

แหล่งจ่ายไฟสำหรับห้องปฏิบัติการ
LABORATORY POWER SUPPLY

ณัฐวุฒิ กัดสอาด

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

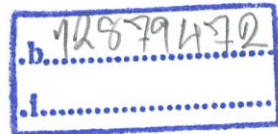
แหล่งจ่ายไฟสำหรับห้องปฏิบัติการ
LABORATORY POWER SUPPLY



T149023

ณัฐวุฒิ กัดสอาด

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**149023**
วัน,เดือน,ปี.....**27 S.A. 2560**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

LABORATORY POWER SUPPLY

NATTHAWUT KLADSA-ARD

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(APPLIED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ

แหล่งจ่ายไฟสำหรับห้องปฏิบัติการ

LABORATORY POWER SUPPLY

ชื่อนักศึกษา

นายณัฐวุฒิ กลัดสอาด รหัสนักศึกษา 55051497

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์




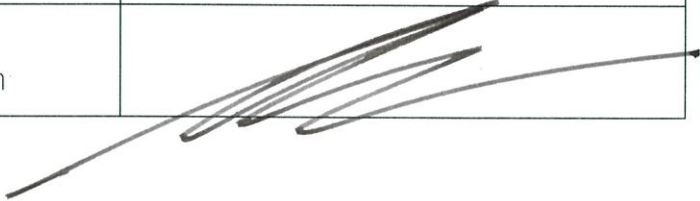
ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. วิชิต ศิริโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุข ประธานกรรมการ	
อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
อ. ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
รศ. วิชิต ศิริโชติ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	แหล่งจ่ายไฟสำหรับห้องปฏิบัติการ
นักศึกษา	นายณัฐวุฒิ กลัดสอาด รหัสนักศึกษา 55051497
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิชิต ศิริโชติ

บทคัดย่อ

แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นได้รับการพัฒนาสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการแหล่งจ่ายไฟสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 – 15 โวลต์ 2 แอมป์ แผ่นวงจรบอร์ดที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Circuit Wizard แหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้นใช้ LM723 ที่มีขนาดใหญ่ที่สามารถตั้งโปรแกรมในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ ในการผลิตชิปแพ็คเกจแบบพลาสติกที่ประกอบอยู่ใน 14 ขา มีทรานซิสเตอร์ NPN 2N3055 ที่ใช้ในการขับกระแสไฟฟ้า มีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรสำหรับแหล่งจ่ายไฟ ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงผลผ่านทาง Segment Display โดยใช้ IC PIC16F685 โดยแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นทดสอบค่า Ripple ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 5 มิลลิโวลต์ ที่ 5 โวลต์

คำสำคัญ : แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

Title	Laboratory Power Supply
Student	Mr. Natthawut Kladsa-ard Student ID 55051497
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assoc. Prof. Wichit Sirichote

ABSTRACT

A linear power supply has been developed for laboratory use. The power supply is capable of providing 0 - 15V, 2A. The printed circuit board is built using Circuit Wizard. The power supply is built using LM723, a monolithic integrated programmable voltage regulator. The chip is assembled in 14-lead dual in-line plastic package. The output driver uses NPN 2N3055 for high current sourcing. The circuit has built-in short circuit protection. The digital meter for displaying output voltage and current has been developed using PIC16F685 microcontroller. The power supply was tested with ripple voltage. The ripple voltage was 5mVpp at 5V output voltage.

Keywords : DC Power Supply, Programmable Microcontroller

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.วิชิต ศิริโชติ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้หลายรอบ เพื่อให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ รศ.อนุพงศ์ สรงประภา อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ที่ให้เครื่องมือ เพื่อใช้ในการวิจัยนี้และให้คำแนะนำ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ณัฐวุฒิ กัลป์สอาด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลังการของพาวเวอร์ซีพพลาย	3
2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า	3
2.1.2 วงจรเรียงกระแส	4
2.1.3 วงจรกรองความถี่	10
2.1.4 วงจรเรกูเลเตอร์	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ออกแบบวงจรพาวเวอร์ซีพพลายและวงจรแสดงผลข้อมูล	22
3.2 ทำ PCB Layout	24
3.3 รายการอุปกรณ์	26
3.3.1 ตัวต้านทาน	27
3.3.2 ตัวเก็บประจุ	27
3.3.3 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	28
3.3.4 อุปกรณ์อื่นๆ	29
3.4 เขียนโปรแกรมแสดงผลข้อมูล	31
3.5 การทดสอบวงจร	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	36
4.1 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาท์พุท	36
4.2 วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุท	39

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	51

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	บล็อกไดอะแกรมของพาวเวอร์ซัพพลาย	3
2.2	การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	3
2.3	วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	4
2.4	รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	4
2.5	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซนเตอร์แทป	6
2.6	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก	6
2.7	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกลบ	7
2.8	วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	7
2.9	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ	7
2.10	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก	8
2.11	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ประกอบด้วยค่าไฟฟ้ากระแสตรงและค่าไฟฟ้ากระแสสลับ	9
2.12	Filter circuit	11
2.13	คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ	11
2.14	Low pass RL filter circuit	12
2.15	Low pass RC filter circuit	13
2.16	High pass RC filter circuit	14
2.17	High pass RL filter circuit	15
2.18	Series RLC Band pass filter	16
2.19	Series RLC Band stop filter	17
2.20	Shunt voltage regulator	19
2.21	Series voltage regulator	20
2.22	Zener diode-Emitter Follower Regulator	20
3.1	วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย	22
3.2	วงจรแสดงผลข้อมูล	23
3.3	วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุต	23
3.4	ลายวงจรพาวเวอร์ซัพพลายบนแผ่น PCB	24
3.5	ลายวงจรพาวเวอร์ซัพพลายและอุปกรณ์บนแผ่น PCB	24
3.6	ลายวงจรแสดงผลข้อมูลบนแผ่น PCB	25
3.7	ลายวงจรแสดงผลข้อมูลและอุปกรณ์บนแผ่น PCB	25
3.8	ตัวต้านทาน	27
3.9	ตัวต้านทานปรับค่าได้	27
3.10	ตัวเก็บประจุ	27
3.11	ไดโอด	28
3.12	LED	28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.13	ทรานซิสเตอร์	28
3.14	ไอซี	28
3.15	สวิตช์	29
3.16	7Segment	29
3.17	หม้อแปลงไฟฟ้า	29
3.18	ฟิวส์	29
3.19	กระบอกฟิวส์	29
3.20	วงจรพาวเวอร์ซัพพลายเมื่อลงอุปกรณ์แล้ว	30
3.21	วงจรแสดงผลข้อมูลเมื่อลงอุปกรณ์แล้ว	30
3.22	คำสั่งแสดงผลข้อมูลวัดแรงดันไฟฟ้า	31
3.23	วงจรติดตั้งเสร็จสมบูรณ์	32
3.24	ทดสอบวงจรพาวเวอร์ซัพพลายและวงจรแสดงผลข้อมูล	33
3.25	วงจรพาวเวอร์ซัพพลายไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า	34
3.25	แสดงชิ้นงานเมื่อบรรจุลงในกล่องเหล็ก	34
3.27	พาวเวอร์ซัพพลายที่เสร็จสมบูรณ์	35
4.1	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ไม่มีโหลด	39
4.2	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ไม่มีโหลด	39
4.3	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ไม่มีโหลด	40
4.4	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม	40
4.5	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม	41
4.6	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม	41
4.7	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม	42
4.8	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม	42
4.9	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม	43
4.10	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโอห์ม	43
4.11	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโอห์ม	44
4.12	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโอห์ม	44
4.13	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโอห์ม	45
4.14	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโอห์ม	45
4.15	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโอห์ม	46
4.16	วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโอห์ม	46
4.17	วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโอห์ม	47
4.18	วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโอห์ม	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนงานวิจัยและวิธีดำเนินงานปีที่ 1	2
1.2 แสดงขั้นตอนงานวิจัยและวิธีดำเนินงานปีที่ 2	2
3.1 รายการอุปกรณ์	26
4.1 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UNI-T UT55	36
4.2 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UNI-T UT136C	37
4.3 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น KYORITSU KEW1011	38
4.4 วัดค่ารีบเปิดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในห้องปฏิบัติการพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการทดลองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง พาวเวอร์ซัพพลายจะเป็นอุปกรณ์หลักในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและมีลักษณะการทำงานในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC : Alternating Current) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC : Direct Current) สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลง พาวเวอร์ซัพพลายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ พาวเวอร์ซัพพลายเชิงเส้น (Linear Power Supply) และพาวเวอร์ซัพพลายสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply) พาวเวอร์ซัพพลายเชิงเส้น หมายถึง พาวเวอร์ซัพพลายที่มีการออกแบบค่อนข้างง่าย มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและให้ประสิทธิภาพประมาณ 30 - 50% ส่วนพาวเวอร์ซัพพลายสวิตซ์ซิ่ง หมายถึง พาวเวอร์ซัพพลายที่มีการออกแบบที่ซับซ้อน มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและให้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 65 - 80%

ด้วยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นการนำพาวเวอร์ซัพพลายที่จะไปใช้งานนั้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและทดสอบการทำงานของพาวเวอร์ซัพพลายจ่ายให้กับโหลด โดยจะออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสร้างพาวเวอร์ซัพพลาย สำหรับการทดสอบในการทำงานของพาวเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับโหลดและทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างพาวเวอร์ซัพพลายกับโหลด ซึ่งผลการวิจัยนี้จะทำให้ได้พาวเวอร์ซัพพลาย เพื่อนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานและรูปแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของพาวเวอร์ซัพพลาย
- 2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พาวเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับโหลด
- 3) สามารถสร้างและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของพาวเวอร์ซัพพลาย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพาวเวอร์ซัพพลาย
- 2) ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสร้างพาวเวอร์ซัพพลาย
- 3) ทดสอบและวิเคราะห์พาวเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับโหลด

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ทำการศึกษาหลักการการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) ทำการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรม Circuit Wizard
- 3) เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้โปรแกรม Mikro C
- 4) ทำการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
- 5) ทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างพาวเวอร์ซัพพลายกับโหนด
- 6) สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนงานวิจัยและวิธีดำเนินงานปีที่ 1

ขั้นตอน	ระยะเวลา (ปีที่ 1)											
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.4.1												
1.4.2												

ตารางที่ 1.2 แสดงขั้นตอนงานวิจัยและวิธีดำเนินงานปีที่ 2

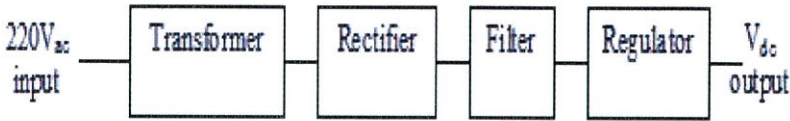
ขั้นตอน	ระยะเวลา (ปีที่ 2)											
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.4.3												
1.4.4												
1.4.5												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรม Circuit Wizard ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 2) ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรม Mikro C ในการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2) สามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสร้างพาวเวอร์ซัพพลาย
- 3) ได้เรียนรู้หลักการทำงานและคุณสมบัติของพาวเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับโหนด

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) [1]

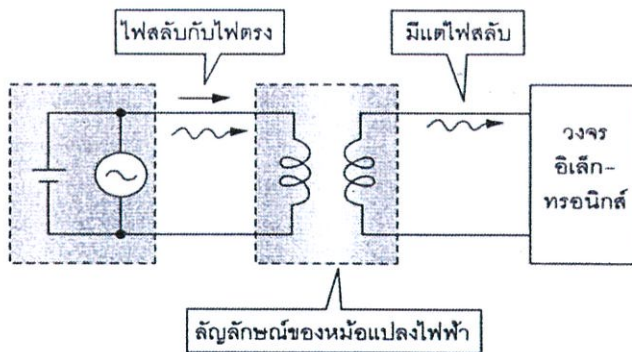


รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของพาวเวอร์ซัพพลาย

หลักการของพาวเวอร์ซัพพลายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC 220 โวลต์) ป้อนให้กับหม้อแปลง (Transformer) เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จากนั้นจะต่อเข้ากับวงจรแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากส่วนนี้ยังมีลักษณะเป็นลูกคลื่นอยู่จึงต้องนำไปกรองให้เรียบด้วยวงจรกรองความถี่ (Filter) และส่วนสุดท้ายเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Regulator) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทของวงจรให้มีระดับคงที่ตามต้องการไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะของโหลด ซึ่งประกอบด้วยส่วนการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังต่อไปนี้

2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) [2]

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานจาก วงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปกติจะใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูง และไฟฟ้าแรงต่ำ หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาด ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม



รูปที่ 2.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

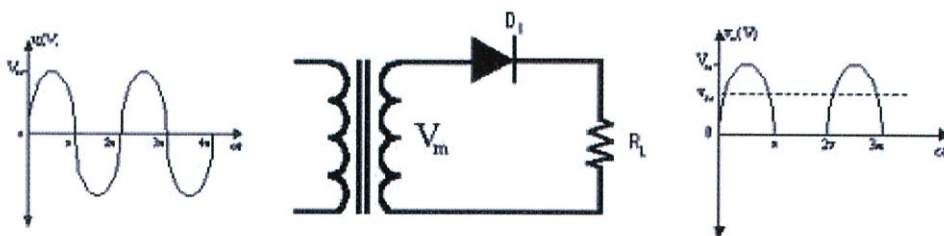
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิเป็นดังนี้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2.1)$$

- เมื่อ V_1, V_2 = ค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (โวลต์)
 I_1, I_2 = ค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (แอมป์)
 n_1 = จำนวนรอบของขดลวดรับไฟฟ้า
 n_2 = จำนวนรอบของขดลวดจ่ายไฟฟ้า

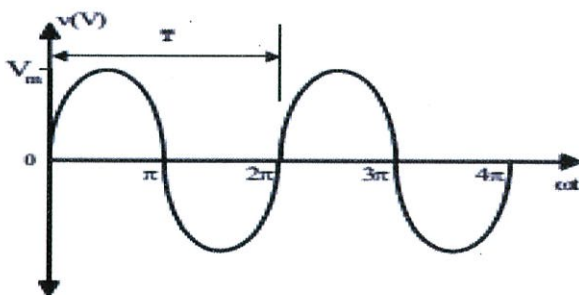
2.1.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) [3]

วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างว่า เรกติไฟเออร์ คือ วงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปทิศทางหนึ่ง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณ ได้แก่ ไดโอด



รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

2.1.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit) จากรูปที่ 2.4 อธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณครึ่งบวกเข้ามาไดโอดจะถูกไบอัสตรงทำให้กระแสไหลในวงจร เกิดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณอินพุตแต่เมื่อมีสัญญาณครึ่งลบเข้ามาไดโอดจะถูกไบอัสกลับจึงทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อม R_L จึงมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ไหลจึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งไซเคิล ที่เรียกว่า ฮาล์ฟเวฟ (Half wave)



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ค่าเฉลี่ย (Average value) สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 2.4 แล้วหารด้วยเวลาของรูปคลื่นโดยคำนวณพื้นที่ใต้รูปคลื่นของสัญญาณที่เรียงกระแสแล้วจะต้องใช้วิธีการอินทิเกรตสัญญาณซึ่งสมการหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (2.2)$$

หาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย V_{dc} โดย $V(t) = V_m \sin(\omega t)$ ช่วง $\pi - 2\pi$; $V_m = 0$ จะได้

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^\pi V_m \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_\pi^{2\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \right] \quad (2.3)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \quad (2.4)$$

เมื่อ V_{dc} = ค่าแรงดันเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแส (โวลต์)

V_m = ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณไฟสลับ (โวลต์)

ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย จะได้

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} \quad (2.5)$$

ค่าประสิทธิภาพ (Effective value or Root Mean Square) คือ แรงดันไฟฟ้าสลับที่ก่อให้เกิดผลทางความร้อนเท่ากับแรงดันไฟฟ้าตรง เช่น ถ้าหากบ้านแรงดันไฟฟ้าสลับรูปไซน์ค่า 14.14 โวลต์ คร่อมตัวต้านทานค่า 1 โอห์ม จะทำให้เกิดความร้อนเท่ากับเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าตรงค่า 10 โวลต์ สมการการหาค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส จะได้

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} \quad (2.6)$$

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น โดย $V(t) = V_m \sin(\omega t)$ จะได้

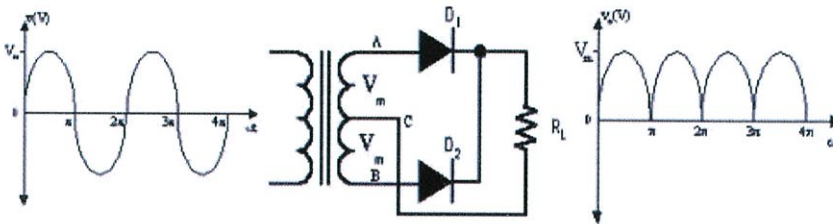
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t) + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t)} \quad (2.7)$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \quad (2.8)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส จะได้

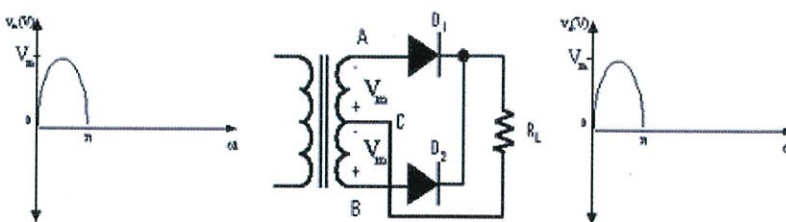
$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} \quad (2.9)$$

2.1.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Circuit) จากข้อเสียของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้วงจรที่เรียกว่า วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะใช้ไดโอดอย่างน้อยสองตัวต่ออยู่ในวงจร เพื่อที่จะทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของกระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับความต้านทานโหลด ตัวละครึ่งไซเคิลแต่ต้องจ่ายให้ทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายไฟกระแสตรงได้ตรงกว่าแบบครึ่งคลื่น



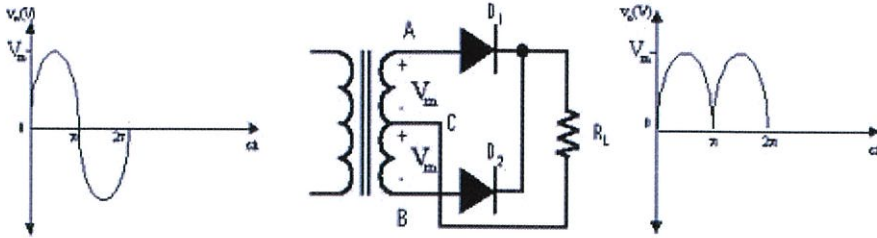
รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซนเตอร์แทป

2.1.2.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป (Center Tap Rectifier Circuit) เมื่อมีแรงดันสลับป้อนเข้ามาทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันขึ้นทางขดทุติยภูมิ คือ ขั้ว A และ B เนื่องจากจุด C เป็นจุดกึ่งกลางของขดทุติยภูมิ ดังนั้นแรงดันไฟครึ่งหนึ่งจึงเกิดขึ้นที่ขั้ว AC และอีกครึ่งหนึ่งจะปรากฏที่ขั้ว CB และแรงดันระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจะมีเฟสตรงข้ามกัน คือ 180 องศา เมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลแรก คือ ครึ่งไฟบวกเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด B จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ A หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด A ดังนั้นไดโอด D_1 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_2 จะนำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ดังรูปที่ 2.6



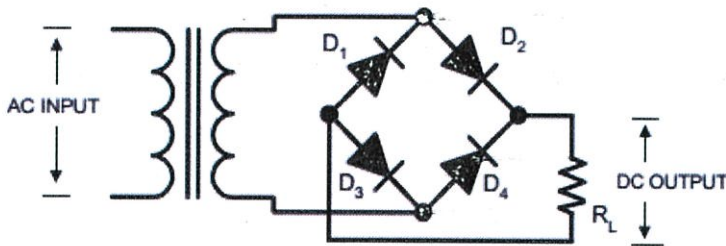
รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

เมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลต่อมา คือ ครึ่งไฟลบเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิศักย์ไฟฟ้าที่จุด A จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ B หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด B ดังนั้นไดโอด D_2 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_1 จะนำกระแสได้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ดังรูปที่ 2.7 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะได้อีกครึ่งไซเคิลกระแสผ่านตัวต้านทาน R_L จะไหลไปในทิศทางเดียวกับบตอนแรก



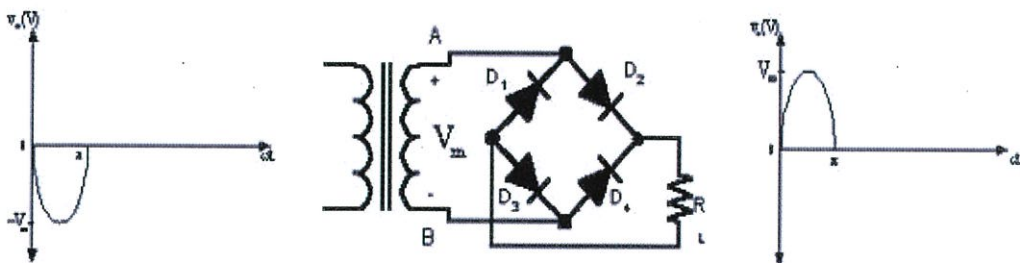
รูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซิกลอป

2.1.2.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit) แรงดันไฟสลับจะต่อเข้ากับสองมุมของวงจรบริดจ์และเอาต์พุตจะถูกนำออกที่สองมุมที่เหลือ ดังรูปที่ 2.8



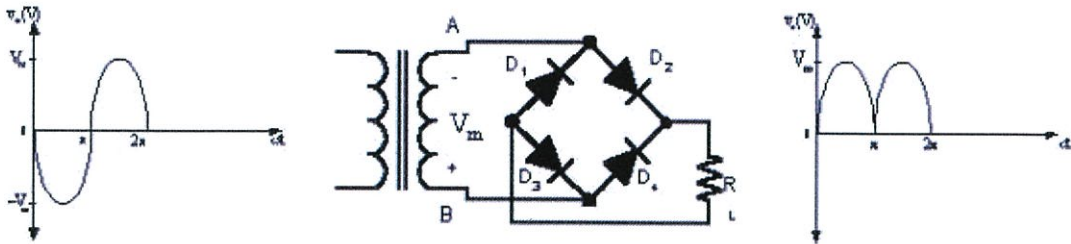
รูปที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุตสมมุติว่าเมื่อขั้ว A ของขดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวกและขั้ว B มีค่าเป็นลบจึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลลบถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ไดโอด D_2 และ D_3 จะอยู่ในลักษณะไบอัสตรง ดังนั้นกระแสจึงไหลครบวงจรจากขั้ว A ผ่านไดโอด D_2 ความต้านทานโหลดและไดโอด D_3 แล้วกลับสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซิกลอป

และเมื่อแรงดันไฟสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นบวกที่ขั้ว B และเป็นลบที่ขั้ว A การนำกระแสของไดโอดจะเปลี่ยนไปโดยเริ่มจากจุด B ของขดทุติยภูมิผ่าน D_4 ความต้านทานโหลดและ D_1 กลับเข้าขั้ว A ของหม้อแปลง ทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดจะมีทิศทางเดียวกับตอนแรก คือ มีขั้วบวกอยู่ทางด้านบน ดังรูปที่ 2.10 ดังนั้นการนำกระแสไดโอดจะเกิดสลับกันที่ละสองตัว D_2 กับ D_3 และ D_1 กับ D_4



รูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะได้สัญญาณเอาต์พุตเพียงครึ่งไซเคิลแต่ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะได้สัญญาณเอาต์พุตทุกรูปคลื่นของสัญญาณอินพุต ดังนั้นค่าแรงดันหรือค่ากระแสยอมได้มากกว่าแบบครึ่งคลื่นซึ่งการคำนวณหาโดยใช้สมการเดียวกันแต่จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$I_{dc} = 2I_m / \pi \quad (2.10)$$

$$V_{dc} = 2V_m / \pi \quad (2.11)$$

$$I_{rms} = I_m / \sqrt{2} \quad (2.12)$$

$$V_{rms} = V_m / \sqrt{2} \quad (2.13)$$

แรงดันย้อนกลับ (Peak Inverse Voltage - PIV) เป็นค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสกลับ ไดโอดที่ใช้จะต้องมีแรงดันทลาย (Breakdown) สูงกว่าแรงดันย้อนกลับ

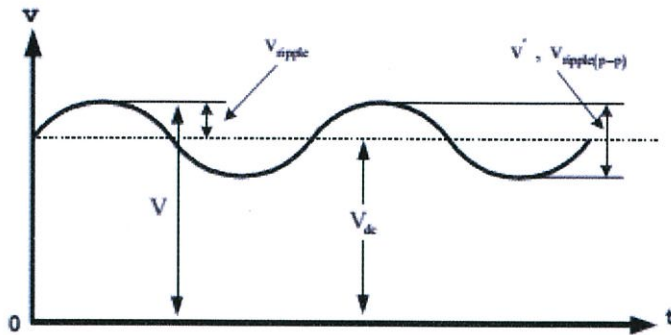
แรงดันย้อนกลับของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น = V_m

แรงดันย้อนกลับของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีเซนเตอร์แทป = $2V_m$

แรงดันย้อนกลับของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ = V_m

ตัวประกอบคาร์ิบเปิล (Ripple Factor) เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสมีทั้งองค์ประกอบไฟฟ้าตรงและองค์ประกอบไฟฟ้าสลับ ค่าของไฟฟ้าตรง หมายถึง ค่าเฉลี่ย ค่าไฟฟ้าสลับ เป็นเหมือนระลอกคลื่นที่แปรขึ้นลงรอบๆ ค่าเฉลี่ยนี้อัตราส่วนของค่าไฟฟ้าสลับต่อไฟฟ้าตรง เรียกว่าตัวประกอบค่าระลอก (r)

$I_{r(rms)}$, $V_{r(rms)}$ หมายถึง ค่ายังผลขององค์ประกอบไฟฟ้าสลับเท่านั้น ส่วน $I'_{r(rms)}$, $V'_{r(rms)}$ หมายถึง ค่ายังผลของสัญญาณออก (รวมไฟฟ้าตรงและไฟฟ้าสลับ) ให้ $V_{ripple(p-p)}$ เป็นสัญญาณดังรูปที่ 2.11 V_{dc} เป็นค่าเฉลี่ยและ V_{ripple} เป็นองค์ประกอบไฟฟ้าสลับหรือเรียกว่า แรงดันระลอก (Ripple Voltage)



รูปที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้าที่ประกอบด้วยค่าไฟฟ้ากระแสตรงและค่าไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 2.11 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} = \frac{I_{r(rms)}}{I_{dc}} \quad (2.14)$$

การคงที่ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation) หมายถึง การเปลี่ยนของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุตซึ่งมาจากโหลด การคงที่ค่าแรงดันไฟฟ้ามี่ดังนี้

$$V.R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \quad (2.15)$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

$$V_{NL} = \text{Voltage at no load} = V_{dc} = V_m / \pi \quad (2.16)$$

$$V_{FL} = \text{Voltage at Full load} = V_m / \pi - I_{dc} (R_f + R_s) \quad (2.17)$$

เมื่อ R_f = ความต้านทานขณะที่ไดโอดได้รับไบอัสตรง (โอห์ม)

R_s = ความต้านทานขดลวดทุติยภูมิ (โอห์ม)

แทนค่าลงในสมการที่ 2.15 จะได้

$$V.R = \frac{\left(\frac{V_m}{\pi}\right) - \left[\left(\frac{V_m}{\pi}\right) - I_{dc} (R_f + R_s)\right]}{\left(\frac{V_m}{\pi}\right) - I_{dc} (R_f + R_s)} \quad (2.18)$$

$$V.R = \frac{R_f + R_s}{R_L - (R_f + R_s)} \quad (2.19)$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

$$V_{NL} = \text{Voltage at no load} = V_{dc} = 2V_m / \pi \quad (2.20)$$

$$V_{FL} = \text{Voltage at Full load} = 2V_m / \pi - I_{dc} (R_f + R_s) \quad (2.21)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.15 จะได้

$$V.R = \frac{\left(\frac{2V_m}{\pi}\right) - \left[\left(\frac{2V_m}{\pi}\right) - I_{dc} (R_f + R_s)\right]}{\left(\frac{2V_m}{\pi}\right) - I_{dc} (R_f + R_s)} \quad (2.22)$$

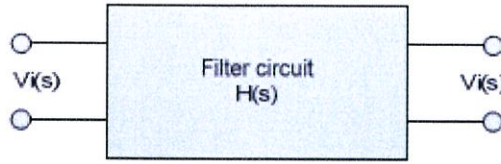
$$V.R = \frac{R_f + R_s}{2R_L - (R_f + R_s)} \quad (2.23)$$

2.1.3 วงจรกรองความถี่ (Filter) [4]

วงจรกรองความถี่ คือ วงจรเลือกความถี่ โดยใช้คุณสมบัติของ RLC ที่มีการตอบสนองต่อความถี่ต่างกัน คุณสมบัติของ RLC ที่มีผลกับความถี่ได้ดังนี้

1. ตัวต้านทาน (R) คือ ต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมาอยู่ในไฟฟ้ากระแสสลับก็มีคุณสมบัติแบบเดียวกัน
2. ตัวเหนี่ยวนำ (L) คือ จะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น ยิ่งความถี่สูงมากเท่าใดความต้านทานภายในตัวของมันก็ยิ่งสูงขึ้น
3. ตัวเก็บประจุ (C) คือ จะยอมให้ความถี่สูงผ่าน

วงจรนี้เป็นวงจรแบบ Two port ซึ่งมีทั้งอินพุตและเอาต์พุตดังรูปที่ 2.12



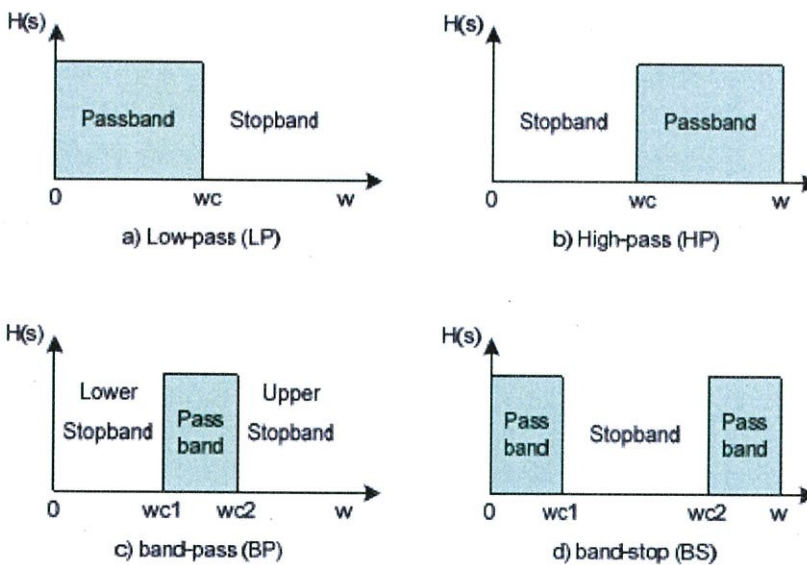
รูปที่ 2.12 Filter circuit

จากรูปที่ 2.12 จะได้สมการของการถ่ายโอน (Transfer function) โดยจะเป็นอัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตและอินพุต ดังสมการที่ 2.24

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} \quad (2.24)$$

จากสมการของการถ่ายโอนเราจะใช้ $H(s)$ และมักจะพิจารณาในเชิงของความถี่ โดยที่ $s = j\omega$ ชนิดของวงจรกรองความถี่สำหรับวงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่เลือกความถี่ออกทางเอาต์พุต โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

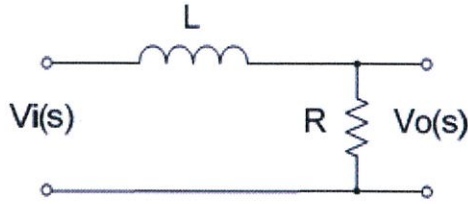
1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter, LP) คือ ตัดความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดทิ้งไป (ความถี่ที่กำหนด เรียกว่า ความถี่ตัดผ่าน)
2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter, HP) คือ ยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าที่กำหนดผ่านไป และตัดความถี่ที่ต่ำกว่าที่กำหนดทิ้งไป
3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter, BP) คือ ตัดความถี่ให้ผ่านไปได้ช่วงหนึ่งเริ่มจากที่กำหนด และสิ้นสุดที่กำหนด
4. วงจรหยุดแถบความถี่ผ่าน (Band stop filter, BS) คือ ยอมให้ความถี่ที่นอกเหนือจากความถี่ที่กำหนดไว้ ผ่านไปได้



รูปที่ 2.13 คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ

2.1.3.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)

- Low pass RL filter



รูปที่ 2.14 Low pass RL filter circuit

จากรูปที่ 2.14 Transfer function จะได้

$$V_i(s) = I L s + I R \quad (2.25)$$

$$V_o(s) = I R \quad (2.26)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{I R}{I(Ls + R)} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{Ls}{R}} \end{aligned} \quad (2.27)$$

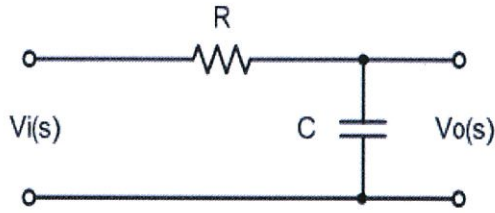
แทนค่า $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{j\omega L}{R}} \quad (2.28)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.28 ดังนี้

เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $\omega_c L/R = 1$ ดังนั้น $\omega_c = R/L$

- Low pass RC filter



รูปที่ 2.15 Low pass RC filter circuit

จากรูปที่ 2.15 Transfer function จะได้

$$V_o(s) = \frac{I}{Cs} \quad (2.29)$$

$$V_i(s) = IR + \frac{I}{Cs} \quad (2.30)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{\frac{I}{Cs}}{I\left(R + \frac{1}{Cs}\right)} \\ &= \frac{1}{1 + RCs} \end{aligned} \quad (2.31)$$

แทนค่า $s = j\omega$

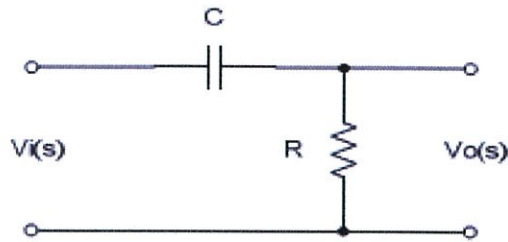
$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (2.32)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.32 ดังนี้

เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $\omega_c RC = 1$ ดังนั้น $\omega_c = 1/RC$

2.1.3.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter)

- High pass RC filter



รูปที่ 2.16 High pass RC filter circuit

จากรูปที่ 2.16 Transfer function จะได้

$$V_o(s) = IR \quad (2.33)$$

$$V_i(s) = \frac{I}{Cs} + IR \quad (2.34)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{IR}{I\left(\frac{1}{Cs} + IR\right)} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{1}{RCs}} \end{aligned} \quad (2.35)$$

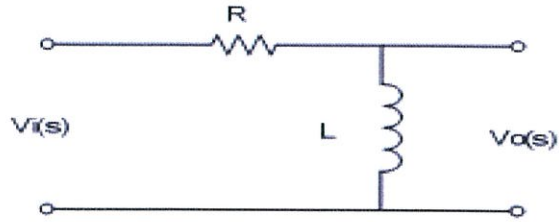
แทนค่า $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega RC}} \quad (2.36)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.36 ดังนี้

เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $1/\omega_c RC = 1$ ดังนั้น $\omega_c = 1/RC$

- High pass RL filter



รูปที่ 2.17 High pass RL filter circuit

จากรูปที่ 2.17 Transfer function จะได้

$$V_i(s) = IR + ILs \quad (2.37)$$

$$V_o(s) = ILs \quad (2.38)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{ILs}{I(R + Ls)} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{R}{Ls}} \end{aligned} \quad (2.39)$$

แทนค่า $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{R}{j\omega L}} \quad (2.40)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.40 ดังนี้

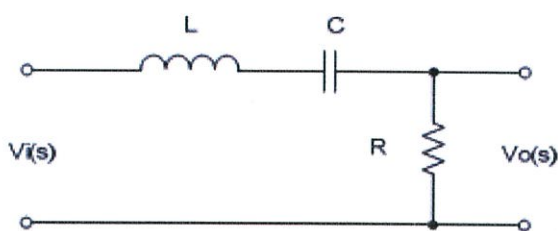
เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $R/\omega_c L = 1$ ดังนั้น $\omega_c = R/L$

2.1.3.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter)

เมื่อ	ω_l	→ Lower cut off frequency
	ω_u	→ Upper cutoff frequency
	$\omega_o = \sqrt{\omega_l \omega_u}$	→ Center frequency
	$B = \omega_l - \omega_u$	→ Band Width
	$Q = \frac{\omega_o}{B}$	→ Quality factor

โดยที่ Q คือ คุณภาพของวงจร Band pass หากค่า Q มากจะทำให้แบนด์วิดธ์แคบลง จะทำให้ตัดสัญญาณได้ดีขึ้น

- วงจรกรองความถี่ผ่านแบบ RLC อนุกรม (Series RLC Band pass filter)



รูปที่ 2.18 Series RLC Band pass filter

จากรูปที่ 2.18 Transfer function จะได้

$$V_o(s) = IR \quad (2.41)$$

$$V_i(s) = I\left(Ls + \frac{1}{Cs} + R\right) \quad (2.42)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{IR}{I\left(Ls + \frac{1}{Cs} + R\right)} \\ &= \frac{R}{Ls + \frac{1}{Cs} + R} \end{aligned} \quad (2.43)$$

แทนค่า $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{R}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R} \quad (2.44)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.44 ดังนี้

เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $\omega_o L = 1/\omega_o C$ ดังนั้น $\omega_c = \sqrt{1/LC}$

เมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นความถี่สูง (แกนจินตภาพ) จะได้ $\omega_u L / R = 1$ ดังนั้น $\omega_u = R / L$

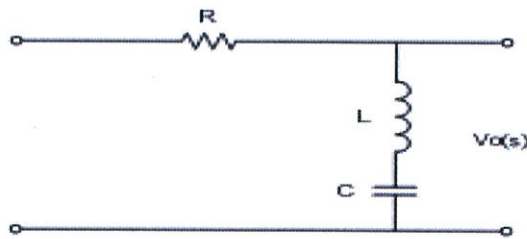
เมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ (แกนจินตภาพ) จะได้ $1/\omega_l RC = 1$ ดังนั้น $\omega_l = 1/RC$

2.1.3.4 วงจรหยุดแถบความถี่ผ่าน (Band stop filter)

เมื่อ	ω_l	→ Lower cut off frequency
	ω_u	→ Upper cutoff frequency
	$\omega_o = \sqrt{\omega_l \omega_u}$	→ Center frequency
	$B = \omega_u - \omega_l$	→ Band Width
	$Q = \frac{\omega_o}{B}$	→ Quality factor

โดยที่ Q คือ คุณภาพของวงจร Band stop หากค่า Q มากจะทำให้แบนด์วิดท์แคบลง จะทำให้ตัดสัญญาณได้ดีขึ้น

- วงจรกรองความถี่หยุดแบบ RLC อนุกรม (Series RLC Band stop filter)



รูปที่ 2.19 Series RLC Band stop filter

จากรูปที่ 2.19 Transfer function จะได้

$$V_o(s) = ILs + \frac{1}{Cs} \quad (2.45)$$

$$V_i(s) = IR + ILs + \frac{1}{Cs} \quad (2.46)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{I\left(Ls + \frac{1}{Cs}\right)}{I\left(R + Ls + \frac{1}{Cs}\right)} \\ &= \frac{Ls + \frac{1}{Cs}}{R + Ls + \frac{1}{Cs}} \end{aligned} \quad (2.47)$$

แทนค่า $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \quad (2.48)$$

หาความถี่คัทออฟ (ω_c) จากสมการที่ 2.48 ดังนี้

เมื่อพิจารณาส่วนจินตภาพ (ความถี่) จะได้ $\omega_o L = 1/\omega_o C$ ดังนั้น $\omega_c = \sqrt{1/LC}$

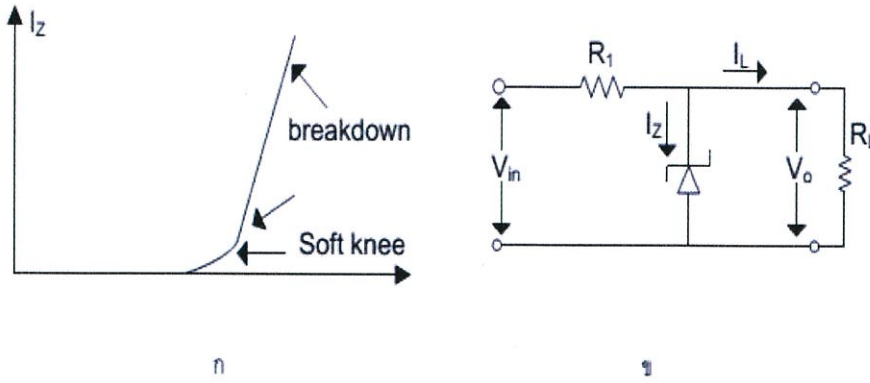
เมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นความถี่สูง (แกนจินตภาพ) จะได้ $\omega_u L / R = 1$ ดังนั้น $\omega_u = R / L$

เมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ (แกนจินตภาพ) จะได้ $1/\omega_l RC = 1$ ดังนั้น $\omega_l = 1/RC$

2.1.4 วงจรเร็กกูเลเตอร์ (Regulator Circuit) [5]

วงจรเร็กกูเลเตอร์ คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างแรงดันกระแสตรงคงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายให้กับโหลด อุณหภูมิ และความแปรผันต่างๆ ในสายส่งกระแสสลับ สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

2.1.4.1 Shunt voltage regulator รูปที่ 2.20 ข เป็นวงจรการนำ Zener diode มาใช้งานเป็น voltage regulator ทำงานด้วยการ reverse bias ตัว Zener diode ให้อยู่ในช่วง "Zener breakdown voltage" โดยจะมี Voltage-Ampere characteristic ดังรูปที่ 2.20 ก แรงดันเอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับแรงดัน Zener breakdown และจาก I-V curve จะเห็นว่า เมื่อ breakdown แล้ว Zener impedance ต่ำมาก $\Delta V/\Delta I$ ต่ำ ดังนั้น กระแสไหลตสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ ในช่วงที่กว้างมากโดยไม่ทำให้ V_o เปลี่ยนไปมากนักโดยที่ต้องเลือกจุดทำงาน (operating point) ที่เหมาะสม จากวงจรได้ว่า



รูปที่ 2.20 Shunt voltage regulator

จากรูปที่ 2.20 จะได้สมการดังนี้

$$I_Z = \left(\frac{V_{in} - V_Z - I_{RL}}{R_1} \right) = \left(\frac{V_{in} - V_Z}{R_1} \right) - \left(\frac{V_Z}{R_L} \right) \quad (2.49)$$

ในการออกแบบวงจรเราต้องกำหนดค่า V_{in} , $I_{L(max)}$, $I_{L(min)}$ เพื่อที่จะหาค่า R_1 จุดการทำงานจะต้องไม่ต่ำกว่าจุด soft knee (รูปที่ 2.20 ก) ในขณะที่ I_Z ต่ำสุดและ I_Z สูงสุดจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนด (maximum rate) ของ Zener ดังนั้นจากสมการที่ 2.49 จะได้

$$R_1(max) = \frac{V_{in(min)} - V_{Z(min)}}{I_{Z(min)} + \frac{V_{Z(max)}}{R_{L(min)}}} \quad (2.50)$$

จากสมการที่ 2.50 สามารถหาค่า R_1 nom (nominal value) ได้ จากนั้นก็หาค่าของ $I_{Z(max)}$

$$I_{Z(max)} = \frac{V_{in(max)} - V_{Z(max)}}{R_1(min)} - \frac{V_{Z(min)}}{R_{L(min)}} \quad (2.51)$$

จะได้

$$\text{maximum zener power dissipation} = I_{Z(max)} \times V_{Z(min)} \quad (2.52)$$

เมื่อ I_Z = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน zener (แอมป์)

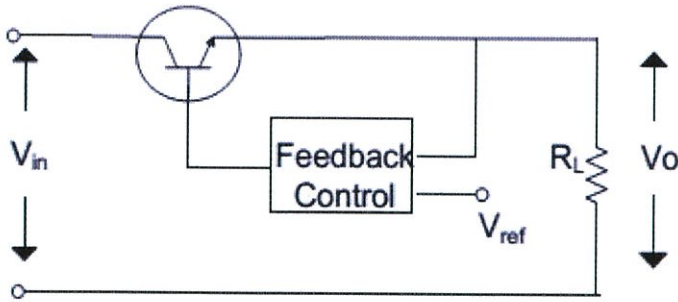
V_{in} = แรงดันไฟฟ้้อินพุต (โวลต์)

V_Z = แรงดันไฟฟ้า zener (โวลต์)

I_{RL} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานโหลด (แอมป์)

R_1 = ความต้านทานในวงจร (โอห์ม)

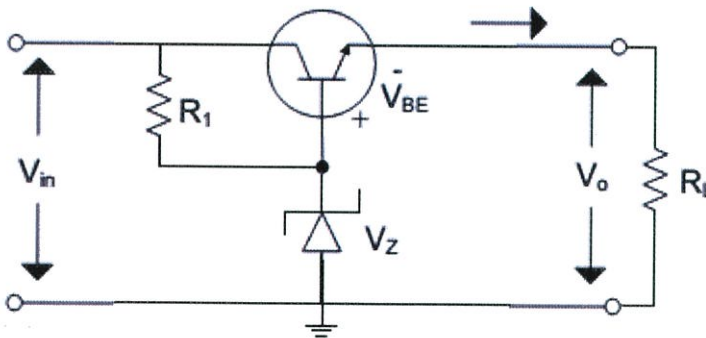
2.1.4.2 Series voltage regulator



รูปที่ 2.21 Series voltage regulator

วงจร series voltage regulator นี้เป็น regulator ที่สามารถสร้างได้ง่ายๆและมีราคาถูก ขจัด ripple ได้ดี การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตต่อโหลดและการเปลี่ยนแปลงของ V_{in} ต่ำเนื่องจากใช้วงจร negative-feedback control ซึ่งจะควบคุมให้ $V = V_{ref}$ (reference voltage) ใช้เวลาโดยการป้อนแรงดันควบคุม series element ซึ่งเป็น transistor ที่ทำงานอยู่ในช่วง active region ส่วน feedback control โดยทั่วไปจะเป็น comparison amplifier

จากรูปที่ 2.22 ในกรณีที่ต้องการช่วงกระแสโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้มาก โดยไม่ทำให้จุดทำงานของ Zener diode เปลี่ยนไปมาก เราอาจใช้ทรานซิสเตอร์ช่วยจ่ายกระแสให้โหลด ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของ I_z ต่อ I_L จะลดลงด้วย factor (current gain transistor) วงจรนี้ เรียกว่า “Zener diode-Emitter Follower Regulator”



รูปที่ 2.22 Zener diode-Emitter Follower Regulator

จากรูปที่ 2.22 จะได้สมการดังนี้

$$\Delta I_z = \frac{\Delta I_L}{\beta} \quad (2.53)$$

$$V_O = V_Z - V_{BE} \quad (2.54)$$

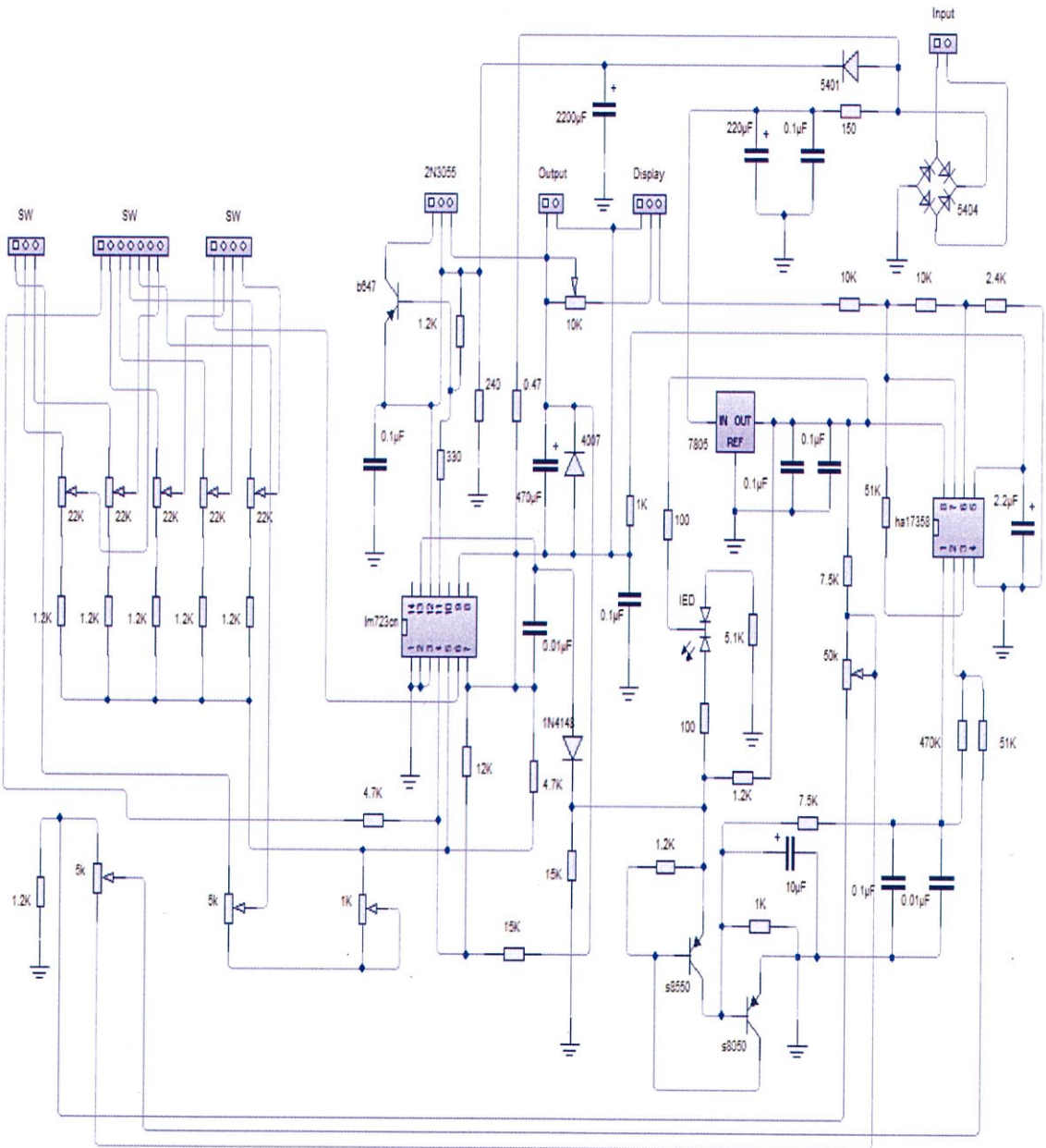
ถ้าโหนดเพิ่มขึ้น V_O ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะทำให้ V_{BE} ลดลง (V_O คงที่) การลดลงของ V_{BE} นี้เอง เป็นผลให้การนำกระแสของทรานซิสเตอร์ลดลง ทำให้ V_{CE} มีค่าเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ V_{in} คงที่ ดังนั้น จะทำให้ V_O ลดลงเหลือเท่าเดิม นั่นคือ ทำให้ Output Voltage (V_O) มีค่าคงที่ ในทำนองเดียวกัน ถ้า โหนดมีค่าลดลง จะทำให้ V_O ลดลงด้วย เป็นผลให้ V_{BE} เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มการนำกระแสของ ทรานซิสเตอร์ ทำให้ V_{CE} ลดลง ส่งผลให้ V_L มีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

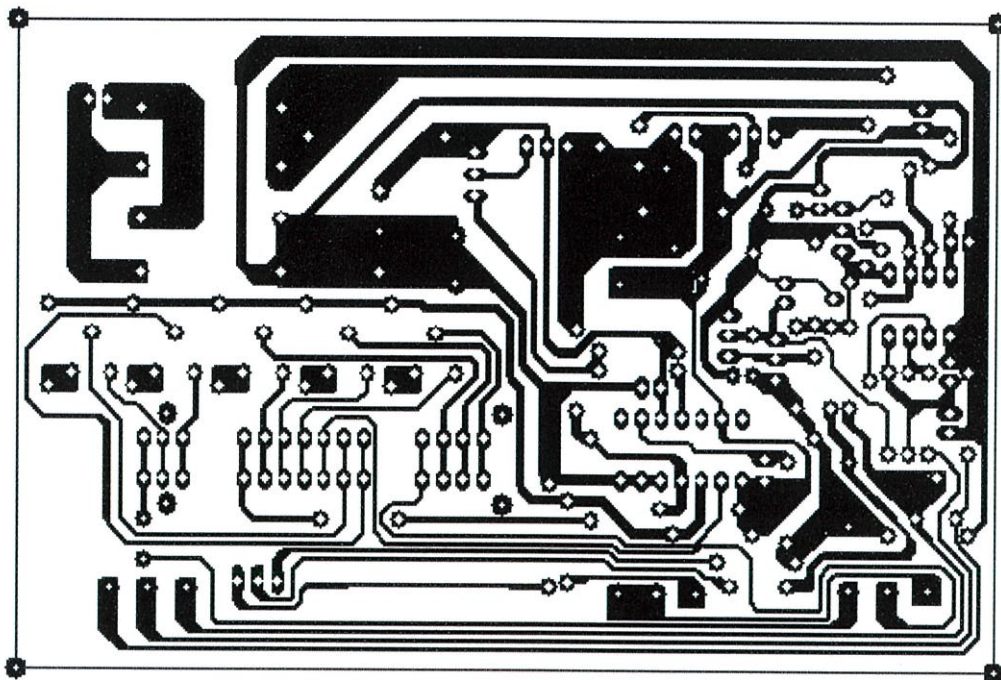
บทนี้จะแสดงการออกแบบวงจรและการสร้างพาวเวอร์ซีพพลายใช้โปรแกรม Circuit Wizard จำลองโครงสร้างและทำแผ่น PCB ของวงจร ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลใช้โปรแกรม Mikro C เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และทดสอบพาวเวอร์ซีพพลาย ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

3.1 ออกแบบวงจรพาวเวอร์ซีพพลายและวงจรแสดงผลข้อมูล

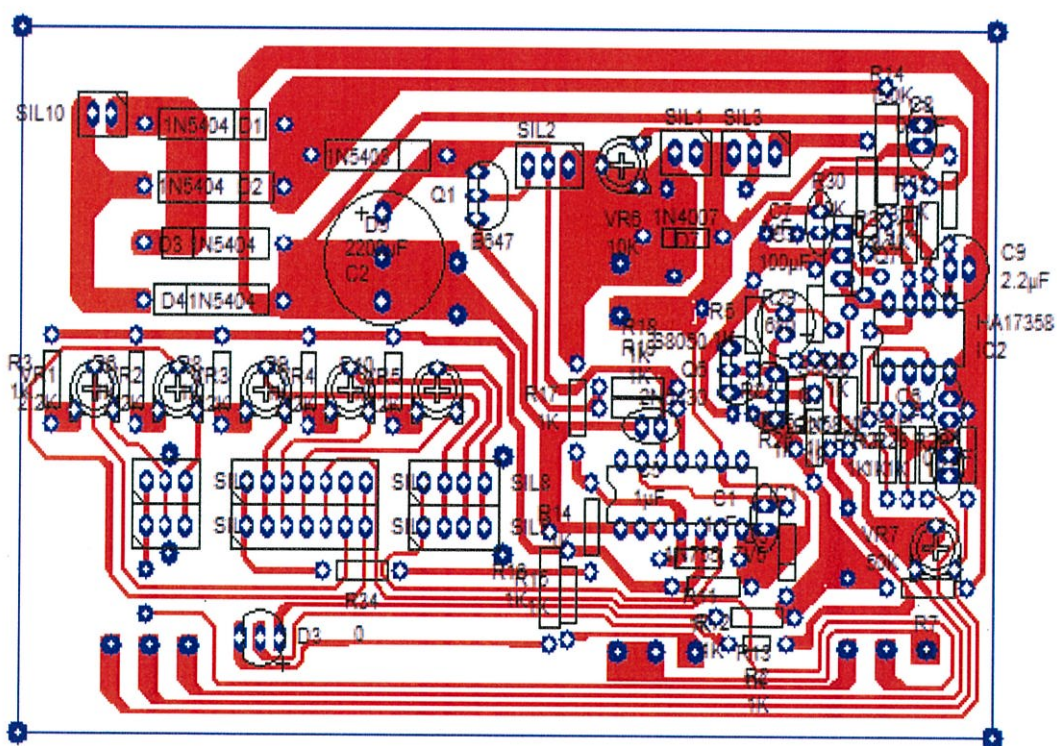


รูปที่ 3.1 วงจรพาวเวอร์ซีพพลาย

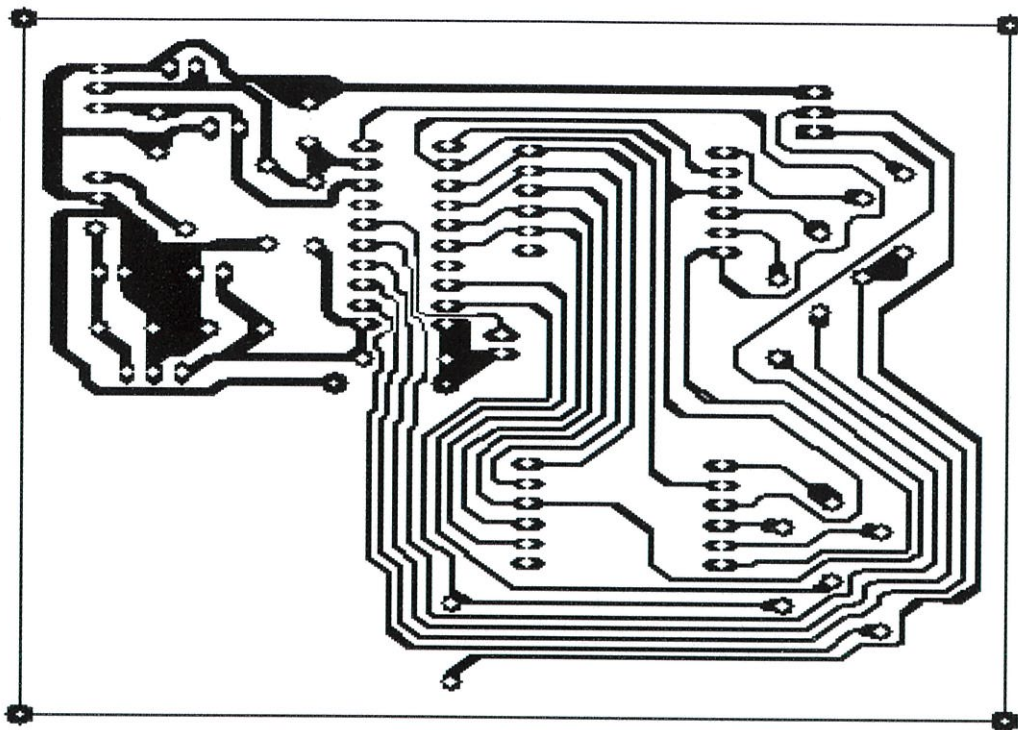
3.2 ทำ PCB Layout



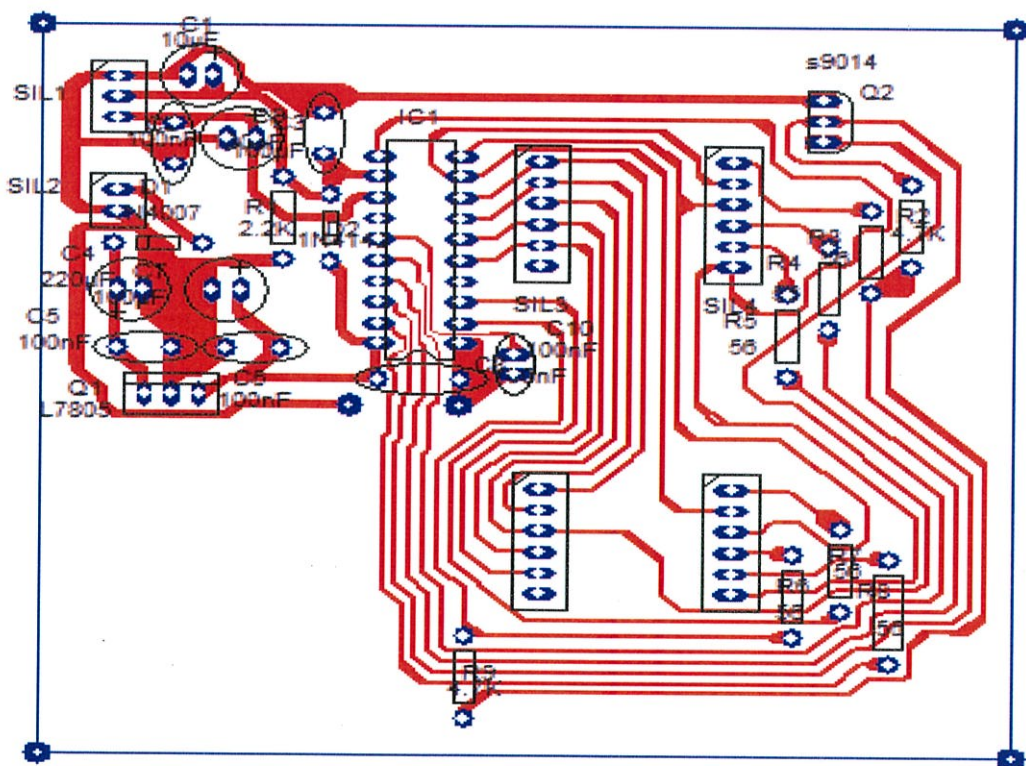
รูปที่ 3.4 ลายวงจรพาวเวอร์ซัพพลายบนแผ่น PCB



รูปที่ 3.5 ลายวงจรพาวเวอร์ซัพพลายและอุปกรณ์บนแผ่น PCB



รูปที่ 3.6 ลายวงจรแสดงผลข้อมูลบนแผ่น PCB



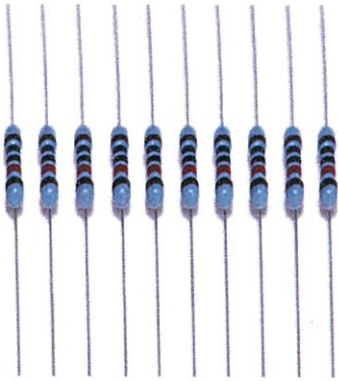
รูปที่ 3.7 ลายวงจรแสดงผลข้อมูลและอุปกรณ์บนแผ่น PCB

3.4 รายการอุปกรณ์

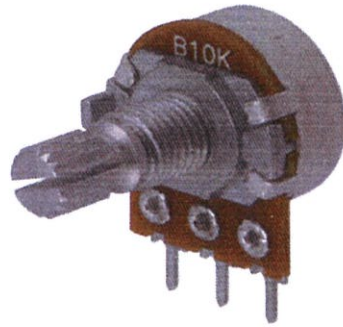
ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน		แบบอิเล็กทรอนิกส์	
ขนาด ¼ วัตต์ ± 5%		10µF50V	3 ตัว
1.2kΩ	9 ตัว	2.2µF50V	1 ตัว
100Ω	2 ตัว	220µF35V	3 ตัว
10kΩ	2 ตัว	470µF35V	1 ตัว
12kΩ	1 ตัว	2200µF35V	1 ตัว
15kΩ	2 ตัว	<u>อุปกรณ์กึ่งตัวนำ</u>	
1kΩ	2 ตัว	ไดโอด	
2.2kΩ	1 ตัว	1N5404	4 ตัว
2.4kΩ	1 ตัว	1N5401	1 ตัว
330Ω	1 ตัว	1N4148	2 ตัว
4.7kΩ	4 ตัว	1N4007	2 ตัว
470kΩ	1 ตัว	ทรานซิสเตอร์	
56Ω	6 ตัว	B647	1 ตัว
5.1kΩ	1 ตัว	S8550	1 ตัว
51kΩ	2 ตัว	S8050	1 ตัว
7.5kΩ	2 ตัว	S9014	1 ตัว
ขนาด 2 วัตต์ ± 5%		2N3055	1 ตัว
150Ω	1 ตัว	L7805	1 ตัว
ขนาด 3 วัตต์ ± 5%		L7812	1 ตัว
0.47Ω	1 ตัว	ไอซี	
240Ω	1 ตัว	LM723	1 ตัว
แบบโวลุ่ม		HA17358	1 ตัว
5kΩ	2 ตัว	PIC16F685	1 ตัว
1kΩ	1 ตัว	LED	
แบบเกือกม้า		RED-GREEN	1 ตัว
10kΩ	1 ตัว	<u>อุปกรณ์อื่นๆ</u>	
20kΩ	5 ตัว	หม้อแปลงไฟฟ้า	1 ตัว
50kΩ	1 ตัว	สวิตช์ 2 ทาง	1 ตัว
<u>ตัวเก็บประจุ</u>		สวิตช์ 6 ทาง	1 ตัว
แบบเซรามิก		ฟิวส์ 0.5A	1 ตัว
0.01µF	2 ตัว	กระบอกฟิวส์ 10A	1 ตัว
0.1µF	12 ตัว	7-segment	2 ตัว

3.3.1 ตัวต้านทาน

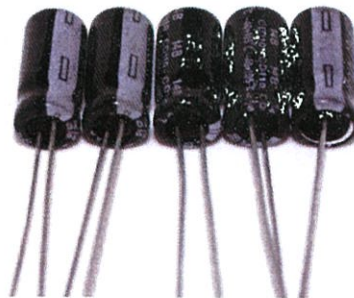
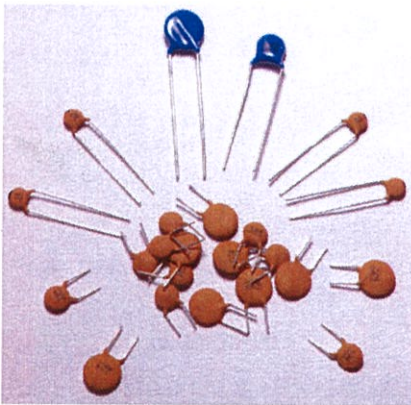


รูปที่ 3.8 ตัวต้านทาน



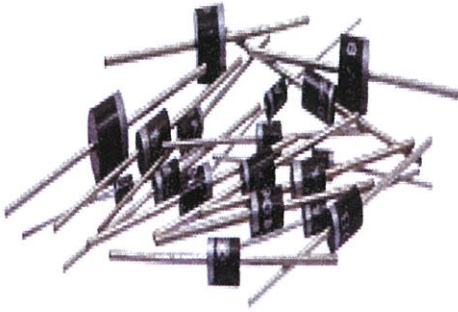
รูปที่ 3.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้

3.3.2 ตัวเก็บประจุ

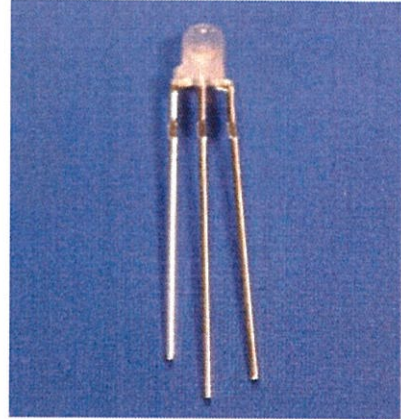


รูปที่ 3.10 ตัวเก็บประจุ

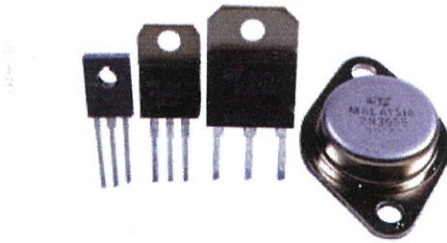
3.3.3 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



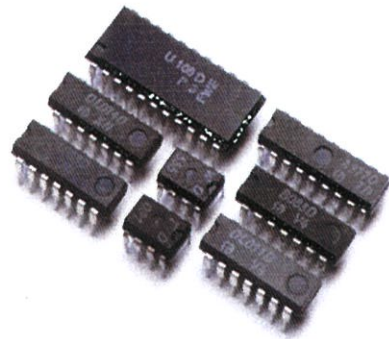
รูปที่ 3.11 ไดโอด



รูปที่ 3.12 LED

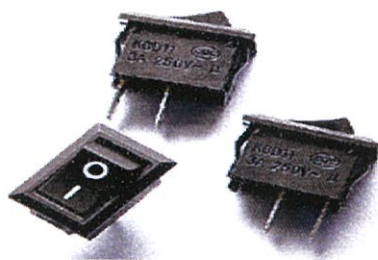


รูปที่ 3.13 ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.14 ไอซี

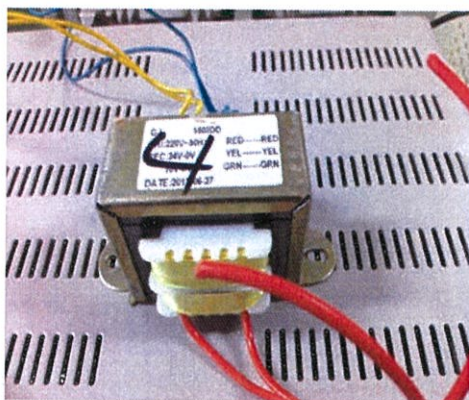
3.3.4 อุปกรณ์อื่นๆ



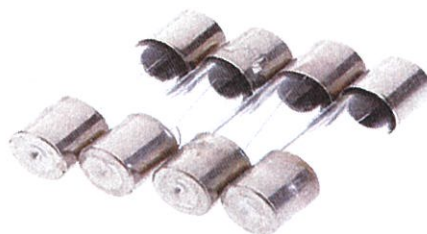
รูปที่ 3.15 สวิตช์



รูปที่ 3.16 7Segment



รูปที่ 3.17 หม้อแปลงไฟฟ้า

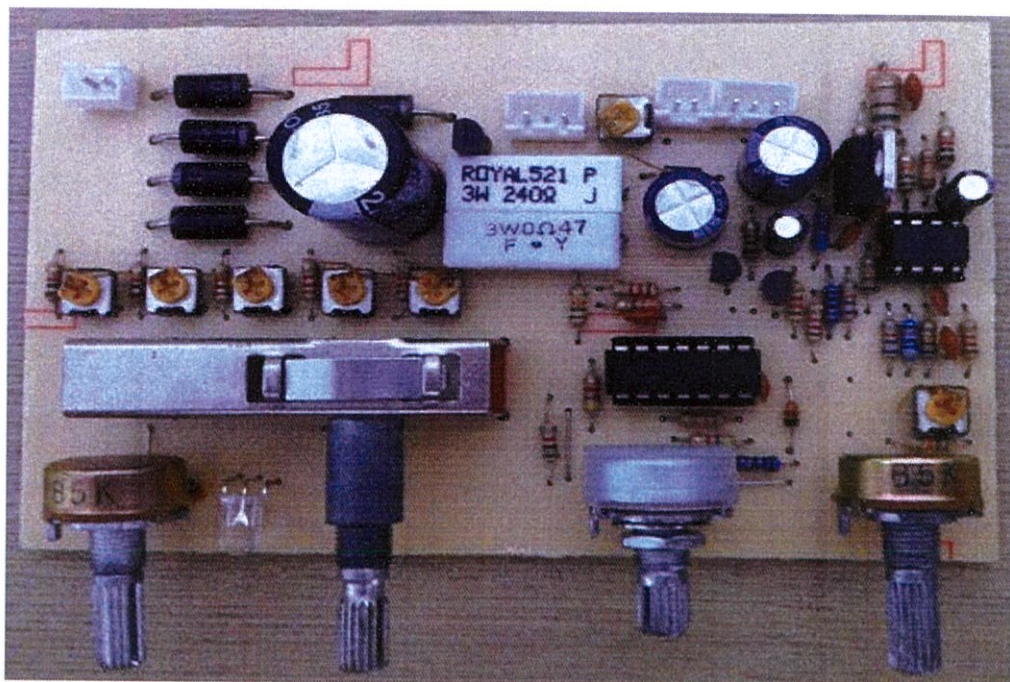


รูปที่ 3.18 ฟิวส์

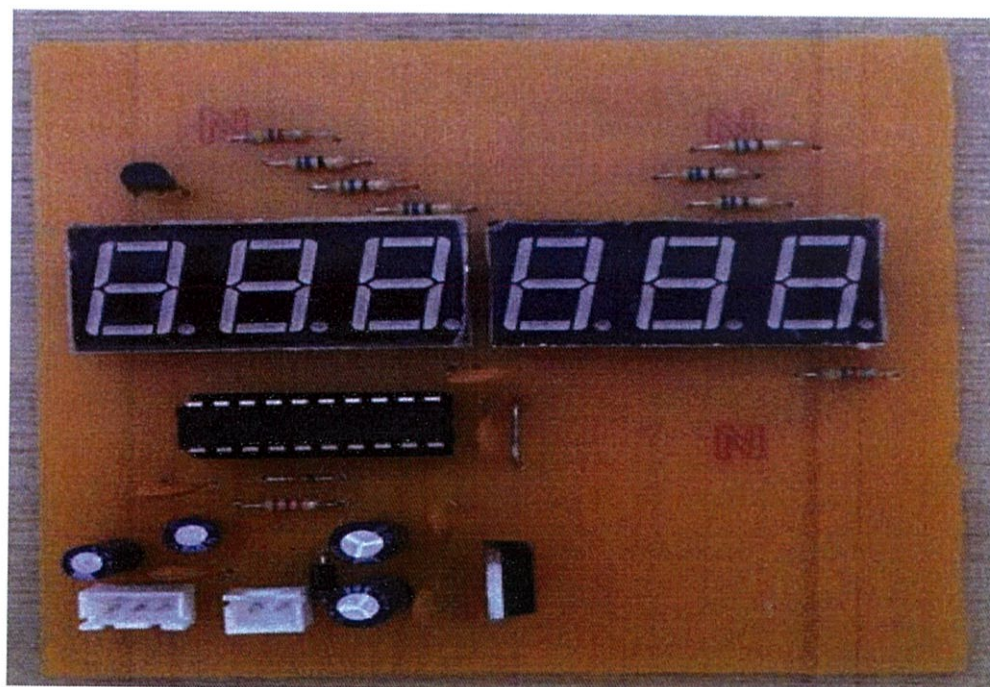


รูปที่ 3.19 ครอบบอกฟิวส์

เมื่อได้ลายวงจรที่ก๊าดเสร็จแล้ว นำอุปกรณ์ต่างๆที่เตรียมไว้ลงบนแผ่น PCB แล้วจะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงจรพาวเวอร์สวิตช์พลาเยเมื่อลงอุปกรณ์แล้ว



รูปที่ 3.21 วงจรแสดงผลข้อมูลเมื่อลงอุปกรณ์แล้ว

3.4 เขียนโปรแกรมแสดงผลข้อมูล

```

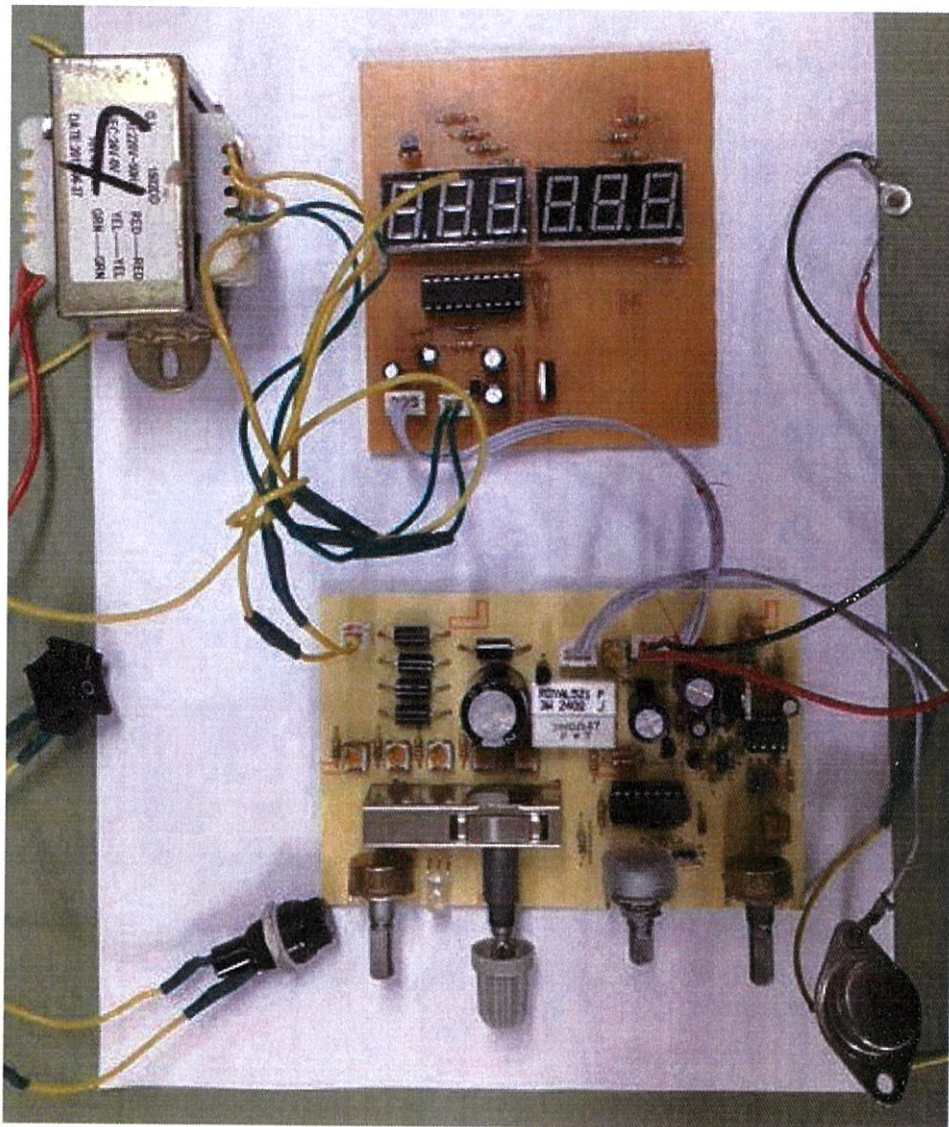
1: char convert[10] = {0x3f,0x06,0x5b,0x4f,0x66,0x6d,0x7c,0x07,0x7f,0x67};
2: char buffer[4];
3: int V=0;
4:
5: void scan()
6: {
7:   PORTB=~0x10;
8:   PORTC=buffer[0];
9:   Delay_ms(2);
10:
11:  PORTB=~0x20;
12:  PORTC=buffer[1];
13:  Delay_ms(2);
14:
15:  PORTB=~0x40;
16:  PORTC=buffer[2];
17:  Delay_ms(2);
18:
19:  PORTB=~0x80;
20:  PORTC=buffer[3];
21:  Delay_ms(2);
22: }
23:
24: read_volt()
25: {
26:   V = ADC_Read(1);
27:   V = V*50/1023;
28:
29:   buffer[1]=convert[V/10];
30:   buffer[0]=convert[V%10];
31:   buffer[2]=convert[0];
32:   buffer[3]=convert[0];
33: }
34:
35: void main()
36: {
37:   ANSEL = 0x02;           // Configure AN1 pin as analog
38:   ANSELH = 0;           // Configure other AN pins as digital I/O
39:   C1ON_bit = 0;         // Disable comparators
40:   C2ON_bit = 0;
41:
42:   TRISA = 0xFF;         // PORTA is input
43:   TRISB = 0;
44:   TRISC = 0;
45:
46:   while(1)
47:   {
48:     scan();
49:     read_volt();
50:   }
51: }

```

รูปที่ 3.22 คำสั่งแสดงผลข้อมูลวัดแรงดันไฟฟ้า

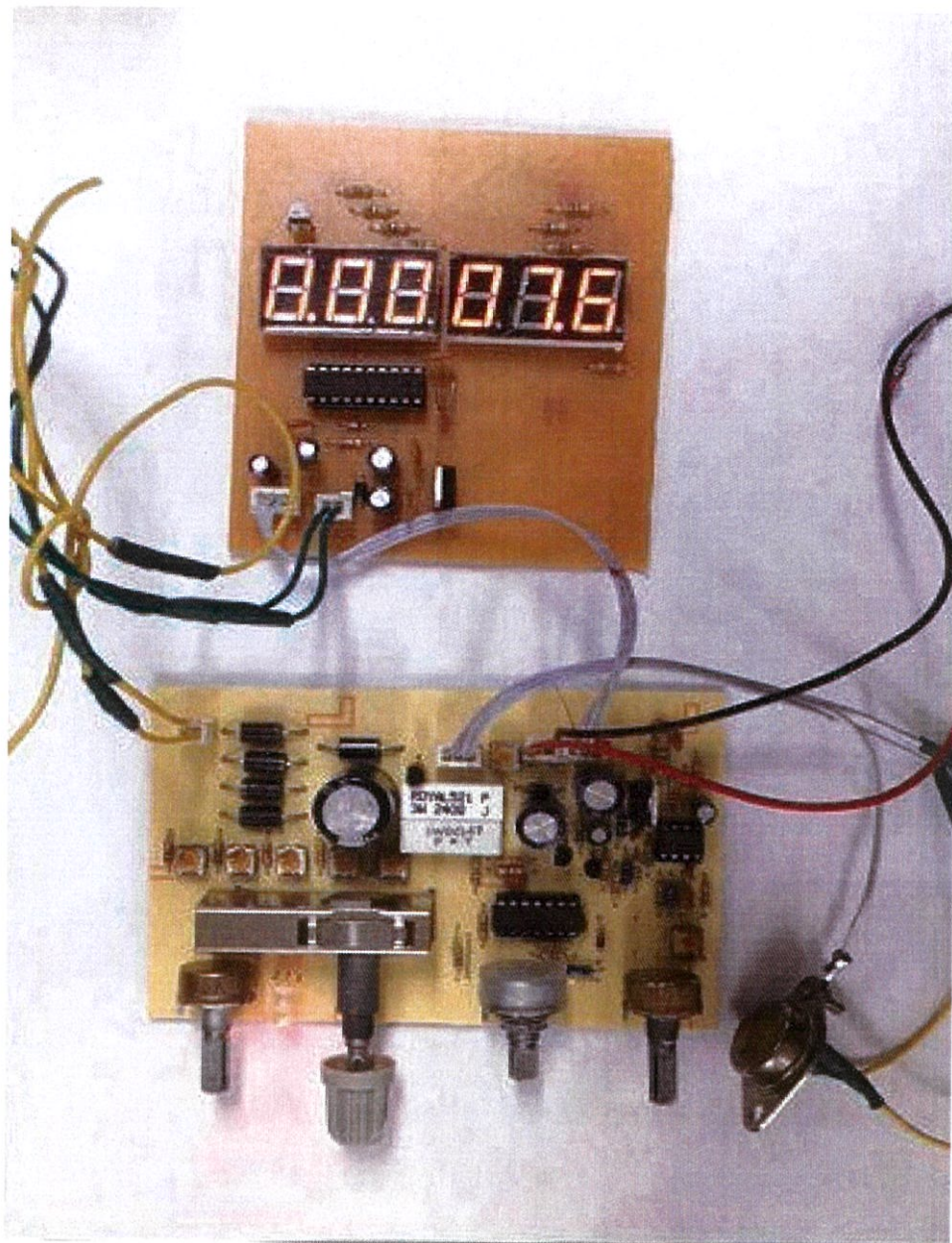
3.5 การทดสอบวงจร

เมื่อได้วงจรพาวเวอร์ซัพพลายและแสดงผลข้อมูลแล้ว นำอุปกรณ์ที่เตรียมไว้มาติดตั้งกับวงจร จะได้ดังรูปที่ 3.23



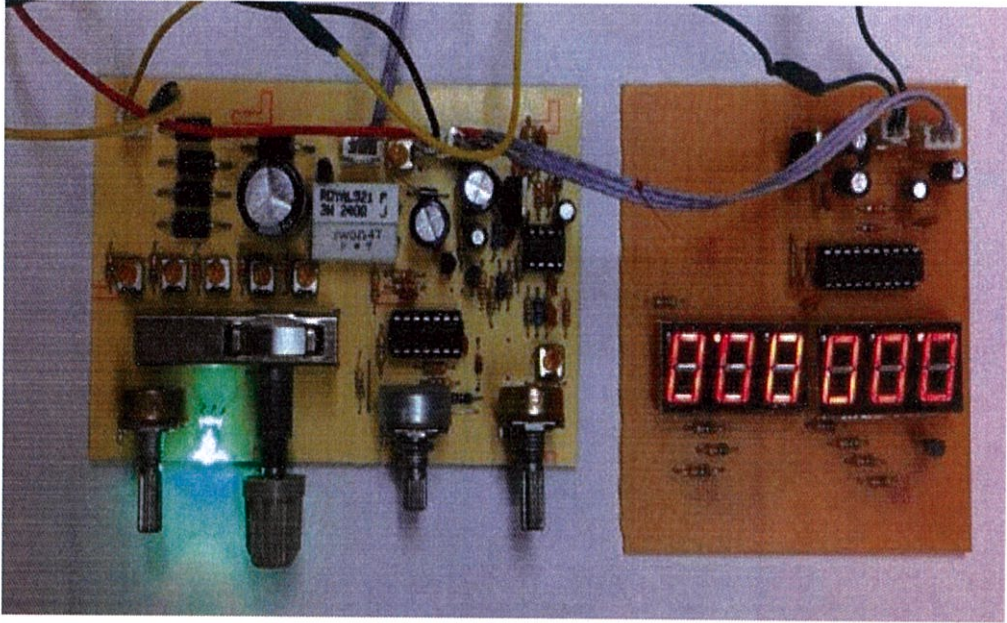
รูปที่ 3.23 วงจรติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

ทำการทดสอบพาวเวอร์ซัพพลายโดยเสียบปลั๊กและกดสวิตช์ จากนั้นปรับแรงดันไฟฟ้าตามค่าที่ต้องการ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตจะแสดงผลไปที่วงจรแสดงผลข้อมูลจะได้ดังรูปที่ 3.24



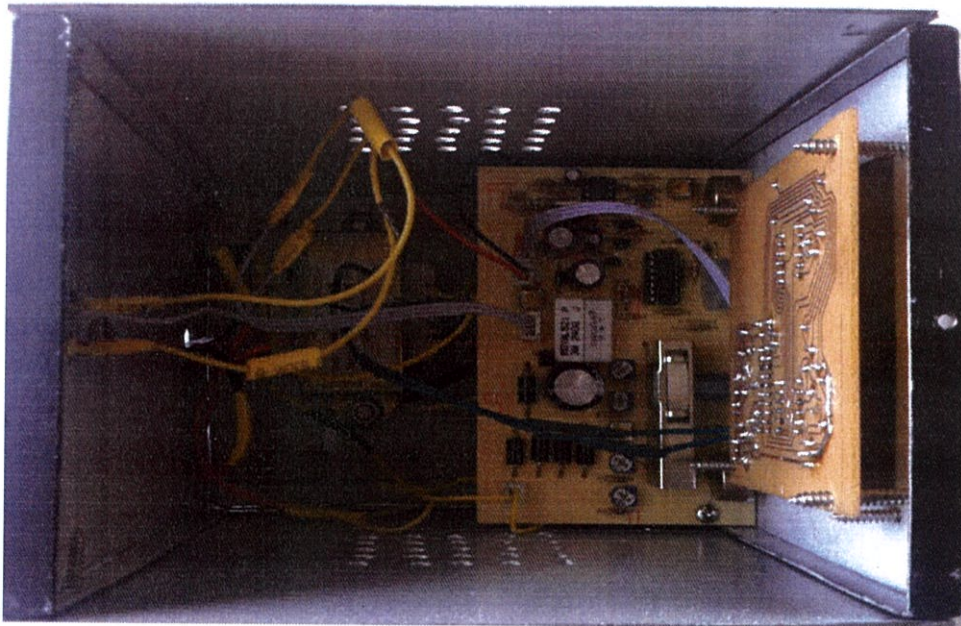
รูปที่ 3.24 ทดสอบวงจรพาวเวอร์ซัพพลายและแสดงผลข้อมูล

ถ้าพาวเวอร์ซัพพลายจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตแล้วเอาต์พุตเกิดการช็อตกันจะทำให้พาวเวอร์ซัพพลายทำหน้าที่ไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าและวงจรแสดงผลข้อมูลจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 พาวเวอร์ซัพพลายไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า

นำชิ้นส่วนอุปกรณ์ทั้งหมดลงในกล่องเหล็ก ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงชิ้นงานเมื่อบรรจุลงในกล่องเหล็ก

ได้พาวเวอร์ซัพพลายออกมาสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 พาวเวอร์ซัพพลายที่เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาและวิเคราะห์พาวเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับโหลด ผู้วิจัยได้เลือกทดสอบโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งทดสอบได้ดังนี้

4.1 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาท์พุท

ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทจะใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 3 รุ่น คือ UNI-T UT55 , UNI-T UT136C และ KYORITSU KEW 1011 ซึ่งจะใช้เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าเพียงแค่นิ่งตำแหน่ง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UNI-T UT55

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง (โวลต์)				ค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	0
2	2.0	2.0	2.0	2.0	0
3	3.0	3.0	3.0	3.0	0
4	4.0	4.0	4.0	4.0	0
5	5.0	5.0	5.0	5.0	0
6	6.0	6.0	6.0	6.0	0
7	7.0	7.0	7.0	7.0	0
8	8.0	8.0	8.0	8.0	0
9	9.0	9.0	9.0	9.0	0
10	10.0	10.0	10.0	10.0	0
11	11.0	11.0	11.0	11.0	0
12	12.0	12.0	12.0	12.0	0
13	13.0	13.0	13.0	13.0	0
14	14.0	14.0	14.0	14.0	0
15	15.0	15.0	15.0	15.0	0

จากการทดลองในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาท์พุทในช่วง 0 - 15 โวลต์ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น UNI-T UT55 เมื่อกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยในการวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 ครั้ง มีค่าตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดที่พาวเวอร์ซัพพลายได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาและมีค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 %

ตารางที่ 4.2 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาท์พุทโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UNI-T UT136C

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง (โวลต์)				ค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	0
2	2.0	2.0	2.0	2.0	0
3	3.0	3.0	3.0	3.0	0
4	4.0	4.0	4.0	4.0	0
5	5.0	5.0	5.0	5.0	0
6	6.0	6.0	6.0	6.0	0
7	7.0	7.0	7.0	7.0	0
8	8.0	8.0	8.0	8.0	0
9	9.0	9.0	9.0	9.0	0
10	10.0	10.0	10.0	10.0	0
11	11.0	11.0	11.0	11.0	0
12	12.0	12.0	12.0	12.0	0
13	12.9	12.9	12.9	12.9	0.76
14	13.9	13.9	13.9	13.9	0.76
15	14.9	14.9	14.9	14.9	0.76

จากการทดลองในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาท์พุทในช่วง 0 - 15 โวลต์ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น UNI-T UT136C เมื่อกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยในการวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 ครั้ง ในช่วง 1 - 12 โวลต์ มีค่าตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและมีค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 % แต่ในช่วง 13 - 15 โวลต์ มีค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนค่าเท่ากับ 0.76 %

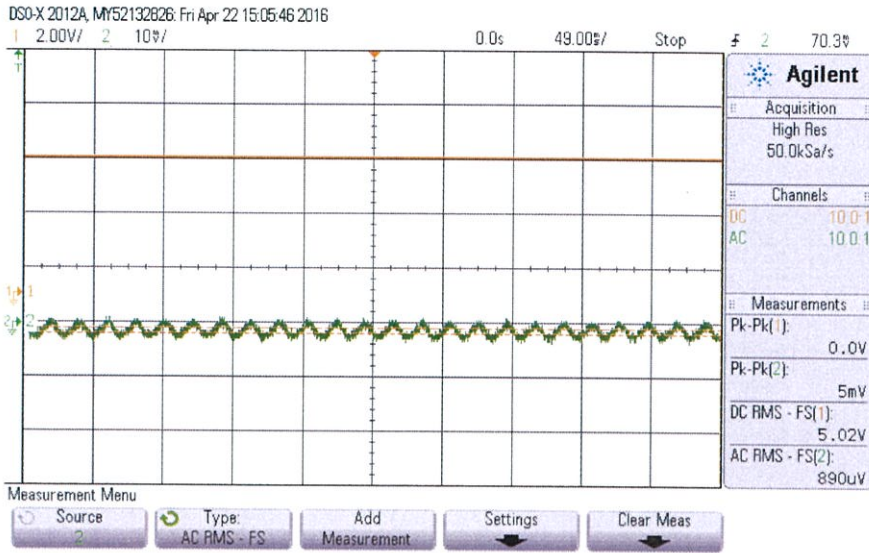
ตารางที่ 4.3 วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาร์ทพุตโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น KYORITSU KEW 1011

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง (โวลต์)				ค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	0
2	2.0	2.0	2.0	2.0	0
3	3.0	3.0	3.0	3.0	0
4	4.0	4.0	4.0	4.0	0
5	5.0	5.0	5.0	5.0	0
6	6.0	6.0	6.0	6.0	0
7	7.0	7.0	7.0	7.0	0
8	8.0	8.0	8.0	8.0	0
9	9.0	9.0	9.0	9.0	0
10	10.0	10.0	10.0	10.0	0
11	11.0	11.0	11.0	11.0	0
12	12.0	12.0	12.0	12.0	0
13	13.0	13.0	13.0	13.0	0
14	14.0	14.0	14.0	14.0	0
15	15.0	15.0	15.0	15.0	0

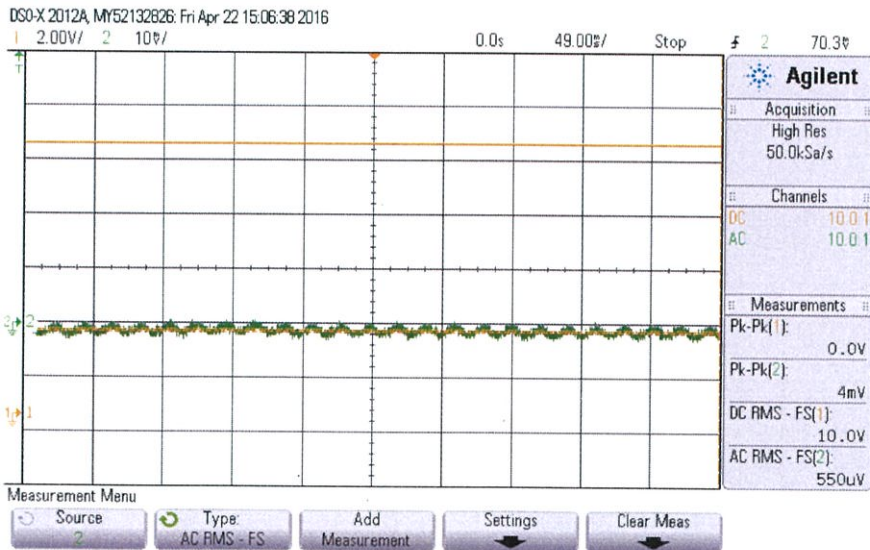
จากการทดลองในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาร์ทพุตในช่วง 0 - 15 โวลต์ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น KYORITSU KEW 1011 เมื่อกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยในการวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 ครั้ง มีค่าตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดที่พาวเวอร์ซัพพลายได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาและมีค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 %

4.2 วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเอาร์ทพุต

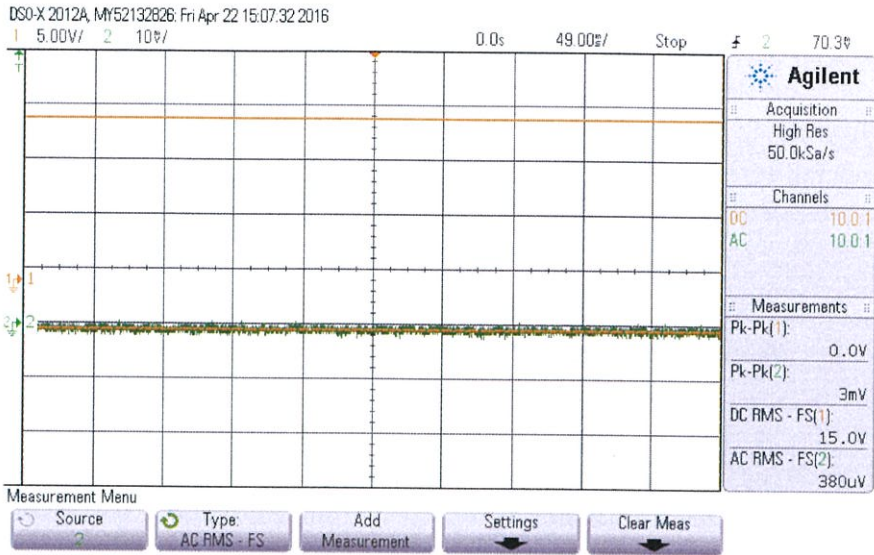
ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาร์ทพุตจะใช้ฮอสซิลโลสโคปรุ่น DSO-X 2012A ในการวัดค่าริบเปิลจากสัญญาณไฟฟ้าสลับที่อยู่บนสัญญาณไฟฟ้าตรงทางเอาร์ทพุต ดังรูปต่อไปนี้



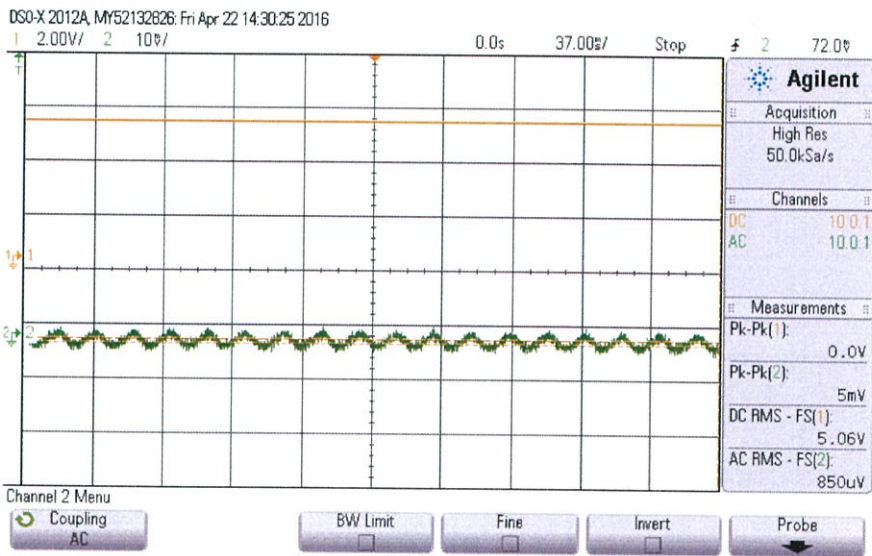
รูปที่ 4.1 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ไม่มีโหลด



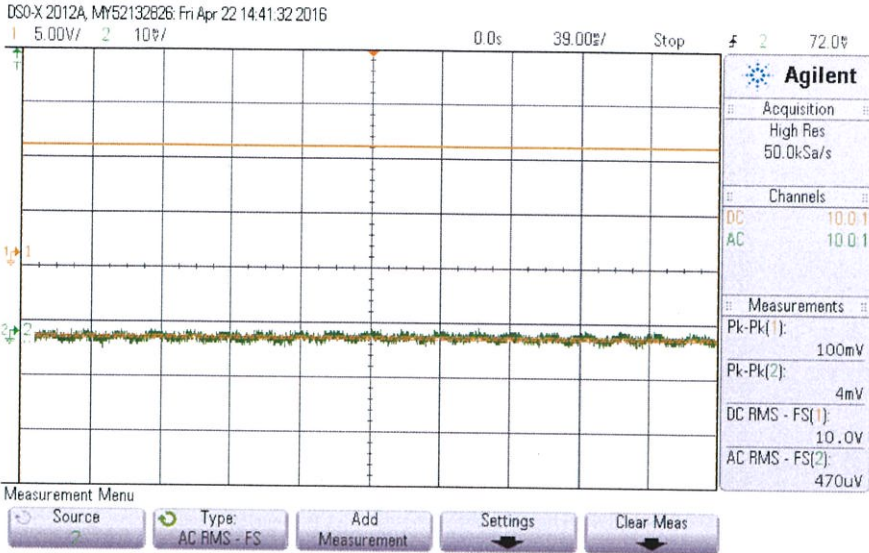
รูปที่ 4.2 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ไม่มีโหลด



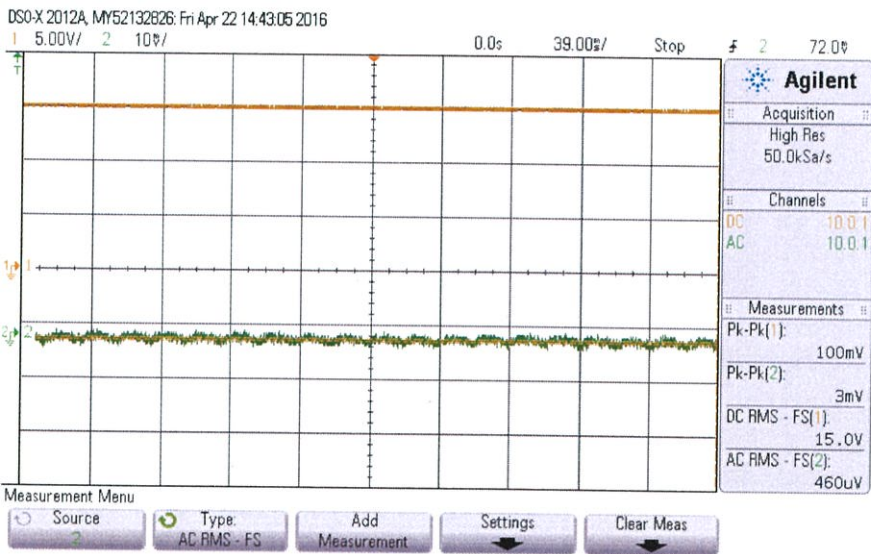
รูปที่ 4.3 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ไม่มีโหลด



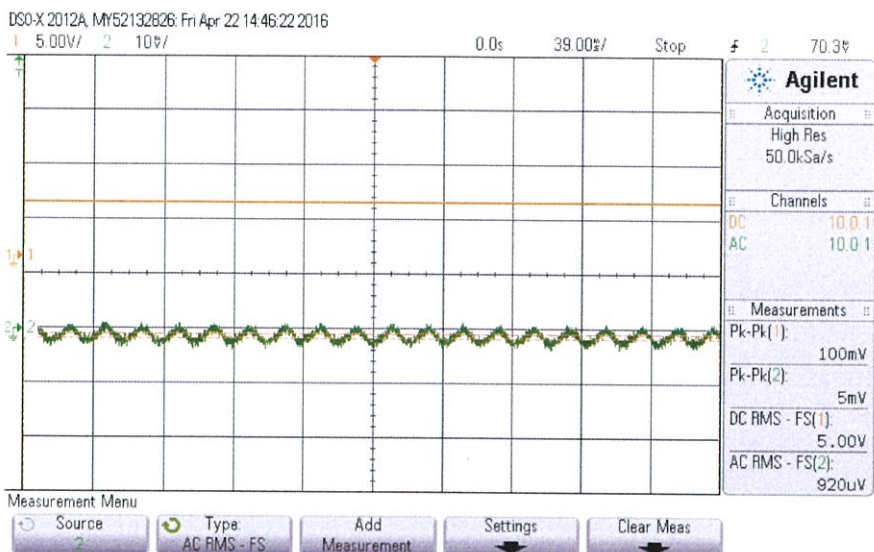
รูปที่ 4.4 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม



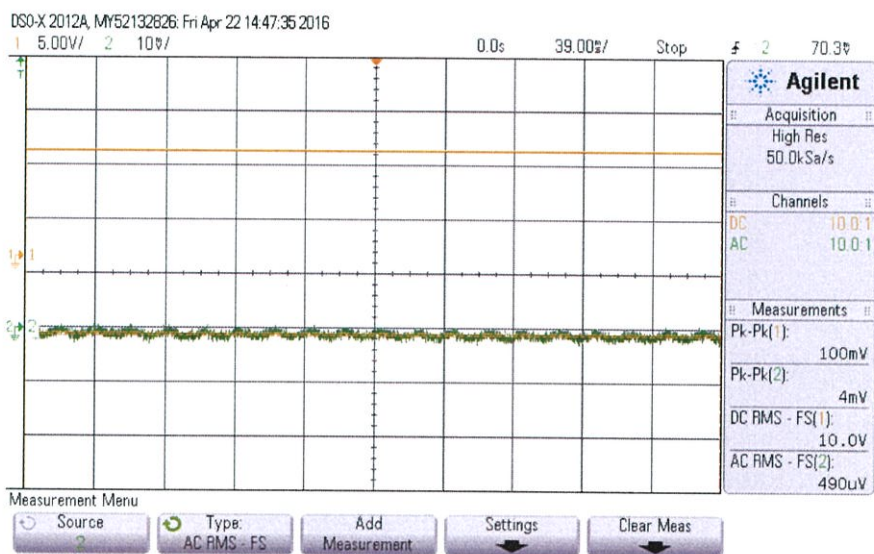
รูปที่ 4.5 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม



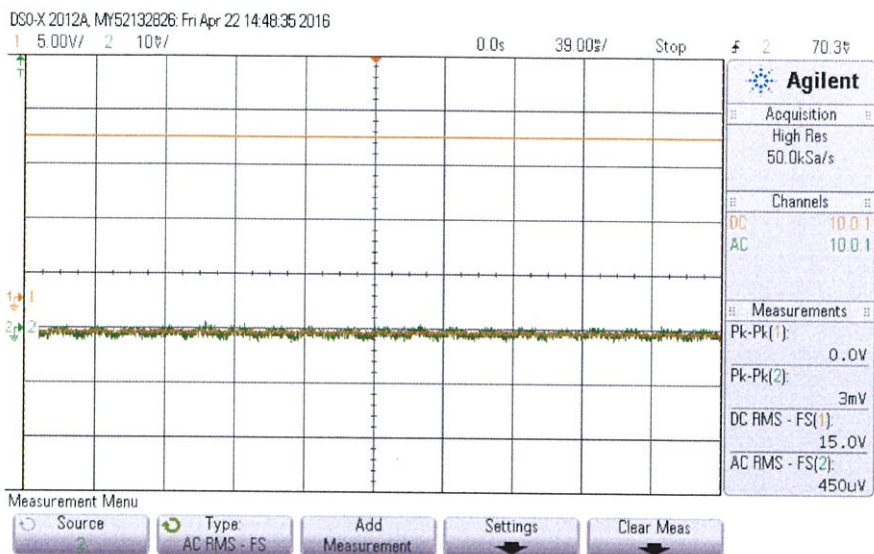
รูปที่ 4.6 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 100 โอห์ม



รูปที่ 4.7 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม



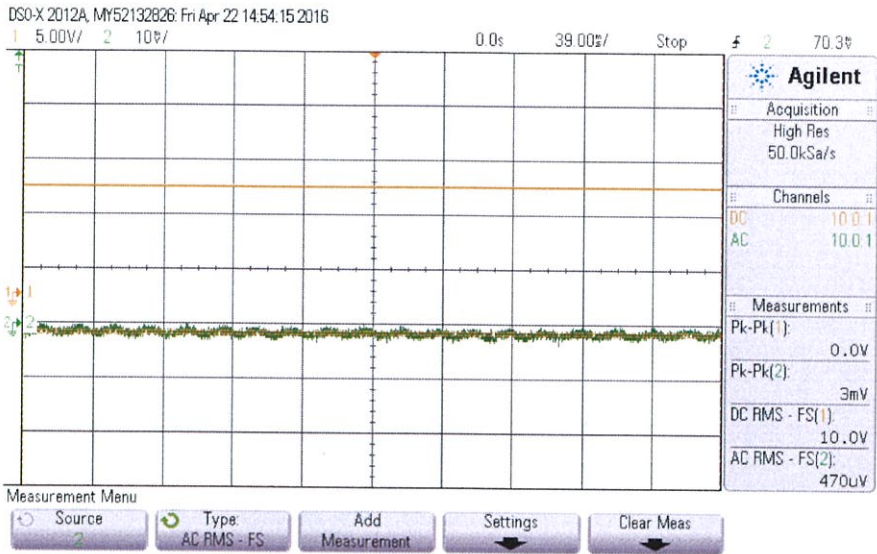
รูปที่ 4.8 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม



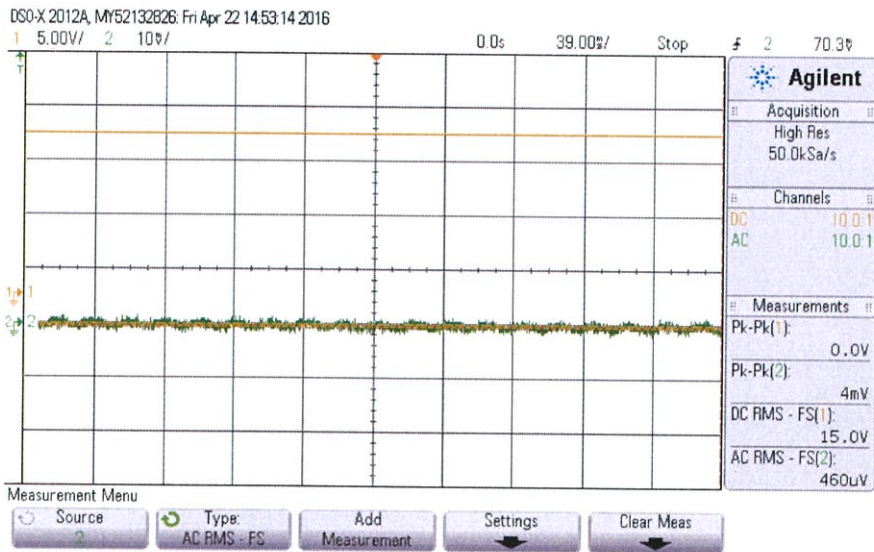
รูปที่ 4.9 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 500 โอห์ม



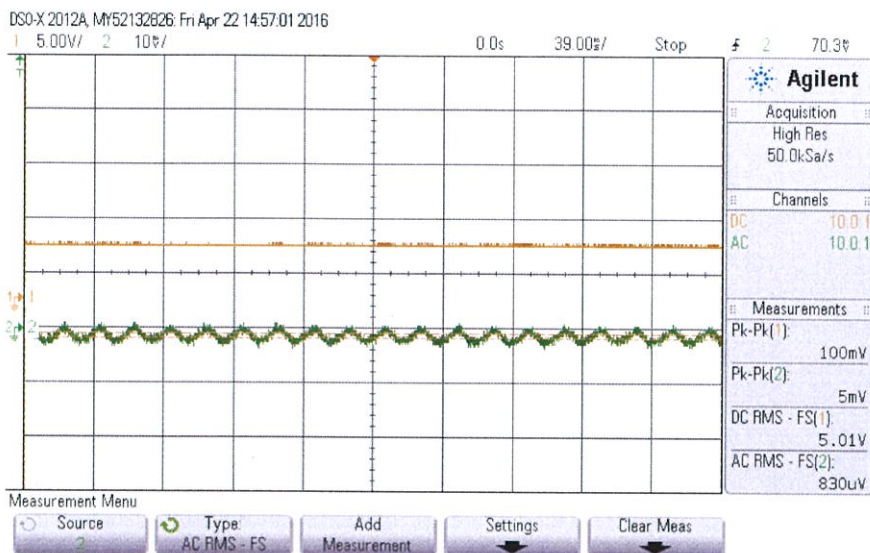
รูปที่ 4.10 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโอห์ม



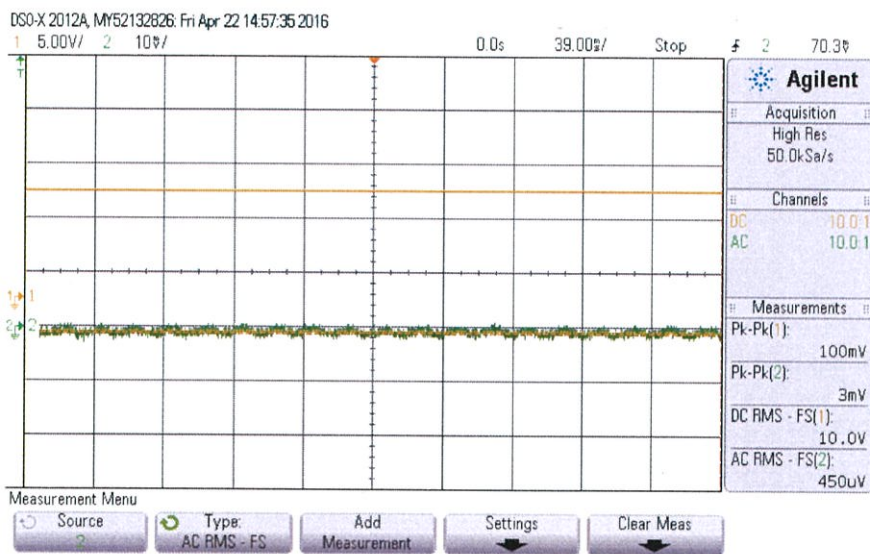
รูปที่ 4.11 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโหม



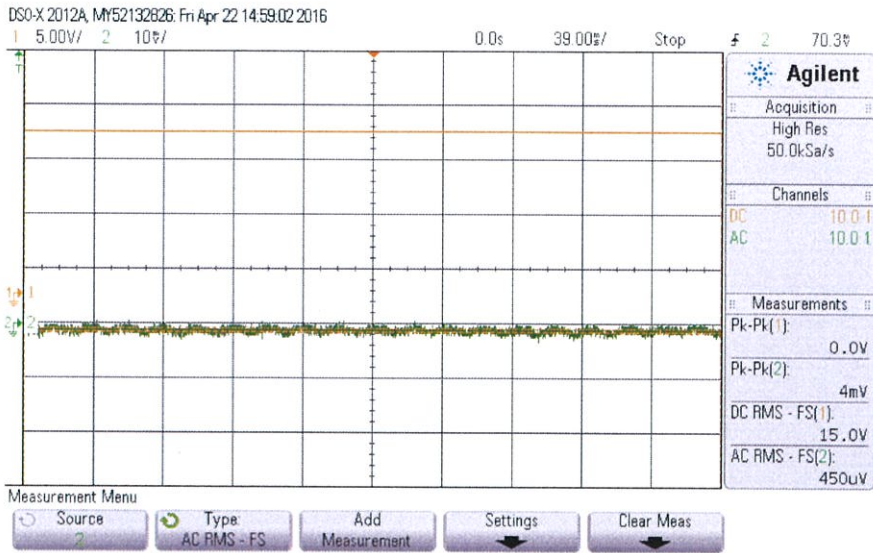
รูปที่ 4.12 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 1 กิโลโหม



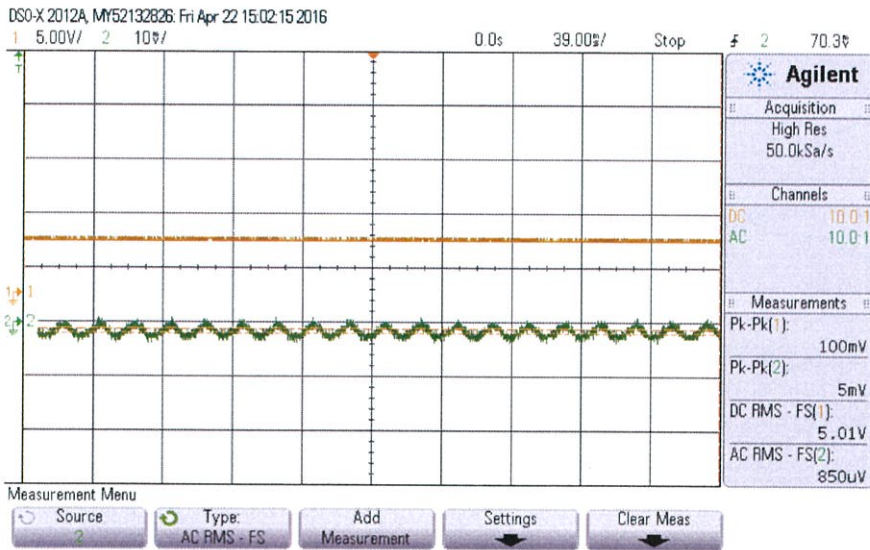
รูปที่ 4.13 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโห์ม



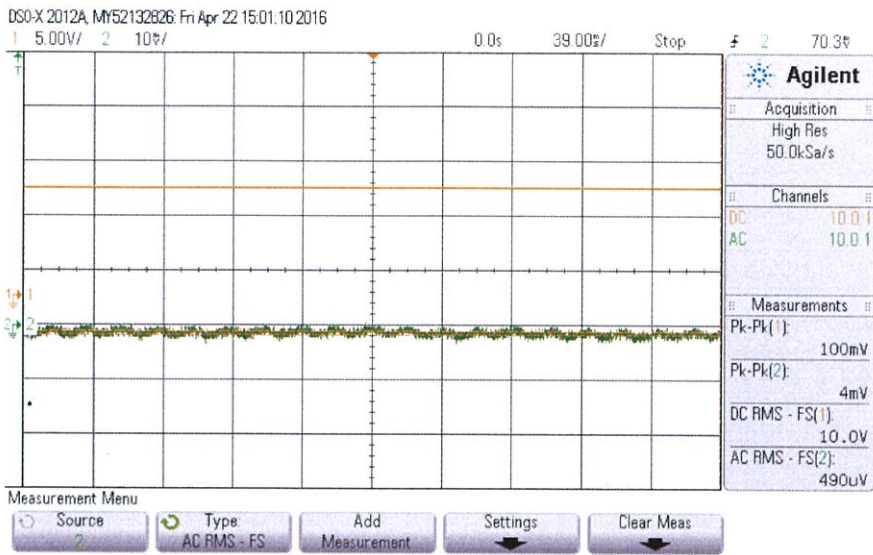
รูปที่ 4.14 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโห์ม



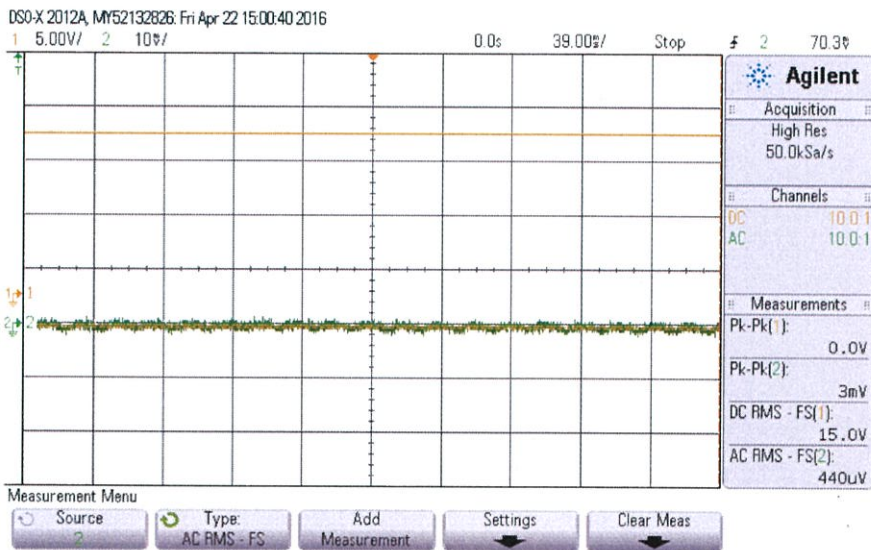
รูปที่ 4.15 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 5 กิโลโห์ม



รูปที่ 4.16 วัดแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโห์ม



รูปที่ 4.17 วัดแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโห์ม



รูปที่ 4.18 วัดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่โหลด 10 กิโลโห์ม

ตารางที่ 4.4 วัดค่าริบเปิดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

โหลดที่กำหนด (กิโลโอห์ม)	ค่าริบเปิดวัดได้จากสัญญาณไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)		
	5 โวลต์	10 โวลต์	15 โวลต์
ไม่มีโหลด	5	4	3
0.1	5	4	3
0.5	5	4	3
1	5	3	4
5	5	3	4
10	5	4	3

จากการทดลองในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุทโดยใช้เครื่องออสซิโลสโคปจะใช้สายสโคป 2 สาย วัดแรงดันไฟฟ้าที่พาวเวอร์ซัพพลายจ่ายออกมา สายสโคป 1 สาย วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงตรง ส่วนอีก 1 สาย วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อวัดค่าริบเปิดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้า 5, 10, 15 โวลต์ตามลำดับ แล้วเปลี่ยนโหลดตามค่าที่กำหนด ค่าริบเปิดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 5, 3 - 4, 3 - 4 มิลลิโวลต์ตามลำดับ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าและโหลดมีผลทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไปและผลจากการวิเคราะห์รูปสัญญาณไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงเอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาจะได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของวงจรและการออกแบบวงจรรวมถึงการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 15 โวลต์ และปรับกระแสได้ถึง 2 แอมป์ การออกแบบวงจรพาวเวอร์ซัพพลาย เพื่อศึกษาหลักการทำงานของพาวเวอร์ซัพพลาย ซึ่งวงจรที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพสำหรับในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลด โดยการทดสอบกับเครื่องวัดที่มีมาตรฐานจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังที่แสดงในผลการทดลองข้างต้น ส่วนองค์ประกอบที่สำคัญในวงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นวงจรพาวเวอร์ซัพพลายใช้โปรแกรม Circuit Wizard จำลองโครงสร้างและทำแผ่น PCB และส่วนที่สองเป็นการแสดงผลข้อมูลใช้โปรแกรม Mikro C เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และทดสอบพาวเวอร์ซัพพลาย ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของพาวเวอร์ซัพพลายที่สร้างขึ้นและการวิเคราะห์พาวเวอร์พาวเวอร์ซัพพลายได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกได้ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 3 รุ่น คือ UT55, UT136C, KEW1011 จากผลการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 15 โวลต์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UT55 และ KEW1011 ได้วัดแรงดันไฟฟ้าตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและมีค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 % แต่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น UT136C ได้อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนในช่วง 13 - 15 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 0.76 % และส่วนที่สองได้ทำการวัดสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคปรุ่น DSO-X 2012A ในการวัดค่าริบเปิดจากสัญญาณไฟฟ้าสลับที่อยู่บนสัญญาณไฟฟ้าตรงทางเอาท์พุทและวิเคราะห์รูปสัญญาณไฟฟ้า จากผลทดลองพบว่า เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้า 5, 10, 15 โวลต์ ตามลำดับ แล้วเปลี่ยนโหลดตามค่าที่กำหนด ค่าริบเปิดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 5, 3 - 4, 3 - 4 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าและโหลดมีผลทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไปและผลจากการวิเคราะห์รูปสัญญาณไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงเอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาจะได้สัญญาณไฟฟ้าตรง ตรงกับจุดประสงค์ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับพาวเวอร์ซัพพลายชุดนี้ จากการทดสอบเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดแล้ว เมื่อโหลดเกิดปัญหาจะทำให้พาวเวอร์ซัพพลายไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมา เนื่องจากพาวเวอร์ซัพพลายได้มีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร จึงทำให้พาวเวอร์ซัพพลายไม่มีความเสียหายและป้องกันความเสียหายให้กับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน พาวเวอร์ซัพพลายนี้เหมาะสำหรับไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.ee.eng.cmu.ac.th/online_courses/252283/lab5-theory_1.html
- [2] www.edu.nu.ac.th/wbi/355203/tran.htm
- [3] www.neutron.rmutphysics.com
- [4] Jimmie J. cathey, theory and problems of electronic devices and circuits, 2nd ED, schaum's outline series, MCGRAW-HILL, www.elec-za.com/วงจรกรองความถี่-filter-circuit
- [5] www.ecpe.nu.ac.th/ponpisut/lab

ภาคผนวก

General Purpose Plastic Rectifier



DO-204AL (DO-41)

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL, molded epoxy body

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V to 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	$t_p = 1$ ms	45							A
	$t_p = 2$ ms	35							
	$t_p = 5$ ms	30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$	30							μ A
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms)	I^2t (1)	3.7							A ² s
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 50 to + 150							°C

Note

(1) For device using on bridge rectifier application

1N4001 thru 1N4007

Vishay General Semiconductor



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A	V_F				1.1				V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	I_R				5.0				μA
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$					50				
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	C_J				15				pF

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$				50				$^\circ\text{C/W}$	
	$R_{\theta JL}^{(1)}$				25					

Note

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES

($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

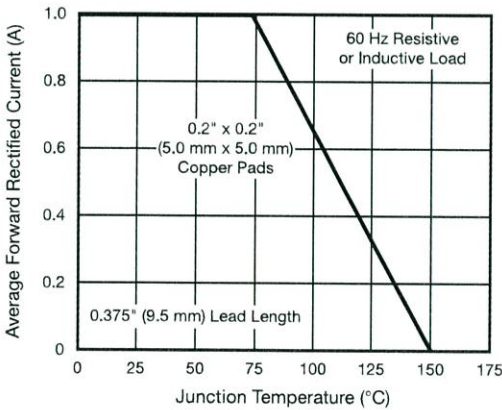


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

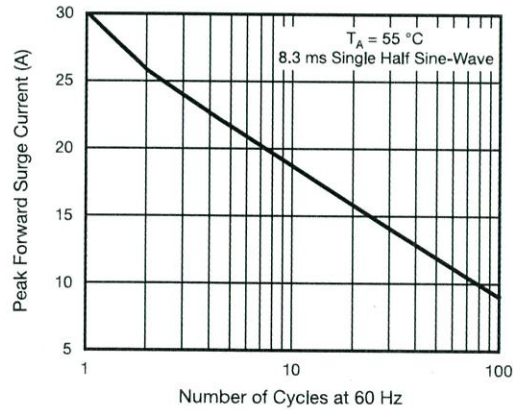


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

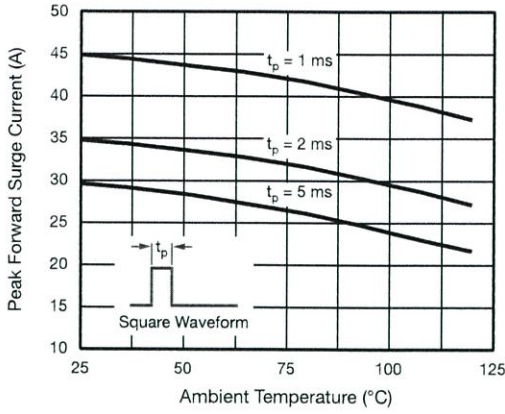


Fig. 3 - Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

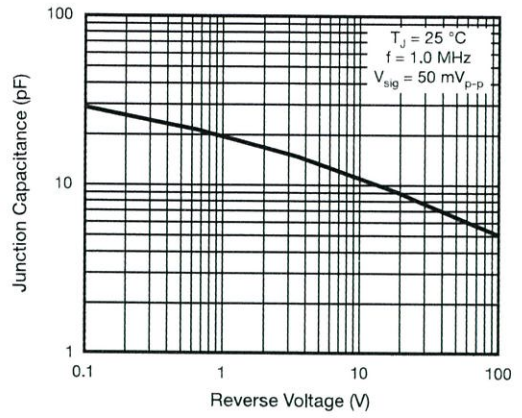


Fig. 6 - Typical Junction Capacitance

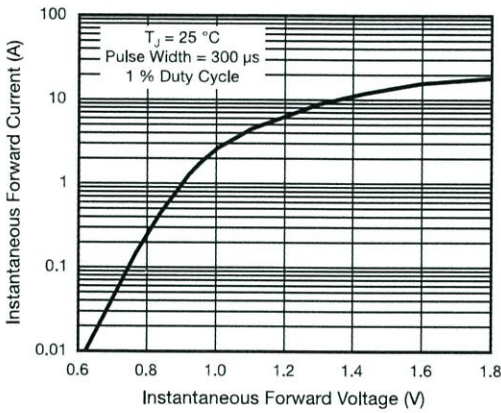


Fig. 4 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

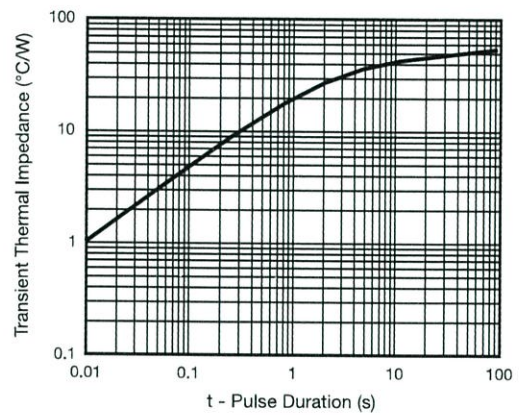


Fig. 7 - Typical Transient Thermal Impedance

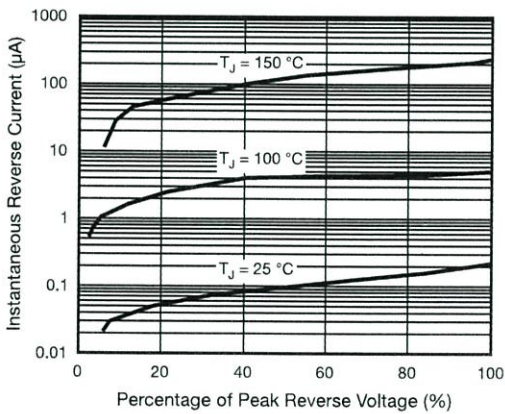


Fig. 5 - Typical Reverse Characteristics

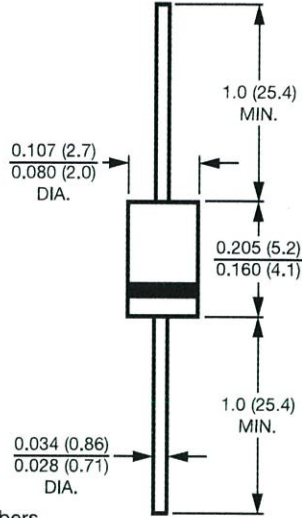
1N4001 thru 1N4007

Vishay General Semiconductor



PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)

DO-204AL (DO-41)



Note

- Lead diameter is $\frac{0.026}{0.023}$ (0.66 / 0.58) for suffix "E" part numbers

High-speed diodes

1N4148; 1N4448

FEATURES

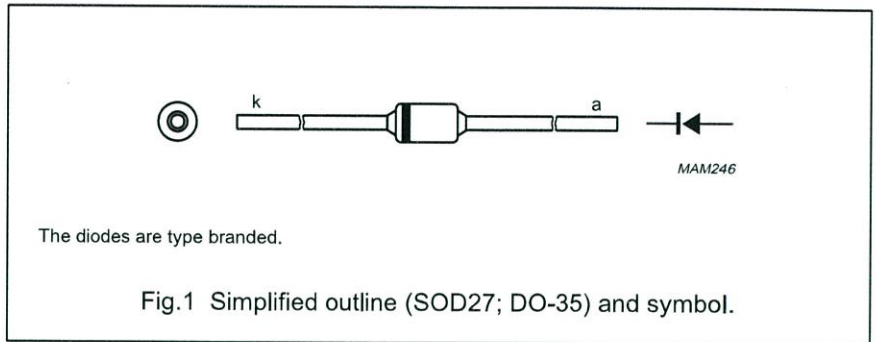
- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

APPLICATIONS

- High-speed switching.

DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{RRM}	repetitive peak reverse voltage		–	75	V
V_R	continuous reverse voltage		–	75	V
I_F	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
I_{FRM}	repetitive peak forward current		–	450	mA
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4 $t = 1\ \mu\text{s}$ $t = 1\ \text{ms}$ $t = 1\ \text{s}$	–	4 1 0.5	A A A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$; note 1	–	500	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+200	°C
T_j	junction temperature		–	200	°C

Note

1. Device mounted on an FR4 printed circuit-board; lead length 10 mm.

High-speed diodes

1N4148; 1N4448

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage 1N4148 1N4448	see Fig.3 $I_F = 10\text{ mA}$	–	1	V
		$I_F = 5\text{ mA}$	0.62	0.72	V
		$I_F = 100\text{ mA}$	–	1	V
I_R	reverse current	$V_R = 20\text{ V}$; see Fig.5		25	nA
		$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$; see Fig.5	–	50	μA
I_R	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 100\text{ }^\circ\text{C}$; see Fig.5	–	3	μA
C_d	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}$; $V_R = 0$; see Fig.6		4	pF
t_{rr}	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 60\text{ mA}$; $R_L = 100\ \Omega$; measured at $I_R = 1\text{ mA}$; see Fig.7		4	ns
V_{fr}	forward recovery voltage	when switched from $I_F = 50\text{ mA}$; $t_r = 20\text{ ns}$; see Fig.8	–	2.5	V

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-tp}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 10 mm	240	K/W
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	lead length 10 mm; note 1	350	K/W

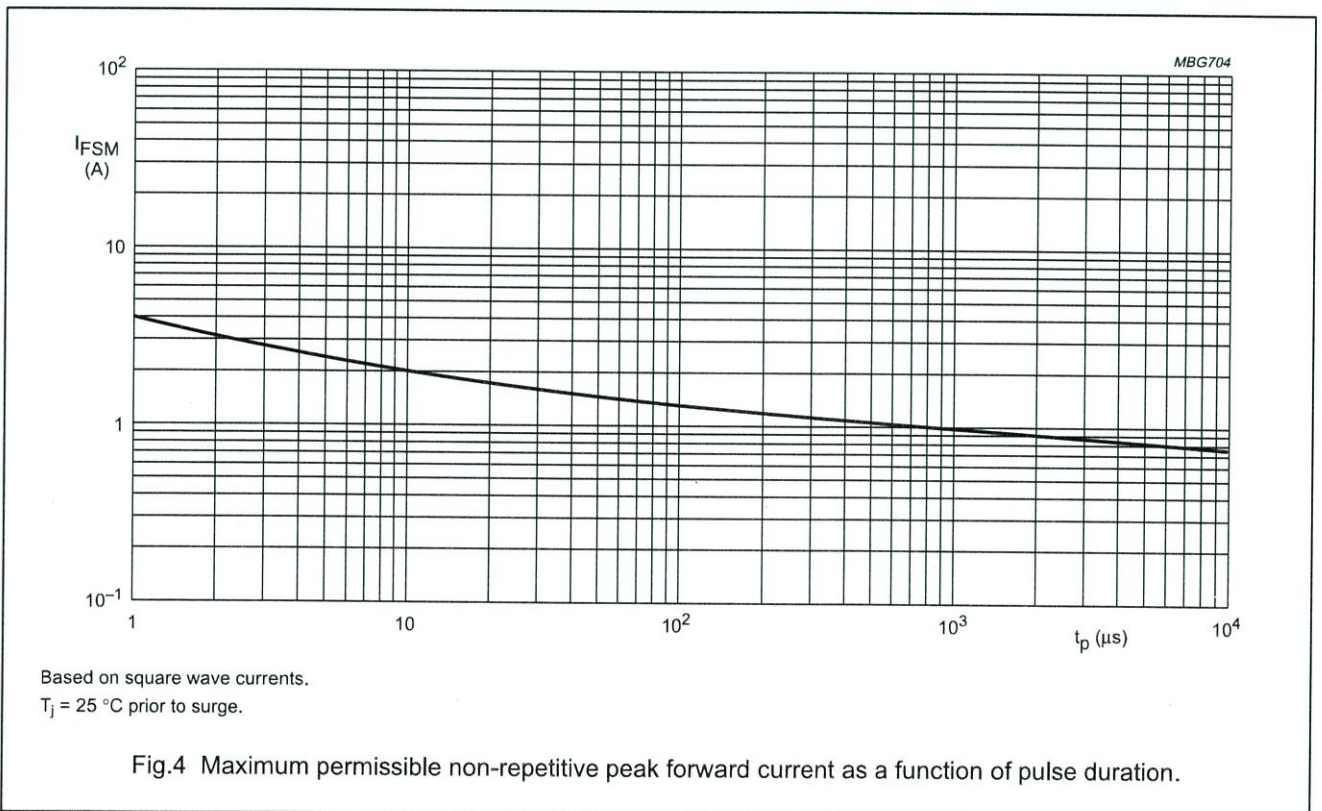
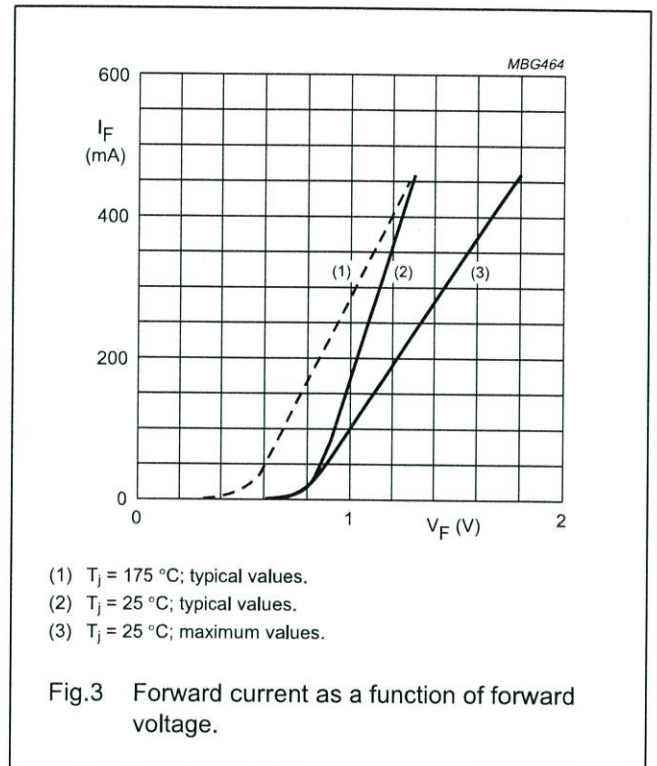
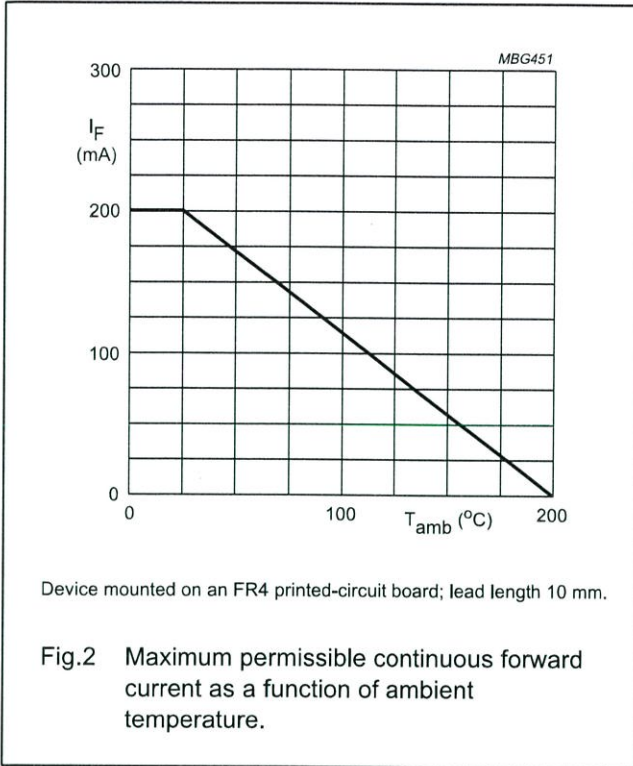
Note

1. Device mounted on a printed circuit-board without metallization pad.

High-speed diodes

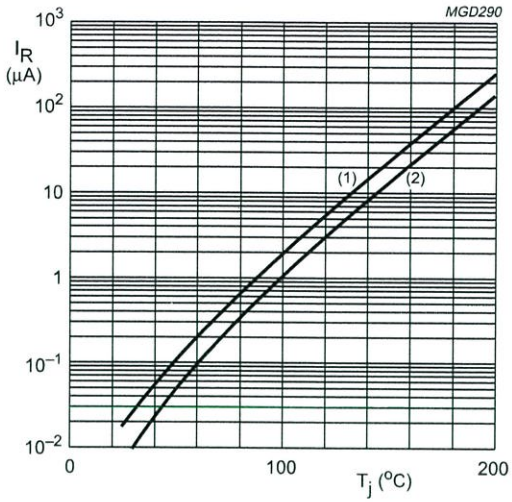
1N4148; 1N4448

GRAPHICAL DATA



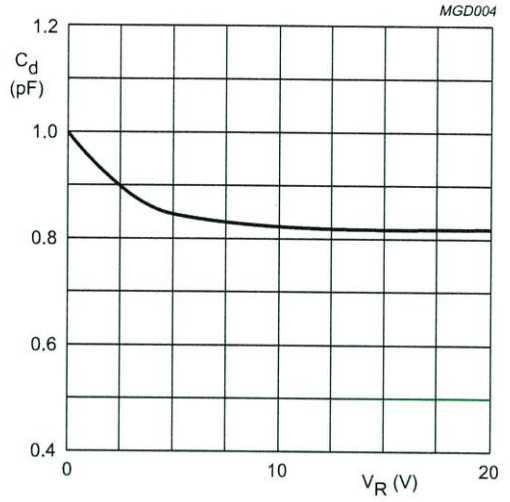
High-speed diodes

1N4148; 1N4448



- (1) $V_R = 75$ V; typical values.
- (2) $V_R = 20$ V; typical values.

Fig.5 Reverse current as a function of junction temperature.



$f = 1$ MHz; $T_j = 25$ °C.

Fig.6 Diode capacitance as a function of reverse voltage; typical values.

COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

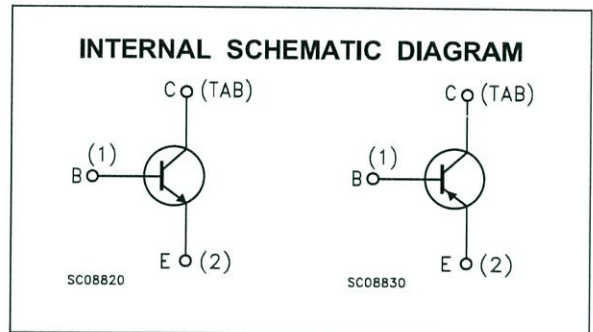
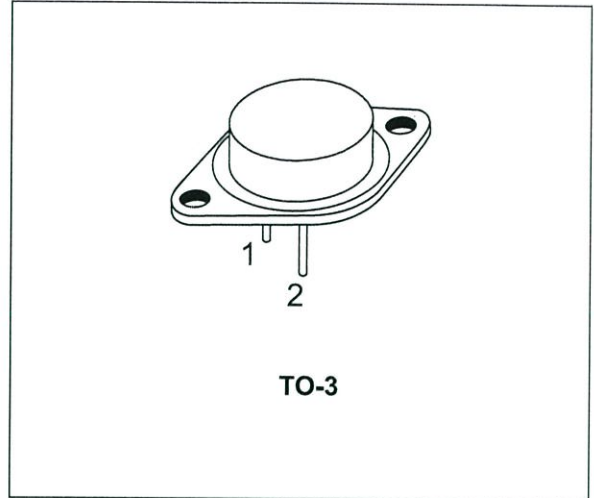
- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY NPN-PNP DEVICES

DESCRIPTION

The 2N3055 is a silicon Epitaxial-Base Planar NPN transistor mounted in Jedec TO-3 metal case.

It is intended for power switching circuits, series and shunt regulators, output stages and high fidelity amplifiers.

The complementary PNP type is MJ2955.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		NPN	PNP	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	2N3055	MJ2955	V
V_{CER}	Collector-Emitter Voltage ($R_{BE} \leq 100\Omega$)	100	70	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	70	60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	7	7	V
I_C	Collector Current	15	15	A
I_B	Base Current	7	7	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	115	115	W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 200	-65 to 200	$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature	200	200	$^\circ\text{C}$

For PNP types voltage and current values are negative.

THERMAL DATA

$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.5	$^{\circ}C/W$
----------------	----------------------------------	-----	-----	---------------

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

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEX}	Collector Cut-off Current ($V_{BE} = -1.5V$)	$V_{CE} = 100 V$ $V_{CE} = 100 V \quad T_j = 150^{\circ}C$			1 5	mA mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 30 V$			0.7	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 7 V$			5	mA
$V_{CE0(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 200 mA$	60			V
$V_{CER(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($R_{BE} = 100 \Omega$)	$I_C = 200 mA$	70			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 4 A \quad I_B = 400 mA$ $I_C = 10 A \quad I_B = 3.3 A$			1 3	V V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 4 A \quad V_{CE} = 4 A$			1.8	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 4 A \quad V_{CE} = 4 A$ $I_C = 10 A \quad V_{CE} = 4 A$	20 5		70	
f_T	Transition frequency	$I_C = 0.5 A \quad V_{CE} = 10 V$	3			MHz
$I_{s/b}^*$	Second Breakdown Collector Current	$V_{CE} = 40 V$	2.87			A

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
For PNP types voltage and current values are negative.

2SB647, 2SB647A

Silicon PNP Epitaxial

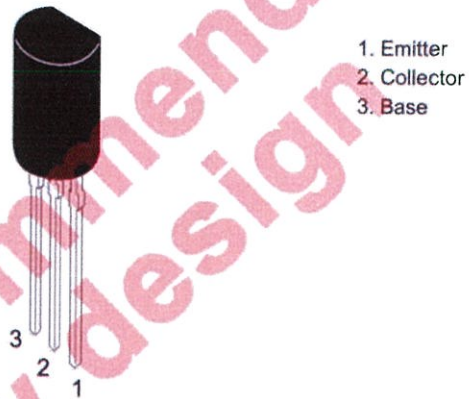
REJ03G0648-0200
 (Previous ADE-208-1025)
 Rev.2.00
 Aug.10.2005

Application

- Low frequency power amplifier
- Complementary pair with 2SD667/A

Outline

RENESAS Package code: PRSS0003DC-A
 (Package name: TO-92 Mod)



Absolute Maximum Ratings

(Ta = 25°C)

Item	Symbol	2SB647	2SB647A	Unit
Collector to base voltage	V_{CBO}	-120	-120	V
Collector to emitter voltage	V_{CEO}	-80	-100	V
Emitter to base voltage	V_{EBO}	-5	-5	V
Collector current	I_C	-1	-1	A
Collector peak current	$i_{C(peak)}$	-2	-2	A
Collector power dissipation	P_C	0.9	0.9	W
Junction temperature	T_J	150	150	°C
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	-55 to +150	°C

Electrical Characteristics

(Ta = 25°C)

Item	Symbol	2SB647			2SB647A			Unit	Test conditions
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Collector to base breakdown voltage	$V_{(BR)CBO}$	-120	—	—	-120	—	—	V	$I_C = -10 \mu A, I_E = 0$
Collector to emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	-80	—	—	-100	—	—	V	$I_C = -1 \text{ mA}, R_{BE} = \infty$
Emitter to base breakdown voltage	$V_{(BR)EBO}$	-5	—	—	-5	—	—	V	$I_E = -10 \mu A, I_C = 0$
Collector cutoff current	I_{CBO}	—	—	-10	—	—	-10	μA	$V_{CB} = -100 \text{ V}, I_E = 0$
DC current transfer ratio	h_{FE1}^{*1}	60	—	320	60	—	200		$V_{CE} = -5 \text{ V}, I_C = -150 \text{ mA}^{*2}$
	h_{FE2}	30	—	—	30	—	—		$V_{CE} = -5 \text{ V}, I_C = -500 \text{ mA}^{*2}$
Collector to emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	—	—	-1	—	—	-1	V	$I_C = -500 \text{ mA}, I_B = -50 \text{ mA}^{*2}$
Base to emitter voltage	V_{BE}	—	—	-1.5	—	—	-1.5	V	$V_{CE} = -5 \text{ V}, I_C = -150 \text{ mA}^{*2}$
Gain bandwidth product	f_T	—	140	—	—	140	—	MHz	$V_{CE} = -5 \text{ V}, I_C = -150 \text{ mA}$
Collector output capacitance	C_{ob}	—	20	—	—	20	—	pF	$V_{CB} = -10 \text{ V}, I_E = 0$ $f = 1 \text{ MHz}$

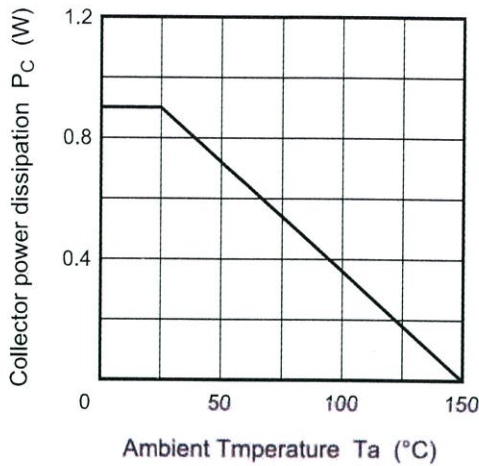
Notes: 1. The 2SB647 and 2SB647A are grouped by h_{FE1} as follows.

2. Pulse test

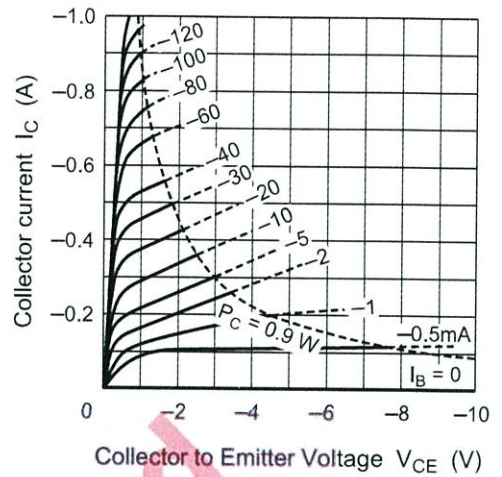
	B	C	D
2SB647	—	100 to 200	160 to 320
2SB647A	60 to 120	100 to 200	—

Main Characteristics

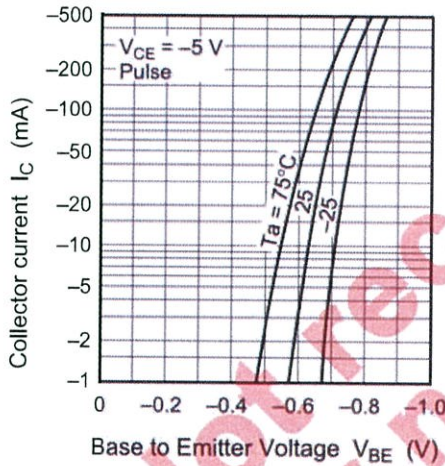
Maximum Collector Dissipation Curve



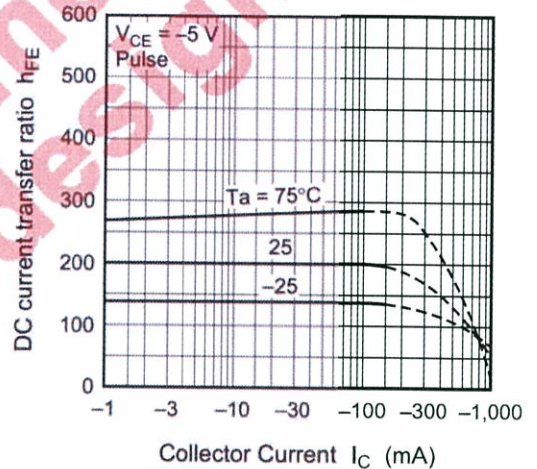
Typical Output Characteristics



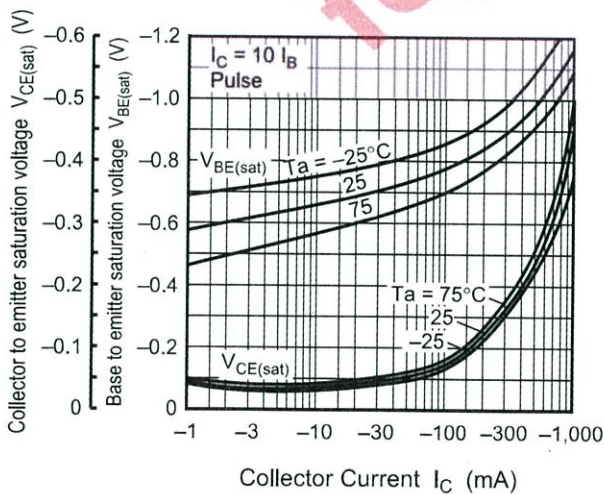
Typical Transfer Characteristics



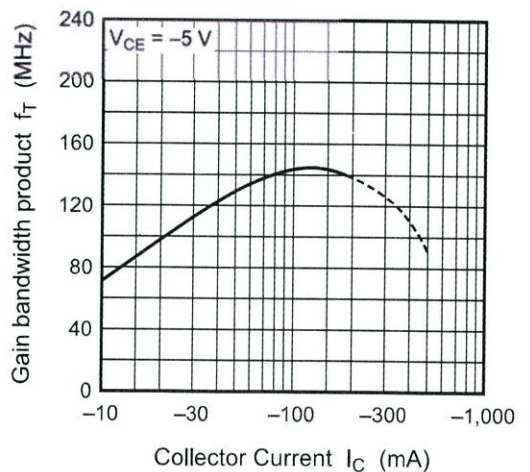
DC Current Transfer Ratio vs. Collector Current

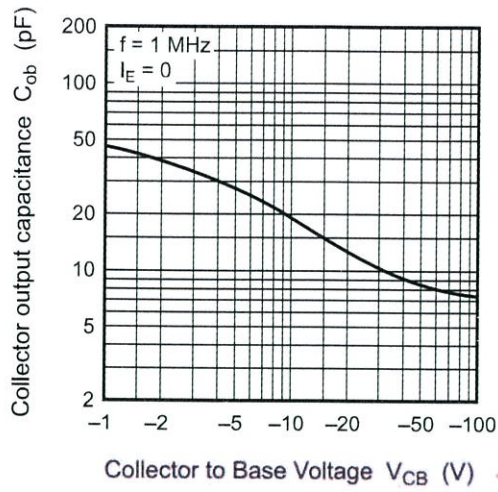


Saturation Voltage vs. Collector Current



Gain Bandwidth Product vs. Collector Current



Collector Output Capacitance vs.
Collector to Base Voltage

Not recommended
for new design

HA17358, HA17904 Series

Dual Operational Amplifier

HITACHI

Description

HA17904 and HA17358 are dual operational amplifiers which, provide internal phase compensation and high gain, and mono power source operation is possible. It can be widely applied to control equipment and to general use.

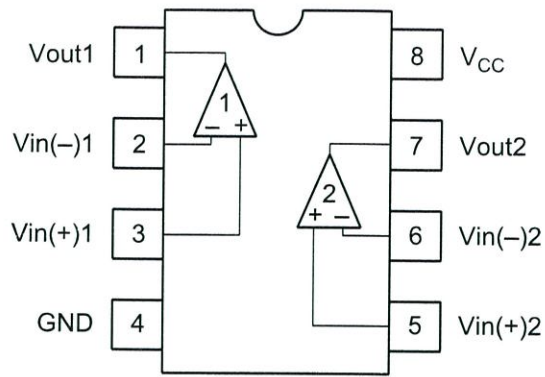
Features

- Wide range of operating supply voltage and mono power source operation is possible.
- Wide range of common mode input voltage possible to operate with an input around 0V, and output around 0V is available.
- Frequency characteristics and input bias current are temperature compensated.

Ordering Information

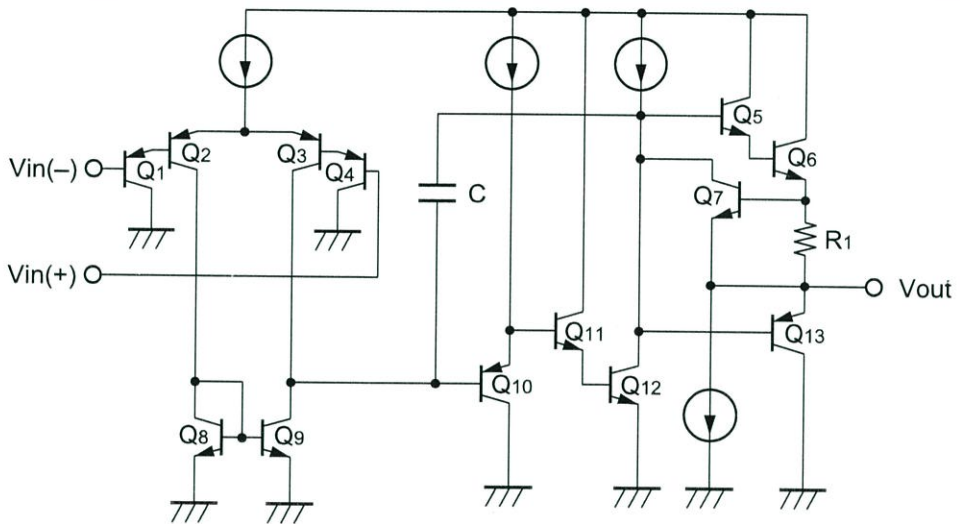
Type No.	Application	Package
HA17904PSJ	Car use	DP-8
HA17904FPJ	Car use	FP-8D
HA17904FPK	Car use	
HA17904PS	Industrial use	DP-8
HA17904FP	Industrial use	FP-8D
HA17358	Commercial use	DP-8
HA17358F	Commercial use	FP-8D

Pin Arrangement



(Top View)

Circuit Schematic (1/2)



Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings							Unit
		HA17358	HA17358 F	HA17904 PS	HA17904 FP	HA17904 PSJ	HA17904 FPJ	HA17904 FPK	
Supply voltage	V_{CC}	32	32	32	32	32	32	32	V
Output sink current	$I_{O\ sink}$	50	50	50	50	50	50	50	mA
Common-mode input voltage	V_{CM}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	-0.3 to V_{CC}	V
Common-mode differential voltage	$V_{IN(diff)}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	$\pm V_{CC}$	V
Power dissipation	P_T	570* ¹	385* ²	570* ¹	385* ²	570* ¹	385* ²	385* ²	mW
Operating temperature range	T_{opr}	-20 to +75	-20 to +75	-20 to +75	-20 to +75	-40 to +85	-40 to +85	-40 to +125	°C
Storage temperature range	T_{stg}	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +150	°C

- Notes: 1. These are the allowable values up to Ta = 55 °C. Derate by 8.3mW/°C above that temperature.
 2. These are the allowable values up to Ta = 45 °C mounting on 30% wiring density glass epoxy board. Derate by 7.14mW/°C above that temperature.

HA17358, HA17904 Series

Electrical Characteristics 1 ($V_{CC} = +15V$, $T_a = 25^\circ C$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Input offset voltage	V_{IO}	—	3	7	mV	$V_{CM} = 7.5V$, $R_S = 50\Omega$, $R_f = 50k\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	5	50	nA	$V_{CM} = 7.5V$, $I_{IO} = I_{I(+)} - I_{I(-)} $
Input bias current	I_{IB}	—	30	250	nA	$V_{CM} = 7.5V$
Power source rejection ratio	PSRR	—	93	—	dB	$R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
Voltage gain	A_{VD}	75	90	—	dB	$R_L = \infty$, $R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
Common mode rejection ratio	CMR	—	80	—	dB	$R_S = 50\Omega$, $R_f = 5k\Omega$
Common mode input voltage range	$V_{CM(+)}$	13.5	—	—	V	$R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
	$V_{CM(-)}$	—	—	-0.3	V	$R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
Peak-to-peak output voltage	V_{op-p}	—	13.6	—	V	$f = 100Hz$, $R_L = 20k\Omega$, $R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
Output source current	$I_{osource}$	20	40	—	mA	$V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V_{OH} = 10V$
Output sink current	I_{osink}	10	20	—	mA	$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V_{OL} = 2.5V$
Output sink current	I_{osink}	15	50	—	μA	$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V_{out} = 200mV$
Supply current	I_{CC}	—	0.8	2	mA	$V_{IN} = GND$, $R_L = \infty$
Slew rate	SR	—	0.2	—	V/ μs	$R_L = \infty$, $V_{CM} = 7.5V$, $f = 1.5kHz$
Channel separation	CS	—	120	—	dB	$f = 1kHz$

Note: As for the characteristic curve, refer to HA17902.

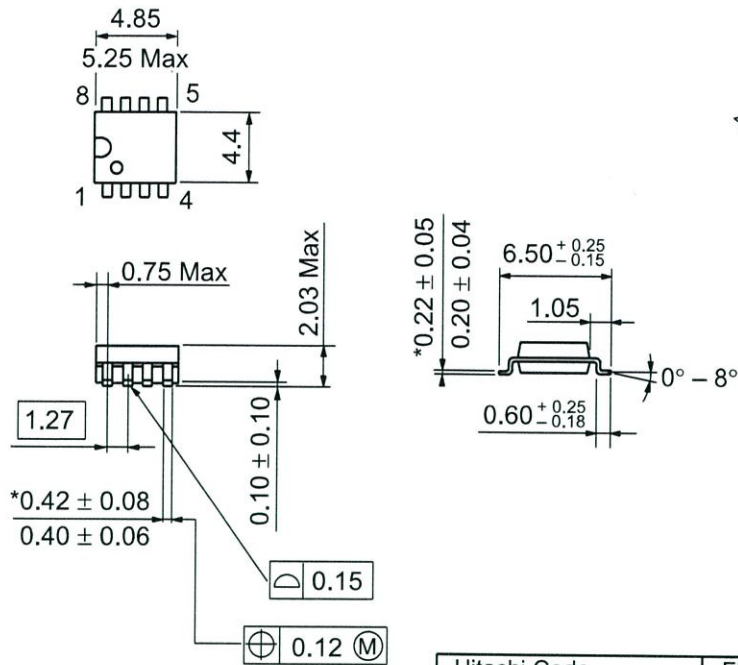
Electrical Characteristics 2 ($V_{CC} = +15V$, $T_a = -40$ to $+125^\circ C$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Input offset voltage	V_{IO}	—	—	7	mV	$V_{CM} = 7.5V$, $R_S = 50\Omega$, $R_L = 50k\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	—	200	nA	$V_{CM} = 7.5V$, $I_{IO} = I_{I(+)} - I_{I(-)} $
Input bias current	I_{IB}	—	—	500	nA	$V_{CM} = 7.5V$
Common mode input voltage range	V_{CM}	0	—	13.0	V	$R_S = 1k\Omega$, $R_f = 100k\Omega$
Supply current	I_{CC}	—	—	4	mA	$V_{IN} = GND$, $R_L = \infty$

Note: As for the characteristic curve, refer to HA17904FPK.

Package Dimensions

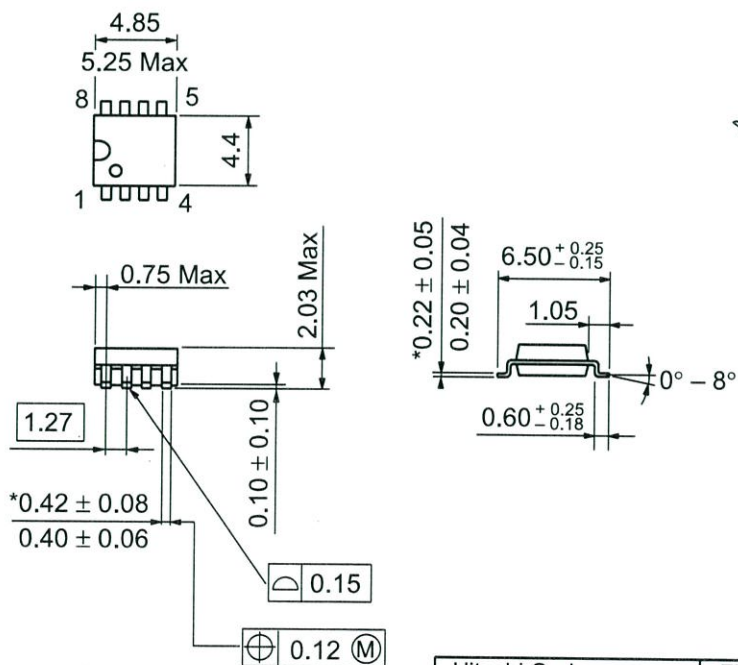
Unit: mm



*Dimension including the plating thickness
Base material dimension

Hitachi Code	FP-8D
JEDEC	—
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.10 g

Unit: mm



*Dimension including the plating thickness
Base material dimension

Hitachi Code	FP-8D
JEDEC	—
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.10 g

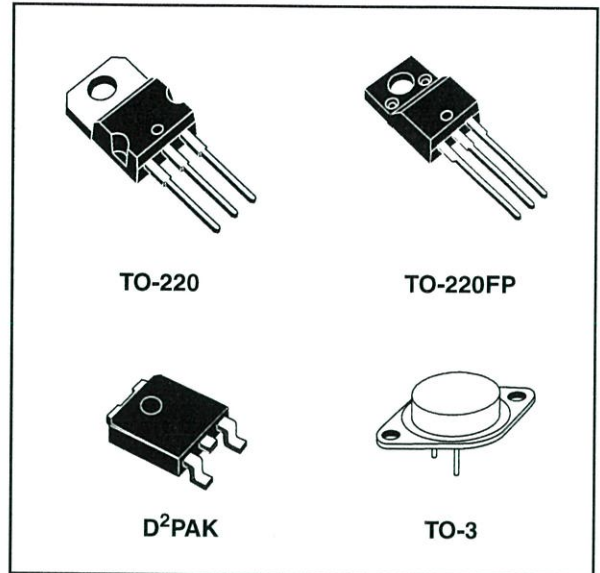
Positive voltage regulators

Feature summary

- Output current to 1.5A
- Output voltages of 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

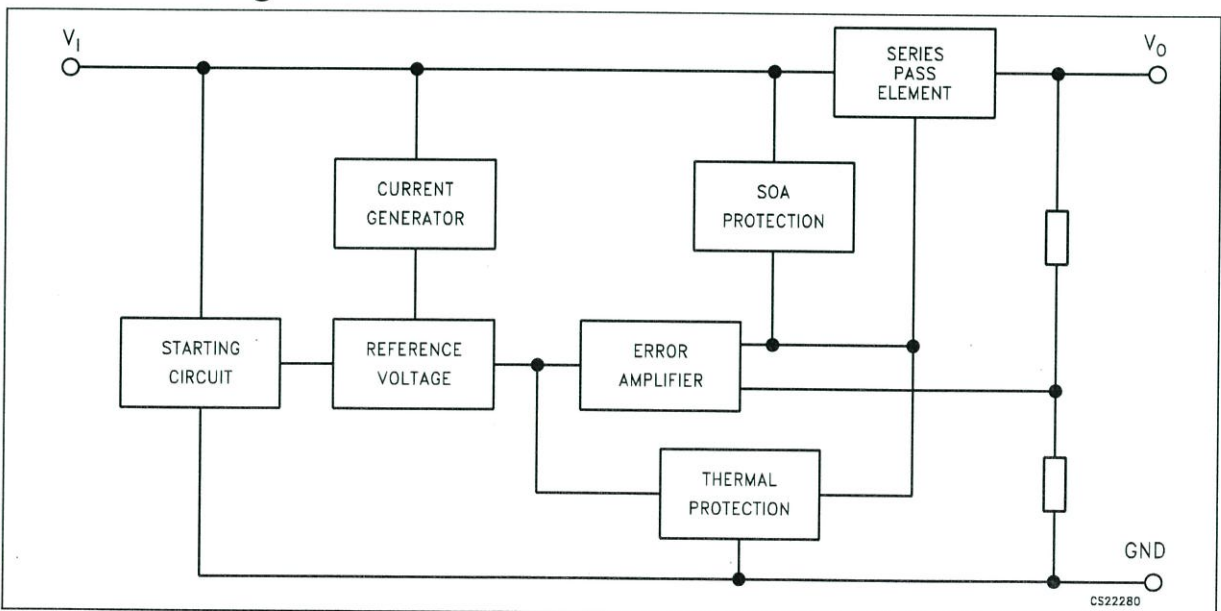
Description

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed



primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

Schematic diagram



1 Pin configuration

Figure 1. Pin connections (top view)

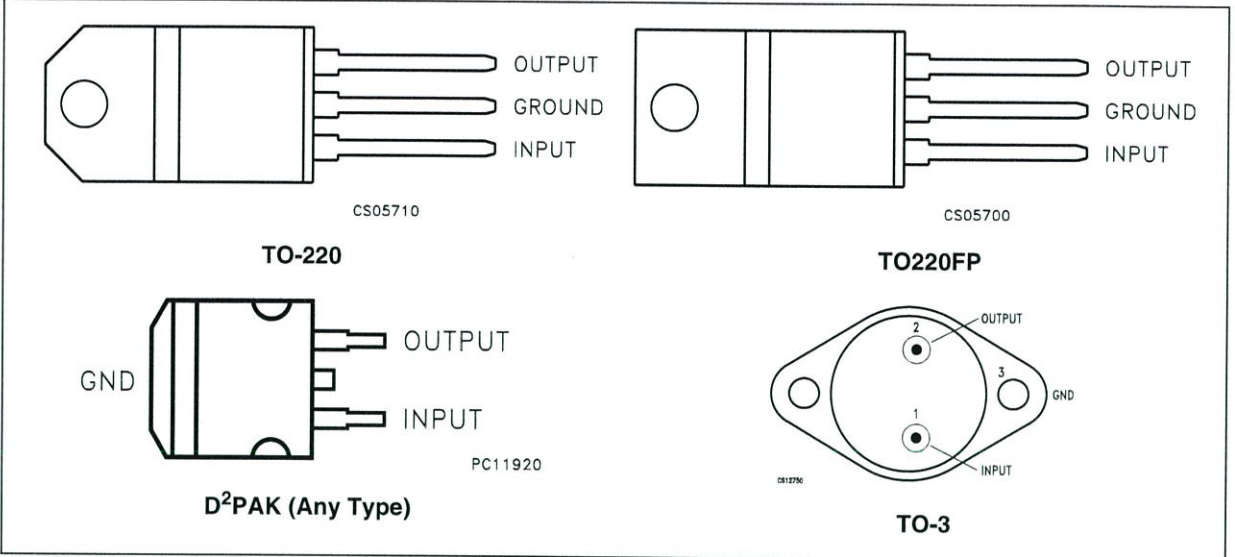
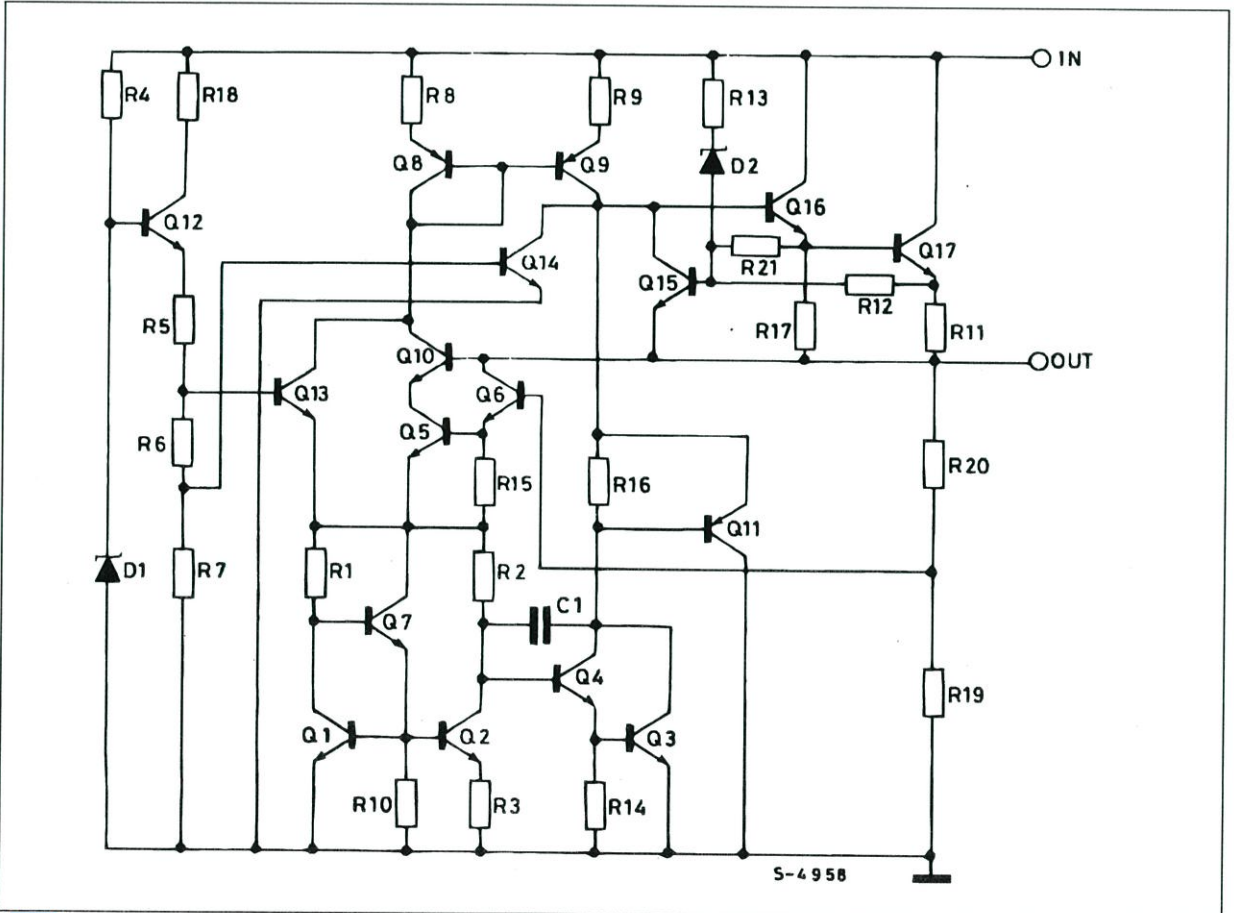


Figure 2. Schematic diagram



2 Maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

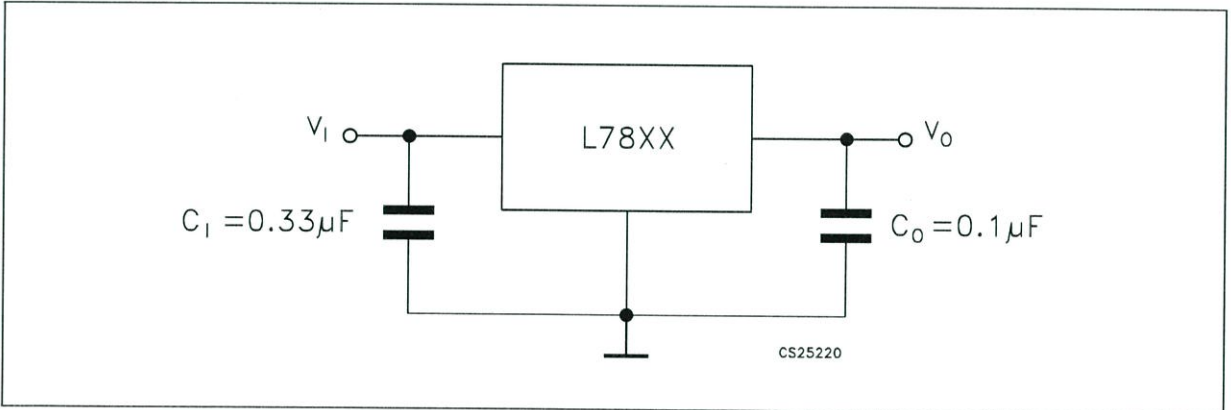
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	35	V
		for $V_O = 20, 24V$	40	
I_O	Output current		Internally Limited	
P_D	Power dissipation		Internally Limited	
T_{STG}	Storage temperature range		-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Note: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied

Table 2. Thermal Data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	5	5	4	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	35	°C/W

Figure 3. Application circuits



3 Test circuits

Figure 4. DC Parameter

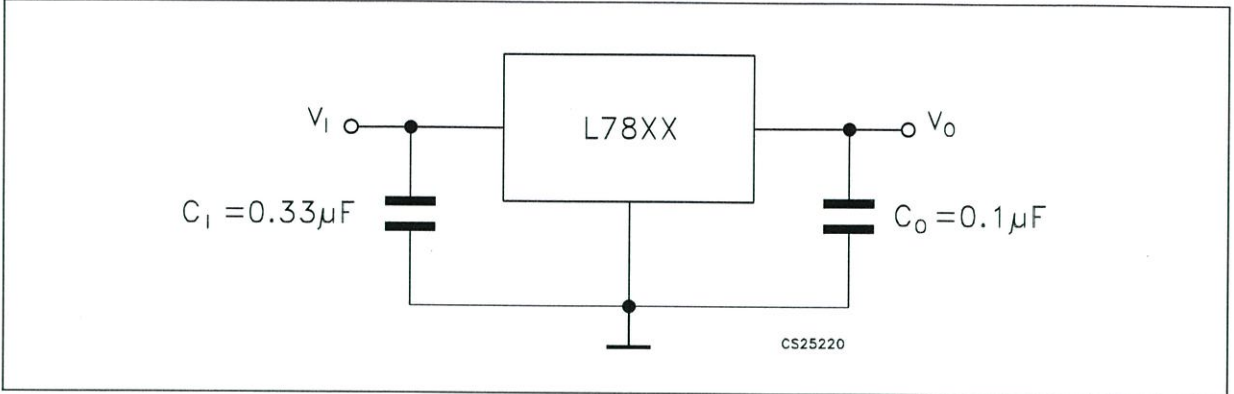


Figure 5. Load regulation

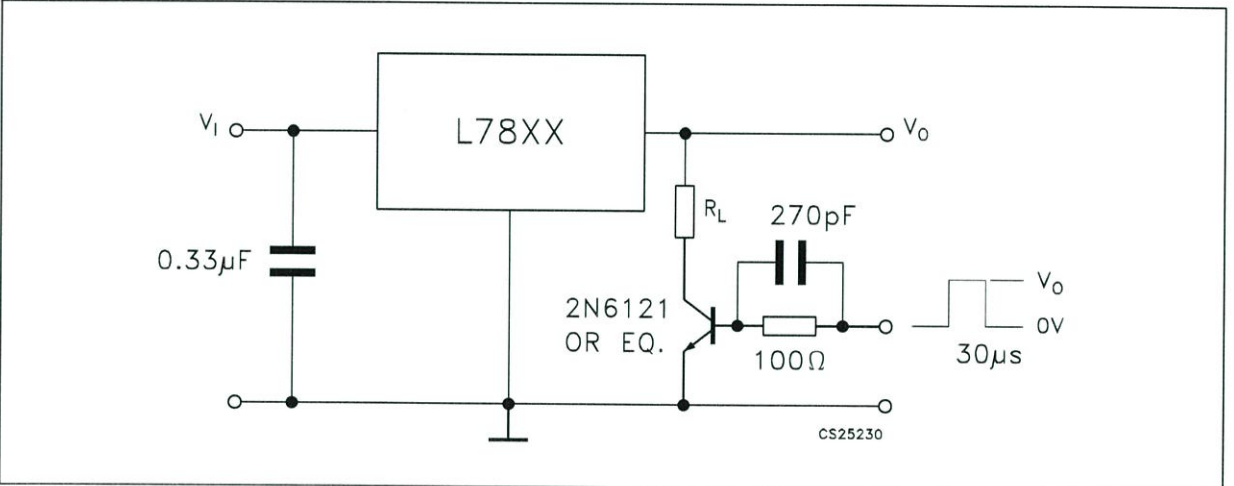
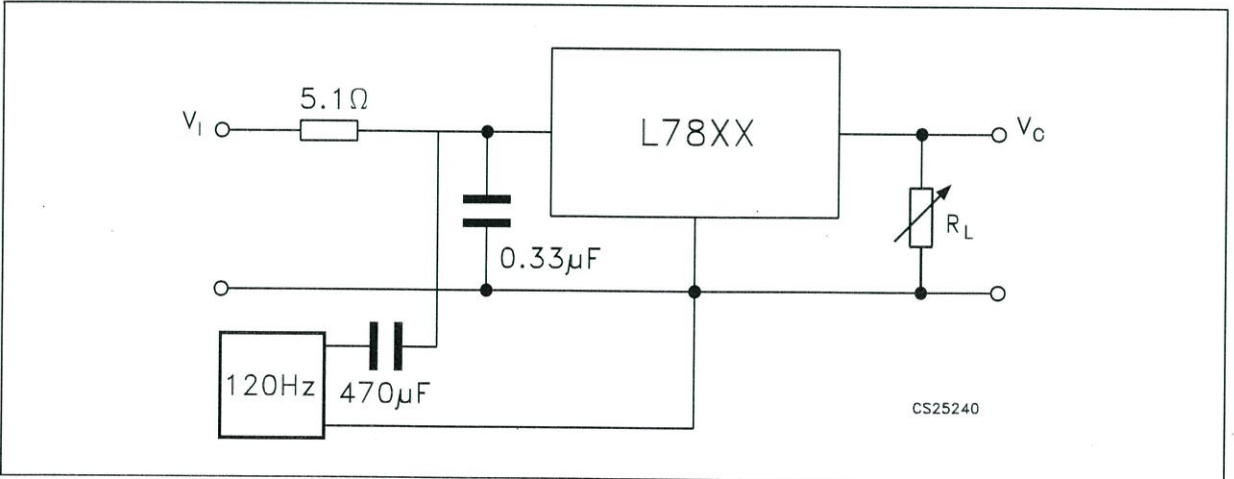


Figure 6. Ripple rejection



4 Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics of L7805 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8$ to 20V	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8$ to 12V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 8$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18V , $f = 120\text{Hz}$	68			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 6. Electrical characteristics of L7812 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 15.5$ to 27V	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = 16$ to 22V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 15$ to 30V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15$ to 25V , $f = 120\text{Hz}$	61			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 11. Electrical characteristics of L7805C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7$ to 20V	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	100	mV
		$V_I = 8$ to 12V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 7$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18V , $f = 120\text{Hz}$	62			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 18. Electrical characteristics of L7812C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5$ to 27V	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = 16$ to 22V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 14.5$ to 30V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		75		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15$ to 25V , $f = 120\text{Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.35		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

5 Typical performance

Figure 7. Dropout voltage vs junction temperature

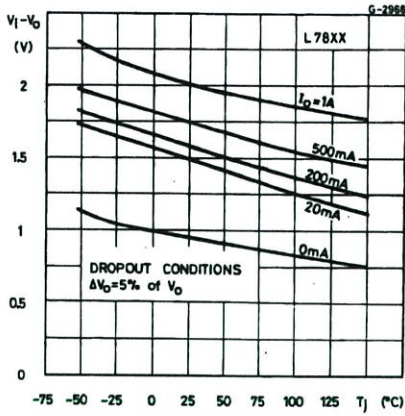


Figure 8. Peak output current vs input/output differential voltage

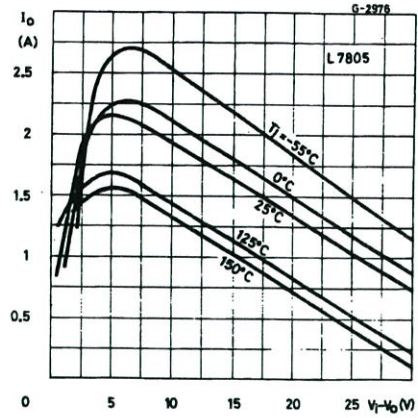


Figure 9. Supply voltage rejection vs frequency

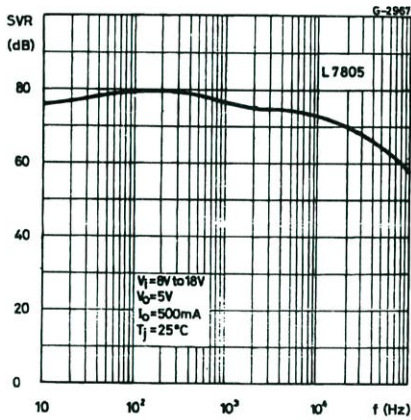


Figure 10. Output voltage vs junction temperature

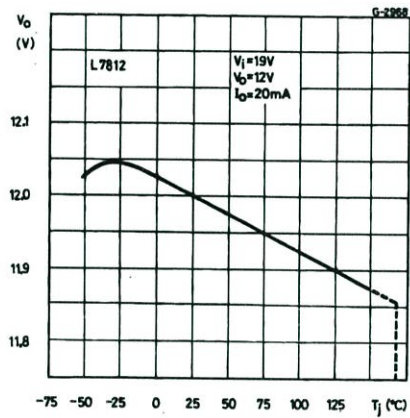


Figure 11. Output impedance vs frequency

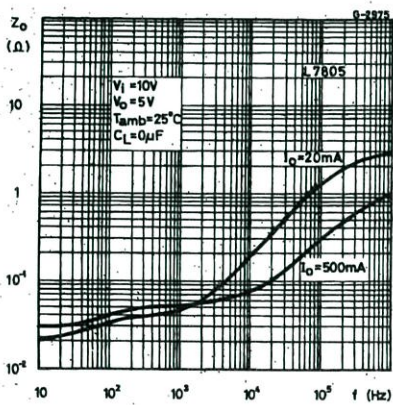


Figure 12. Quiescent current vs junction temperature

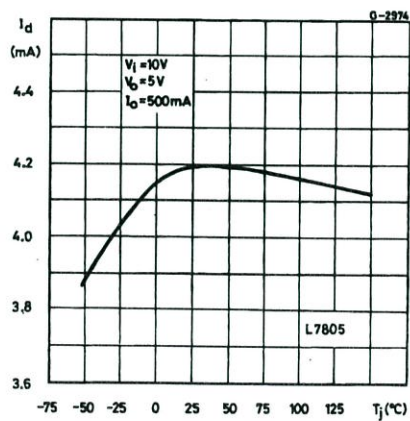


Figure 13. Load transient response

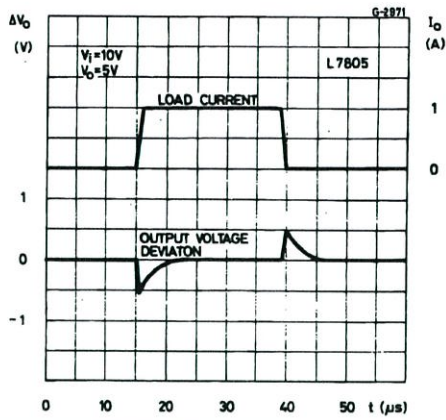


Figure 14. Line transient response

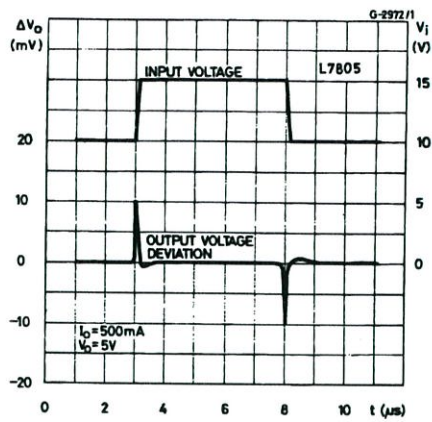


Figure 15. Quiescent current vs input voltage

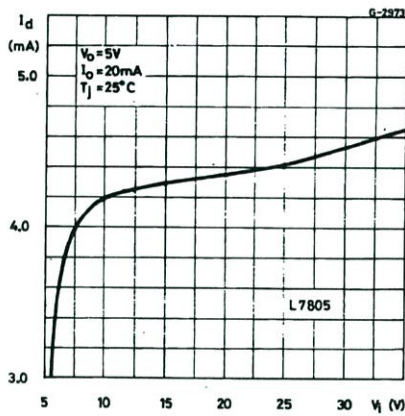
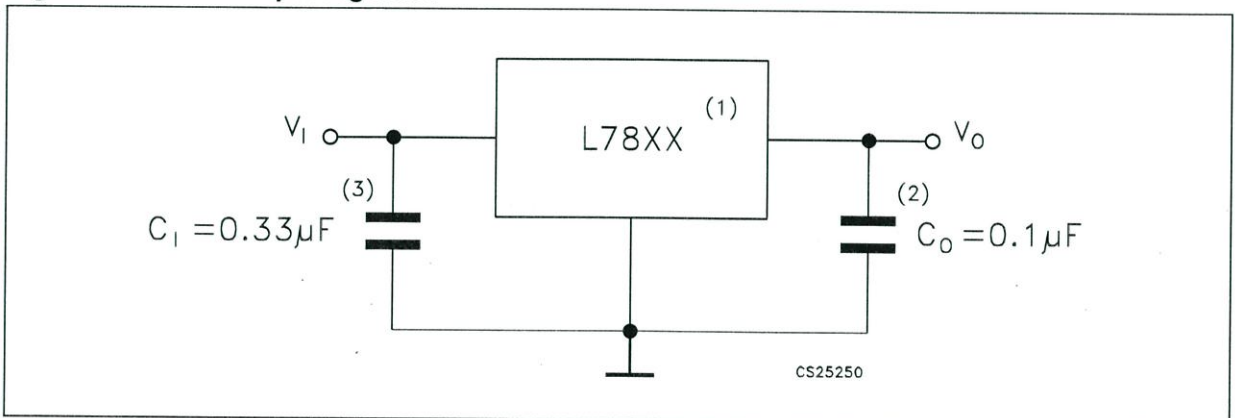


Figure 16. Fixed output regulator



1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Although no output capacitor is need for stability, it does improve transient response.
3. Required if regulator is locate an appreciable distance from power supply filter.

Figure 17. Current regulator

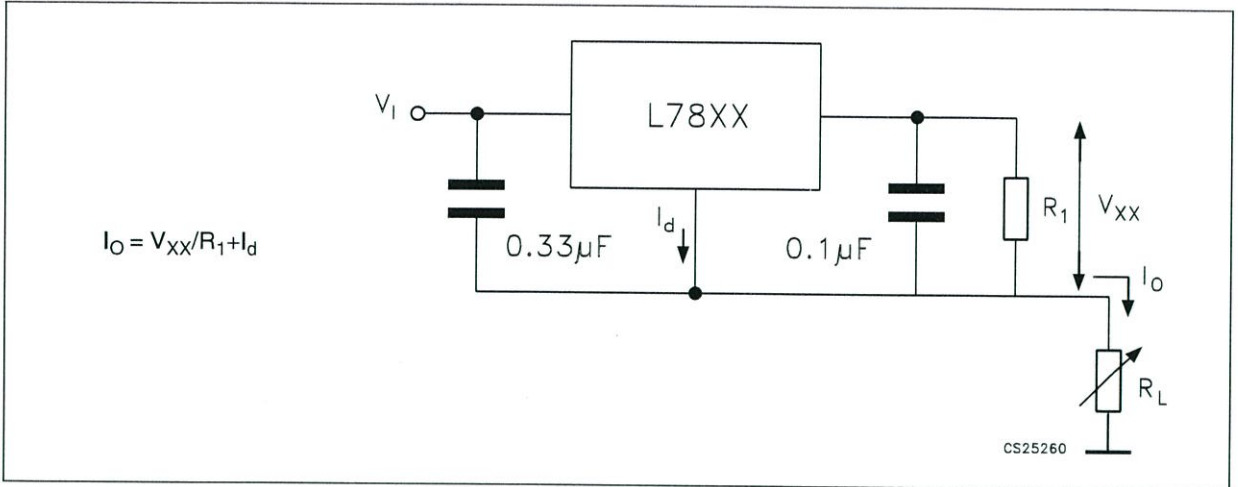


Figure 18. Circuit for increasing output voltage

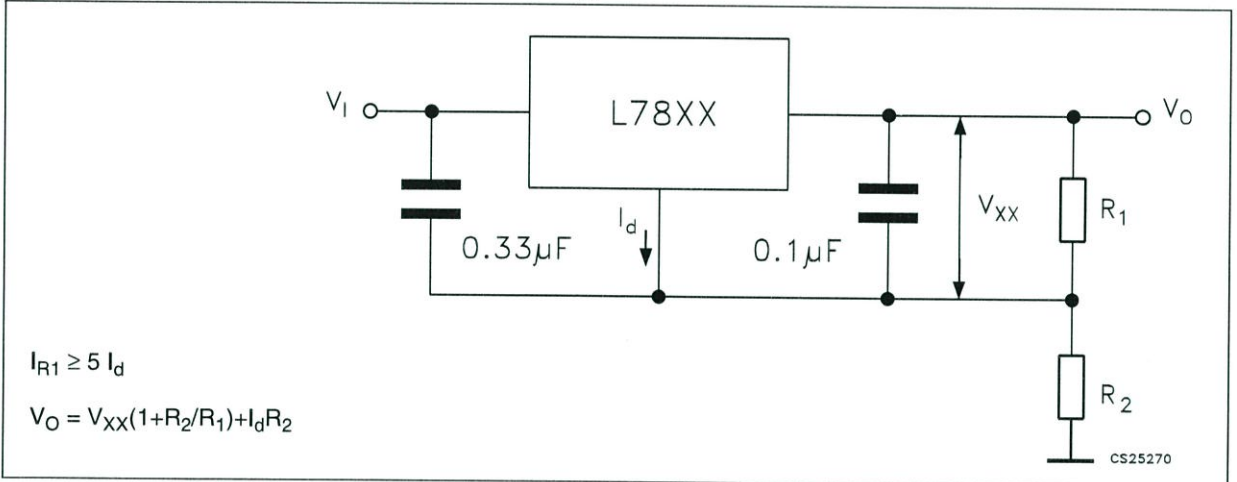


Figure 19. Adjustable output regulator (7 to 30V)

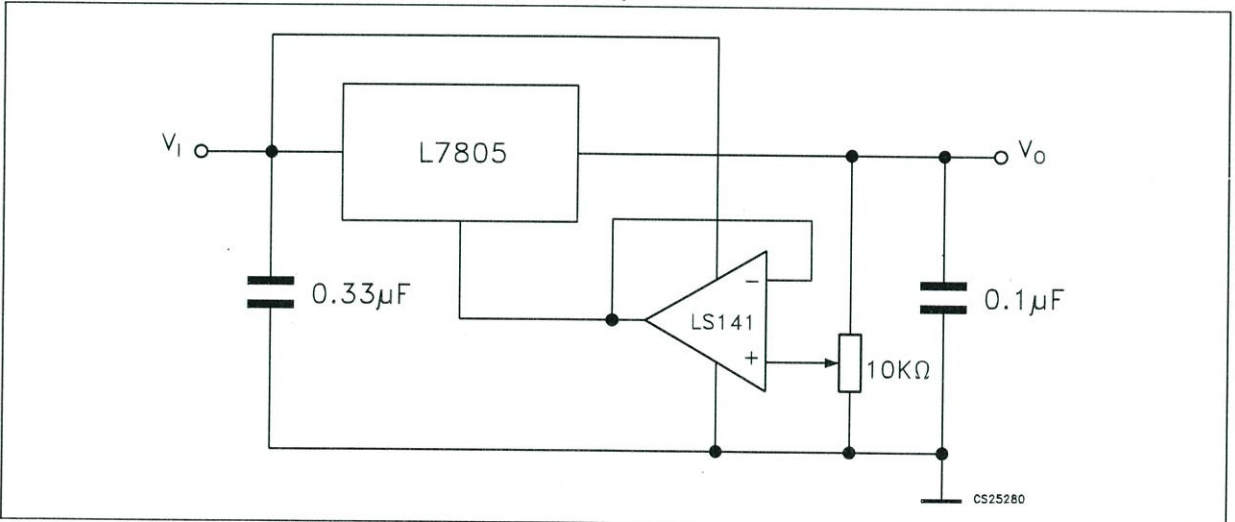


Figure 20. 0.5 to 10V Regulator

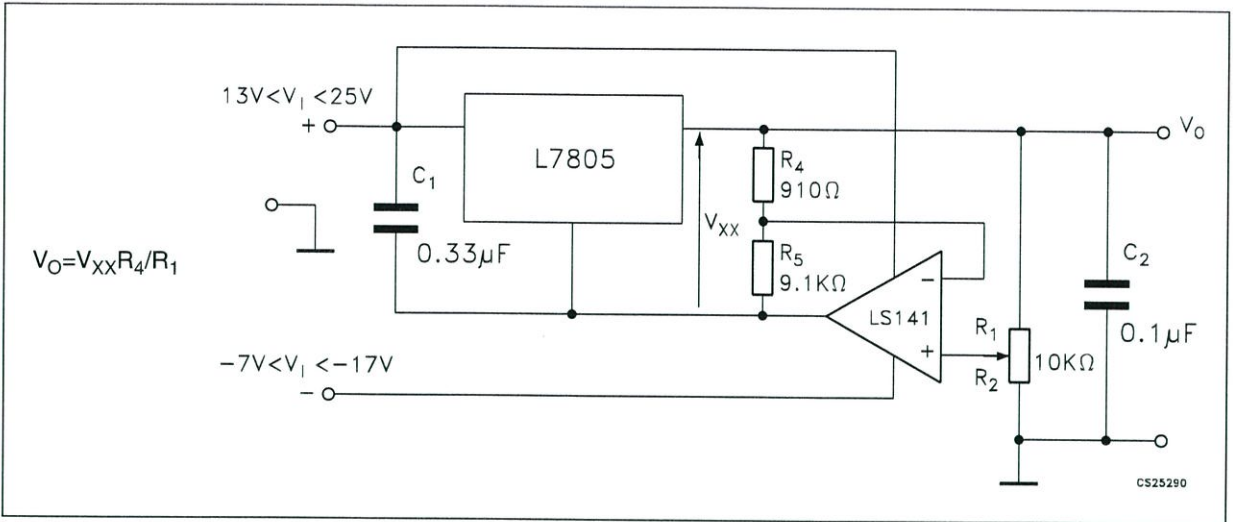


Figure 21. High current voltage regulator

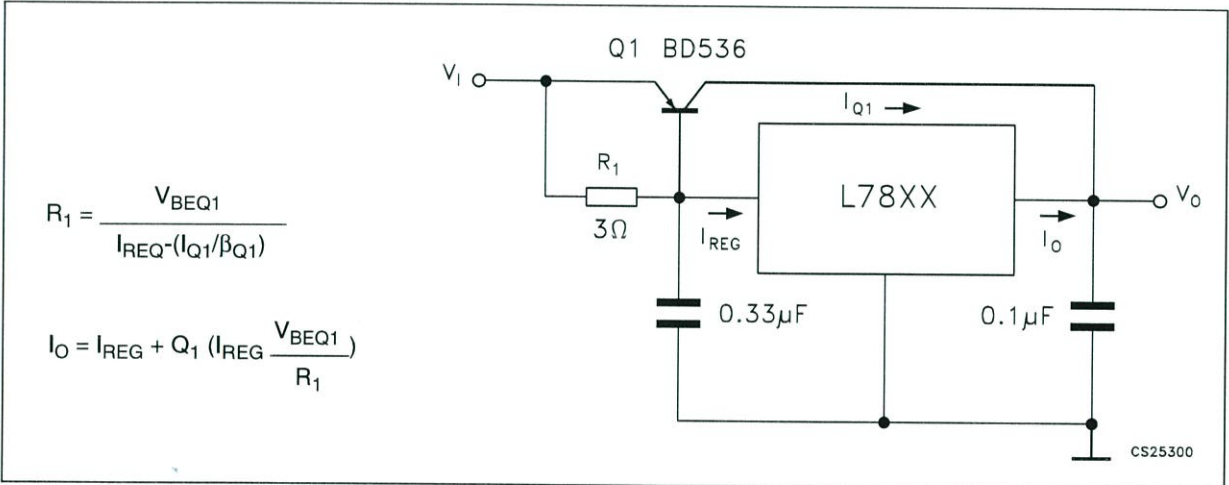


Figure 22. High output current with short circuit protection

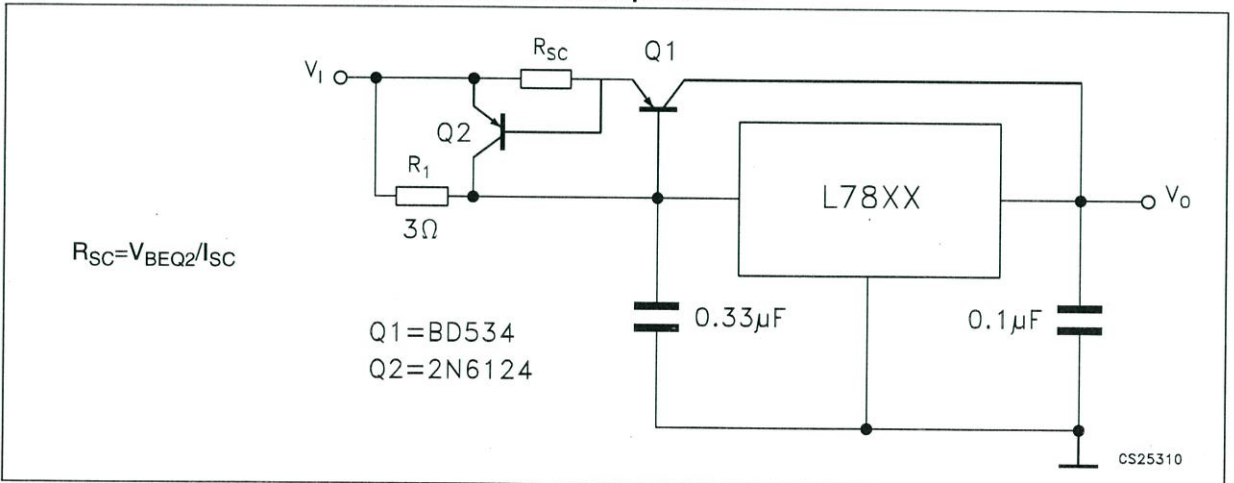


Figure 23. Tracking voltage regulator

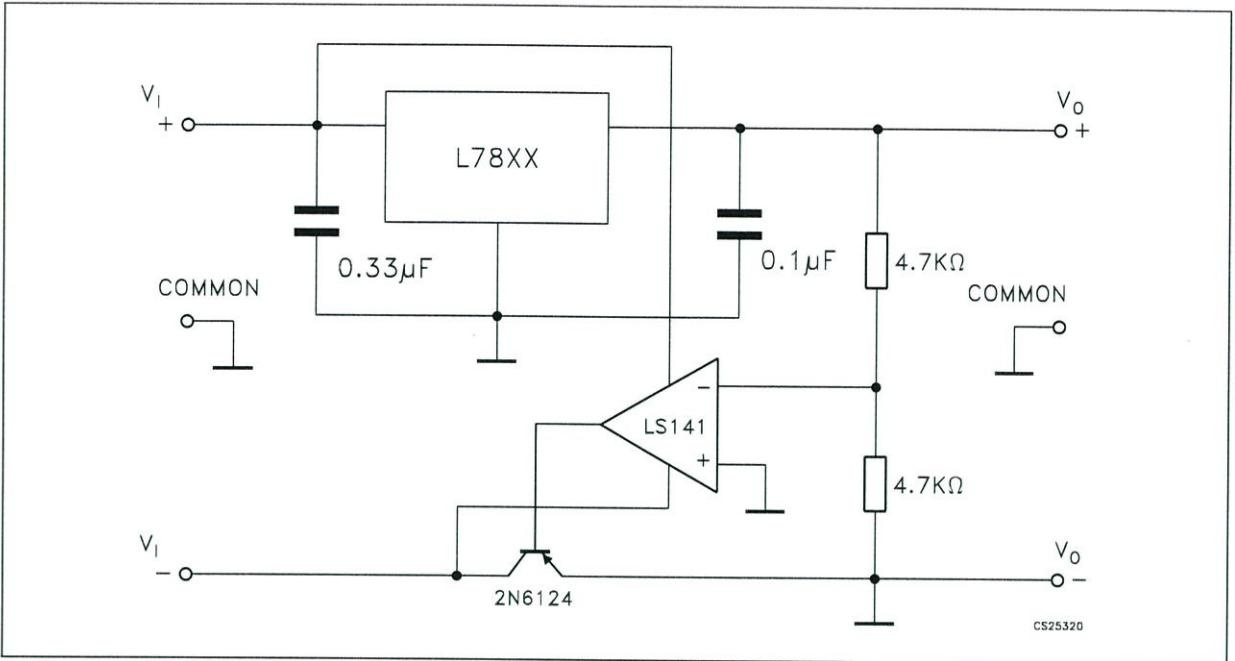
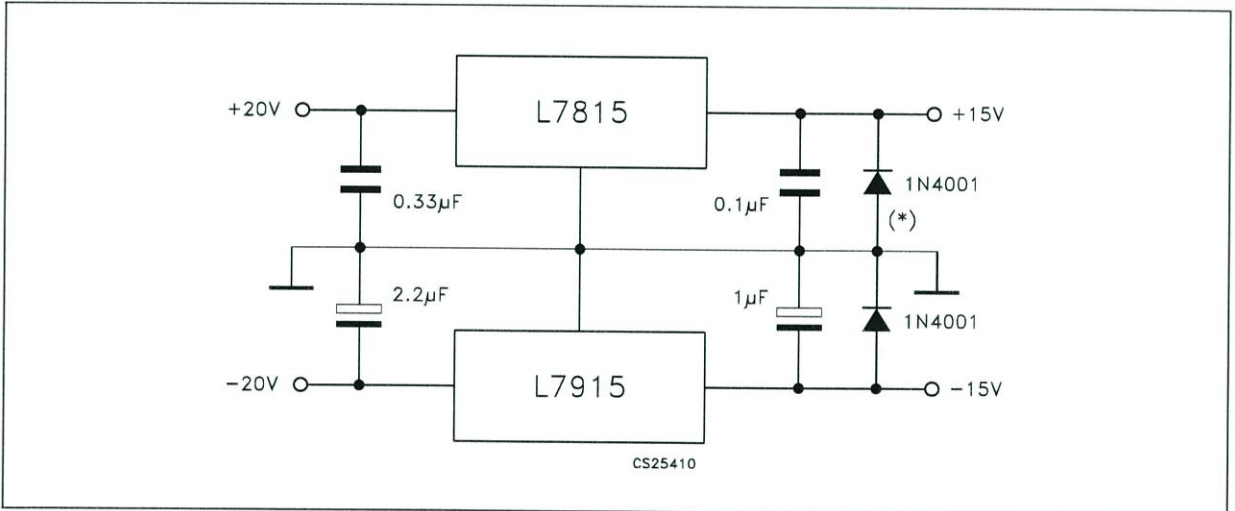


Figure 24. Split power supply ($\pm 15\text{V} - 1\text{A}$)



* Against potential latch-up problems.

Figure 25. Negative output voltage circuit

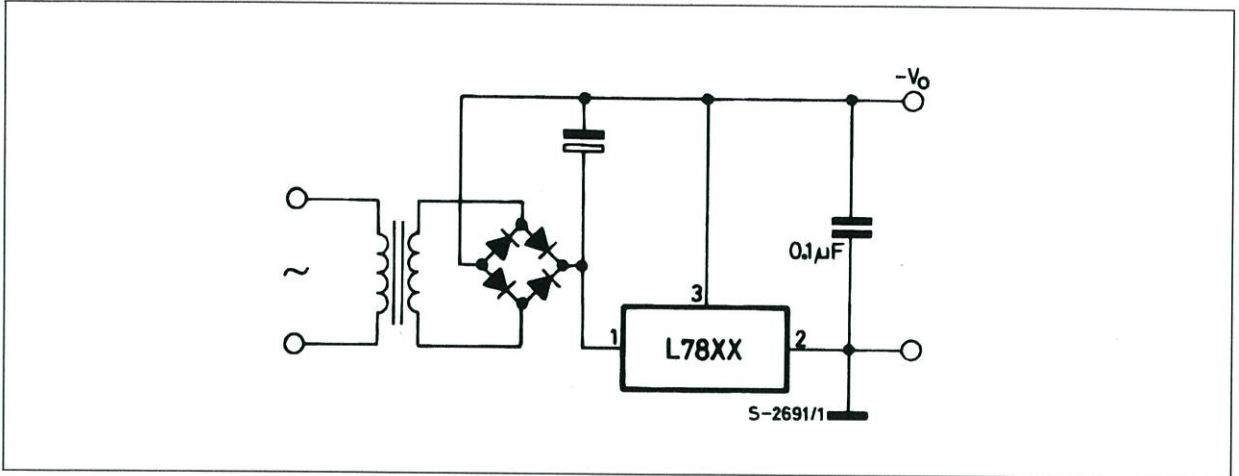


Figure 26. Switching regulator

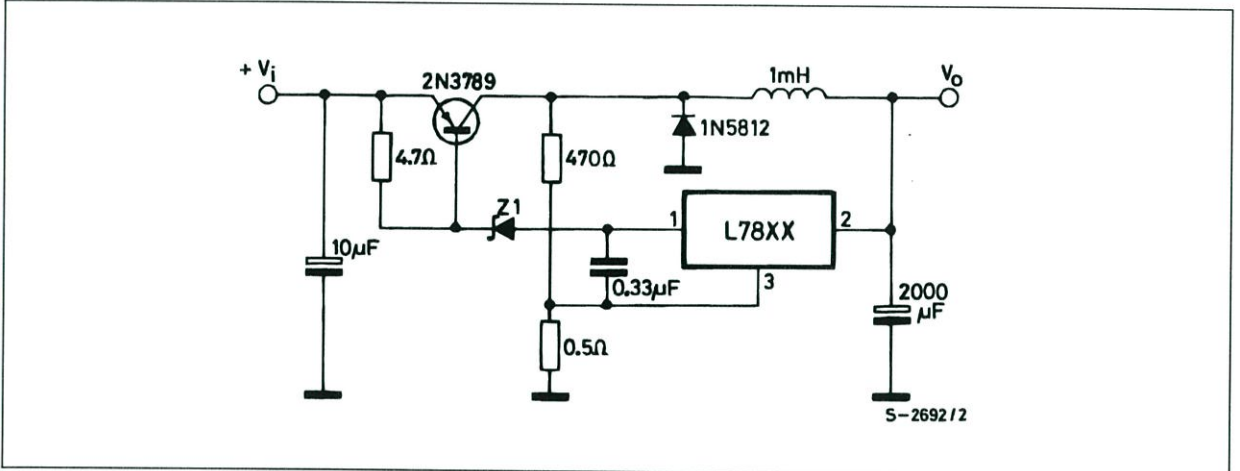


Figure 27. High input voltage circuit

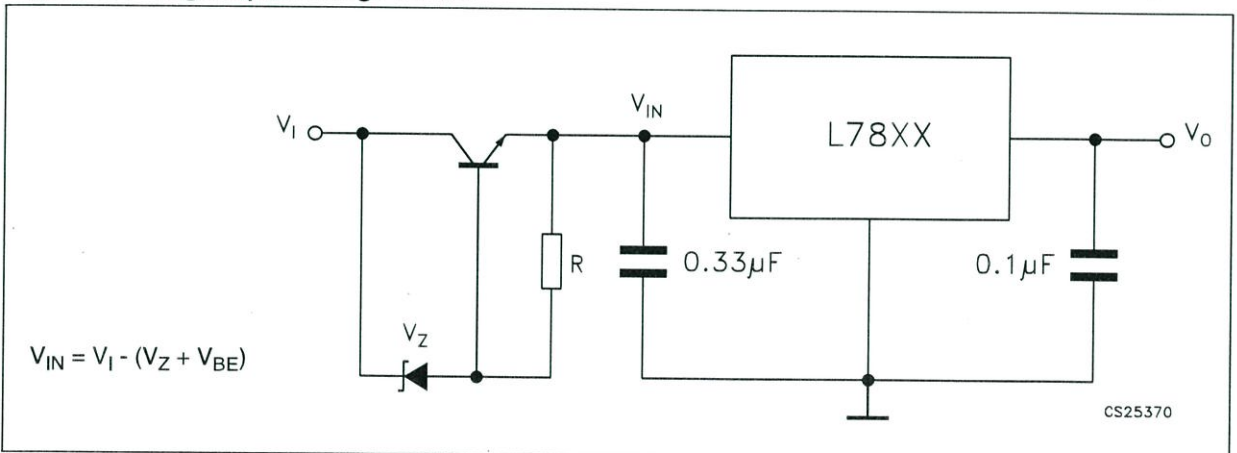


Figure 28. High input voltage circuit

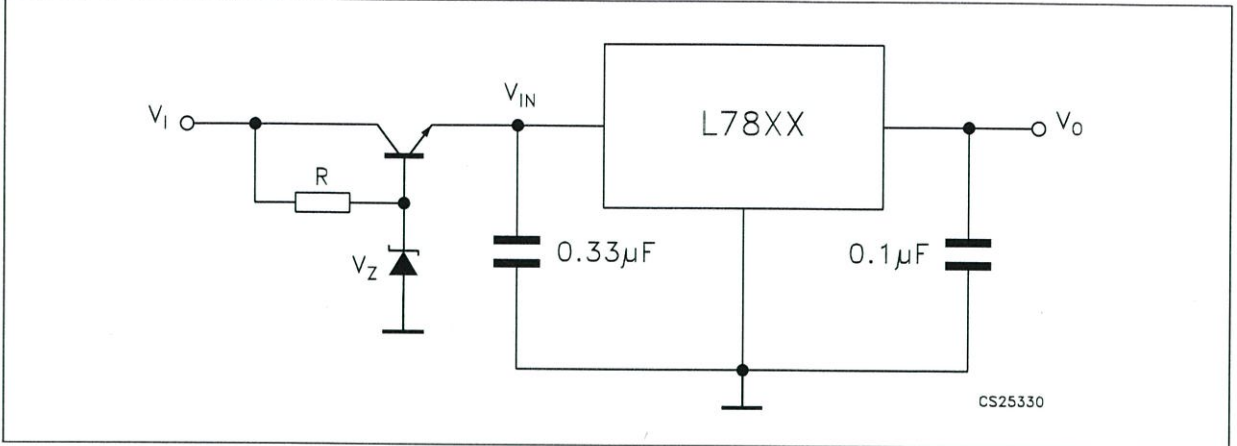


Figure 29. High output voltage regulator

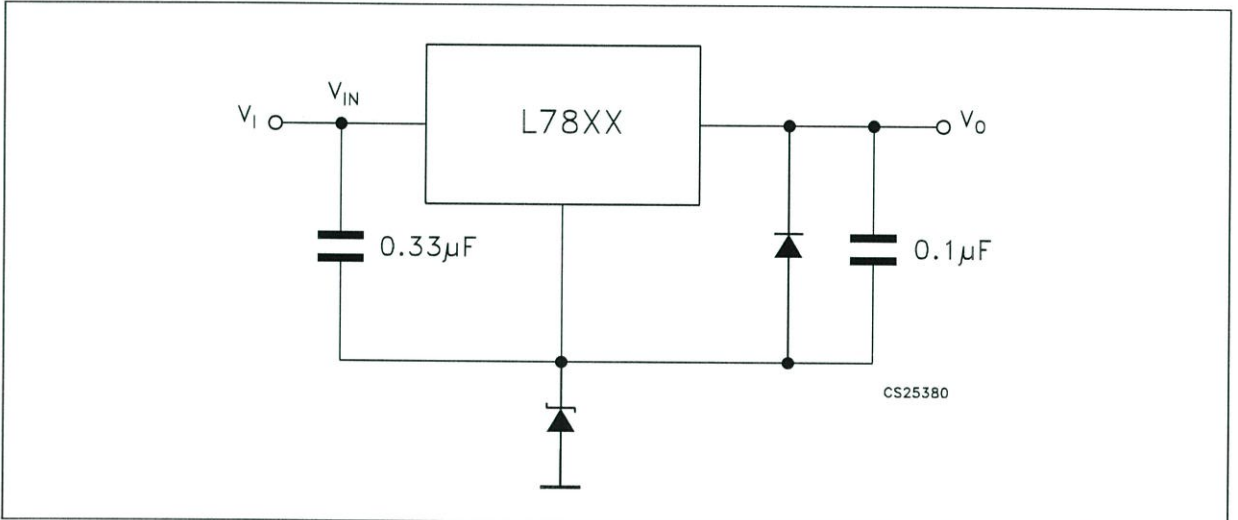


Figure 30. High input and output voltage

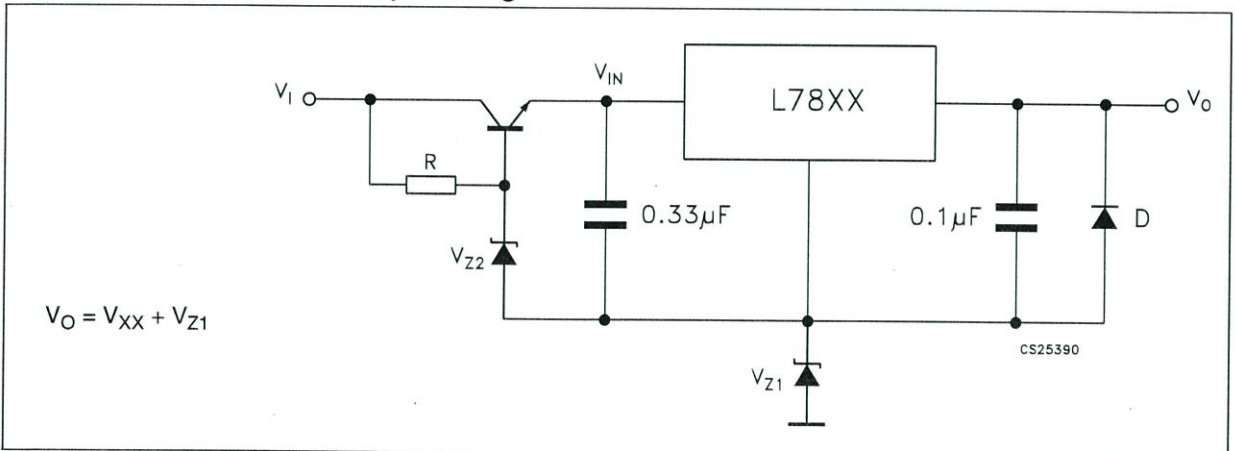


Figure 31. Reducing power dissipation with dropping resistor

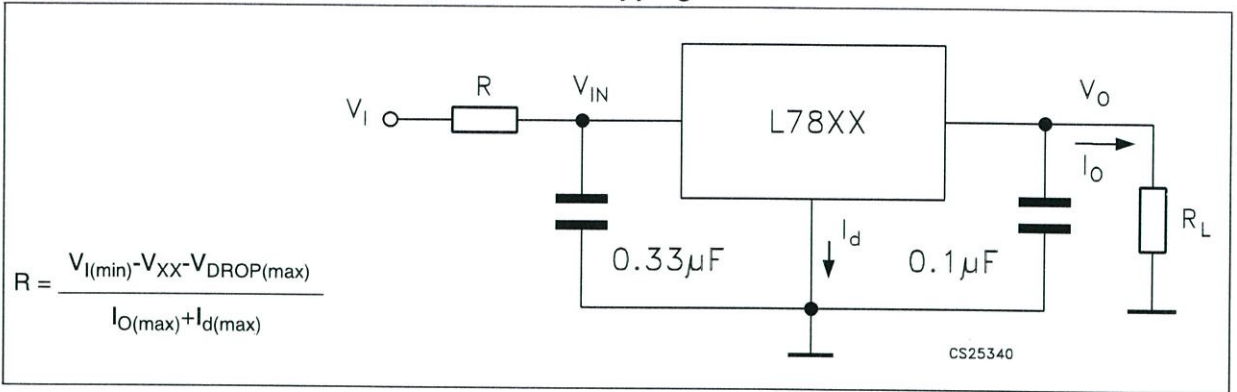


Figure 32. Remote shutdown

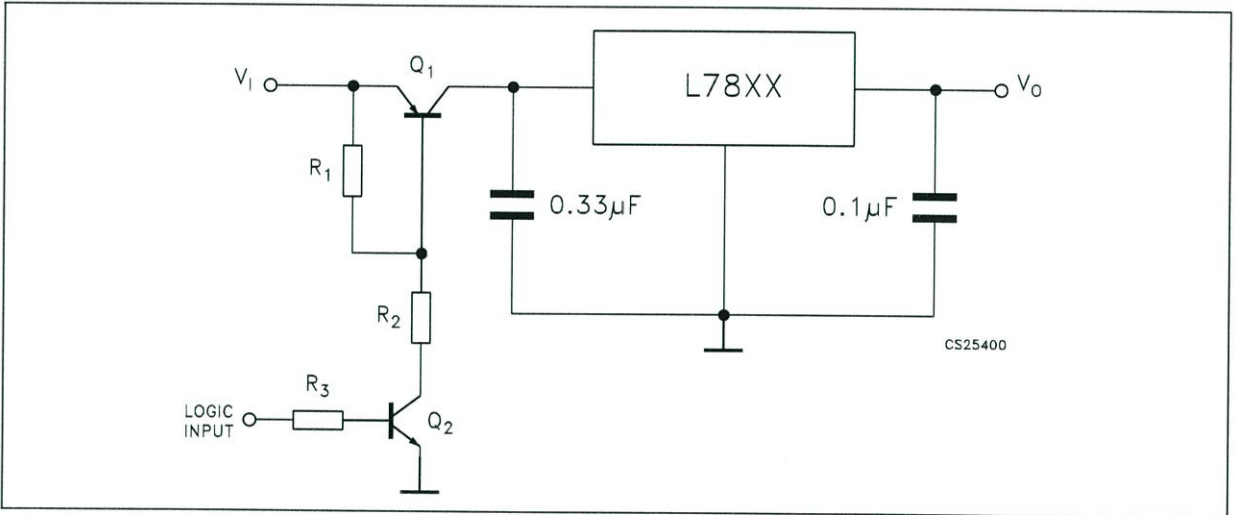
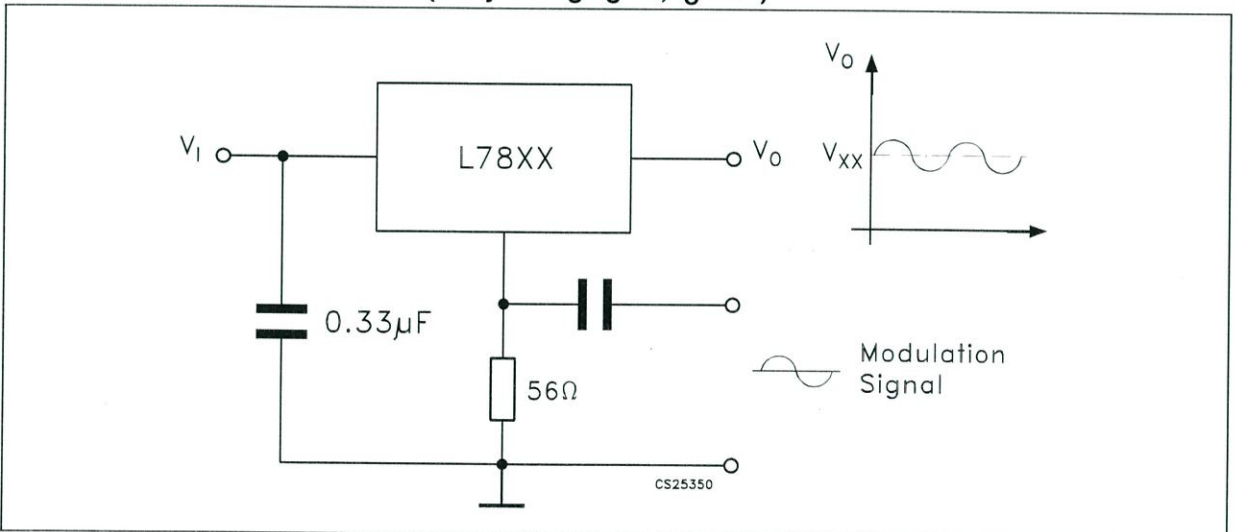
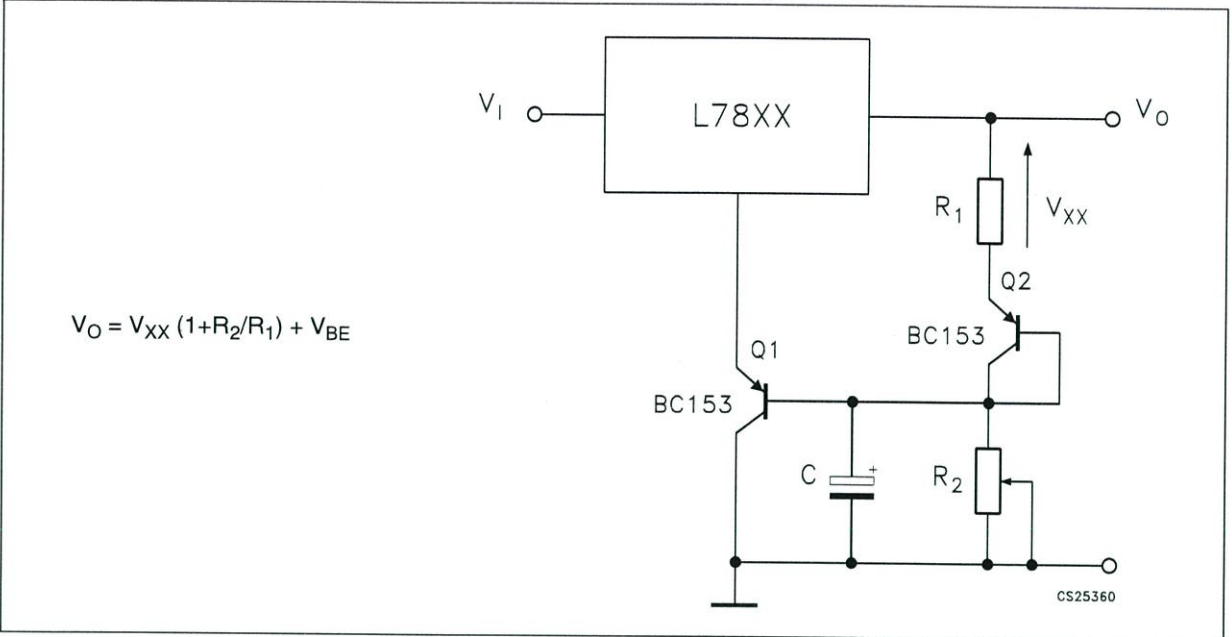


Figure 33. Power AM modulator (unity voltage gain, $I_O \leq 0.5$)



Note: The circuit performs well up to 100 KHz.

Figure 34. Adjustable output voltage with temperature compensation



Note: Q_2 is connected as a diode in order to compensate the variation of the Q_1 V_{BE} with the temperature. C allows a slow rise time of the V_O .

Figure 35. Light controllers ($V_{Omin} = V_{XX} + V_{BE}$)

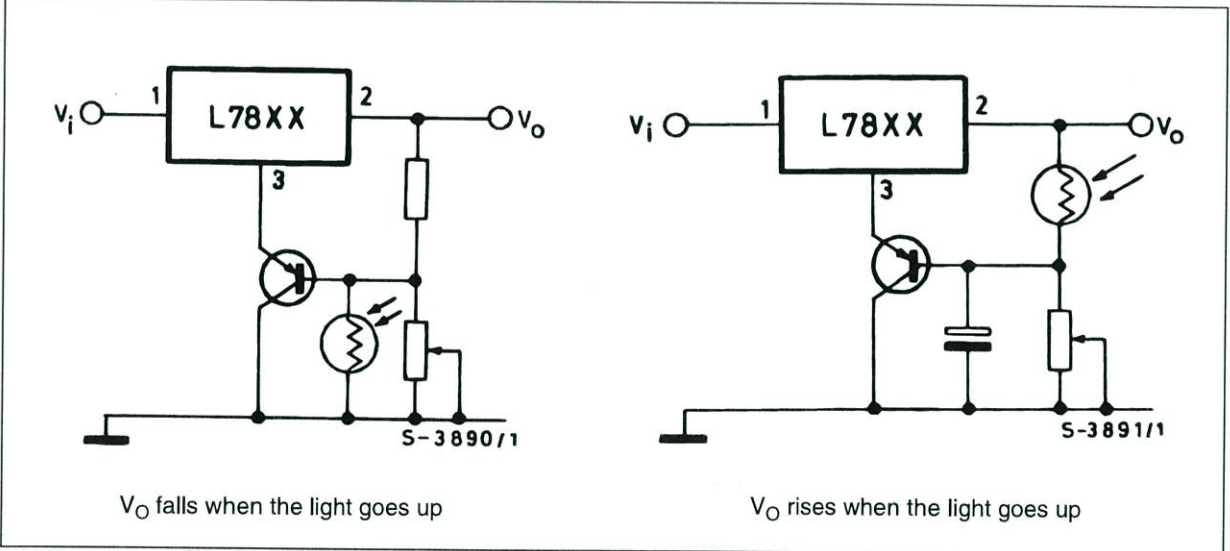
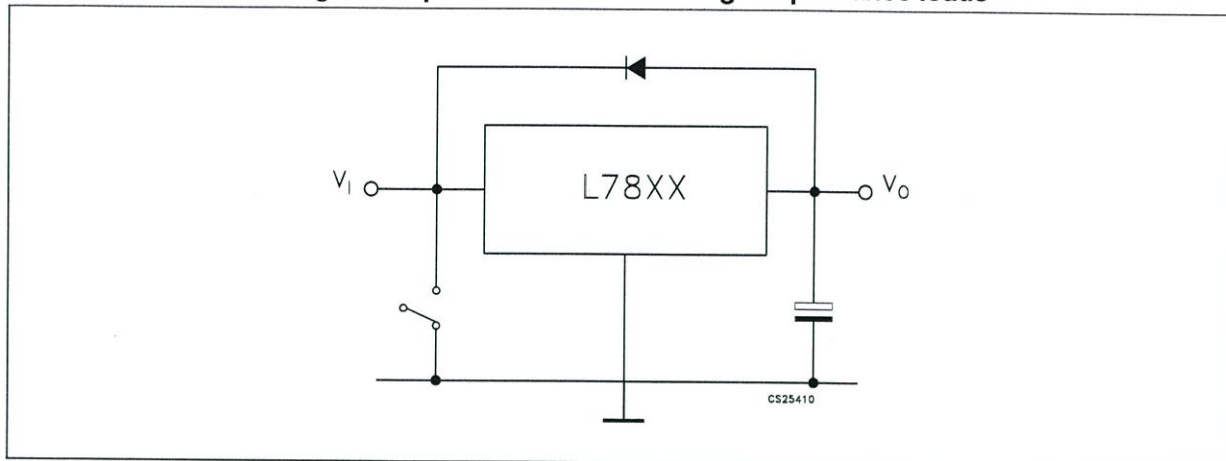


Figure 36. Protection against input short-circuit with high capacitance loads

1. Application with high capacitance loads and an output voltage greater than 6 volts need an external diode (see fig. 32) to protect the device against input short circuit. In this case the input voltage falls rapidly while the output voltage decrease slowly. The capacitance discharges by means of the Base-Emitter junction of the series pass transistor in the regulator. If the energy is sufficiently high, the transistor may be destroyed. The external diode by-passes the current from the IC to ground.

LM723/LM723C Voltage Regulator

General Description

The LM723/LM723C is a voltage regulator designed primarily for series regulator applications. By itself, it will supply output currents up to 150 mA; but external transistors can be added to provide any desired load current. The circuit features extremely low standby current drain, and provision is made for either linear or foldback current limiting.

The LM723/LM723C is also useful in a wide range of other applications such as a shunt regulator, a current regulator or a temperature controller.

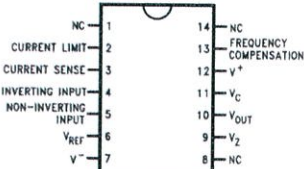
The LM723C is identical to the LM723 except that the LM723C has its performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Features

- 150 mA output current without external pass transistor
- Output currents in excess of 10A possible by adding external transistors
- Input voltage 40V max
- Output voltage adjustable from 2V to 37V
- Can be used as either a linear or a switching regulator

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package

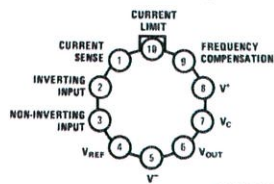


DS008563-2

Top View

Order Number LM723J/883 or LM723CN
See NS Package J14A or N14A

Metal Can Package



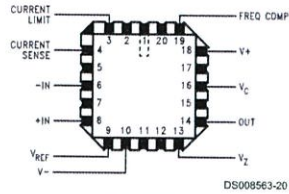
DS008563-3

Note: Pin 5 connected to case.

Top View

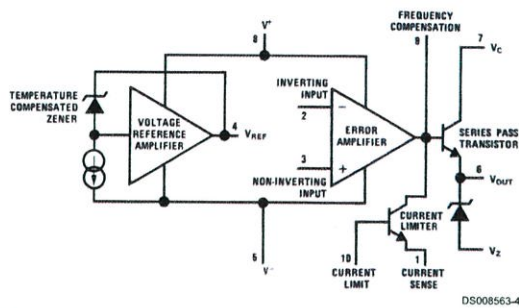
Order Number LM723H, LM723H/883 or LM723CH
See NS Package H10C

Connection Diagrams (Continued)



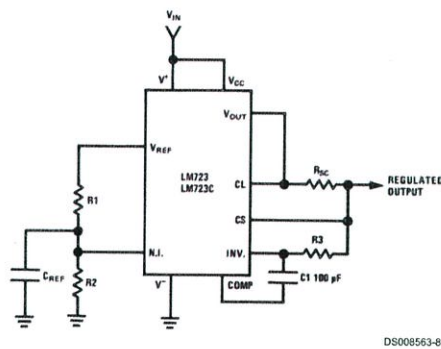
Top View
Order Number LM723E/883
See NS Package E20A

Equivalent Circuit*



*Pin numbers refer to metal can package.

Typical Application



$$\text{Note: } R3 = \frac{R1 R2}{R1 + R2}$$

for minimum temperature drift.

Typical Performance

Regulated Output Voltage	5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	0.5mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 50 \text{ mA}$)	1.5mV

FIGURE 1. Basic Low Voltage Regulator
($V_{OUT} = 2$ to 7 Volts)

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 10)

Pulse Voltage from V^+ to V^- (50 ms)	50V
Continuous Voltage from V^+ to V^-	40V
Input-Output Voltage Differential	40V
Maximum Amplifier Input Voltage (Either Input)	8.5V
Maximum Amplifier Input Voltage (Differential)	5V
Current from V_Z	25 mA
Current from V_{REF}	15 mA
Internal Power Dissipation Metal Can (Note 2)	800 mW

Cavity DIP (Note 2)	900 mW
Molded DIP (Note 2)	660 mW
Operating Temperature Range	
LM723	-55°C to +150°C
LM723C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	
Metal Can	-65°C to +150°C
Molded DIP	-55°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 4 sec. max.)	
Hermetic Package	300°C
Plastic Package	260°C
ESD Tolerance	1200V
(Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF)	

Electrical Characteristics (Note 3) (Note 10)

Parameter	Conditions	LM723			LM723C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Line Regulation	$V_{IN} = 12V$ to $V_{IN} = 15V$		0.01	0.1		0.01	0.1	% V_{OUT}
	$-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$			0.3				% V_{OUT}
	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$						0.3	% V_{OUT}
	$V_{IN} = 12V$ to $V_{IN} = 40V$		0.02	0.2		0.1	0.5	% V_{OUT}
Load Regulation	$I_L = 1$ mA to $I_L = 50$ mA		0.03	0.15		0.03	0.2	% V_{OUT}
	$-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$			0.6				% V_{OUT}
	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$						0.6	% V_{OUT}
Ripple Rejection	$f = 50$ Hz to 10 kHz, $C_{REF} = 0$		74			74		dB
	$f = 50$ Hz to 10 kHz, $C_{REF} = 5$ μF		86			86		dB
Average Temperature Coefficient of Output Voltage (Note 8)	$-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		0.002	0.015				%/ $^\circ C$
	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$					0.003	0.015	%/ $^\circ C$
Short Circuit Current Limit	$R_{SC} = 10\Omega$, $V_{OUT} = 0$		65			65		mA
Reference Voltage		6.95	7.15	7.35	6.80	7.15	7.50	V
Output Noise Voltage	$BW = 100$ Hz to 10 kHz, $C_{REF} = 0$		86			86		μV_{rms}
	$BW = 100$ Hz to 10 kHz, $C_{REF} = 5$ μF		2.5			2.5		μV_{rms}
Long Term Stability			0.05			0.05		%/1000 hrs
Standby Current Drain	$I_L = 0$, $V_{IN} = 30V$		1.7	3.5		1.7	4.0	mA
Input Voltage Range		9.5		40	9.5		40	V
Output Voltage Range		2.0		37	2.0		37	V
Input-Output Voltage Differential		3.0		38	3.0		38	V
θ_{JA}	Molded DIP					105		$^\circ C/W$
θ_{JA}	Cavity DIP		150					$^\circ C/W$
θ_{JA}	H10C Board Mount in Still Air		165			165		$^\circ C/W$
θ_{JA}	H10C Board Mount in 400 LF/Min Air Flow		66			66		$^\circ C/W$
θ_{JC}			22			22		$^\circ C/W$

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

Note 2: See derating curves for maximum power rating above 25°C.

Note 3: Unless otherwise specified, $T_A = 25^\circ C$, $V_{IN} = V^+ = V_C = 12V$, $V^- = 0$, $V_{OUT} = 5V$, $I_L = 1$ mA, $R_{SC} = 0$, $C_1 = 100$ pF, $C_{REF} = 0$ and divider impedance as seen by error amplifier ≤ 10 k Ω connected as shown in Figure 1. Line and load regulation specifications are given for the condition of constant chip temperature. Temperature drifts must be taken into account separately for high dissipation conditions.

Note 4: L_1 is 40 turns of No. 20 enameled copper wire wound on Ferroxcube P36/22-3B7 pot core or equivalent with 0.009 in. air gap.

Note 5: Figures in parentheses may be used if R1/R2 divider is placed on opposite input of error amp.

Note 6: Replace R1/R2 in figures with divider shown in Figure 13.

Note 7: V^+ and V_{CC} must be connected to a +3V or greater supply.

Note 8: For metal can applications where V_Z is required, an external 6.2V zener diode should be connected in series with V_{OUT} .

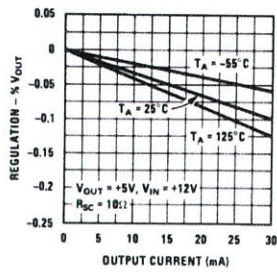
Electrical Characteristics (Note 3) (Note 10) (Continued)

Note 9: Guaranteed by correlation to other tests.

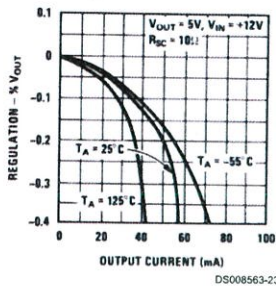
Note 10: A military RETS specification is available on request. At the time of printing, the LM723 RETS specification complied with the Min and Max limits in this table. The LM723E, H, and J may also be procured as a Standard Military Drawing.

Typical Performance Characteristics

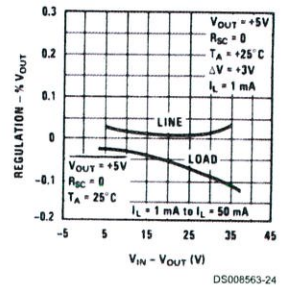
Load Regulation Characteristics with Current Limiting



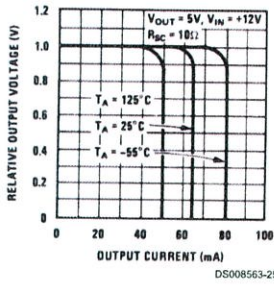
Load Regulation Characteristics with Current Limiting



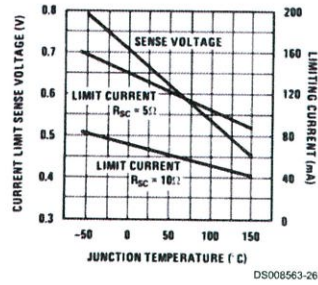
Load & Line Regulation vs Input-Output Voltage Differential



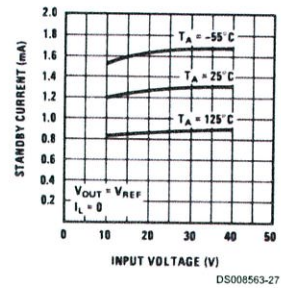
Current Limiting Characteristics



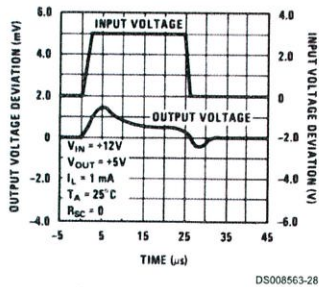
Current Limiting Characteristics vs Junction Temperature



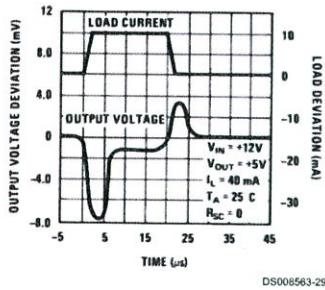
Standby Current Drain vs Input Voltage



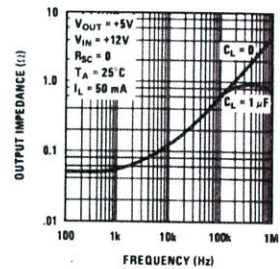
Line Transient Response



Load Transient Response

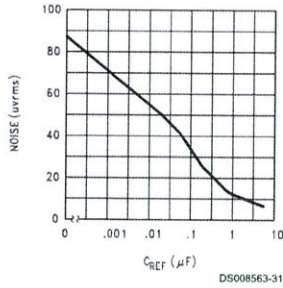


Output Impedance vs Frequency

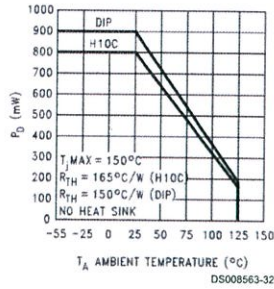


Maximum Power Ratings

Noise vs Filter Capacitor
(C_{REF} in Circuit of Figure 1)
(Bandwidth 100 Hz to 10 kHz)



LM723
Power Dissipation vs
Ambient Temperature



LM723C
Power Dissipation vs
Ambient Temperature

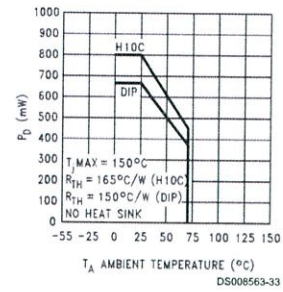


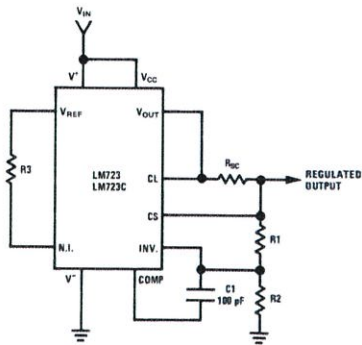
TABLE 1. Resistor Values (kΩ) for Standard Output Voltage

Positive Output Voltage	Applicable Figures	Fixed Output ±5%		Output Adjustable ±10% (Note 6)			Negative Output Voltage	Applicable Figures	Fixed Output ±5%		5% Output Adjustable ±10%		
		R1	R2	R1	P1	R2			R1	R2	R1	P1	R2
	(Note 5)												
+3.0	1, 5, 6, 9, 12 (4)	4.12	3.01	1.8	0.5	1.2	+100	7	3.57	102	2.2	10	91
+3.6	1, 5, 6, 9, 12 (4)	3.57	3.65	1.5	0.5	1.5	+250	7	3.57	255	2.2	10	240
+5.0	1, 5, 6, 9, 12 (4)	2.15	4.99	0.75	0.5	2.2	-6 (Note 7)	3, (10)	3.57	2.43	1.2	0.5	0.75
+6.0	1, 5, 6, 9, 12 (4)	1.15	6.04	0.5	0.5	2.7	-9	3, 10	3.48	5.36	1.2	0.5	2.0
+9.0	2, 4, (5, 6, 9, 12)	1.87	7.15	0.75	1.0	2.7	-12	3, 10	3.57	8.45	1.2	0.5	3.3
+12	2, 4, (5, 6, 9, 12)	4.87	7.15	2.0	1.0	3.0	-15	3, 10	3.65	11.5	1.2	0.5	4.3
+15	2, 4, (5, 6, 9, 12)	7.87	7.15	3.3	1.0	3.0	-28	3, 10	3.57	24.3	1.2	0.5	10
+28	2, 4, (5, 6, 9, 12)	21.0	7.15	5.6	1.0	2.0	-45	8	3.57	41.2	2.2	10	33
+45	7	3.57	48.7	2.2	10	39	-100	8	3.57	97.6	2.2	10	91
+75	7	3.57	78.7	2.2	10	68	-250	8	3.57	249	2.2	10	240

TABLE 2. Formulae for Intermediate Output Voltages

Outputs from +2 to +7 volts (Figures 1, 4, 5, 6, 9, 12) $V_{OUT} = \left(V_{REF} \times \frac{R2}{R1 + R2} \right)$	Outputs from +4 to +250 volts (Figure 7) $V_{OUT} = \left(\frac{V_{REF}}{2} \times \frac{R2 - R1}{R1} \right); R3 = R4$	Current Limiting $I_{LIMIT} = \frac{V_{SENSE}}{R_{SC}}$
Outputs from +7 to +37 volts (Figures 2, 4, 5, 6, 9, 12) $V_{OUT} = \left(V_{REF} \times \frac{R1 + R2}{R2} \right)$	Outputs from -6 to -250 volts (Figures 3, 8, 10) $V_{OUT} = \left(\frac{V_{REF}}{2} \times \frac{R1 + R2}{R1} \right); R3 = R4$	Foldback Current Limiting $I_{KNEE} = \left(\frac{V_{OUT} R3}{R_{SC} R4} + \frac{V_{SENSE} (R3 + R4)}{R_{SC} R4} \right)$ $I_{SHORT\ CKT} = \left(\frac{V_{SENSE}}{R_{SC}} \times \frac{R3 + R4}{R4} \right)$

Typical Applications



DS008563-9

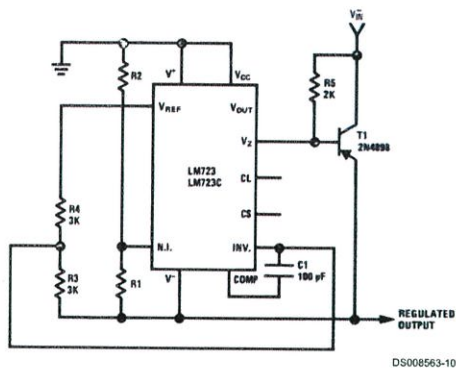
$$\text{Note: } R3 = \frac{R1 R2}{R1 + R2}$$

for minimum temperature drift.
R3 may be eliminated for
minimum component count.

Typical Performance

Regulated Output Voltage	15V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	1.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 50 \text{ mA}$)	4.5 mV

FIGURE 2. Basic High Voltage Regulator
($V_{OUT} = 7$ to 37 Volts)

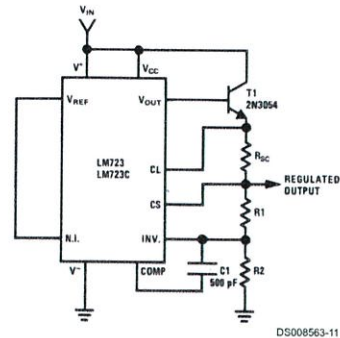


DS008563-10

Typical Performance

Regulated Output Voltage	-15V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	1 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 100 \text{ mA}$)	2 mV

FIGURE 3. Negative Voltage Regulator



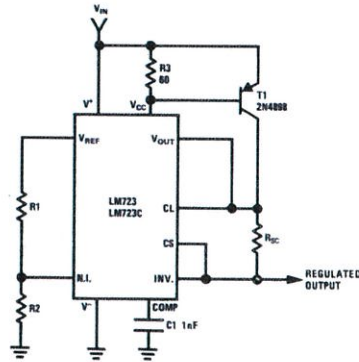
DS008563-11

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+15V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	1.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 1A$)	15 mV

FIGURE 4. Positive Voltage Regulator
(External NPN Pass Transistor)

Typical Applications (Continued)

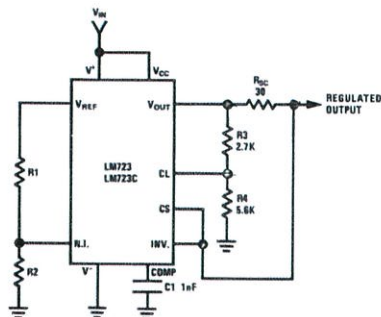


DS008563-12

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	0.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 1A$)	5 mV

**FIGURE 5. Positive Voltage Regulator
(External PNP Pass Transistor)**



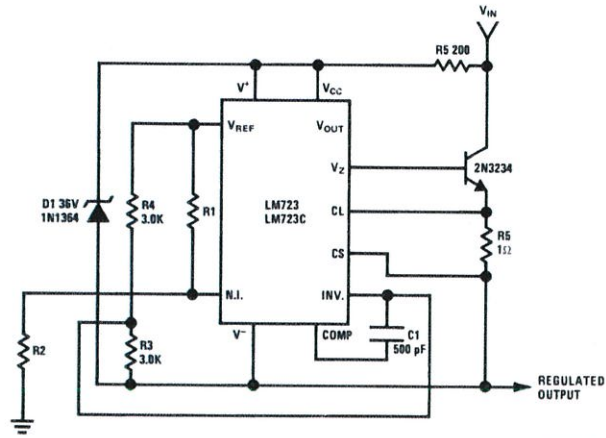
DS008563-13

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	0.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 10 \text{ mA}$)	1 mV
Short Circuit Current	20 mA

FIGURE 6. Foldback Current Limiting

Typical Applications (Continued)

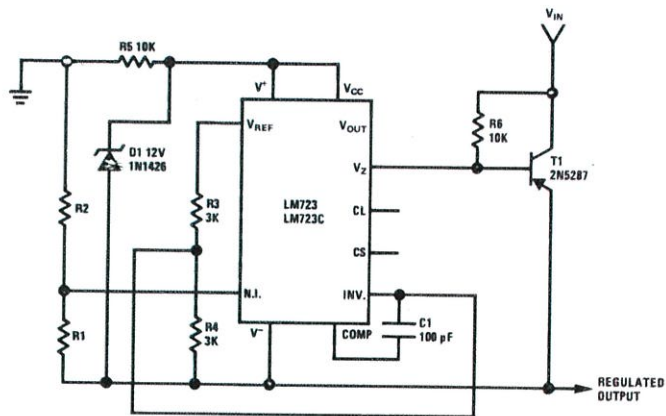


DS008563-14

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+50V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 20V$)	15 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 50 \text{ mA}$)	20 mV

FIGURE 7. Positive Floating Regulator



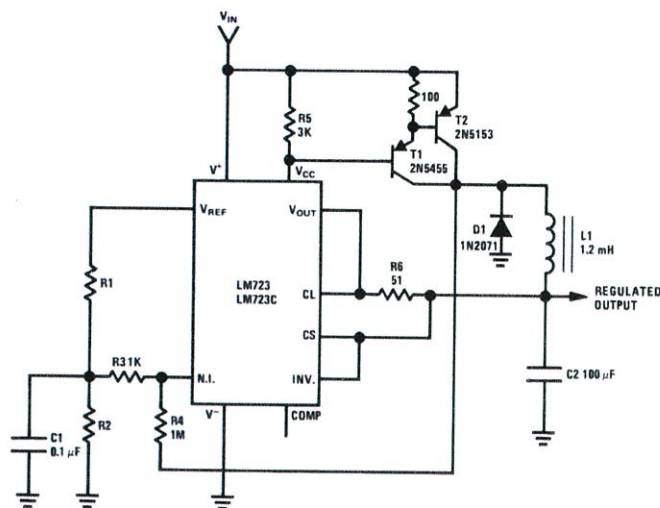
DS008563-15

Typical Performance

Regulated Output Voltage	-100V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 20V$)	30 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 100 \text{ mA}$)	20 mV

FIGURE 8. Negative Floating Regulator

Typical Applications (Continued)

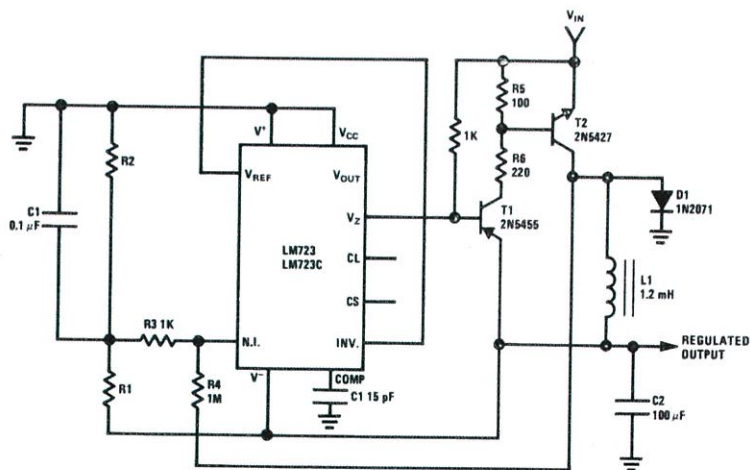


DS008563-16

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 30V$)	10 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 2A$)	80 mV

FIGURE 9. Positive Switching Regulator



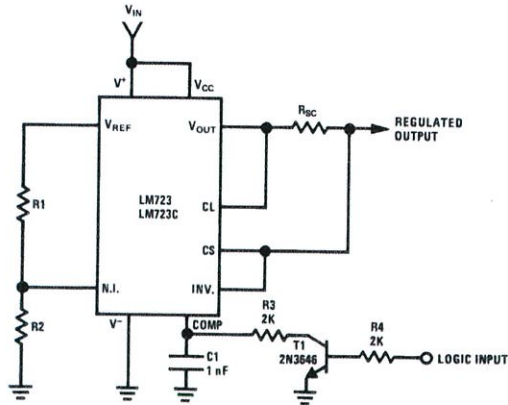
DS008563-17

Typical Performance

Regulated Output Voltage	-15V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 20V$)	8 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 2A$)	6 mV

FIGURE 10. Negative Switching Regulator

Typical Applications (Continued)



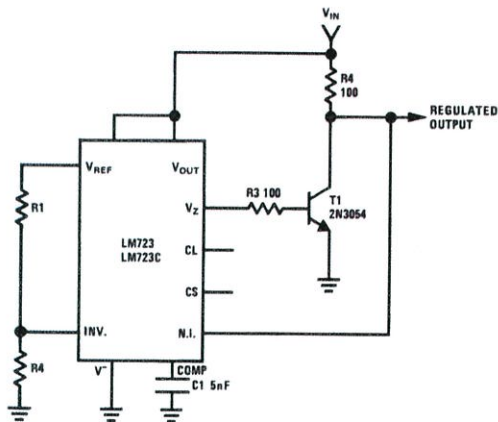
DS008563-18

Note: Current limit transistor may be used for shutdown if current limiting is not required.

Typical Performance

Regulated Output Voltage	+5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 3V$)	0.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 50 \text{ mA}$)	1.5 mV

FIGURE 11. Remote Shutdown Regulator with Current Limiting

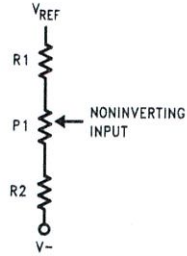


DS008563-19

Regulated Output Voltage	+5V
Line Regulation ($\Delta V_{IN} = 10V$)	0.5 mV
Load Regulation ($\Delta I_L = 100 \text{ mA}$)	1.5 mV

FIGURE 12. Shunt Regulator

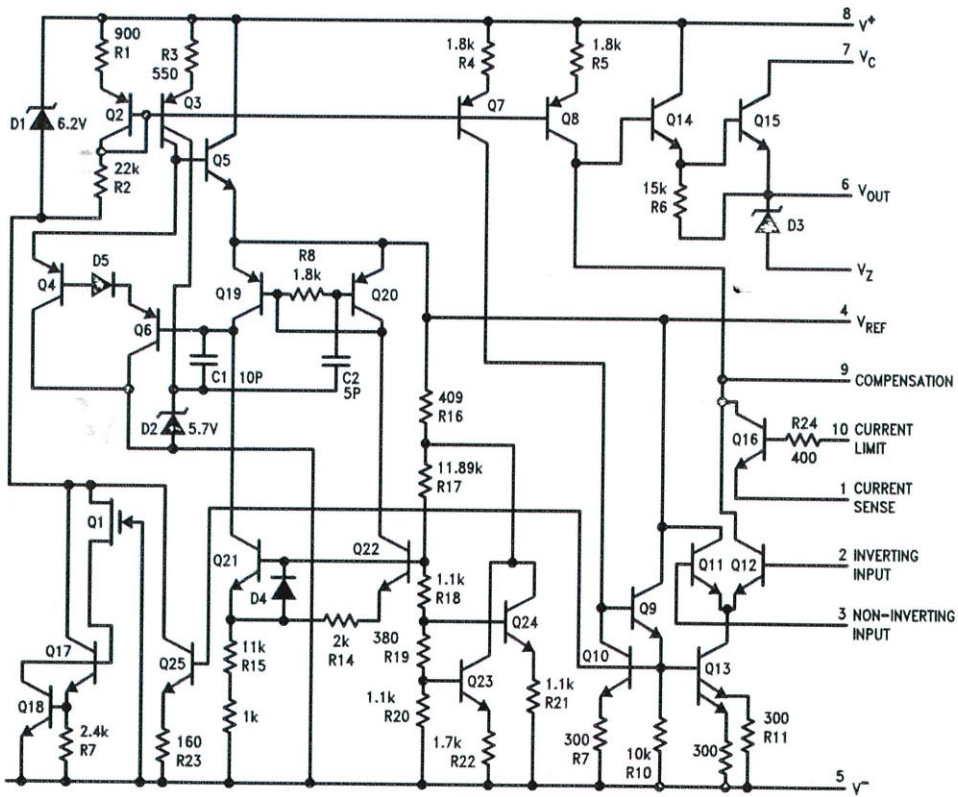
Typical Applications (Continued)



DS008563-21

FIGURE 13. Output Voltage Adjust
(Note 6)

Schematic Diagram



DS008563-1



MICROCHIP

PIC16F685/687/689/690

20-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 32 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRTE) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced low-current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear/Input pin
- Programmable code protection
- High Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Enhanced USART Module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-wake-up on Start bit

Low-Power Features:

- **Standby Current:**
 - 1 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 20 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - <1 mA @ 4 MHz, 5.5V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - <1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

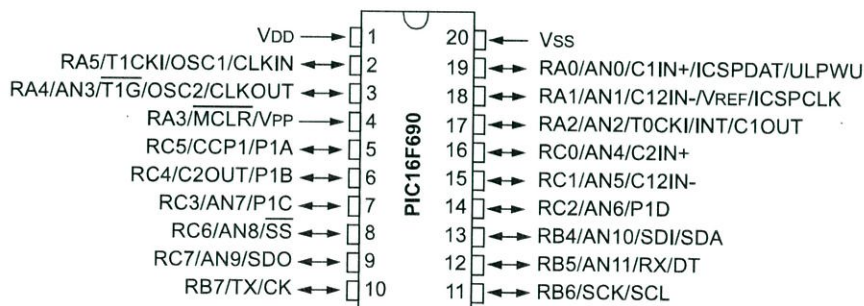
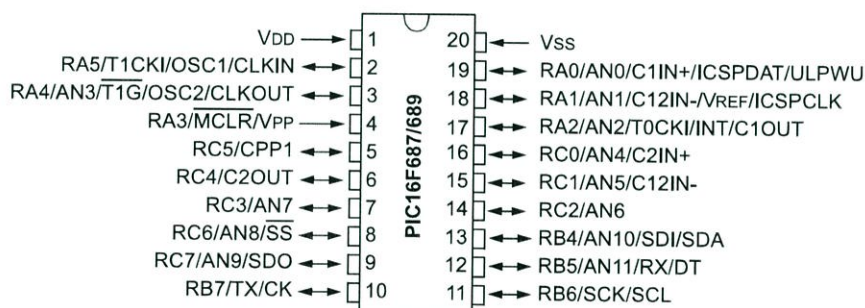
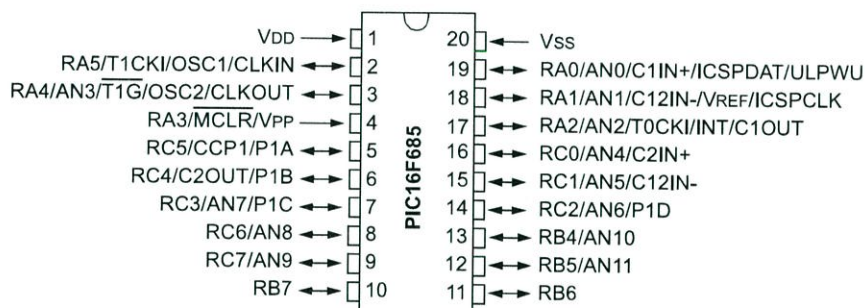
- 17 I/O pins and 1 input only pin:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-pin change
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of VDD)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - Timer 1 Gate Sync Latch
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 12 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Option to use OSC1 and OSC2 in LP mode as Timer1 oscillator if INTOSC mode selected
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ module:
 - 16-bit Capture, max resolution 12.5 ns
 - Compare, max resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Synchronous Serial Port (SSP):
 - SPI™ mode (Master and Slave)
- I²C™ (Master/Slave modes):
 - I²C™ address mask
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins

PIC16F685/687/689/690

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	Comparators	Timers 8/16-bit	SSP	ECCP+	EUSART
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F685	4096	256	256	18	12	2	2/1	No	Yes	No
PIC16F687	2048	128	256	18	12	2	1/1	Yes	No	Yes
PIC16F689	4096	256	256	18	12	2	1/1	Yes	No	Yes
PIC16F690	4096	256	256	18	12	2	2/1	Yes	Yes	Yes

Pin Diagrams

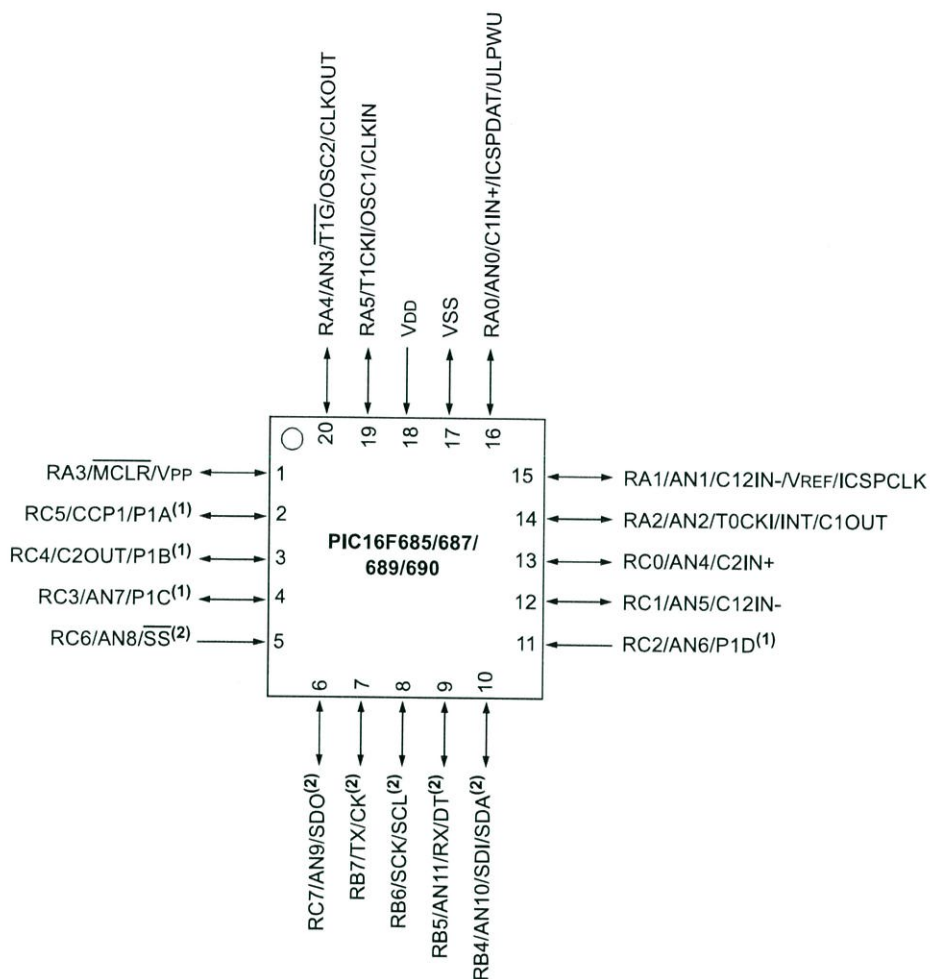
20-pin PDIP, SOIC, SSOP



PIC16F685/687/689/690

Pin Diagrams (Continued)

20-pin QFN



Note 1: P1A, P1B, P1C and P1D are available on PIC16F685/PIC16F690 only.

Note 2: SS, SDO, SDA, RX and DT available on PIC16F687/PIC16F689/PIC16F690 only.

PIC16F685/687/689/690

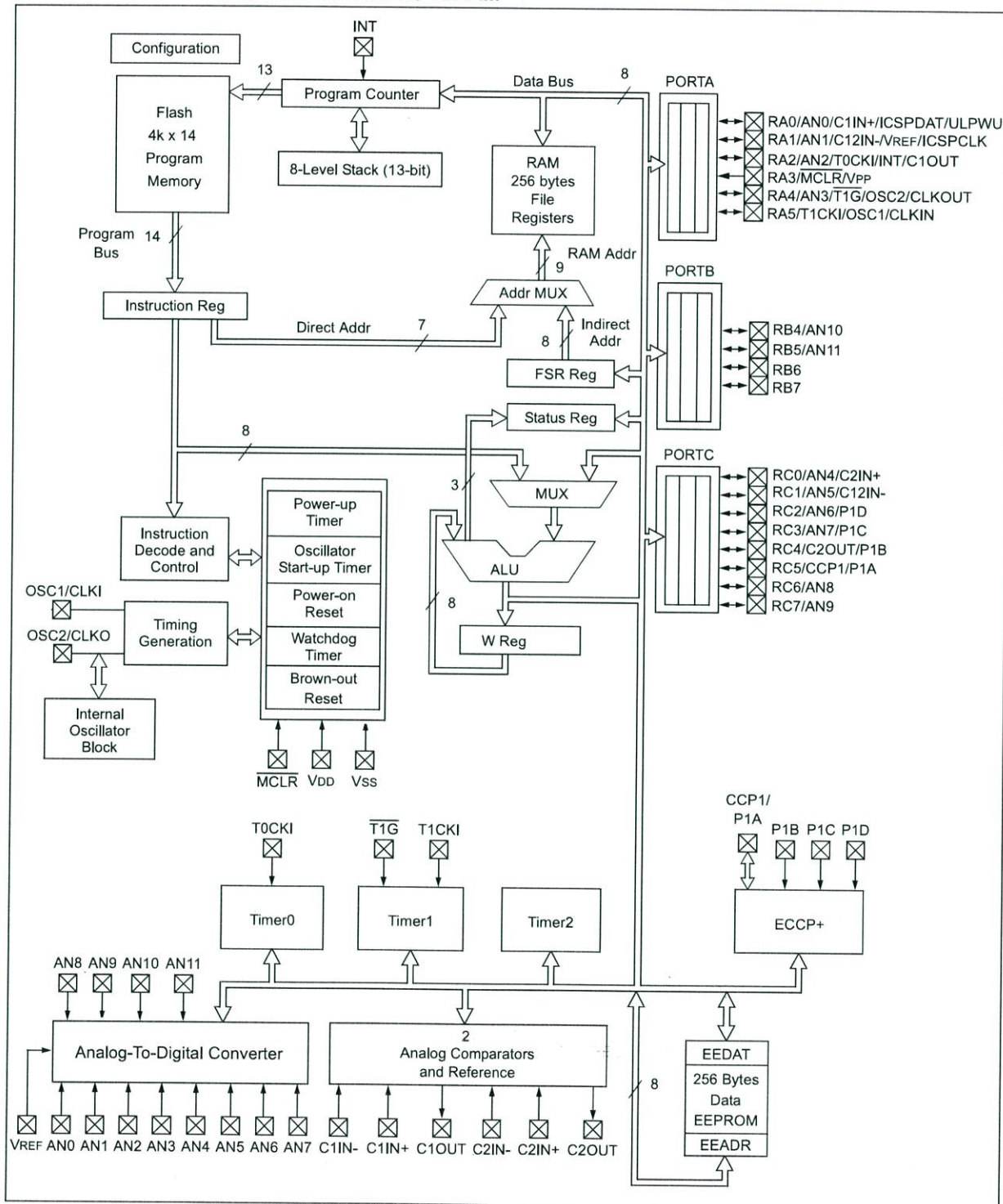
1.0 DEVICE OVERVIEW

The PIC16F685/687/689/690 devices are covered by this data sheet. They are available in 20-pin PDIP, SOIC, TSSOP and QFN packages.

Block Diagrams and pinout descriptions of the devices are as follows:

- PIC16F685 (Figure 1-1, Table 1-1)
- PIC16F687/PIC16F689 (Figure 1-2, Table 1-2)
- PIC16F690 (Figure 1-3, Table 1-3)

FIGURE 1-1: PIC16F685 BLOCK DIAGRAM



PIC16F685/687/689/690

TABLE 1-1: PINOUT DESCRIPTION – PIC16F685

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0/C1IN+/ICSPDAT/ ULPWU	RA0	TTL	—	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN0	AN	—	A/D Channel 0 input.
	C1IN+	AN	—	Comparator 1 positive input.
	ICSPDAT	TTL	CMOS	ICSP™ Data I/O.
	ULPWU	AN	—	Ultra Low-Power Wake-up input.
RA1/AN1/C12IN-/VREF/ICSPCLK	RA1	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN1	AN	—	A/D Channel 1 input.
	C12IN-	AN	—	Comparator 1 or 2 negative input.
	VREF	AN	—	External Voltage Reference for A/D.
	ICSPCLK	ST	—	ICSP™ clock.
RA2/AN2/T0CKI/INT/C1OUT	RA2	ST	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN2	AN	—	A/D Channel 2 input.
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input.
	INT	ST	—	External interrupt pin.
	C1OUT	—	CMOS	Comparator 1 output.
RA3/MCLR/VPP	RA3	TTL	—	General purpose input. Individually controlled interrupt-on-change.
	MCLR	ST	—	Master Clear with internal pull-up.
	VPP	HV	—	Programming voltage.
RA4/AN3/T1G/OSC2/CLKOUT	RA4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN3	AN	—	A/D Channel 3 input.
	T1G	ST	—	Timer1 gate input.
	OSC2	—	XTAL	Crystal/Resonator.
	CLKOUT	—	CMOS	Fosc/4 output.
RA5/T1CKI/OSC1/CLKIN	RA5	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
	OSC1	XTAL	—	Crystal/Resonator.
	CLKIN	ST	—	External clock input/RC oscillator connection.
RB4/AN10	RB4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN10	AN	—	A/D Channel 10 input.
RB5/AN11	RB5	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN11	AN	—	A/D Channel 11 input.
RB6	RB6	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
RB7	RB7	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
RC0/AN4/C2IN+	RC0	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN4	AN	—	A/D Channel 4 input.
	C2IN+	AN	—	Comparator 2 positive input.

Legend: AN = Analog input or output CMOS = CMOS compatible input or output
TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage XTAL = Crystal

PIC16F685/687/689/690

TABLE 1-1: PINOUT DESCRIPTION – PIC16F685 (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RC1/AN5/C12IN-	RC1	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN5	AN	—	A/D Channel 5 input.
	C12IN-	AN	—	Comparator 1 or 2 negative input.
RC2/AN6/P1D	RC2	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN6	AN	—	A/D Channel 6 input.
	P1D	—	CMOS	PWM output.
RC3/AN7/P1C	RC3	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN7	AN	—	A/D Channel 7 input.
	P1C	—	CMOS	PWM output.
RC4/C2OUT/P1B	RC4	ST	CMOS	General purpose I/O.
	C2OUT	—	CMOS	Comparator 2 output.
	P1B	—	CMOS	PWM output.
RC5/CCP1/P1A	RC5	ST	CMOS	General purpose I/O.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare input.
	P1A	ST	CMOS	PWM output.
RC6/AN8	RC6	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN8	AN	—	A/D Channel 8 input.
RC7/AN9	RC7	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN9	AN	—	A/D Channel 9 input.
Vss	Vss	Power	—	Ground reference.
VDD	VDD	Power	—	Positive supply.

Legend: AN = Analog input or output CMOS = CMOS compatible input or output
TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage XTAL = Crystal

UTC S8050 NPN EPITAXIAL SILICON TRANSISTOR

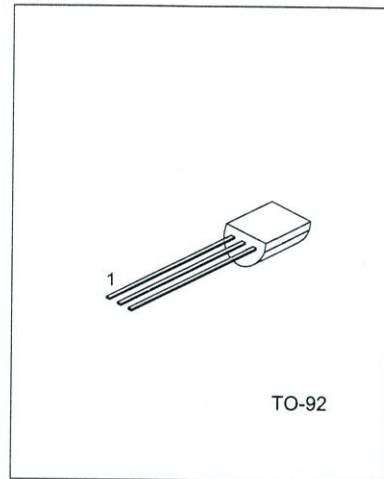
LOW VOLTAGE HIGH CURRENT
SMALL SIGNAL NPN
TRANSISTOR

DESCRIPTION

The UTC S8050 is a low voltage high current small signal NPN transistor, designed for Class B push-pull audio amplifier and general purpose applications.

FEATURES

- *Collector current up to 700mA
- *Collector-Emitter voltage up to 20 V
- *Complementary to S8550



1:EMITTER 2:BASE 3: COLLECTOR

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-Base Voltage	V _{CB0}	30	V
Collector-Emitter Voltage	V _{CE0}	20	V
Emitter-Base Voltage	V _{EB0}	5	V
Collector Dissipation(Ta=25°C)	P _c	1	W
Collector Current	I _c	700	mA
Junction Temperature	T _j	150	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Collector-Base Breakdown Voltage	BV _{CB0}	I _c =100μA, I _E =0	30			V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV _{CE0}	I _c =1mA, I _B =0	20			V
Emitter-Base Breakdown Voltage	BV _{EB0}	I _E =100μA, I _c =0	5			V
Collector Cut-Off Current	I _{CBO}	V _{CB} =30V, I _E =0			1	μA
Emitter Cut-Off Current	I _{EBO}	V _{EB} =5V, I _c =0			100	nA
DC Current Gain(note)	hFE ₁	V _{CE} =1V, I _c =1mA	100	110	400	
	hFE ₂	V _{CE} =1V, I _c =150 mA	120			
	hFE ₃	V _{CE} =1V, I _c =500mA	40			
Collector-Emitter Saturation Voltage	V _{CE(sat)}	I _c =500mA, I _B =50mA			0.5	V
Base-Emitter Saturation Voltage	V _{BE(sat)}	I _c =500mA, I _B =50mA			1.2	V
Base-Emitter Saturation Voltage	V _{BE}	V _{CE} =1V, I _c =10mA			1.0	V
Current Gain Bandwidth Product	f _T	V _{CE} =10V, I _c =50mA	100			MHz
Output Capacitance	C _{ob}	V _{CB} =10V, I _E =0 f=1MHz		9.0		pF

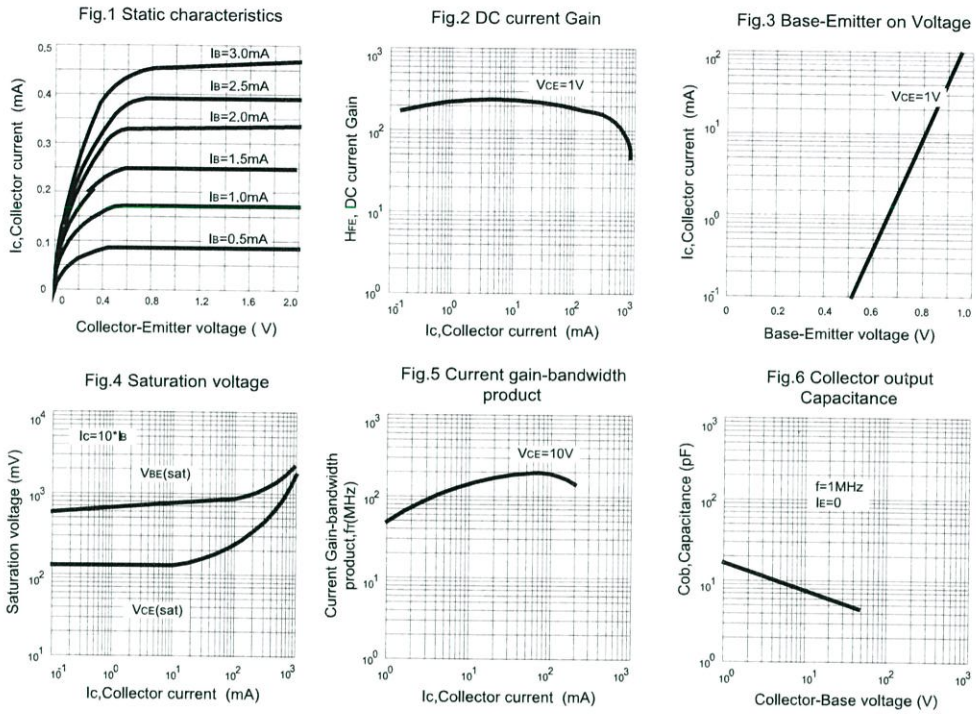
UTC UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD. 1

UTC S8050 NPN EPITAXIAL SILICON TRANSISTOR

CLASSIFICATION OF h_{FE2}

RANK	C	D	E
RANGE	120-200	160-300	280-400

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS





S8550

TRANSISTOR (PNP)

FEATURES

Power dissipation

$$P_{CM} : 0.625 \text{ W (} T_{amb}=25^{\circ}\text{C)}$$

Collector current

$$I_{CM} : - 0.5 \text{ A}$$

Collector-base voltage

$$V_{(BR)CBO} : - 40 \text{ V}$$

TO-92



- 1. EMITTER
- 2. BASE
- 3. COLLECTOR

1 2 3

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

Parameter	Symbol	Test conditions	MIN	TYP	MAX	UNIT
Collector-base breakdown voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = -100 \mu\text{A}$, $I_E = 0$	-40			V
Collector-emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 0.1 \text{ mA}$, $I_B = 0$	-25			V
Emitter-base breakdown voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = -100 \mu\text{A}$, $I_C = 0$	-5			V
Collector cut-off current	I_{CBO}	$V_{CB} = -40 \text{ V}$, $I_E = 0$			-0.1	μA
Collector cut-off current	I_{CEO}	$V_{CE} = -20 \text{ V}$, $I_B = 0$			-0.2	μA
Emitter cut-off current	I_{EBO}	$V_{EB} = -3 \text{ V}$, $I_C = 0$			-0.1	μA
DC current gain(note)	$H_{FE(1)}$	$V_{CE} = -1 \text{ V}$, $I_C = 50\text{mA}$	85		300	
	$H_{FE(2)}$	$V_{CE} = -1 \text{ V}$, $I_C = 500\text{mA}$	50			
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 500\text{mA}$, $I_B = 50 \text{ mA}$			-0.6	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 500\text{mA}$, $I_B = 50 \text{ mA}$			-1.2	V
Base-emitter voltage	V_{BE}	$I_E = -100\text{mA}$			-1.4	V
Transition frequency	f_T	$V_{CE} = 6 \text{ V}$, $I_C = 20\text{mA}$ $f = 30\text{MHz}$	150			MHz

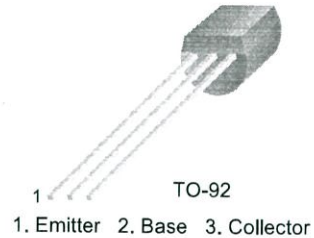
CLASSIFICATION OF $H_{FE(1)}$

Rank	B	C	D
Range	85-160	120-200	160-300

SS9014

Pre-Amplifier, Low Level & Low Noise

- High total power dissipation. ($P_T=450\text{mW}$)
- High h_{FE} and good linearity
- Complementary to SS9015



NPN Epitaxial Silicon Transistor

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

Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	50	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	45	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	450	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CBO}	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C=100\mu\text{A}, I_E=0$	50			V
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=1\text{mA}, I_B=0$	45			V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=100\mu\text{A}, I_C=0$	5			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=50\text{V}, I_E=0$			50	nA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB}=5\text{V}, I_C=0$			50	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=1\text{mA}$	60	280	1000	
$V_{CE}(\text{sat})$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		0.14	0.3	
$V_{BE}(\text{sat})$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		0.84	1.0	V
$V_{BE}(\text{on})$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$	0.58	0.63	0.7	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0$ $f=1\text{MHz}$		2.2	3.5	pF
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}$	150	270		MHz
NF	Noise Figure	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=0.2\text{mA}$ $f=1\text{KHz}, R_S=2\text{K}\Omega$		0.9	10	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C	D
h_{FE}	60 ~ 150	100 ~ 300	200 ~ 600	400 ~ 1000

Typical Characteristics

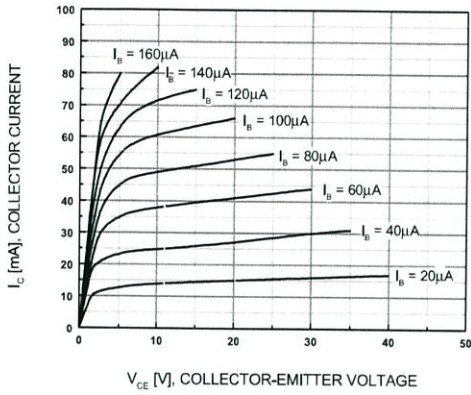


Figure 1. Static Characteristic

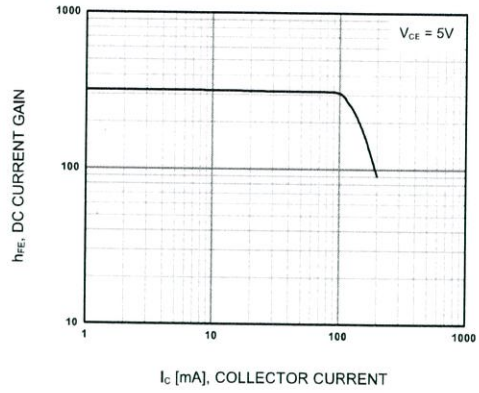


Figure 2. DC current Gain

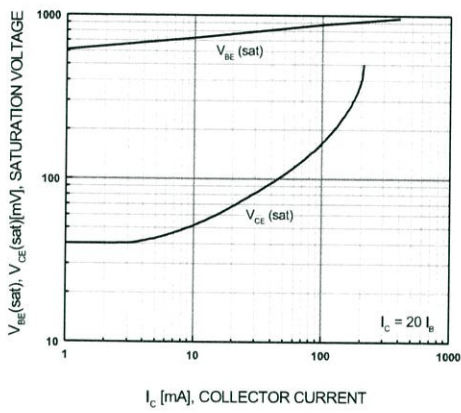


Figure 3. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

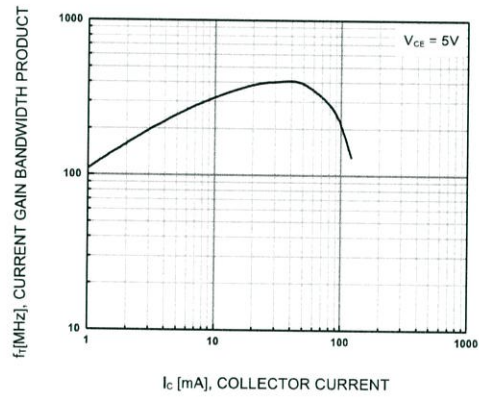


Figure 4. Current Gain Bandwidth Product