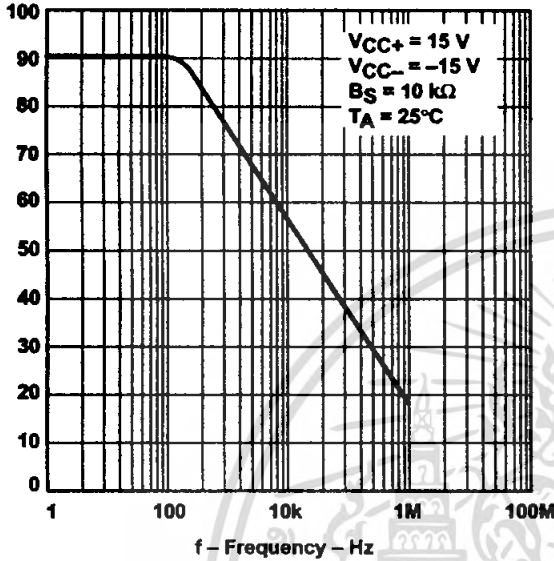


Figure 8

**OUTPUT VOLTAGE
vs
ELAPSED TIME**

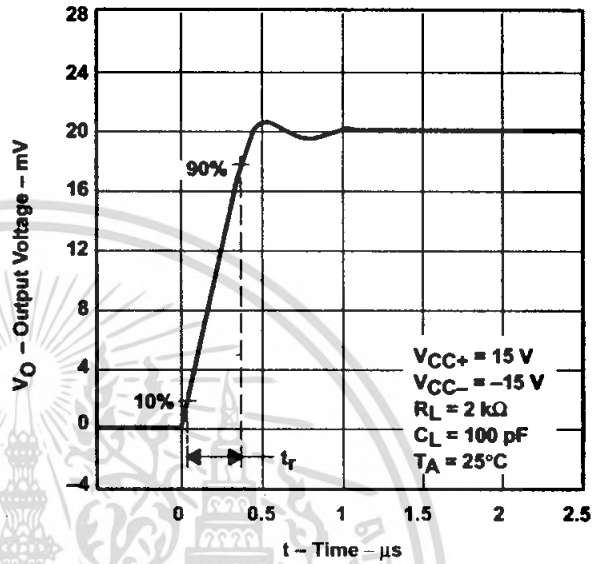


Figure 9

**VOLTAGE-FOLLOWER
LARGE-SIGNAL PULSE RESPONSE**

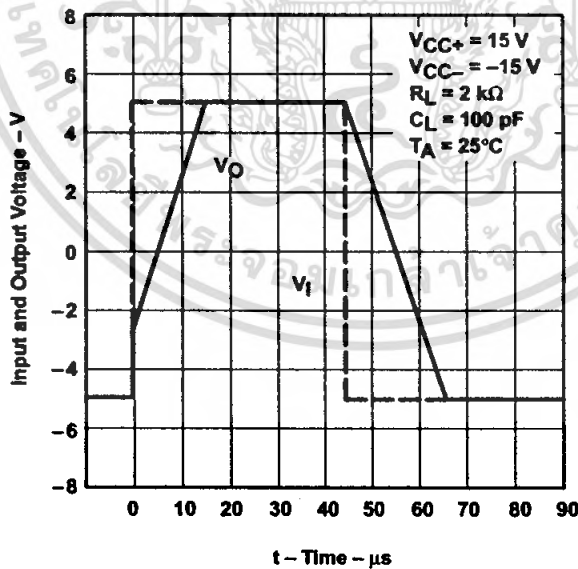


Figure 10



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



1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

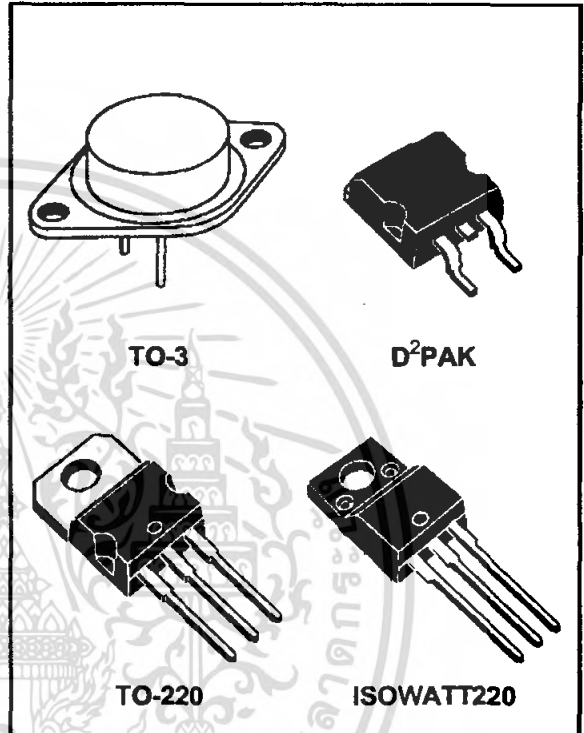
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D²PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



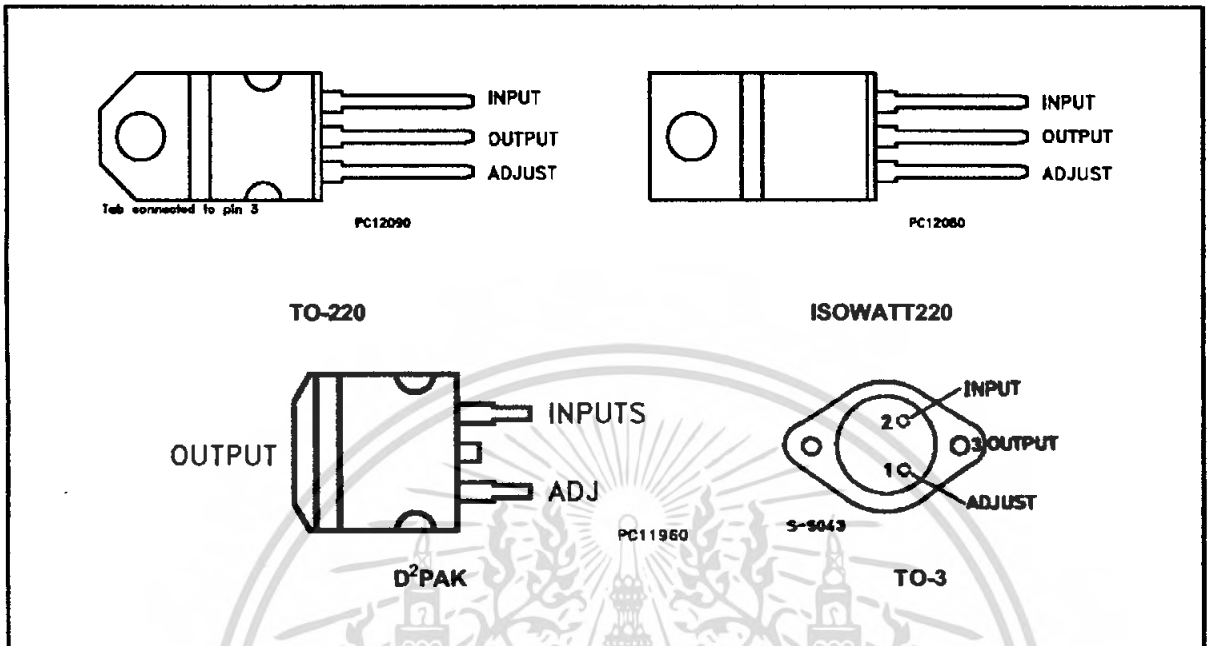
ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{I-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I _o	Output Current	Internally Limited	
T _{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C °C °C
P _{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T _{stg}	Storage Temperature	- 65 to 150	°C

THERMAL DATA

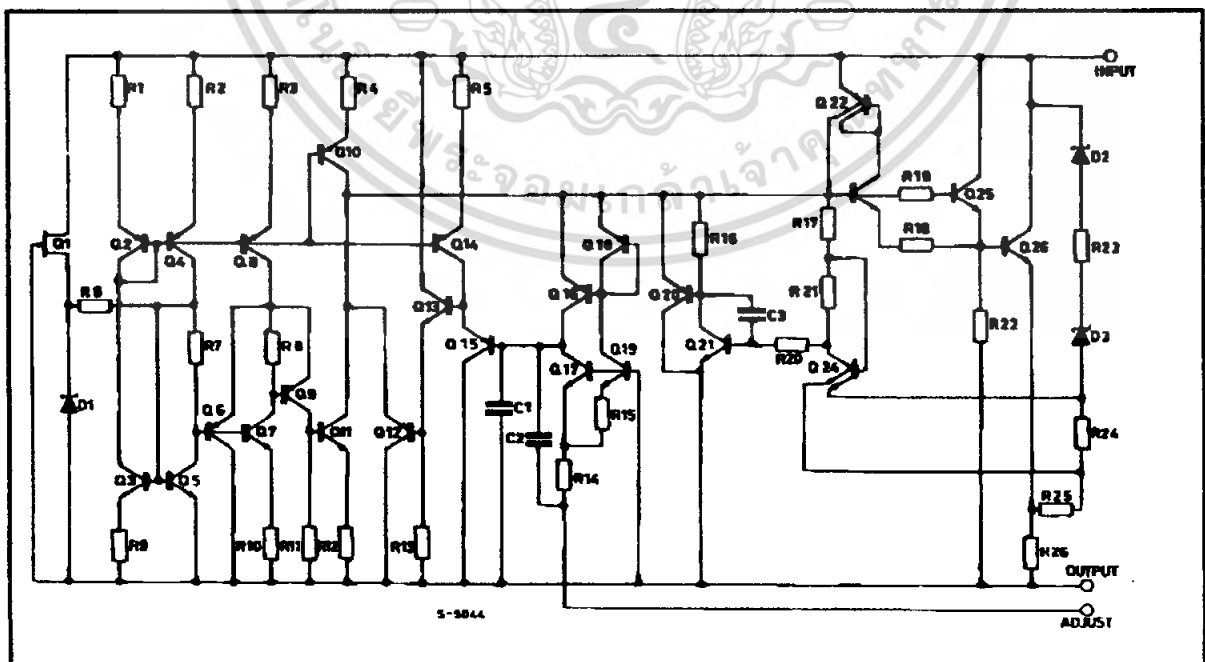
Symbol	Parameter		TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK	Unit
R _{thj-case}	Thermal Resistance Junction-case	Max	4	3	4	3	°C/W
R _{thj-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	35	50	60	62.5	°C/W

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)

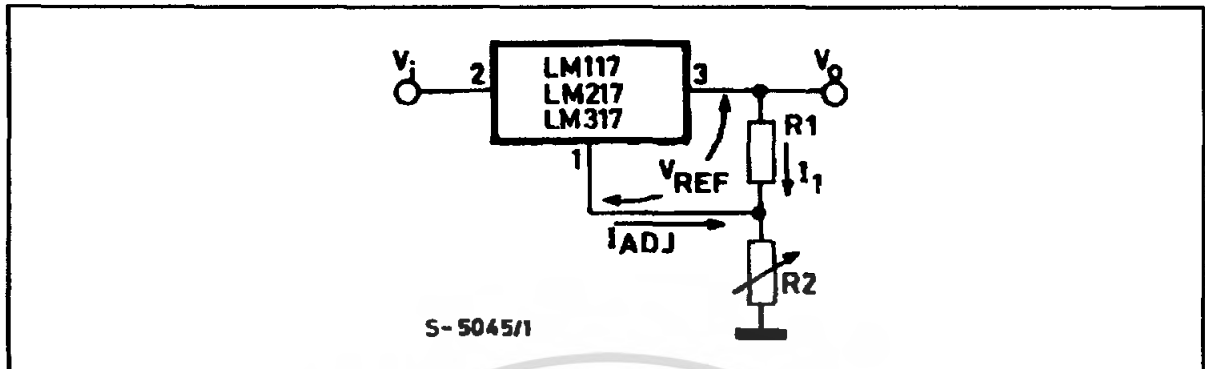


Type	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK
LM117	LM117K			
LM217	LM217K	LM217T		LM217D2T
LM317	LM317K	LM317T	LM317P	LM317D2T

SCHEMATIC DIAGRAM



BASIC ADJUSTABLE REGULATOR



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_i - V_o = 5\text{ V}$, $I_o = 500\text{ mA}$, $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$ and $P_{MAX} = 20\text{ W}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	LM117/LM217			LM317			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
ΔV_o	Line Regulation	$V_i - V_o = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.02		0.01	0.04	%/V
					0.02	0.05		0.02	0.07
ΔV_o	Load Regulation	$V_o \leq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	5	15		5	25	mV
				20	50		20	70	mV
		$V_o \geq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	0.1	0.3		0.1	0.5	%
				0.3	1		0.3	1.5	%
I_{ADJ}	Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA
ΔI_{ADJ}	Adjustment Pin Current	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$		0.2	5		0.2	5	μA
V_{REF}	Reference Voltage (between pin 3 and pin 1)	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.2	1.25	1.3	1.2	1.25	1.3	V
$\frac{\Delta V_o}{V_o}$	Output Voltage Temperature Stability			1			1		%
$I_{o(min)}$	Minimum Load Current	$V_i - V_o = 40\text{ V}$		3.5	5		3.5	10	mA
$I_{o(max)}$	Maximum Load Current	$V_i - V_o \leq 15\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		1.5	2.2		A
		$V_i - V_o = 40\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$		0.4			0.4		A
e_n	Output Noise Voltage (percentage of V_o)	$B = 10\text{ Hz to }10\text{ KHz}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$		0.003			0.003		%
SVR	Supply Voltage Rejection (*)	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$		65		65		dB
			$C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$	66	80		66	80	dB

(*) C_{ADJ} is connected between pin 1 and ground.

Note:

(1) Unless otherwise specified the above specs, apply over the following conditions : LM 117 $T_j = -55\text{ to }150^\circ\text{C}$;
LM 217 $T_j = -25\text{ to }150^\circ\text{C}$; LM 317 $T_j = 0\text{ to }125^\circ\text{C}$.

Figure 1 : Output Current vs. Input-output Differential Voltage.

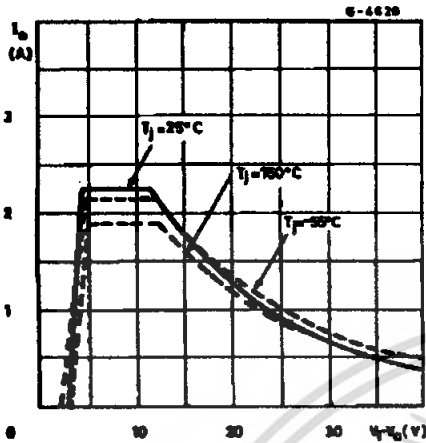


Figure 3 : Reference Voltage vs. Junction

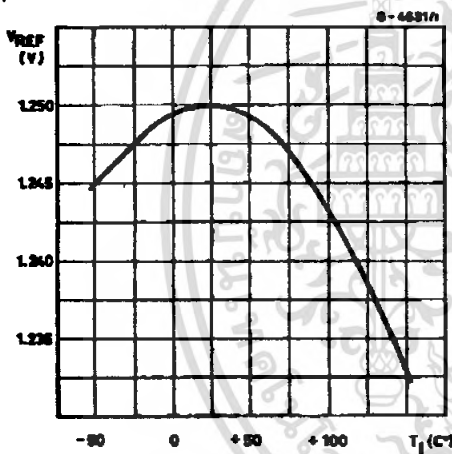


Figure 2 : Dropout Voltage vs. Junction Temperature.

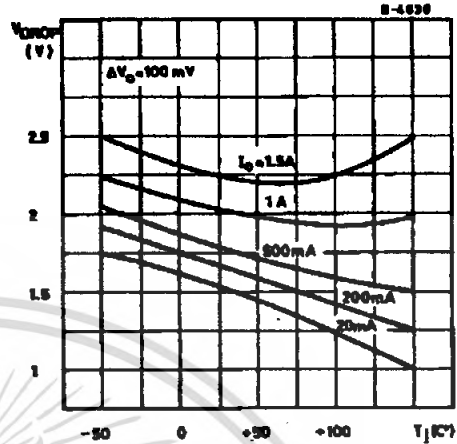
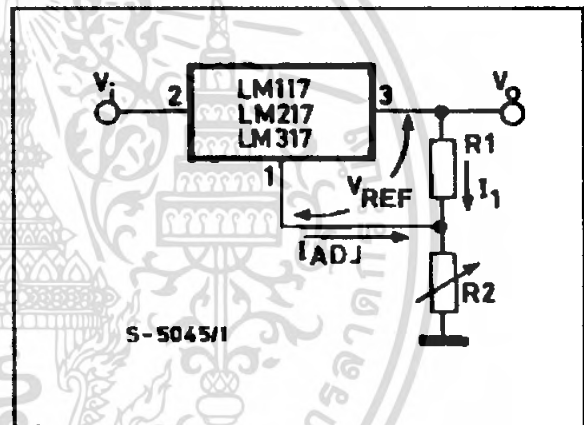


Figure 4 : Basic Adjustable Regulator.



APPLICATION INFORMATION

The LM117/217/317 provides an internal reference voltage of 1.25V between the output and adjustments terminals. This is used to set a constant current flow across an external resistor divider (see fig. 4), giving an output voltage V_o of:

$$V_o = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} R_2$$

The device was designed to minimize the term I_{ADJ} (100µA max) and to maintain it very constant with line and load changes. Usually, the error term $I_{ADJ} \cdot R_2$ can be neglected. To obtain the previous requirement, all the regulator quiescent current is returned to the output terminal, imposing a minimum load current condition. If the load is insufficient, the output voltage will rise.

Since the LM117/217317 is a floating regulator and "sees" only the input-to-output differential

voltage, supplies of very high voltage with respect to ground can be regulated as long as the maximum input-to-output differential is not exceeded. Furthermore, programmable regulator are easily obtainable and, by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the device can be used as a precision current regulator.

In order to optimise the load regulation, the current set resistor R_1 (see fig. 4) should be tied as close as possible to the regulator, while the ground terminal of R_2 should be near the ground of the load to provide remote ground sensing.

Performance may be improved with added capacitance as follow:

An input bypass capacitor of 0.1µF

An adjustment terminal to ground 10µF capacitor



to improve the ripple rejection of about 15 dB (C_{ADJ}).

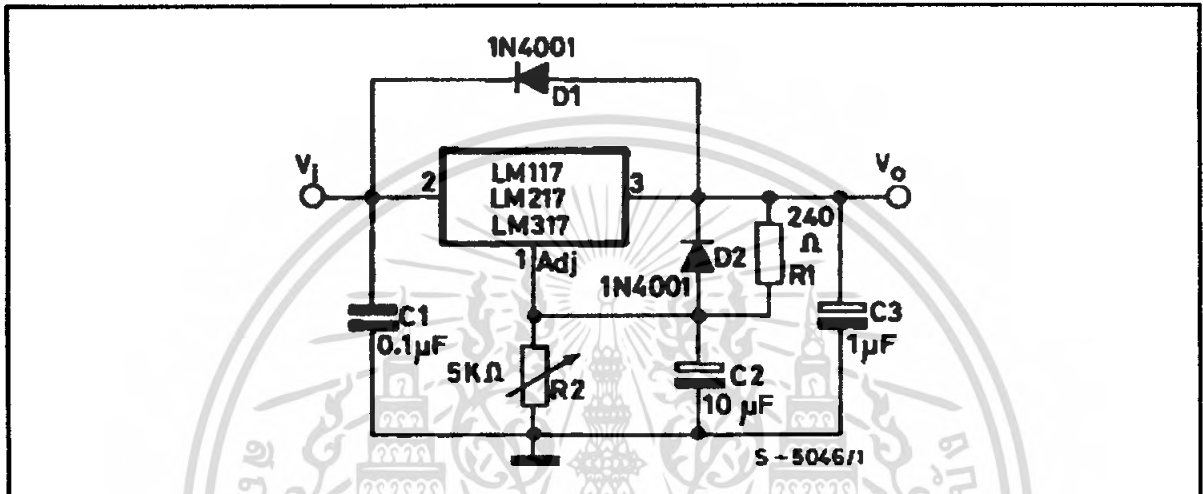
An $1\mu\text{F}$ tantalium (or $25\mu\text{F}$ Aluminium electrolytic) capacitor on the output to improve transient response.

In addition to external capacitors, it is good

practice to add protection diodes, as shown in fig.5.

D1 protect the device against input short circuit, while D2 protect against output short circuit for capacitance discharging.

Figure 5 : Voltage Regulator with Protection Diodes.



D1 protect the device against input short circuit, while D2 protects against output short circuit for capacitors discharging

Figure 6 : Slow Turn-on 15V Regulator.

Figure 7 : Current Regulator.

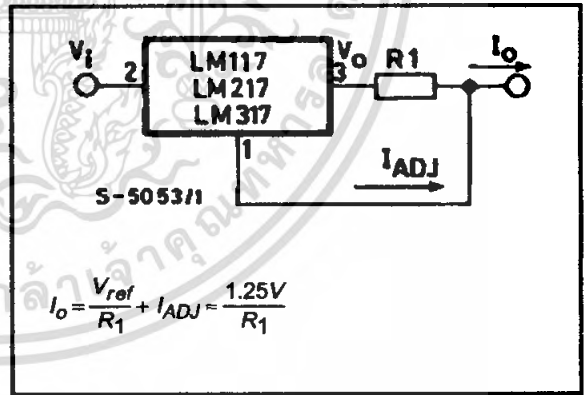
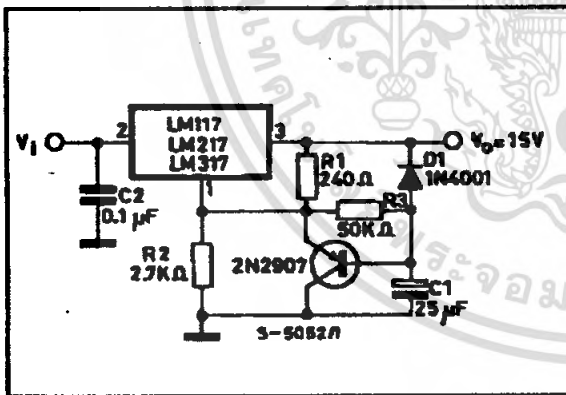


Figure 8 : 5V Electronic Shut-down Regulator

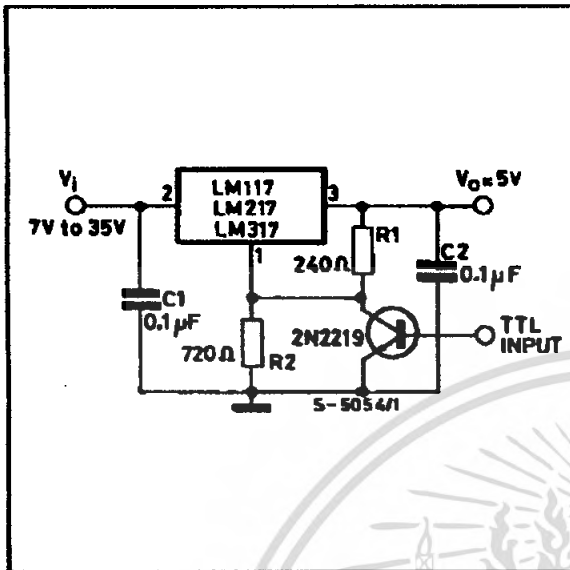


Figure 9 : Digitally Selected Outputs

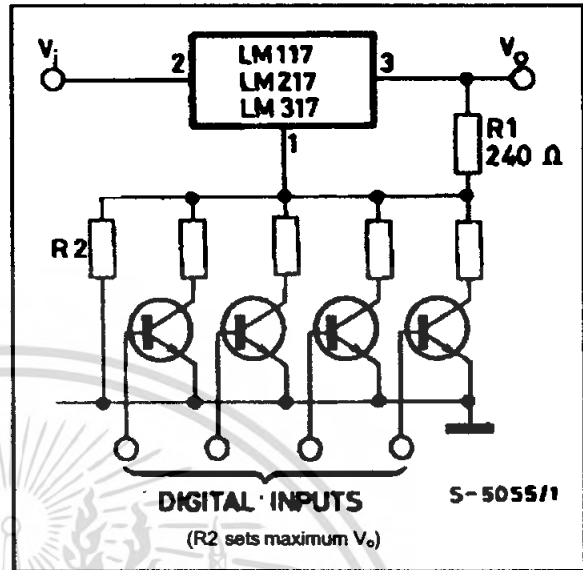


Figure 10 : Battery Charger (12V)

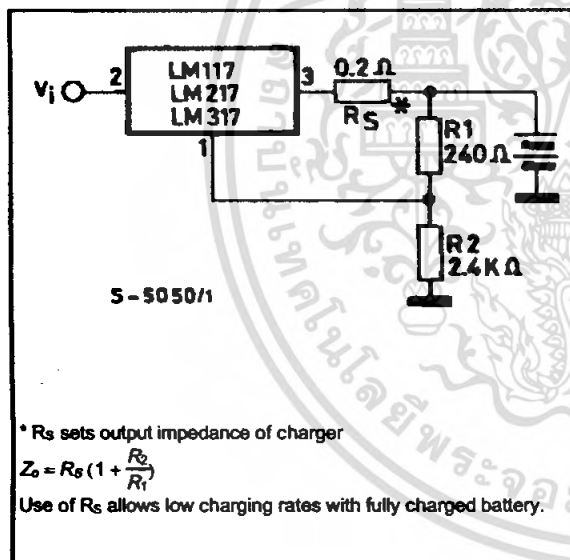
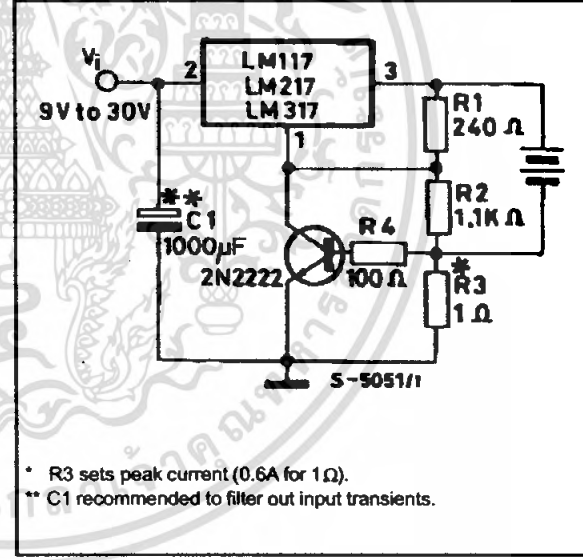


Figure 11 : Current Limited 6V Charger

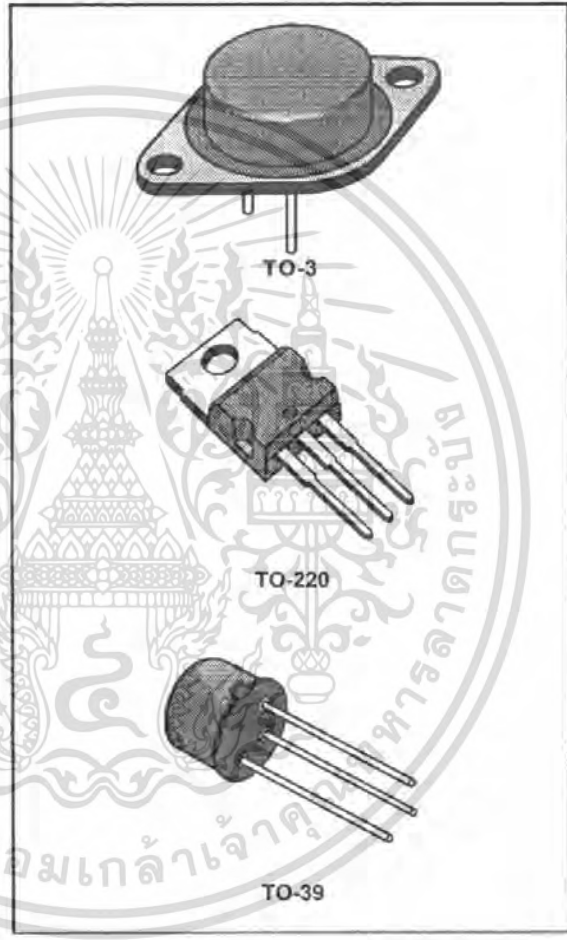


**THREE-TERMINAL ADJUSTABLE
NEGATIVE VOLTAGE REGULATORS**

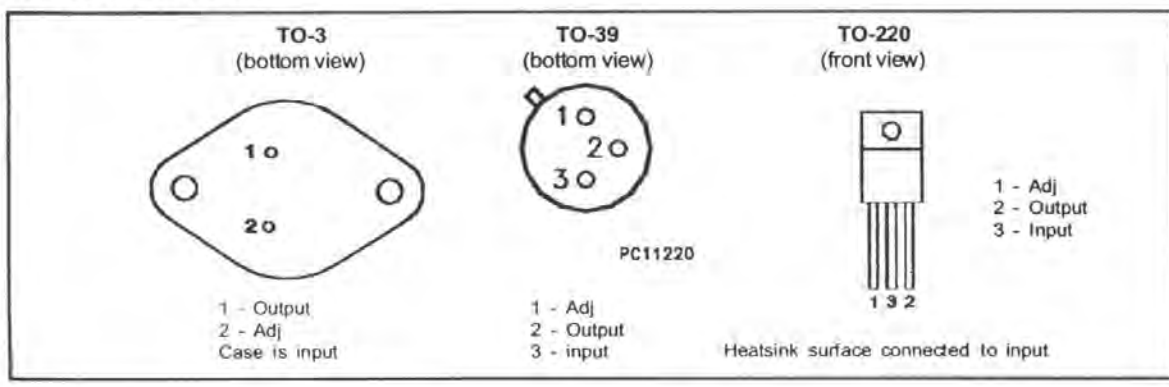
- OUTPUT VOLTAGE ADJUSTABLE DOWN TO V_{ref}
- 1.5A GUARANTEED OUTPUT CURRENT
- 0.3%/V TYPICAL LOAD REGULATION
- 0.01%/V TYPICAL LINE REGULATION
- CURRENT LIMIT CONSTANT WITH TEMPERATURE
- RIPPLE REJECTION : 77dB
- STANDARD 3-LEAD TRANSISTOR PACKAGES
- EXCELLENT THERMAL REGULATION: 0.002%/V
- 50ppm/°C TEMPERATURE COEFFICIENT

DESCRIPTION

The LM137 series are adjustable 3-terminal negative voltage regulators capable of supplying in excess -1.5A over a -1.2 to -37V output voltage range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, LM137 regulators are supplied in standard transistor packages which are easily mounted and handled. In addition to higher performance than fixed regulators, the LM137 series offer full overload protection available only in integrated circuits. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.



PIN CONNECTIONS



LM137-LM237-LM337

ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_I - V_O$	Input Output Voltage Differential	40	V
I_O	Output Current	TO-220/TO-3	1.5
		TO-39	0.5
T_{oper}		LM137	-55 to 150
		LM237	-25 to 150
		LM337	0 to 125
T_{stg}		-65 to 150	°C
P_{tot}		Internally Limited	W

THERMAL CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Unit
$R_{thj-case}$	Junction-case Thermal Resistance	TO-3	4	°C/W
		TO-220	3	
		TO-39	15	
$R_{thj-amb}$	Junction-ambient Thermal Resistance	TO-3	35	°C/W
		TO-220	70	
		TO-39	160	

ORDER CODES

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE		
		TO-3	TO-220	TO-39
LM137	-55 to 150 °C	LM137K		LM137H
LM237	-25 to 150 °C	LM237K	LM237SP	LM237H
LM337	0 to 125 °C	LM337K	LM337SP	LM337H

LM137-LM237-LM337

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

LM137: $-55\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

LM237: $-25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

LM337: $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

$V_i - V_o = 5\text{V}$, $I_o = 0.5\text{ A}$ (unless otherwise specified)

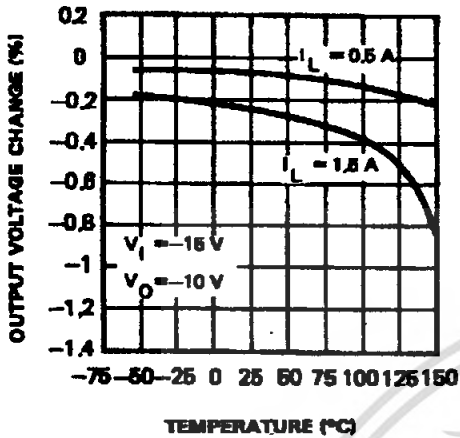
Symbol	Parameter	LM137/LM237			LM337			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{ref}	Reference Voltage $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_j \leq T_{max}$ $3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$, $10\text{mA} \leq I_o \leq I_{o(max)} $ $P \leq P_{max}$	-1.225	-1.25	-1.275	-1.213	-1.25	-1.287	V
K_{VI}	Line Regulation ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$) - Note 2 $I_o = 0.1\text{ A}$ $I_o = 20\text{ mA}$		0.01 0.01	0.02 0.02		0.01 0.01	0.04 0.04	%/V %/V
K_{VO}	Load Regulation ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{mA} \leq I_o \leq I_{o(max)} $) - Note 2 $ V_o \leq 5\text{V}$ $ V_o \geq 5\text{V}$		15 0.3	25 0.5		15 0.3	50 1	mV %
	Thermal Regulation ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, pulse 10 ms)		0.002	0.02		0.003	0.04	%/W
I_{adj}	Adjustment Pin Current		65	100		65	100	μA
ΔI_{adj}	Adjustment Pin Current Change ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{mA} \leq I_o \leq I_{o(max)} $, $3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$)		2	5		2	5	μA
K_{VI}	Line Regulation ($3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$) - Note 2		0.02	0.05		0.02	0.07	%/V
K_{VO}	Load Regulation ($10\text{mA} \leq I_o \leq I_{o(max)} $) - Note 2 $ V_o \leq 5\text{V}$ $ V_o \geq 5\text{V}$		20 0.3	50 1		20 0.3	70 1.5	mV %
$ I_{o(min)} $	Minimum Load Current $ V_i - V_o \leq 40\text{V}$ $ V_i - V_o \leq 10\text{V}$		2.5 1.2	5 3		2.5 1.5	10 6	mA mA
I_{os}	Short Circuit Output Current $ V_i - V_o \leq 15\text{V}$ (TO-3 and TO-220) $ V_i - V_o \leq 15\text{V}$ (TO-39) $ V_i - V_o = 40\text{V}$, $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TO-3 and TO-220) $ V_i - V_o = 40\text{V}$, $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TO-39)	1.5 0.5 0.24 0.15	2.2 0.4 0.2		1.5 0.5 0.15 0.1	2.2 0.4 0.2		A A A A
V_{NO}	RMS Output Noise (% of V_o) $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{KHz}$		0.003			0.003		%
R_{VI}	Ripple Rejection Ratio $V_o = -10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$ $C_{adj} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	60 77		66	60 77		dB dB
K_{VT}	Temperature Stability		0.6			0.6		%
K_{VH}	Long Term Stability ($T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1000H)		0.3	1		0.3	1	%

Notes : 1. Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for power dissipation of :

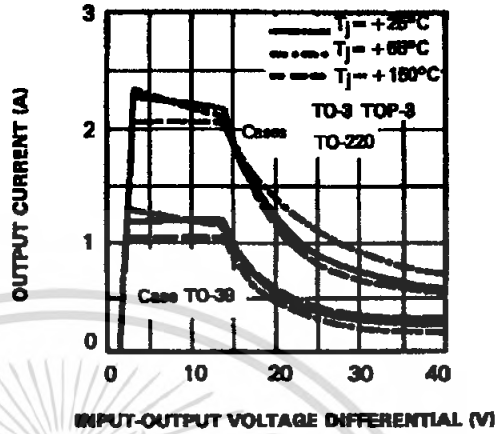
- 2W for TO-39
- 15W for TO-220
- 20W for TO-3 Package
- $I_{o(max)}$ is :
- 1.5A for TO-3 and TO-220
- 0.5A for TO-39

2. Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specification for thermal regulation.

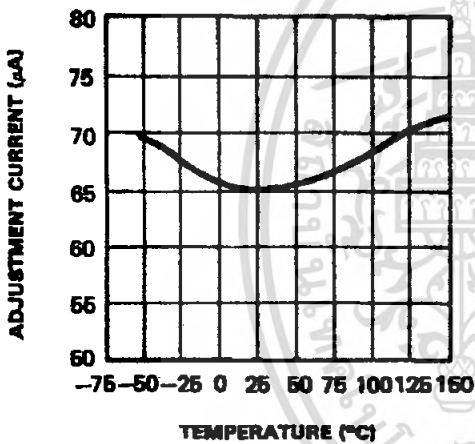
LOAD REGULATION



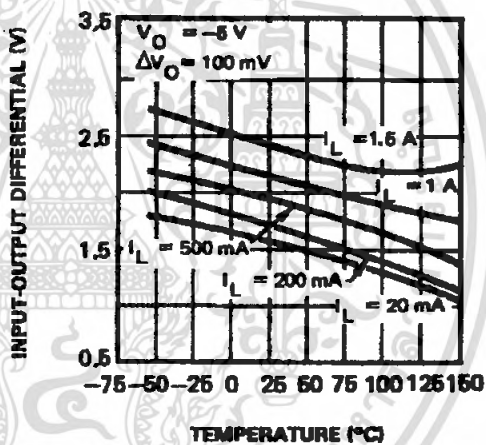
CURRENT LIMIT



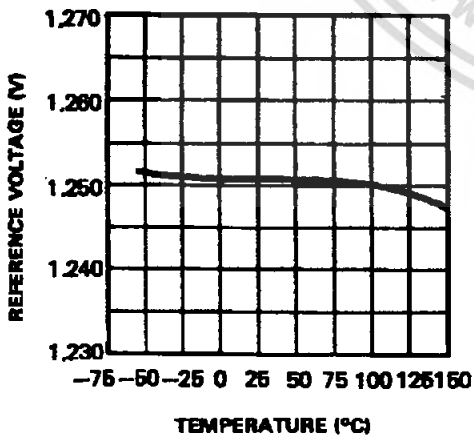
ADJUSTMENT CURRENT



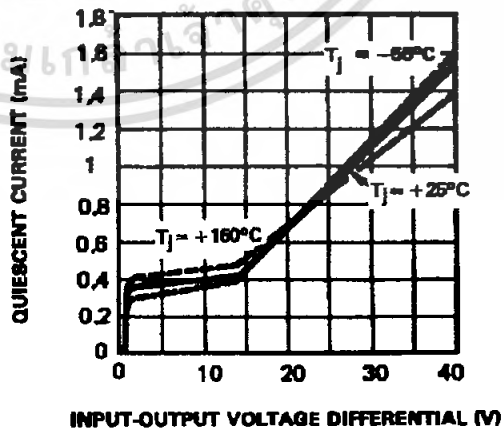
DROPOUT VOLTAGE



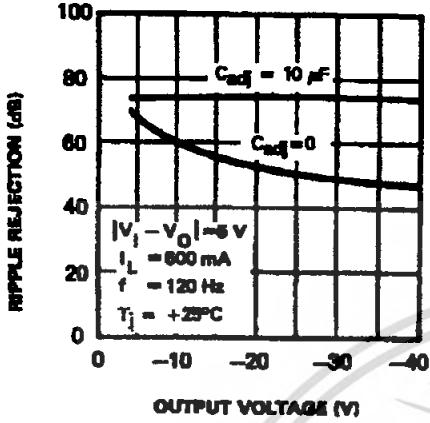
TEMPERATURE STABILITY



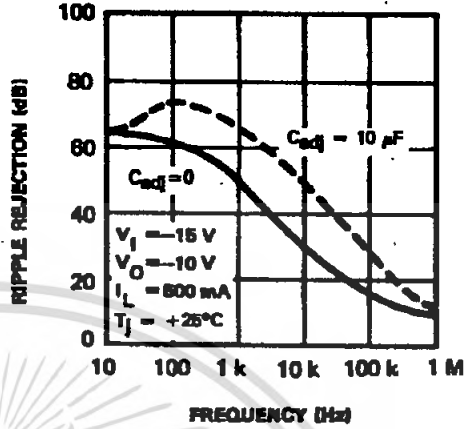
MINIMUM OPERATING CURRENT



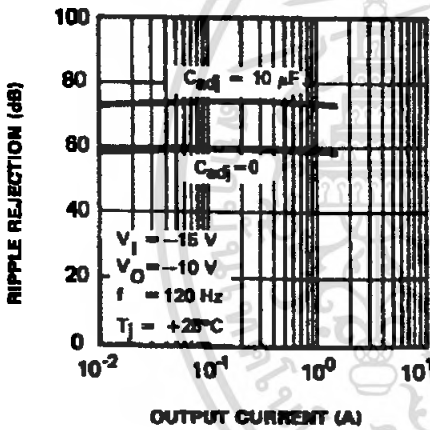
RIPPLE REJECTION VERSUS OUTPUT VOLTAGE



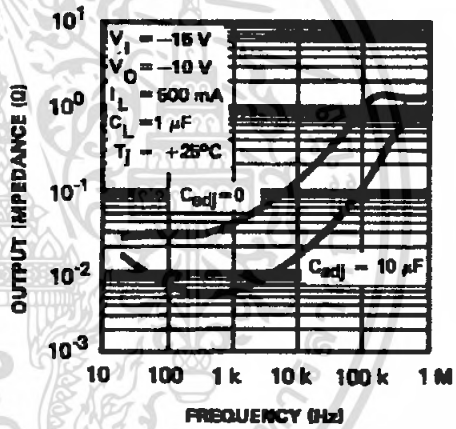
RIPPLE REJECTION VERSUS FREQUENCY



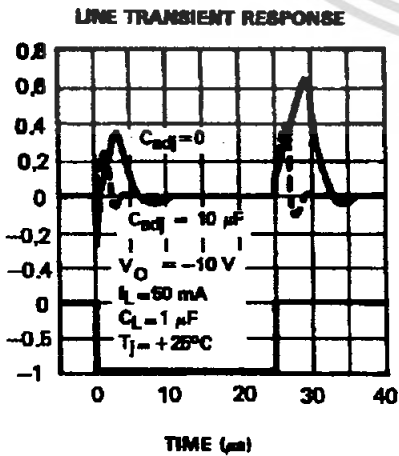
RIPPLE REJECTION VERSUS OUTPUT CURRENT



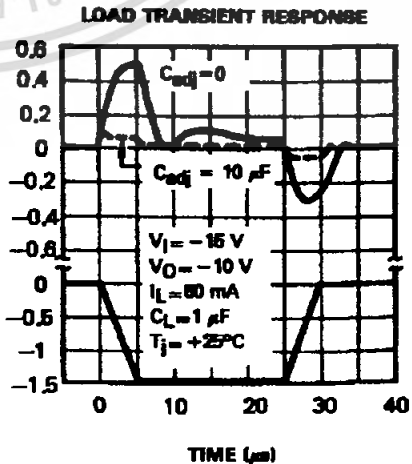
OUTPUT IMPEDANCE



INPUT VOLTAGE CHANGE (V) OUTPUT VOLTAGE DEVIATION (V)



LOAD CURRENT (A) OUTPUT VOLTAGE DEVIATION (V)



THERMAL REGULATION

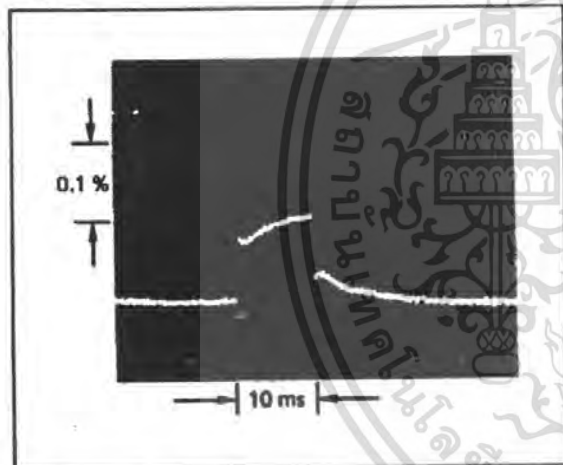
When power is dissipated in an IC, a temperature gradient occurs across the IC chip affecting the individual IC circuit components. With an IC regulator, this gradient can be especially severe since power dissipation is large.

Thermal regulation is the effect of these temperature gradients on output voltage (in percentage output change) per watt of power change in a specified time. Thermal regulation error is independent of electrical regulation or temperature coefficient, and occurs within 5ms to 50ms after a change in power dissipation. Thermal regulation depends on IC layout as well as electrical design. The thermal regulation of a voltage regulator is defined as the percentage change of V_O , per watt, within the first 10ms after a step of power, is applied.

The LM137 specification is 0.02 %/W max. In figure 1, a typical LM337's output drifts only 3mV for 0.03% of $V_O = -10V$ when a 10W pulse is applied for 10ms. This performance is thus well inside the specification limit of $0.02\%/W \times 10W = 0.2\%$ max. When the 10W pulse is ended the thermal regulation again shows a 3mV step as the LM137 chip cools off. Note that the load regulation error of about 8mV(0.08%) is additional to the thermal regulation error.

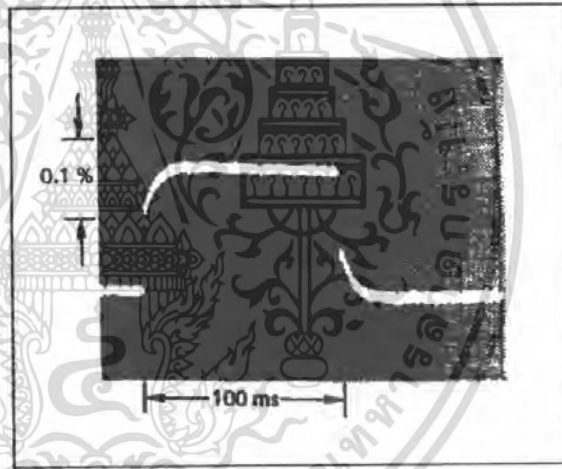
In figure 2, when the 10W pulse is applied for 100ms, the output drifts only slightly beyond the drift in the first 10ms and the thermal error stays well within 0.1% (10mV).

Figure 1.



LM 337, $V_O = -10V$
 $V_I - V_O = -40V$
 $I_L = 0A \rightarrow 0.25A \rightarrow 0A$
 Vertical sensitivity 5mV/div.

Figure 2.

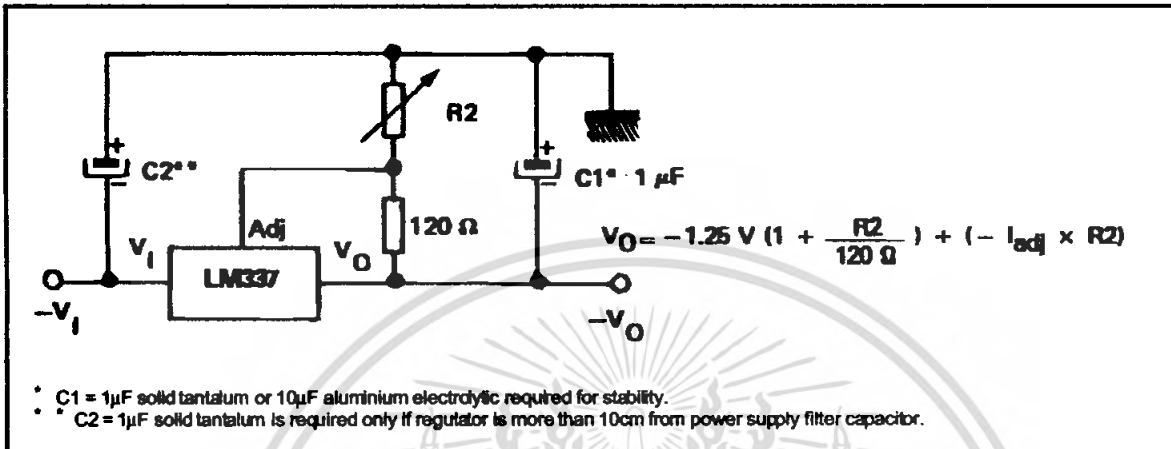


LM 337, $V_O = -10V$
 $V_I - V_O = -40V$
 $I_L = 0A \rightarrow 0.25A \rightarrow 0A$
 Horizontal sensitivity 20msN/div.

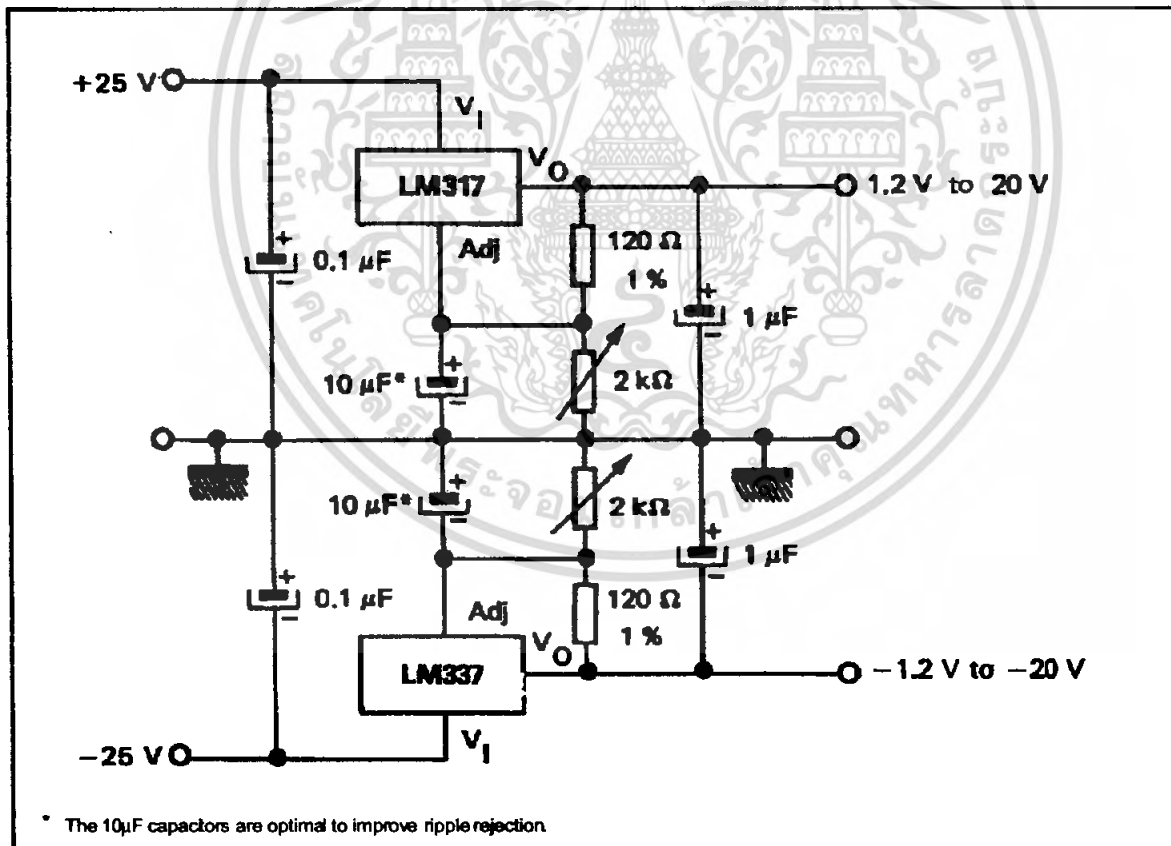
LM137-LM237-LM337

TYPICAL APPLICATIONS

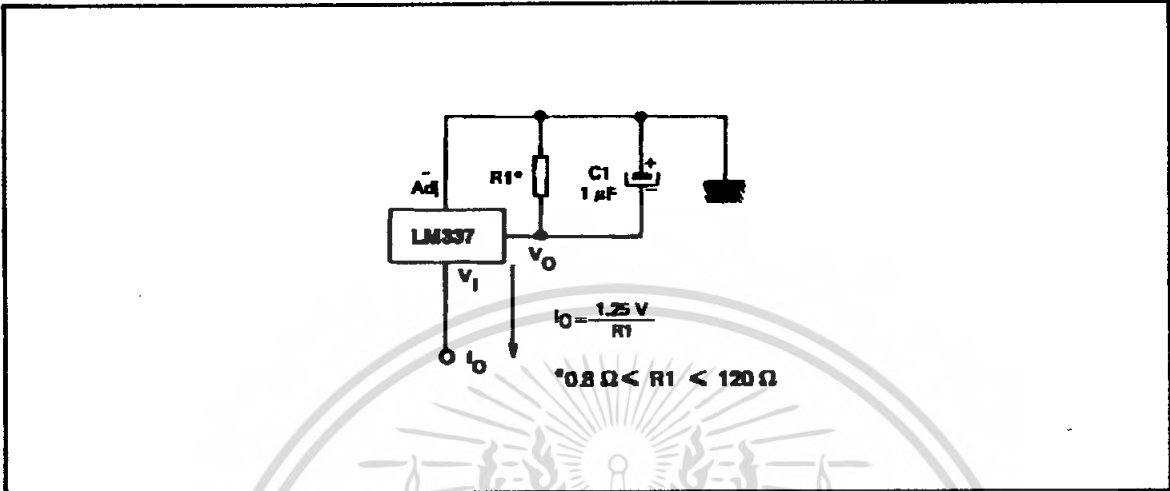
ADJUSTABLE NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR



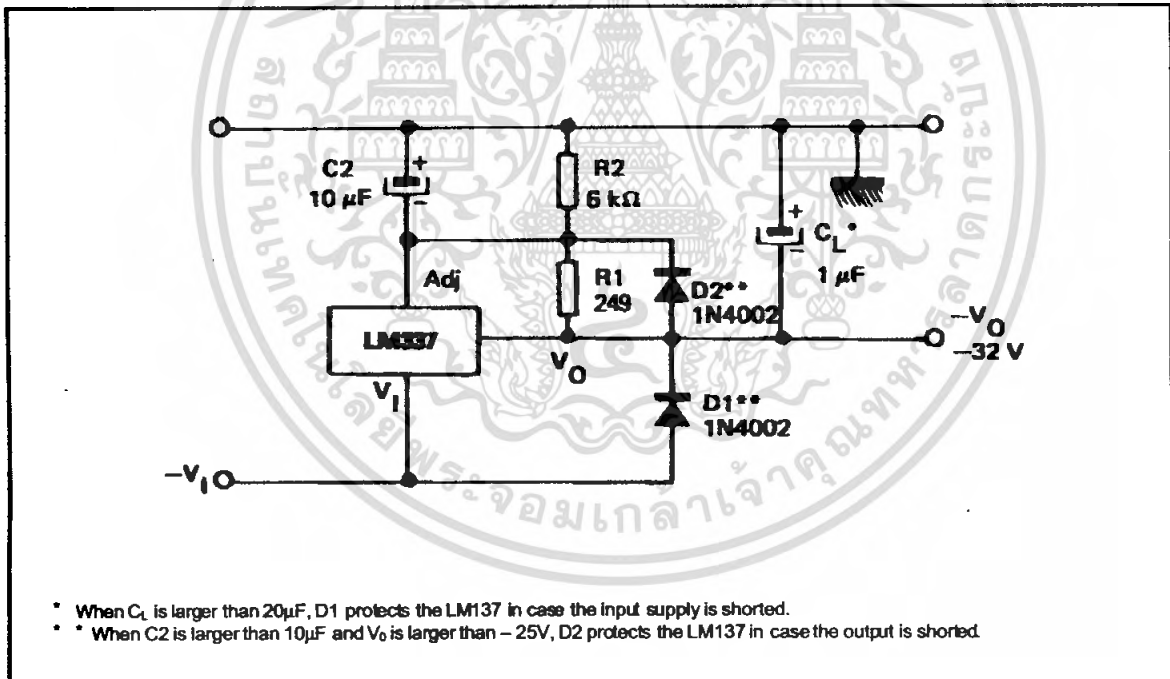
ADJUSTABLE LAB VOLTAGE REGULATOR



CURRENT REGULATOR

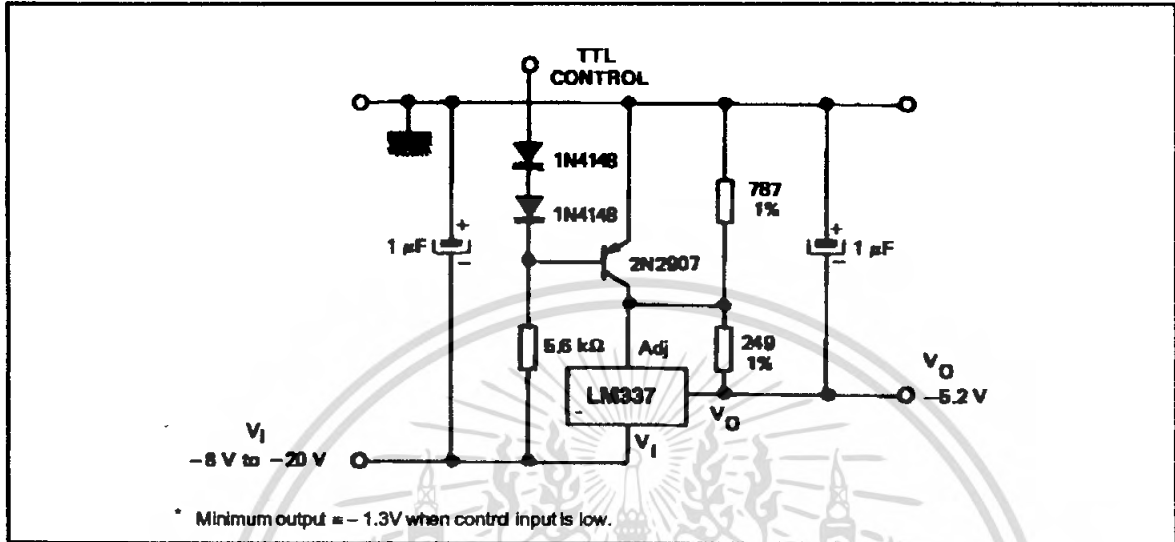


NEGATIVE REGULATOR WITH PROTECTION DIODES

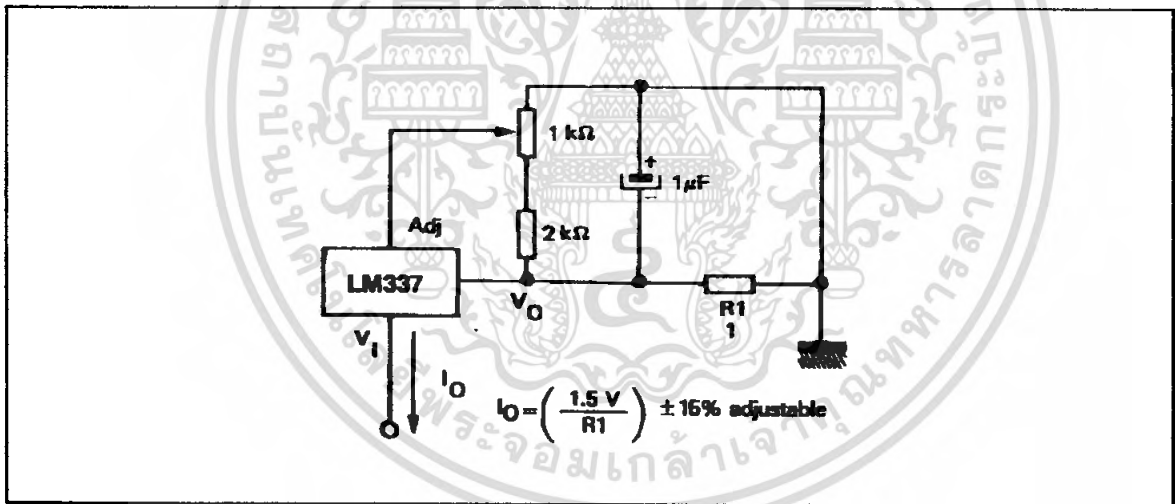


LM137-LM237-LM337

* -5.2V REGULATOR WITH ELECTRONIC SHUTDOWN



ADJUSTABLE CURRENT REGULATOR



NPN SILICON POWER TRANSISTOR

- HIGH DC CURRENT GAIN
- LOW SATURATION VOLTAGE
- INSULATED PACKAGE FOR EASY MOUNTING

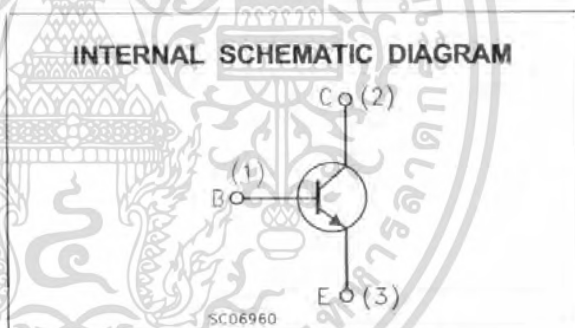
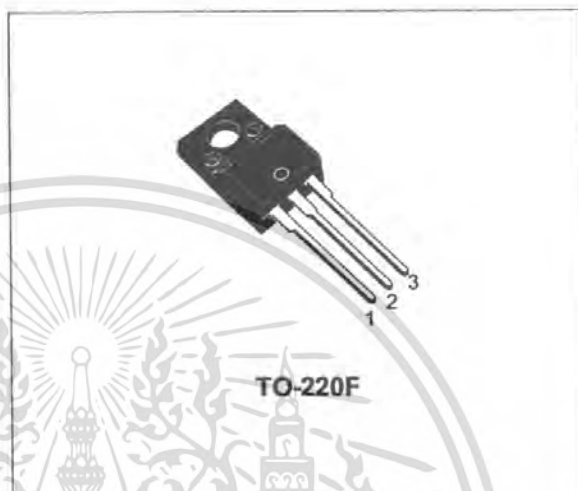
APPLICATIONS

- GENERAL PURPOSE POWER AMPLIFIERS
- GENERAL PURPOSE SWITCHING

DESCRIPTION

The 2SD2012 is a silicon NPN power transistor housed in TO-220F insulated package.

It is intended for power linear and switching applications.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	60	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	7	V
I_C	Collector Current	3	A
I_{CM}	Collector Peak Current ($t_p < 5$ ms)	6	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25$ °C	25	W
V_{isol}	Insulation Withstand Voltage (RMS) from All Three Leads to External Heatsink	1500	V
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

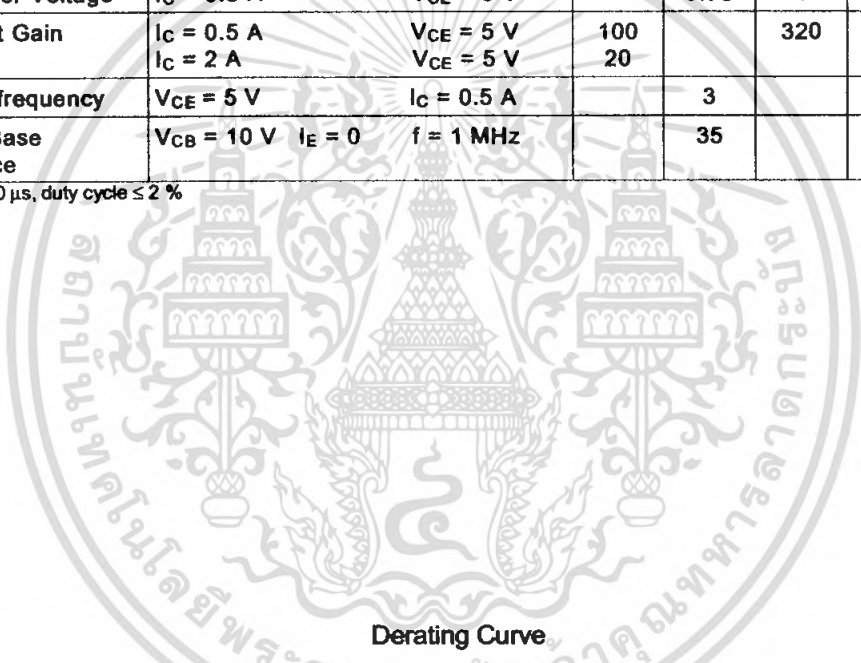
THERMAL DATA

$R_{th(j-c)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	5	$^{\circ}\text{C/W}$
---------------	----------------------------------	-----	---	----------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

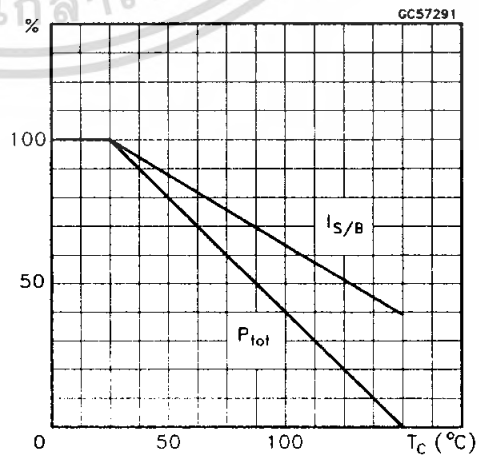
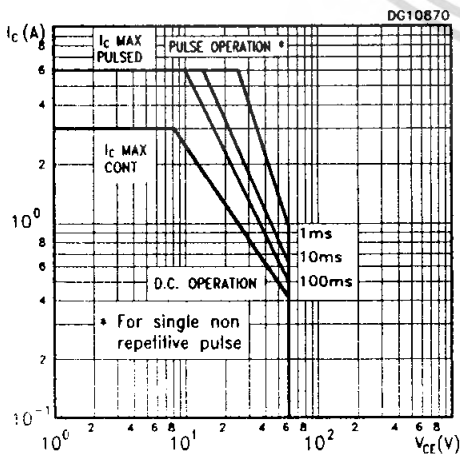
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 60\text{ V}$			100	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 7\text{ V}$			100	μA
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 50\text{ mA}$	60			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 2\text{ A}$ $I_B = 0.2\text{ A}$		0.4	1	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$		0.75	1	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$ $I_C = 2\text{ A}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$	100 20		320	
f_T	Transition frequency	$V_{CE} = 5\text{ V}$ $I_C = 0.5\text{ A}$		3		MHz
C_{CBO}	Collector-Base Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}$ $I_E = 0$ $f = 1\text{ MHz}$		35		pF

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 2\%$

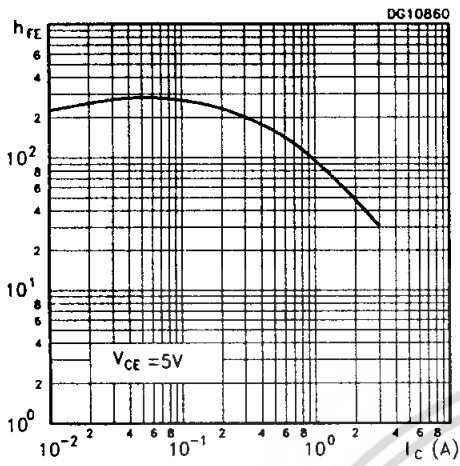


Safe Operating Area

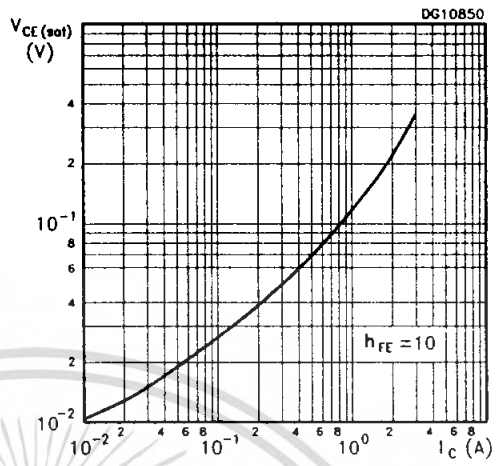
Derating Curve



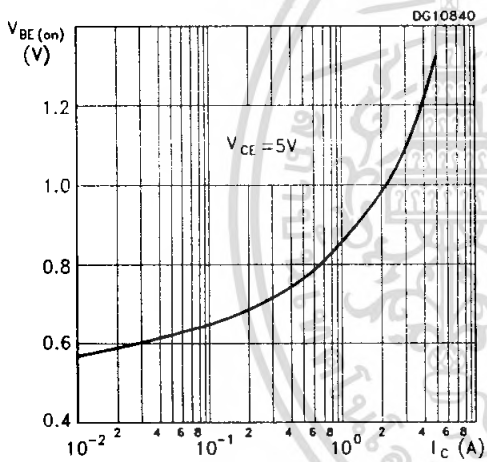
DC Current Gain



Collector Emitter Saturation Voltage

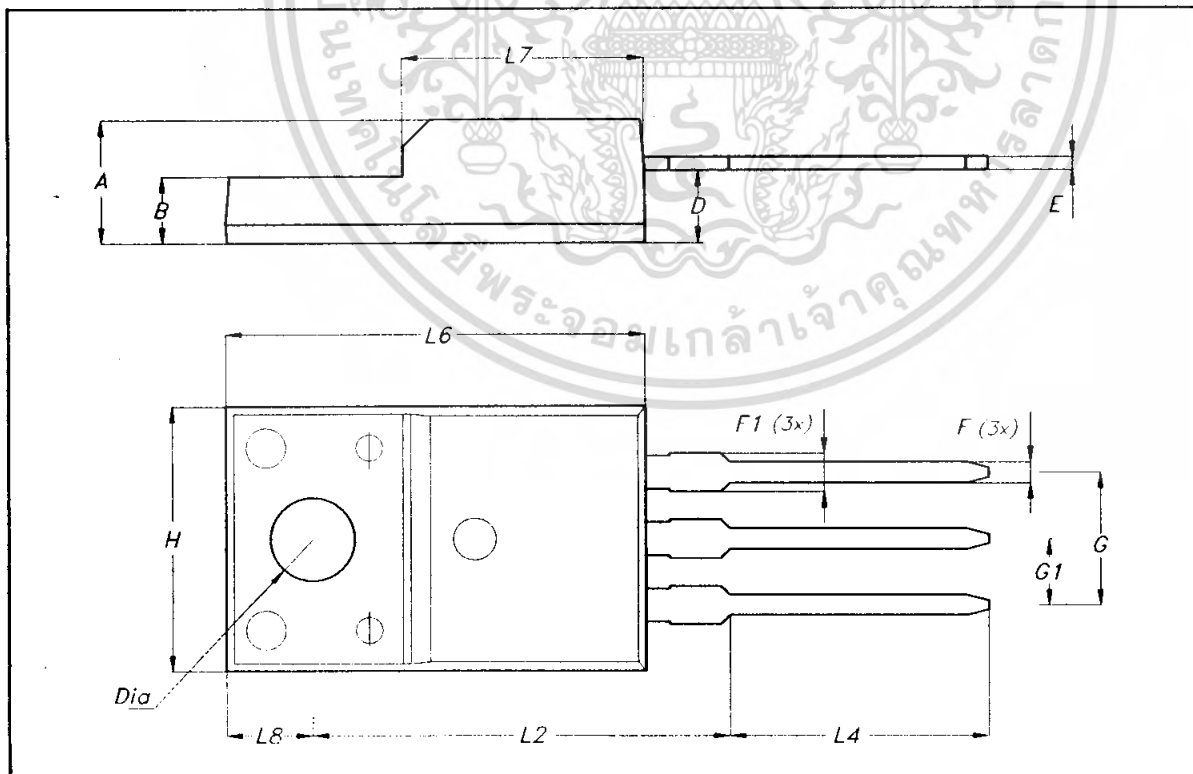


Base Emitter On Voltage



TO-220F MECHANICAL DATA

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.50		4.90	0.177		0.193
B	2.34		2.74	0.092		0.108
D	2.56		2.96	0.101		0.117
E	0.45	0.50	0.60	0.018	0.020	0.024
F	0.70		0.90	0.028		0.035
F1			1.47			0.058
G		5.08			0.200	
G1	2.34	2.54	2.74	0.092	0.100	0.108
H	9.96		10.36	0.392		0.408
L2		15.80			0.622	
L4	9.45		10.05	0.372		0.396
L6	15.67		16.07	0.617		0.633
L7	8.99		9.39	0.354		0.370
L8		3.30			0.130	
Dia	3.08		3.28	0.121		0.129



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a trademark of STMicroelectronics.

All other names are the property of their respective owners.

© 2003 STMicroelectronics – All Rights reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

<http://www.st.com>

AMOSPEC

PNP SILICON POWER TRANSISTORS

..designed for the output stage of 15W to 25W AF power amplifier

FEATURES:

Low Collector-Emitter Saturation Voltage

$V_{CE(sat)} = 1.0V(\text{Max}) @ I_C=2.0A, I_B=0.2A$

DC Current Gain

$hFE = 40-320 @ I_C = 1.0A$

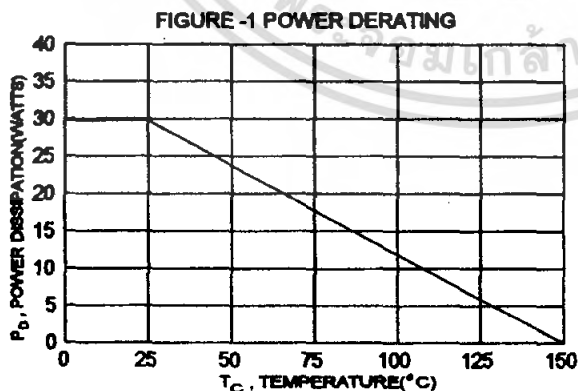
Complementary to NPN 2SD313

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	2SB507	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	60	V
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	60	V
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0	V
Collector Current - Continuous	I_C	3.0	A
- Peak	I_{CM}	6.0	A
Base current	I_B	1.0	A
Maximum Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	30	W
Derate above 25°C		0.24	$\text{W}/^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

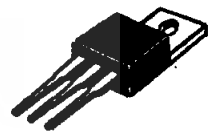
HEAT SINKING CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	4.16	$^\circ\text{C}/\text{W}$

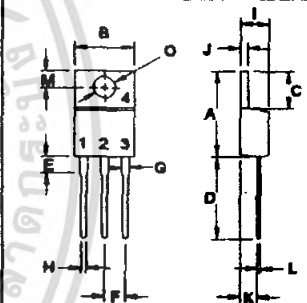


PNP
2SB507

3.0 AMPERE
POWER
TRANSISTORS
60 VOLTS
30 WATTS



TO-220



PN 1.BASE
2.COLLECTOR
3.EMITTER
4.COLLECTOR(CASE)

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.68	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.08	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.66
G	1.12	1.36
H	0.72	0.96
I	4.22	4.98
J	1.14	1.36
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.98
O	3.70	3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

DC CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Voltage ($I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0$)	V_{CE0}	60		V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 20\text{ V}, I_B = 0$)	I_{CBO}		100	μA
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ V}, I_B = 0$)	I_{CBO}		5.0	mA
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 4.0\text{ V}, I_C = 0$)	I_{EBO}		1.0	mA

DC CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 1.0\text{ A}, V_{CE} = 2.0\text{ V}$) * ($I_C = 0.1\text{ A}, V_{CE} = 2.0\text{ V}$)	$h_{FE(2)}$ h_{FE}	40 40	320	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2.0\text{ A}, I_B = 200\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$		1.0	V
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 1.0\text{ A}, V_{CE} = 2.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$		1.5	V

DYNAMIC CHARACTERISTICS

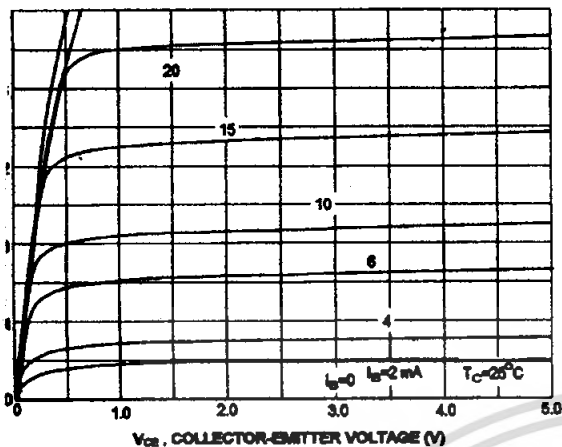
Current-Gain-Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ A}, V_{CE} = 5.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	5.0		MHz
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------	-----	--	-----

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$ $h_{FE(2)}$ Classification :

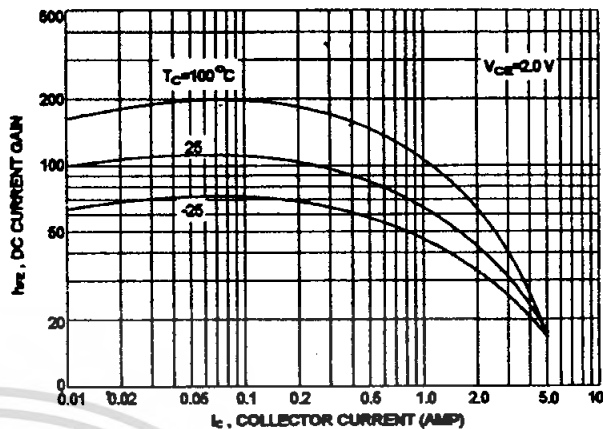
40	C	80	60	D	120	100	E	200	160	F	320
----	---	----	----	---	-----	-----	---	-----	-----	---	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

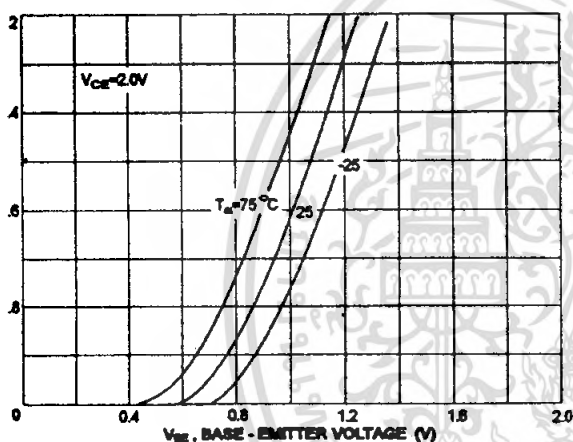
$I_c - V_{ce}$



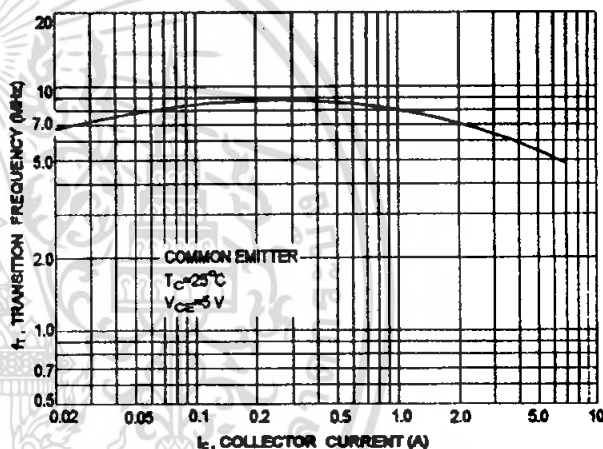
DC CURRENT GAIN



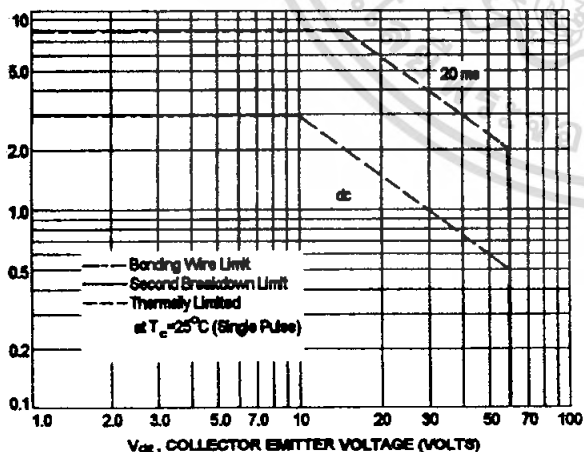
$I_c - V_{be}$



$f_T - I_c$



ACTIVE-REGION SAFE OPERATING AREA (SOA)



There are two limitation 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 curves indicate.

The data of SOA curve is base on $T_{JPK} = 150^\circ C$; T_C is variable depending on conditions. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{JPK} \leq 150^\circ C$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.