สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

DC POWER SUPPLY

นายณรงค์ศักดิ์ แก้วกัญญา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45849
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC POWER SUPPLY

NARONGSAK KAEWKANYA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
DC POWER SUPPLY

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณรงค์ศักดิ์ แก้วกัญญา **รหัสประจำตัว** 38014138

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 22 ตุลาคม 2545

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง DC POWER SUPPLY
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณรงค์ศักดิ์ แก้วกัญญา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบ และสร้างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ที่มีคุณสมบัติจ่ายศักดากระแสตรงที่เอาท์พุทปรับค่าได้ตั้งแต่ -31 ถึง 0 โวลท์ และ 0 ถึง 31 โวลท์ จ่ายศักดาแบบอิสระต่อกันซึ่งสามารถจ่ายกระแสสูงสุด 1 แอมป์ และมีแหล่งจ่ายไฟคงที่ 5 โวลท์ จ่ายกระแสได้ 500 มิลลิแอมป์ โดยแต่ละส่วนจะมีวงจรป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาท์พุท โดยอาศัยหลักของการจำกัดกระแส

ท้ายสุดได้ทำแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่สามารถใช้งานตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ ทั้งยังได้มีการทดสอบคุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ออกแบบขึ้นในเรื่องของโหลดเรกกูเลชั่น, ไลน์เรกกูเลชั่น และริปเปิ้ล โดยแสดงผลในรูปแบบของดิจิตอลมิเตอร์ เพื่อสะดวกในการนำข้อมูลมาศึกษาและทำการปรับปรุงคุณภาพของแหล่งจ่ายไฟนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	dc power supply
Authors	Mr.Narongsak kaewkunya
Thesis Advisor	Asst.Prof.Prasit Julsereewong
Year	2001

ABSTRACT

This report describes the design and building a DC POWER SUPPLY that can vary the output voltage from -31 to 0 volt and 0 to +31 volt, with the maximum output current 1.0Amp, also the fixed output voltage 5 volt, with the maximum output current 0.5 Amp is included in this power supply. In each part, there is a protection circuit to protect the components when output is shorted circuit. At the end, power supply has been working successfully as we design. The linear power supply has been tested for the property of load regulation, line regulation, ripple and output value have been shown in the tables in this report.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานเรื่องแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือให้คำแนะนำจาก อาจารย์ภาคเทคโนโลยีการวัดคุม และได้รับความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ จากภาคเทคโนโลยีการวัดคุม ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านอย่างที่สุด และขอกราบของพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ ขอกราบของพระคุณบุพการี และญาติมิตร พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนอำนวยความสะดวก และเป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำเสมอมา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **I**

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **II**

กิตติกรรมประกาศ ..... **III**

สารบัญ ..... **IV**

สารบัญตาราง ..... **VI**

สารบัญภาพ ..... **VII**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงาน 1

1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ 2

1.4 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี **2**

2.1 โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น 3

2.2 องค์ประกอบของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น 3

2.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) 3

2.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) 7

2.2.3 วงจรกรองแรงดัน (Filter) 10

2.2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (regulator) 15

2.3 ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ (DIGITAL VOLMETER) 25

2.3.1 วงจร ADC 25

2.3.2 วงจรแสดงผล 28

2.3.3 วงจรควบคุมการเชื่อมต่อวงจร ADC กับวงจรส่วนแสดงผล 30

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง **38**

3.1 ส่วนประกอบของวงจร DC Power Supply 38

3.1.1 ภาคจ่ายไฟเลี้ยงของระบบ 38

3.1.2 ภาคอินพุทของวงจรขยาย 39

3.2 วงจรขยาย 39

3.2.1 วงจรขยายแรงดัน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 วงจรขยายกระแสเอาท์พุทด้านไฟบวก 40
3.2.3 วงจรขยายมีการป้อนกลับ 41
3.2.4 วงจรขยายกระแสเอาท์พุทด้านไฟลบ 44
3.2.5 วงจรเอาท์พุทบวก 5 โวลท์คงที่ 45
3.3 การสร้าง 45
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 49
4.1 โหลดเรกูเลชั่น (Load Regulation) 49
4.1.1 ตารางบันทึกด้านไฟบวก 50
4.1.2 ตารางบันทึกด้านไฟลบ 50
4.2 การวัดค่าริปเปิ้ล 51
4.3 การทดสอบการลัดวงจร 51
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ 51
บรรณานุกรม 52
ภาคผนวก 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงฟังก์ชั่นการทำงานของไอซี 74121.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรง	3
2.2 แกนเหล็ก	5
2.3 ขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิอย่างละขด	5
2.4 ขดลวดปฐมภูมิ หลายขดทุติยภูมิ	5
2.5 แบบขดปฐมภูมิมีแทปแยกออกมา	6
2.6 แบบขดทุติยภูมิมีแทปแยกออกมาหลายแทปเพื่อใช้จ่ายไฟทั้งแบบบวกและลบได้	6
2.7 แบบขดทุติยภูมิมีแทปขดลวดเพียงขดเดียว	6
2.8 แสดงหลักการทำงานของวงจร Half - Wave Rectifier	7
2.9 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก	8
2.10 แสดงการทำงานเพื่อป้องกันสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ	8
2.11 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง	8
2.12 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	9
2.13 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก	9
2.14 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ	10
2.15 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	11
2.16 ลักษณะของสัญญาณแรงดัน	11
2.17 แบบที่ 1 RLC >> Frequency ซึ่งไม่มีประโยชน์เนื่องจากสัญญาณก็ยังขาดเป็นช่วงๆ	12
2.18 แบบที่ 2 แบบที่ 2 RLC >> 1/Frequency ได้สัญญาณต่อเนื่อง	13
2.19 การกำหนดขนาดของแรงดันกระเพื่อม	13
2.20 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบใช้ซีเนอร์ไดโอด	16
2.21 วงจรแสดงแรงดันคร่อมซีเนอร์ไดโอดด้วยแรงดัน	16
2.22 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์	17
2.23 วงจรเรกกูเลเตอร์ใช้ทรานซิสเตอร์แบบปรับค่าได้	18
2.24 วงจรเรกกูเรเตอร์ใช้ไอซี	19
2.25 วงจรเรกกูเรเตอร์แบบใช้ไอซีและใช้ทรานซิสเตอร์ขยายกระแส	19
2.26 วงจรเรกกูเรเตอร์ไฟลบแบบใช้ไอซี	20
2.27 วงจรเรกกูเรเตอร์ปรับค่าได้แบบพื้นฐาน	21
2.28 วงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าได้โดยใช้ LM317 กับการจำกัดกระแส	21
2.29 ออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-Amp)	23
2.30 วงจรขยายกลับเฟส	23

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.31 วงจรขยายไม่กลับเฟส 24

2.32 บล็อกไดอะแกรมวงจร ADC 25

2.33 วงจร DAC แบบ Weight resister ladder 26

2.34 วงจร DAC แบบ R-2R ladder 26

2.35 วงจรส่วนเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุทกับสัญญาณจาก ADC 27

2.36 วงจรนับของภาค ADC 28

2.37 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอลให้แสดงผลเป็นตัวเลข 29

2.38 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้แสดงผลเป็นตัวเลข 29

2.39 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อของอินพุทและเอาท์พุท 30

2.40 แสดงแรงดันที่ได้จากเอาท์พุท DAC เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุท 31

2.41 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทอยู่ระหว่าง V_{DACMIN} กับ V_{DACMAX} 31

2.42 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทมากกว่า V_{DACMAX} 31

2.43 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMIN} 32

2.44 วงจรโมโนสเตเบิลในช่วงเวลา T_1 34

2.45 วงจรโมโนสเตเบิลสำหรับช่วงเวลา T2 35

2.46 การต่อวงจรกำหนดสัญญาณนาฬิกาใช้ไอซี 35

2.47 วงจรสมบูรณ์ของส่วนกำเนิดนาฬิกา 36

2.48 วงจรดิจิตอลโวลว์มิเตอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้น 37

3.1 ภาคจ่ายไฟหลักของเครื่อง 38

3.2 วงจรปรับแรงดันอินพุท 39

3.3 วงจร Differential Amplifier 40

3.4 วงจรขยายเอาท์พุทด้านไฟบวก 41

3.5 แผนผังแสดงการป้อนกลับ 41

3.6 วงจรแสดงการป้อนกลับ 42

3.7 วงจรสมบูรณ์ทางด้านไฟบวก 43

3.8 วงจรสมบูรณ์ทางด้านไฟลบ 44

3.9 วงจรขยายกระแสด้านไฟลบ 45

3.10 วงจรสมบูรณ์แรงดันคงที่ 5 โวลท์ 45

4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโหลดกับแรงดันเอาท์พุท 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงขั้นตอน และวิธีการในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น (Linear DE Power Supply) รวมทั้งรูปแสดงวงจร และผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟตรงเครื่องนี้ โดยเนื้อหาของรายงานได้มีการแบ่งออกเป็นบทต่างๆ รายละเอียดของรายงานแต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น โดยมีการอธิบายถึงส่วนประกอบพื้นฐาน หน้าที่แต่ละส่วน และความสัมพันธ์ในการทำงานของแต่ละส่วนในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้

บทที่ 3 การออกแบบ จะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบส่วนต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง จะกล่าวถึงการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ออกแบบขึ้น

บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงงาน

ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนั้นเริ่มจากการศึกษาการทำงานในแต่ละส่วนของแหล่งจ่ายไฟตรงโดยละเอียด เมื่อเกิดความเข้าใจแล้วจึงทำการออกแบบวงจรทีละส่วน และทำการทดสอบควบคู่กันไป โดยจะทำการทดลองบนโปรโตบอร์ดก่อน เมื่อได้ผลตามที่ต้องการแล้ว จึงเริ่มการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรมโพรเทล พีซีบี (Protel PCB) และทำการกัดปรินท์ ตามลายวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากนั้นทำการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นปรินท์ แล้วทำการทดลองคุณสมบัติต่างๆ ของวงจร เมื่อได้คุณสมบัติตามที่ออกแบบไว้จึงนำมาประกอบลงกล่อง หลังจากนั้นก็ทำการทดสอบคุณสมบัติในขณะที่เป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วอีกครั้งหนึ่ง ก็เสร็จสิ้นกระบวนการสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ คือ การสร้างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ ตั้งแต่ 0 ถึง $\pm$31 โวลท์ จ่ายกระแสได้ 1 แอมป์ และส่วนของวงจรจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ 5 โวลท์ จ่ายกระแสได้ 500 มิลลิแอมป์ โดยทุกส่วนจะต้องมีวงจรป้องกัน การเสียหายของส่วนต่างๆ ภายในแหล่งจ่ายไฟเมื่อมีการลัดวงจร (short circuit) เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ

โครงงานแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้ ได้มีการออกแบบวงจรเพื่อใช้จ่ายกระแสและแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งหากในการใช้งานต้องการแรงดันและกระแสที่สูงกว่านี้ก็สามารถนำทฤษฎีการออกแบบของโครงงานนี้ไปทำการออกแบบวงจรเพื่อให้ได้กระแสและแรงดันตามที่ต้องการได้ ซึ่งทฤษฎีการออกแบบที่ได้แสดงไว้ในรายงานฉบับนี้มีรายละเอียดเพียงพอที่จะทำการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพดีพอสมควร

1.4 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

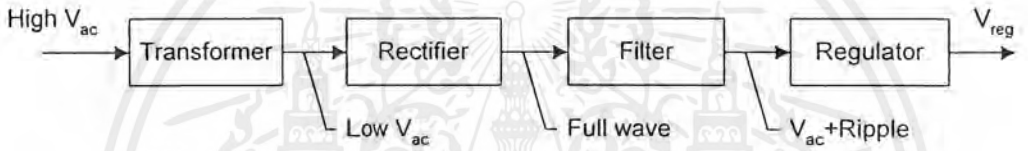
เนื่องจากวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ซึ่งหากเราสามารถทำการออกแบบและสร้างวงจรในส่วนของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้แล้วก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประกอบเป็นวงจรอื่นๆ ต่อไป ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น นอกจากจะเป็นพื้นฐานสำคัญของวงจรอื่นแล้วยังสามารถนำแหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้จากโครงงานนี้ไปใช้ในการทดลองกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น

แหล่งจ่ายไฟตรง (Power Supply) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสสลับแรงดันประมาณ 220 โวลต์ ให้มาเป็นไฟกระแสตรงแรงดันต่ำตามแรงดันที่เราต้องการ ซึ่งเราสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำได้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรง

ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ลดขนาดของไฟกระแสสลับจาก 220 โวลต์ ให้ต่ำลงโดยเราจะได้เป็นแรงดันไฟสลับที่มีขนาดลดลงแต่ความถี่จะเท่าเดิม

2. วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟสลับที่หม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรง โดยอาศัยคุณสมบัติของไดโอดในการให้กระแสไฟไหลได้ทางเดียว

3. วงจรกรองแรงดัน (Filter) ทำหน้าที่กรองแรงดันที่ผ่านมาจากวงจรเรียงกระแสให้มีการกระเพื่อม (Ripple) ต่ำลง โดยอาศัยการเก็บประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ของตัวเก็บประจุ (Capacitor) โดยไฟกระแสตรงที่ได้เป็นไฟตรงที่ยังมีการกระเพื่อมสูงพอสมควร ขึ้นกับขนาดของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้

4. เรกกูเลเตอร์ (Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมความสม่ำเสมอของระดับแรงดันทางเอาท์พุท และปรับแรงดันให้ราบเรียบที่สุด มักใช้ซีเนอร์ไดโอด หรือไอซีเรกกูเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หลักในการควบคุมแรงดัน นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการป้องกันเอาท์พุทลัดวงจร และป้องกันโหลดดึงกระแสมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 องค์ประกอบของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น

2.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้มีขนาดแรงดันสูงขึ้น หรือต่ำลงตามต้องการ โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำฟลักซ์แม่เหล็กในขดลวด โดยขดลวดด้านไฟเข้าเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary) ขดลวดด้านไฟออกเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของทั้ง 2 ขด ดังนี้

$$V_P I_P = V_S I_S \qquad (2.1)$$

V_P คือ แรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิ

V_S คือ แรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดทุติยภูมิ

I_P คือ กระแสที่ไหลในขาดปฐมภูมิ

I_S คือ กระแสที่ไหลในขดทุติยภูมิ

และอัตราส่วนของแรงดันจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$V_P/V_S = N_P/N_S \qquad (2.2)$$

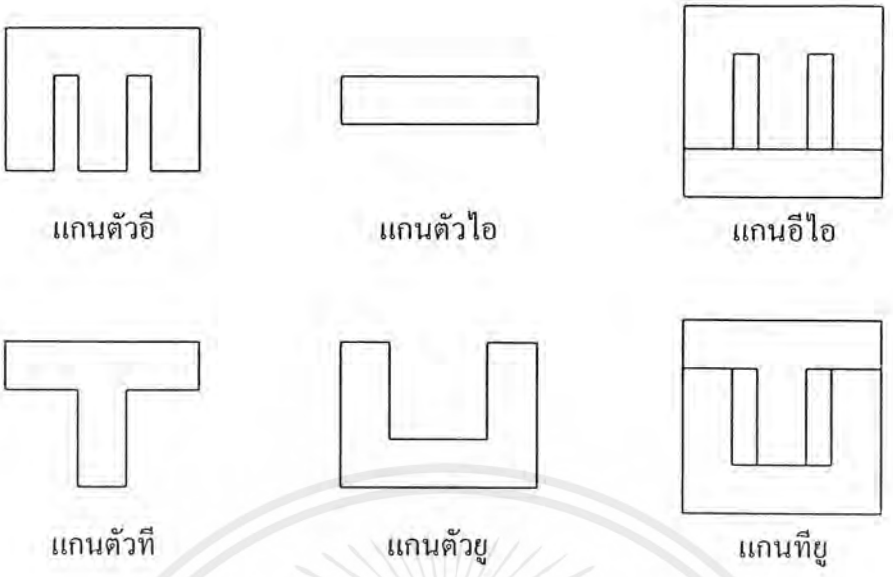
N_P คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ

N_S คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ

ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. แกนเหล็ก จะใช้แผ่นเหล็กบางๆ หลายๆ แผ่นมาซ้อนทับกันเพื่อลด Eddy Current loss (ความสูญเสียจากกระแสเหนี่ยวนำในแกนเหล็กทิศตรงข้ามกับที่เราป้อนให้) ซึ่งแกนเหล็กนี้มีหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะตัวอี (E) ตัวไอ (I) ตัวที (T) ตัวยู (U) ซึ่งเวลานำไปใช้จริงจะใช้แกนเหล็กรูปตัวอี คู่กับตัวไอ เรียกแกนอีไอ (EI) หรือจะนำแกนเหล็กรูปตัวที คู่กับตัวยู เรียกแกนยูที (UT) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แกนเหล็ก

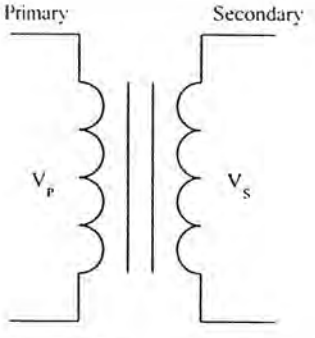
2. **Bobbin** ที่พันขดลวดทำด้วยพลาสติก
3. ขดลวด ทำจากทองแดงอาบน้ำยาที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. **POWER TRANSFORMER**
   - ใช้เพิ่ม, ลดขนาดของแรงดัน
   - ทำหน้าที่เป็นตัวแยก (Isolation) ระหว่างจ่ายไฟ และอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีลักษณะการพันได้หลายแบบตามลักษณะการนำไปใช้ ดังนี้

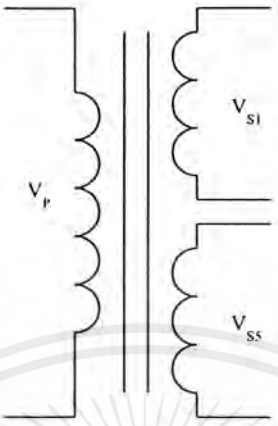
1) แบบใช้ขดลวด 2 ขด คือ ขดปฐมภูมิ ขดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.3 ขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิอย่างละขด

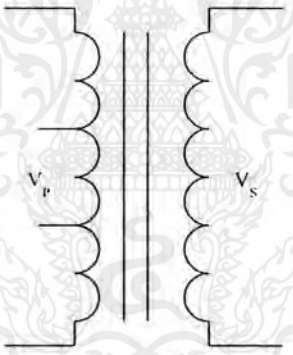
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบขดปฐมภูมิขดเดี่ยว ลวดขดทุติยภูมิ ใช้เมื่อต้องการแรงดันที่ขดทุติยภูมิหลายขนาด โดยสามารถพันอยู่ในหม้อแปลงตัวเดียวกันได้เลย โดยไม่ต้องแยกตัว



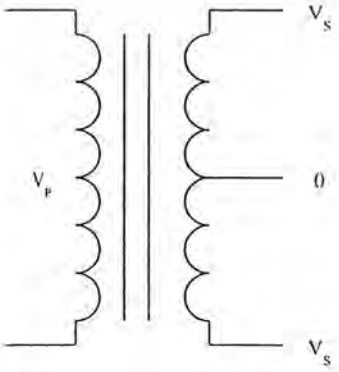
รูปที่ 2.4 ขดลวดปฐมภูมิ หลายขดทุติยภูมิ

3) แบบที่ขดปฐมภูมิมีแทปแยกออกมาให้สามารถเลือกใช้เพื่อให้ได้เอาท์พุทตามต้องการได้



รูปที่ 2.5 แบบขดปฐมภูมิมีแทปแยกออกมา

4) แบบขดทุติยภูมิมีแทปแยกออกมาหลายแทปเพื่อใช้จ่ายไฟทั้งแบบบวกและลบได้

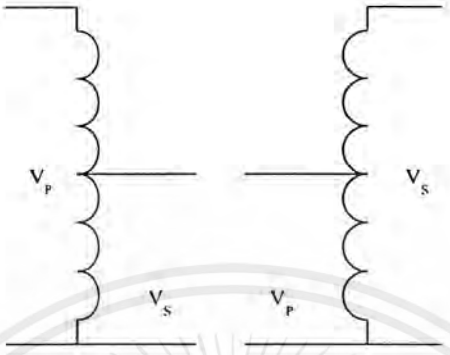


รูปที่ 2.6 แบบขดทุติยภูมิมีแทปแยกออกมาหลายแทปเพื่อใช้จ่ายไฟทั้งแบบบวกและลบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. AUTO TRANSFORMER

ใช้ขดลวดเพียงขดเดียวแต่มีข้อเสีย คือ ไม่เป็นตัวแยกกันระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ



รูปที่ 2.7 แบบขดทุติยภูมิมีแทปขดลวดเพียงขดเดียว

2.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

คือ วงจรที่ใช้แปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง โดยอาศัยคุณสมบัติการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียวของไดโอดเหมือนสวิตช์ทางเดียวสำหรับกระแสไฟฟ้า ซึ่งไฟตรงที่ได้นั้นจะไม่เรียบลักษณะเป็นผลลัพธ์ชิ่งดีซี คือ จะเป็นช่วงๆ ที่มีขั้วแน่นอนโดยวงจรเรคติไฟเออร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีข้อเสีย คือ ให้แรงดันเฉลี่ยเอาท์พุทต่ำ และความไม่สม่ำเสมอสูง ต่างจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งให้แรงดันที่สูงกว่า และเรียบกว่าจึงเป็นเหตุให้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเป็นที่นิยมใช้กันมาก

วงจรเรคติไฟเออร์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. Half-Wave Rectifier (HW)
2. Full-Wave Centertrap Rectifier (FWCT)
3. Full-Wave Bridge Rectifier (FWB)

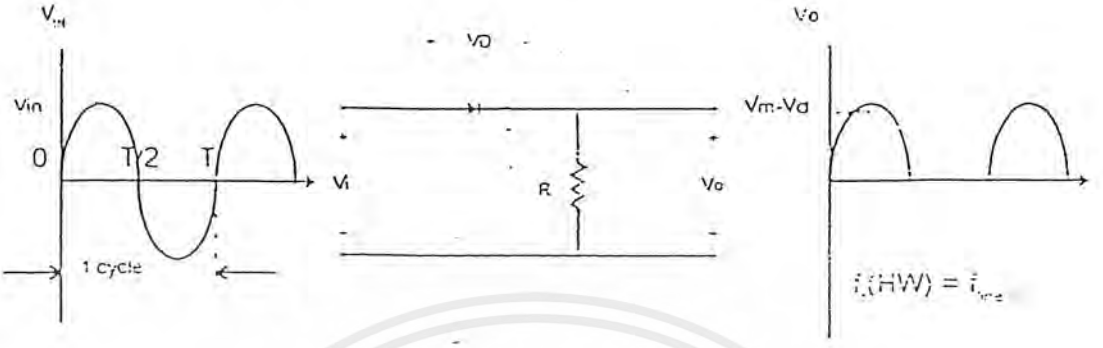
วงจรกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)

เมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 2.8 ป้อนอินพุท V_i เข้าไป วงจรเรคติไฟเออร์นี้จะทำงานโดยอาศัยหลักการนำกระแสทางเดียวของไดโอด คือ

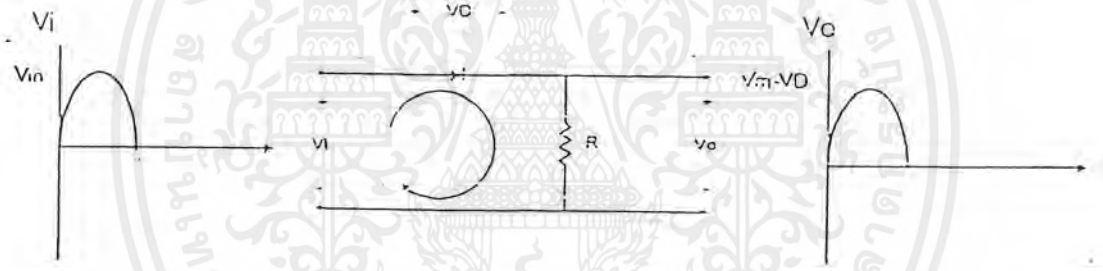
1. เมื่อสัญญาณครึ่งไซเกิลบวกที่มี Amplitude V_m ผ่านเข้าไปในวงจรซึ่งเป็นทิศตามทิศการนำกระแสของไดโอด ไดโอดจะทำงาน โดยมีแรงดันตกคร่อมตัวไดโอด (V_D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดที่ทำจากซิลิกอน (Si) และประมาณ 0.3 โวลต์ สำหรับไดโอดที่ทำจากเจอร์มันเนียม (Ge) และได้สัญญาณเอาท์พุท (V_o) โดยมี Amplitude เท่ากับ $V_m - V_D$

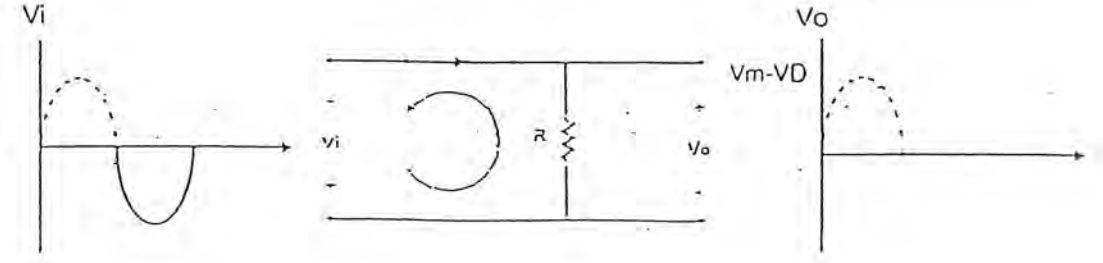


รูปที่ 2.8 แสดงหลักการทำงานของวงจร Half - Wave Rectifier



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก

2. ต่อมาสัญญาณครึ่งไซเคิลลบผ่านเข้าไปในวงจร ซึ่งทิศของกระแสไฟฟ้าไหลทวนทิศการนำกระแสของโอด ไดโอดจึงไม่ทำงานทำให้ได้แรงดันเอาท์พุทเท่ากับศูนย์



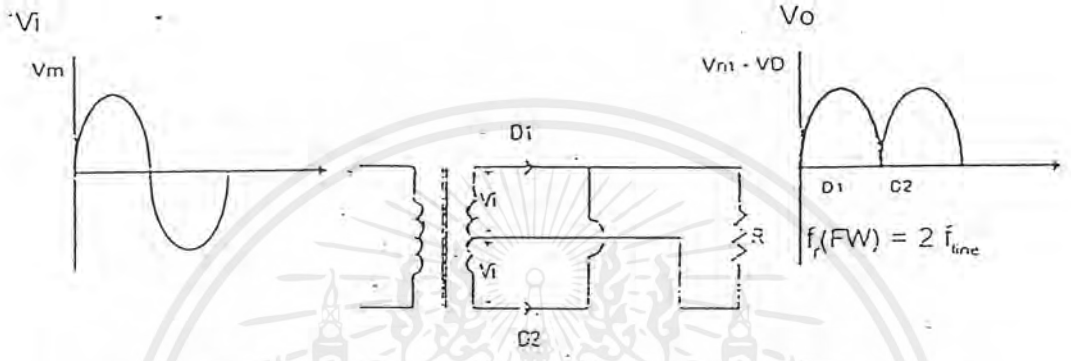
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานเพื่อป้องกันสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{dc} = 0.318\,(N_m - N_D) \qquad (2.3)$$

แต่วงจรเรคติไฟเออร์แบบนี้มีข้อเสีย คือ ให้แรงดันเฉลี่ยทางเอาท์พุทต่ำ และความไม่สม่ำเสมอมีค่าสูง ในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมนำมาใช้

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง



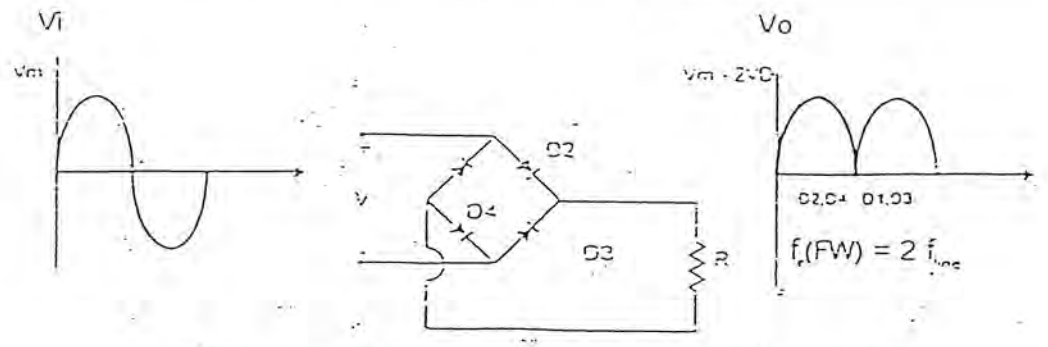
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับวงจรเรียกกระแสแบบครึ่งคลื่น โดยอาศัยการผลัดกันทำงานของไดโอด D_1 และ D_2 เมื่อสัญญาณครึ่งไซเคิลบวกผ่านเข้ามาในวงจรไดโอด D_1 จึงทำให้เกิดสัญญาณเอาท์พุท V_o ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $V_m - V_D$ และเมื่อสัญญาณครึ่งไซเคิลลบผ่านเข้ามาในวงจรไดโอด D_2 จะทำงาน ซึ่งทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุทเช่นเดียวกับสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก จากสูตรของสัญญาณเต็มคลื่น

$$V_{dc} = 2N_p / \pi \qquad (2.3)$$

ดังนั้น $$V_{dc} = 0.636 / (V_m - V_O) \qquad (2.5)$$

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full-Wave Bridge Rectifier)

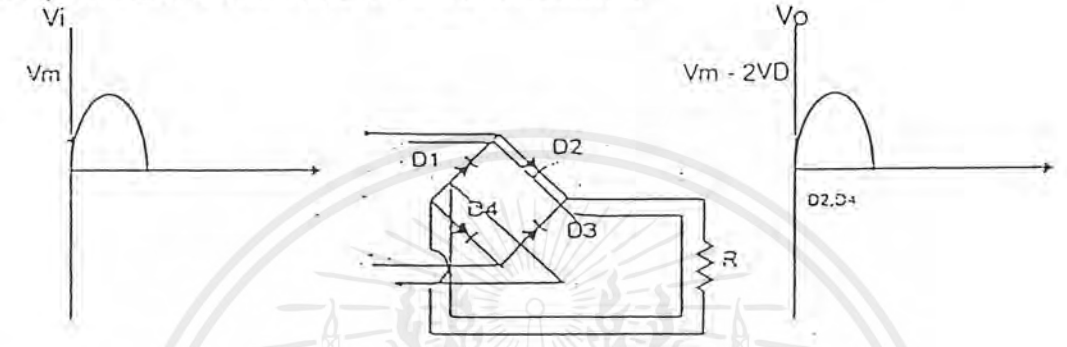


รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

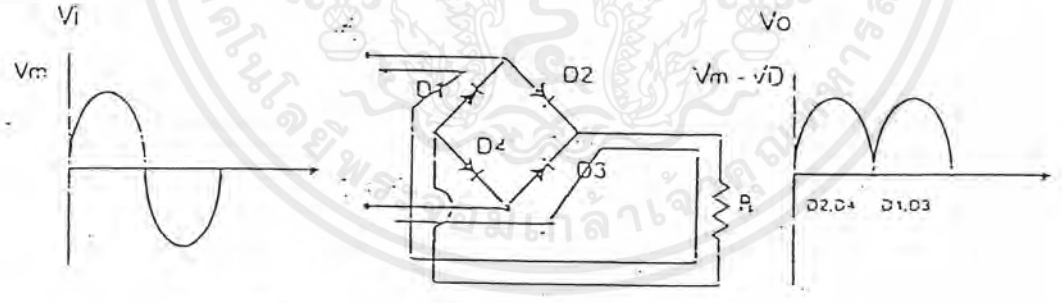
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ อาศัยการทำงานของไดโอดซึ่งนำมาต่อแบบบริดจ์ โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

1. ในช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก ซึ่งป้อนเข้าไปในวงจร ไดโอด D_2 และ D_4 จะทำงานเนื่องจากได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ส่วนไดโอด D_1 และ D_3 จะไม่ทำงานเนื่องจากได้รับไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ทำให้ได้เอาท์พุทดังรูป ซึ่งแรงดันเอาท์พุทจะน้อยกว่าอินพุท เท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด 2 ตัวที่กระแสผ่าน



รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก

2. ในช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ ไดโอด D_1 และ D_3 จะทำงานเนื่องจากได้รับการไบอัสตรงส่วนไดโอด D_2 และ D_4 จะไม่ทำงานเนื่องจากได้รับไบอัสย้อนกลับ ทำให้เอาท์พุทดังรูป



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์กับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะพบว่ามีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยหรือค่าไฟตรงของวงจรแบบเต็มคลื่นจะมากกว่าค่าเฉลี่ยของวงจรแบบครึ่งคลื่น 2 เท่า และแรงดันไฟตรงขาออกก็จะเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟแบบครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่า I_{rms} และกำลังไฟฟ้าสลับ ของไดโอดแต่ละตัวของวงจรแบบเต็มคลื่นนั้นจะเท่ากับของวงจรแบบครึ่งคลื่น ฉะนั้นกำลังไฟฟ้าสลับทั้งหมดก็จะเป็น 2 เท่า

3. พิจารณาไดโอดขณะที่ไม่ทำงาน จะต้องสามารถทนแรงดันกลับขั้วเท่ากับแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิทั้ง 2 ครึ่งคลื่น

การเลือกใช้ไดโอดในวงจรเรคติไฟเออร์

การที่เราจะเลือกขนาดของไดโอดนั้นมี 2 เงื่อนไขด้วยกัน คือ

1. กระแสที่ไหลในทิศทางตรง (Forward bias current : IF) คือ กระแสค่าสูงสุดที่ไดโอดยอมยอมให้ผ่านตัวมันได้เมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงหรือในสภาวะนำกระแส ซึ่งเป็นค่าที่ระบุไว้ในคุณสมบัติของไดโอดเบอร์นั้นๆ ในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยควรจะเลือกให้ทนกระแสได้มากกว่ากระแสโหลด 50 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างน้อย

$IF \geq I_O$: สำหรับวงจร HW

$IF \geq 0.5I_O$: สำหรับวงจร FW

I_O คือ ค่ากระแสเอาท์พุทเฉลี่ย

2. ค่าทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak inverse voltage : PIV) คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ไดโอด จะทนได้เมื่อได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ โดยไม่ทำให้ไดโอดเสียหาย

โดย Minimum PIV สำหรับวงจร HW, $FWCT = 2V_p$

สำหรับ $FWB = V_p$

และควรเผื่อ safety margin อีก 50%

2.2.3 วงจรกรองแรงดัน (Filter)

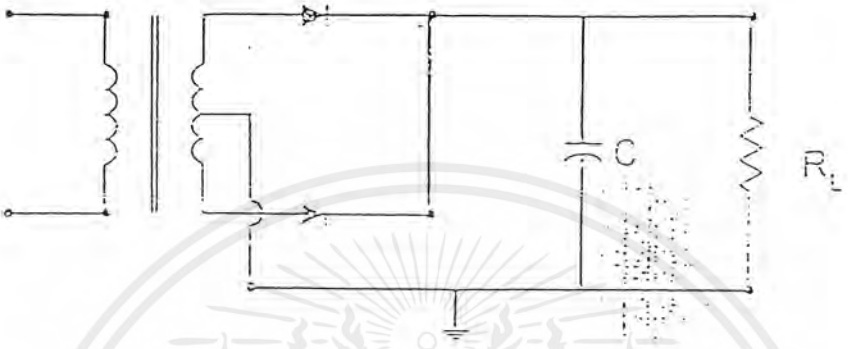
คือ วงจรที่ใช้จัด Frequency spectrum ของ electrical signal ให้เป็นไปตามต้องการ เราจะพบว่าสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรเรียงกระแสมีค่าเป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุทค่อนข้างมาก และในเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่เรียบจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยวงจรกรองแรงดันกรองสัญญาที่เป็นช่วงๆ ให้เรียบขึ้น วงจรกรองแรงดันมีหลายประเภท สำหรับโครงงานนี้เราใช้วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor Filtor)

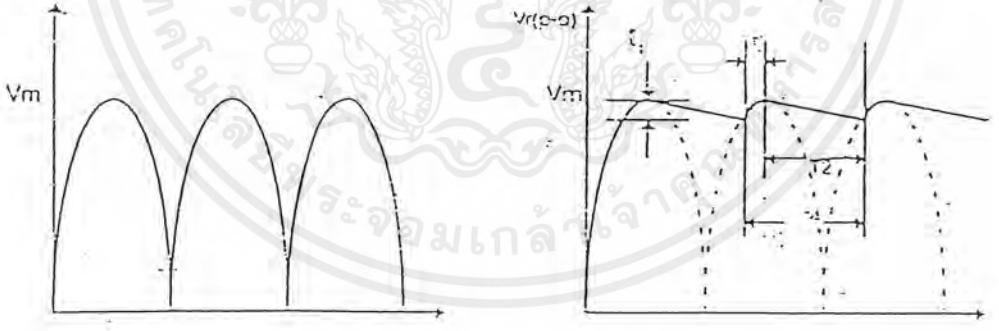
เราใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานเข้าไปหลังส่วนของวงจรเรียงกระแส โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลา T1 ตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน จนกระทั่งช่วงเวลา T2 ซึ่งเป็นช่วงที่ไดโอด ได้ไบอัสย้อนกลับ ตัวเก็บประจุจะคายพลังงาน ซึ่งเป็นการจ่ายกระแสให้กับโหลดแทน ดังนั้นจึงได้ไฟที่เรียบขึ้น



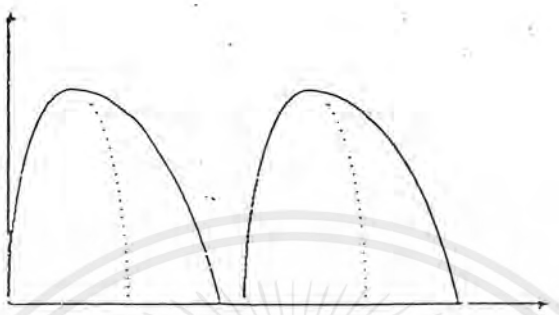
รูปที่ 2.15 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



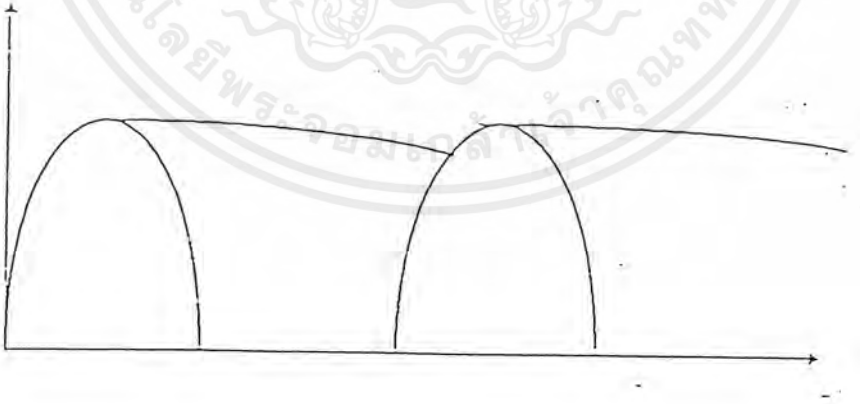
รูปที่ 2.16 ลักษณะของสัญญาณแรงดัน

โดยการที่เราจะไม่ให้แรงดันขาดเป็นช่วงๆ นี้เราจึงต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมากพอ เพื่อให้ค่าคงตัวเวลา (Time constant : τ) มีค่ามากพอ การเลือกขนาดตัวเก็บประจุมีหลักง่ายๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แบบที่ 1 RLC >> Frequency ซึ่งไม่มีประโยชน์เนื่องจากสัญญาณก็ยังขาดเป็นช่วงๆ



รูปที่ 2.18 แบบที่ 2 แบบที่ 2 RLC >> 1/Frequency ได้สัญญาณต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$CV_r = I_O/F_r \qquad (2.7)$$

C คือ ค่าตัวเก็บประจุในหน่วย Farad

V_r คือ แรงดันกระเพื่อมในหน่วย V_{PP}

F_r คือ ความถี่การกระเพื่อม

- HW : $F_r = F_{line}$ (2.8)
- FW : $F_r = 2F_{line}$ (2.9)

เช่น ถ้าเราต้องการแรงดันกระเพื่อม = $2V_{PP}$ กระแสเอาท์พุท = 3A จะได้ค่าเก็บประจุ ดังนี้

$$C = I_O/F_r V_r \qquad (2.10)$$

HW : $F_r = 50$ Hz

$C = 3/50(2)$

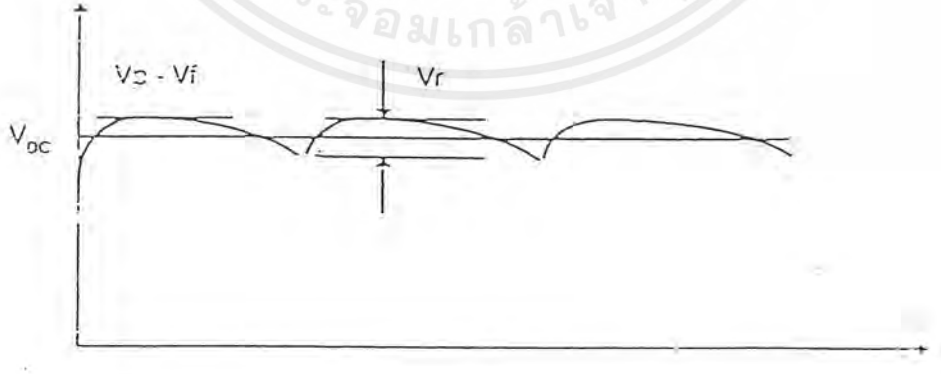
FW : $F_r = 2(50)$ Hz

$C = 3/100(2)$

%ripple = (ripple component / dc companent) x 100

$= (V_{rms}/V_{dc}) \times 100$ (2.11)

เนื่องจากเราได้แรงดันเอาท์พุท ดังรูป



รูปที่ 2.19 การกำหนดขนาดของแรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราสามารถประมาณได้เป็นสัญญารูป sawtooth

$$V_{mrs} = V_P/\sqrt{3} = V_{PP}/\sqrt{3} \qquad (2.13)$$

$$V_{dc} = V_P - V_r - V_{r(PP)} / 2 \qquad (2.14)$$

V_f คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด

- $V_f = 0.6$: HW, FWCT
- $V_f = 1.2$: FWB

$$\therefore \%ripple = [V_{r(PP)} / 2\sqrt{3}\,] \times (1/V_d) \times 100 \qquad (2.15)$$

สูตรพื้นฐานในการ Design Power Supply

การคำนวณหม้อแปลง

1. แรงดันไฟสลับด้านขดทุติยภูมิ

   จาก $V_{dc} = V_P - V_r - 0.5\,V_r$

   ได้ $V_P = V_{dc} + V_f + 0.5V$ และ $V_{mrs} = V_P / 2$ สำหรับ HW

   $= VP / \sqrt{2}$ สำหรับ FW

   $\therefore V_{ac} = (V_{dc} + 0.5V_r + V_f) / 2$ สำหรับ HW

   $= (V_{dc} + 0.5V_r + V_f) / \sqrt{2}$ สำหรับ FW

2. กระแส RMS ทางขดทุติยภูมิ

ประเภทเรคติไฟเออร์	กระแส RMS ด้านทุติยภูมิ
FWCT	$1.2\,I_O$
FWB, HW	$1.8\,I_O$
Dual FWCT	$1.8\,I_O$

การคำนวณไดโอด

1. กระแสที่ไหลในทิศทางตรง

   $IF \geq I_O$: สำหรับวงจร HW

   $IF \geq 0.5I_O$: สำหรับวงจร FW

2. อัตราการคำนวณแรงดันย้อนกลับ

   โดย Minimum PIV สำหรับวงจร HW, FWCT $= 2V_P$

   สำหรับ FWB $= V_P$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณตัวเก็บประจุ

$$C = I_0/F_r V_r$$

ทั้งหมดนี้ควรมีการเผื่อ Safety Margin $\geq$ 50%

2.2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (regulator)

วงจรรักษาระดับแรงดัน คือ วงจรที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทให้เรียบคงที่ ไม่ว่ากระแสของโหลดทางเอาท์พุทหรือระดับแรงดันอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม วงจรไฟฟ้าบางประเภทต้องการไฟเลี้ยงที่เรียบไม่มีการกระเพื่อม แต่จากที่เราได้ศึกษามาแล้วว่าสัญญาณที่ออกมาทางเอาท์พุทของวงจรกรองแรงดัน (Filter) มีการกระเพื่อมเป็นลักษณะคล้ายฟันเลื่อย ดังนั้น จึงไม่สามารถนำไปใช้กับงานที่ต้องการความถี่ ไม่มีการกระเพื่อมของแหล่งจ่ายไฟได้ เราสามารถแก้ไขได้โดยการใช้วงจรเรกกูเลเตอร์ รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้เรียบคงที่

ประเภทของวงจรเรกกูเลเตอร์

1. สร้างโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด
2. สร้างโดยใช้ทรานซิสเตอร์
3. สร้างโดยใช้ IC Regulator
4. สร้างโดยใช้ออปแอมป์

ซึ่งทั้ง 3 ประเภท มีลักษณะการต่อ 2 ลักษณะ คือ ขนาน และอนุกรมกับโหลดซึ่งมีข้อดีข้อเสีย ดังนี้

แบบขนาน

- ต้องจ่ายไฟตลอดไม่ว่ามี load หรือไม่ก็ตาม
- ไม่เสียหายเมื่อมีการลัดวงจร

แบบอนุกรม

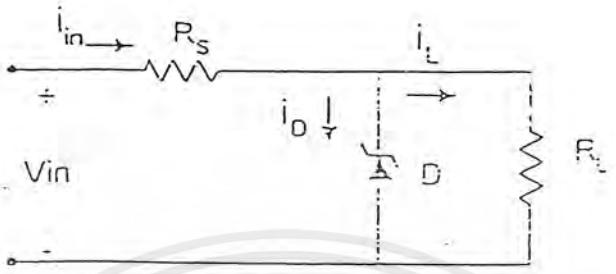
- รูปแบบการต่อวงจรซับซ้อนกว่า
- เสียหายได้ง่ายเมื่อมีการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

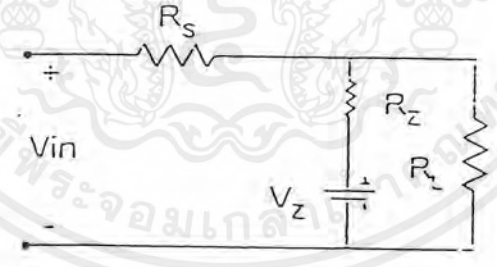
วงจรเรกกูเลเตอร์แรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด

มีลักษณะการต่อวงจรโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อขนานกับโหลด ดังรูป



รูปที่ 2.20 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบใช้ซีเนอร์ไดโอด

จากหลักการทำงานของไดโอดที่ว่าจะมีแรงดันตกคร่อมคงที่ เมื่อได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ มากพอจนเกิดปรากฏการณ์ Zener Breakdown โดยจะมี แรงดันตกคร่อม = $V_{breakdown}$ ซึ่งเมื่อกระแสตกคร่อมไดโอดมากกว่ากระแสที่จะทำให้เกิดการ Breakdown วงจรจะมีลักษณะการทำงาน ดังรูป



รูปที่ 2.21 วงจรแสดงแรงดันคร่อมซีเนอร์ไดโอดด้วยแรงดัน

เมื่อเราประมาณว่า $R_z \approx 0$ เราจะคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$V_O = V_Z \qquad (2.16)$$

$$V_{in} = V_{rs} - V_z \qquad (2.17)$$

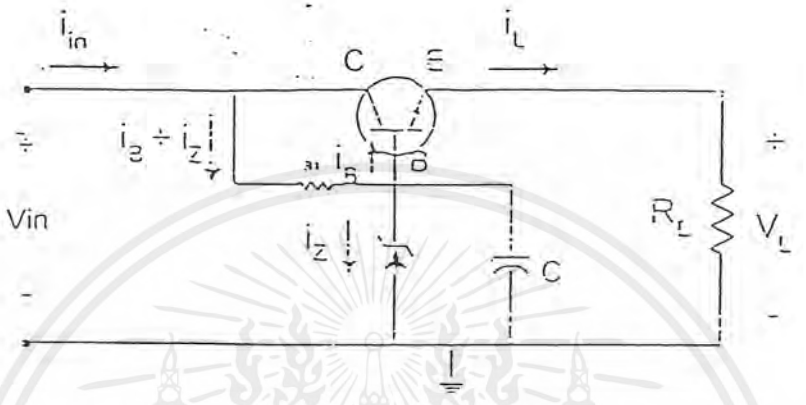
$$R_S = \frac{V_{in(min)} - V_z}{I_{z(min)} + I_{O(max)}} \qquad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45849

วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ทรานซิสเตอร์

การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นรูปวงจรเรกกูเลเตอร์จะถูกจำกัดให้ใช้ในวงจรของแหล่งจ่ายไฟที่มีกระแสต่ำถึงปานกลางแต่เราสามารถทำให้ใช้กระแสสูงขึ้นได้ โดยการใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นแรงดันอ้างอิง และใช้ทรานซิสเตอร์ช่วยในการจ่ายกระแส ดังรูป



รูปที่ 2.22 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์

โดยแรงดันเอาท์พุท $= V_Z + V_{be}$

$$I_L = I_E = I_C + I_B$$
$$= I_{in} - I_Z \qquad (2.19)$$

กระแสไหลผ่าน R_1 คือ

$$I_Z + I_B = (V_i - V_Z)/R_1 \qquad (2.20)$$

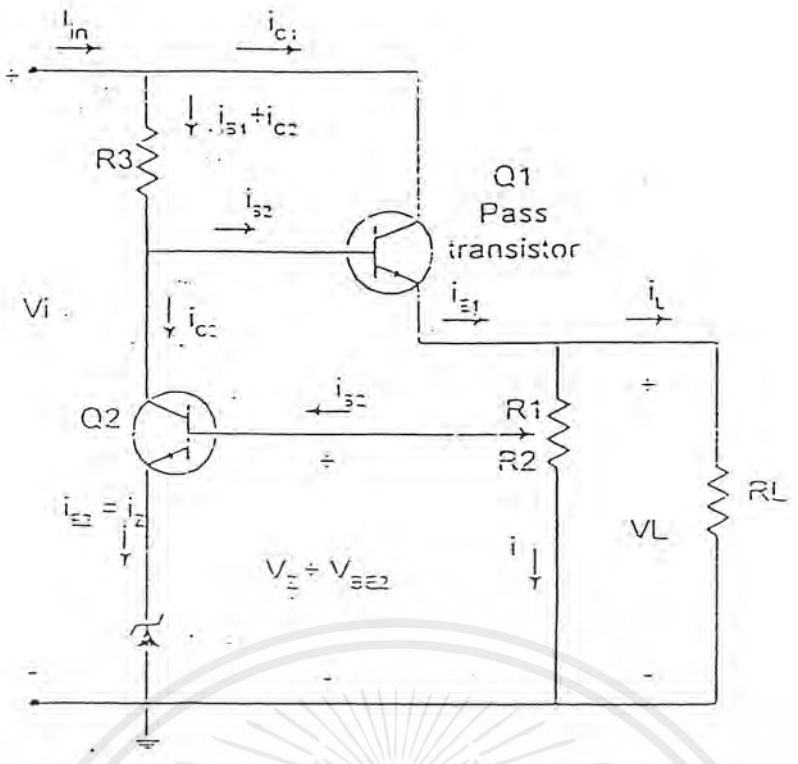
ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยทรานซิสเตอร์ $Q_1(P_C)$ มีค่า ดังนี้

$$P_C = (V_i - V_1)I_L = (V_i - V_L)(L_{in} - L_Z) \qquad (2.21)$$

เมื่อ $V_L = V_Z$

ซึ่งจากสมการที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า V_L จะคงที่ตลอดโดยไม่ขึ้นอยู่กับ R_L รูปต่อไปนี้แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวแรงดันของเอาท์พุทหรือ V_L สามารถที่จะเปลี่ยนค่าได้โดยปรับเปลี่ยนค้า R_L+R การวิเคราะห์วงจรทำได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 วงจรเรกกูเลเตอร์ใช้ทรานซิสเตอร์แบบปรับค่าได้

วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ $I >> I_{B2}$
ฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R_1 จึงประมาณได้ว่ามีค่าเท่ากับ I
และจากกฎการแบ่งแรงดันจะได้

$$V_Z+V_{BE2} = (R_1/(R_1+R_2))V_L \qquad (2.22)$$

และจะได้ $$V_L = ((R_1+R_2)/R_2)(V_Z+V_{BE2}) \qquad (2.23)$$

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า (V_Z+V_{BE2}) และ (R_1+R_2) มีค่าคงที่ จะทำให้ค่า V_1 คงที่เช่นเดียวกับ แต่ถ้าค่า R_2 เพิ่มขึ้นค่าของ V_L จะลดลง และถ้าค่าของ R_2 ลดลงจะทำให้ค่าของ V_L เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาในลักษณะ R_L ลดลงบ้าง ค่า I_L จะเพิ่มขึ้น และ V_L จะลดลง ทำให้ Q_2 ถูกลดลงการไบอัสตรง ทำให้ค่าของ V_{CE2} สูงขึ้น จึงส่งผลให้การไบอัสตรงของ Q_1 เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้ V_{CE1} ลดลง ค่า V_L จึงเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ V_L ปกติ ฉะนั้นค่า V_L จะคงที่ตลอดการใช้งานไม่ว่าโหลด R_L จะลดลงหรือเพิ่มขึ้น

ถ้าละเลยค่า V_{BE2} จะได้

$$V_L = ((R_1+R_2)/R_2)V_Z \qquad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรักษาระดับแรงดันแบบใช้ IC

ข้อดีของวงจรแบบนี้ คือ ราคาถูก มีขนาดเล็ก และมีรูปแบบวงจรที่ง่าย โดยเราแบ่ง IC ที่ใช้เป็น 3 ลักษณะ คือ

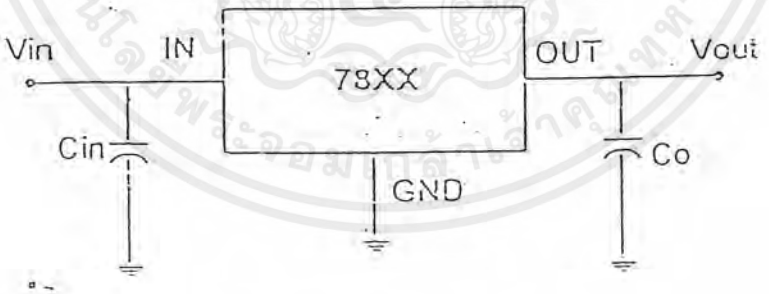
1. แบบแรงดันเอาท์พุทคงที่
2. แบบแรงดันเอาท์พุทปรับค่าได้
3. แบบพิเศษ (แบบแทรกกิ้ง และแบบโฟลตติ้ง)

1. เรกกูเลเตอร์แบบแรงดันเอาท์พุทคงที่ (Fixed output regulator)

เราใช้เรกกูเรเตอร์แบบ 3 ขา ซึ่งเป็นแบบที่ราคาถูกและง่ายต่อการออกแบบซึ่งสามารถจ่ายกระแสเอาท์พุทได้ตั้งแต่ 100 mA ถึง 3A ตามเบอร์ที่เราเลือกใช้ และยังมีวงจรป้องกันกระแสเกินภายในและวงจรป้องกันเมื่ออุณหภูมิเกินภายในด้วย โดย IC เบอร์ต่างๆ จะมีคุณสมบัติทางด้านกระแสเอาท์พุทสูงสุด แรงดันเอาท์พุท แรงดันอินพุท Line Regulation Load Regulation และช่วงอุณหภูมิทำงานให้เราเลือกตามความต้องการดังตารางในภาคผนวก

เบอร์ที่นิยมใช้จะเป็น IC ตระกูล 78XX และ 79XX โดยค่า XX เป็นตัวบอกค่าแรงดันเอาท์พุท

โดยจะมีรูปแบบการต่อพื้นฐาน ดังรูป



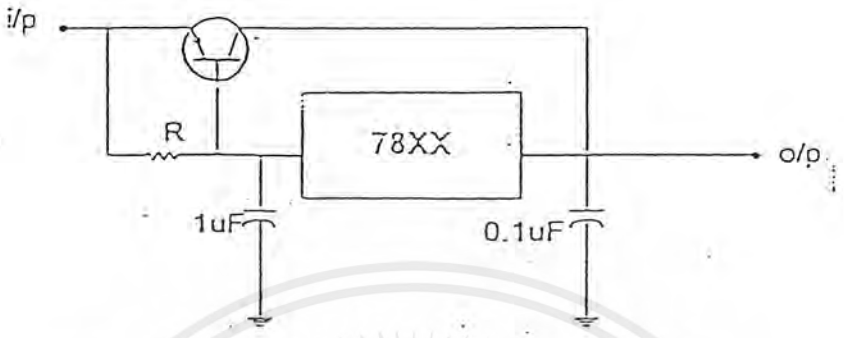
รูปที่ 2.24 วงจรเรกกูเรเตอร์ใช้ไอซี

ขา IN ของ 78XX จะต่อกับไฟบวก

C_{in} ใช้เป็น C Filter ในกรณีห่างจาก Filter ของ Supply เกิน 2 นิ้ว

C_{out} ใช้ปรับค่าการตอบทานด้านทรานเซียนต์ (Transient Response)

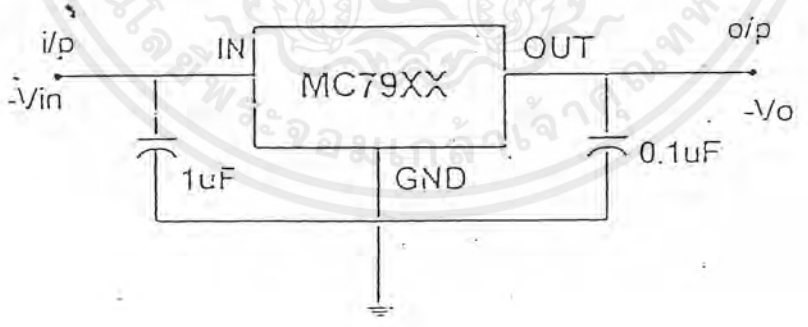
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 วงจรเรกกูเรเตอร์แบบใช้ไอซีและใช้ทรานซิสเตอร์ขยายกระแส

กรณีต้องการกระแสมากขึ้น จะใช้ทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อให้ช่วยจ่ายกระแสได้มากขึ้นอาจจะเพิ่มได้จนถึง 5A

สำหรับวงจรของ 79XX จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ 78XX แต่ต่างกันที่ 79XX จะให้แรงดันไฟลบ



รูปที่ 2.26 วงจรเรกกูเรเตอร์ไฟลบแบบใช้ไอซี

ขา IN ของ 79XX จะต่ออยู่กับไฟลบขา OUT จะให้เอาท์พุทเป็นแรงดันค่าลบคงที่

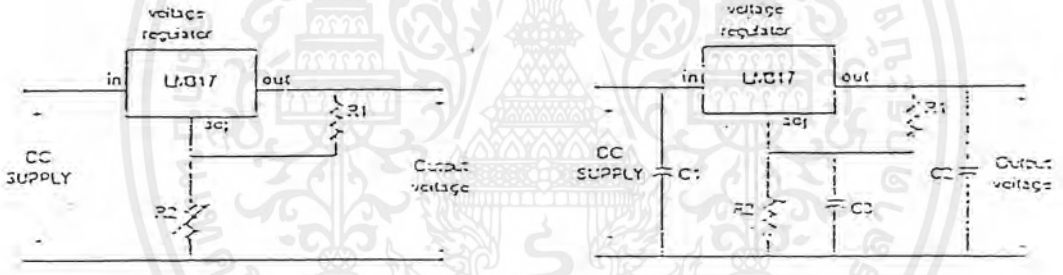
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

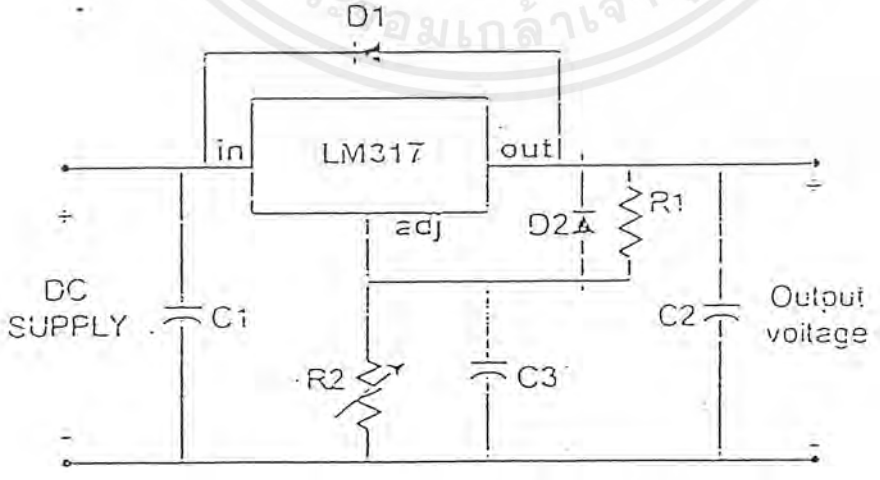
2. เรกกูเลเตอร์แบบเอาท์พุทปรับค่าได้

คือ วงจรเรกกูเรเตอร์ที่สามรถปรับแรงดันเอาท์พุทได้ในช่วงที่กำหนด ไอซีที่ปรับค่าได้มีทั้งแบบแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบ ซึ่งแต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติทางแรงดันเอาท์พุท กระแสเอาท์พุทสูงสุด ช่วงแรงดันอินพุทที่สามารถทำงานได้ ความแตกต่างระหว่างแรงดันเอาท์พุทกับอินพุท (V_o-V_{in}) ต่ำสุดที่สามารถทำงานได้ Line Regulation Load Regulation การป้องกันต่างๆ เช่นวงจรจำกัดกระแส วงจรป้องกันให้อยู่ในช่วงการทำงานที่ปลอดภัย (Safe Operation area protection) ตัวอย่างวงจร เช่น

วงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้โดยใช้ LM317

วงจรดังรูป 2.27 แสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ ปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้โดยใช้ LM317 ในรูป ก) แสดงวงจรอย่างง่าย ซึ่งนิยมใช้กันมากที่สุด ในรูป ข) การใส่ C1, C2 ก็มีจุดประสงค์เดียวกัน C1, C2 ที่ใช้ใน 78XX ซึ่งจะใช้ค่าเท่ากัน ส่วน C3 มีไว้เพื่อกำจัดแรงดันกระเพื่อม มักใช้ค่า 10μF



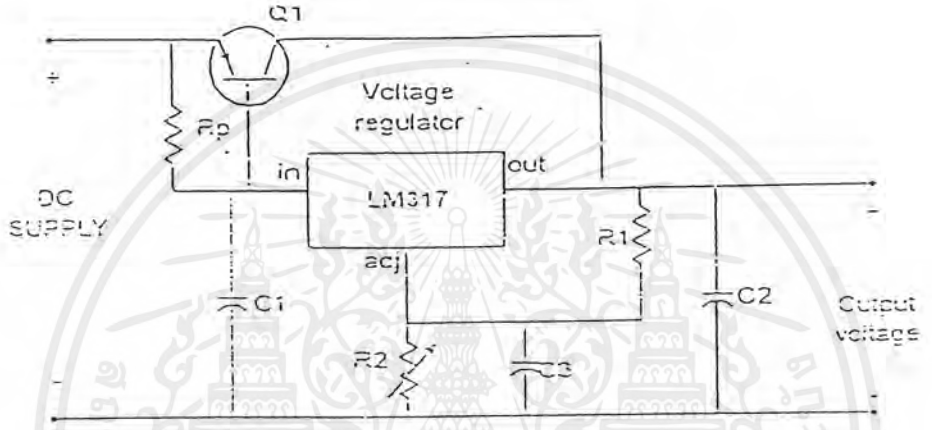


รูปที่ 2.27 วงจรเรกกูเรเตอร์ปรับค่าได้แบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าได้โดยใช้ LM317 กับการจำกัดกระแส

จากรูปที่ 2.28 แสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าได้โดยใช้ LM317 กับการจำกัดกระแส ขนาดของ Q_1, Q_2, R_p และ R_{sens} จะออกแบบเหมือนกับวงจรที่ใช้ 78XX ในวงจรเรกกูเลเตอร์ที่ใช้ 78XX หรือ 79XX ในการจำกัดกระแส C_1, C_2, C_3, R_1 และ R_2 จะออกแบบเหมือนกับในวงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้ใช้ LM317 กับทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.28 วงจรเรกกูเลเตอร์ปรับค่าได้โดยใช้ LM317 กับการจำกัดกระแส

3. **เรกกูเลเตอร์แบบพิเศษ**

เรกกูเลเตอร์แบบแทรกกิ้ง เป็นวงจรเรกกูเลเตอร์ที่สามารถจ่ายค่าแรงดันเอาท์พุทได้ทั้งค่าบวก และค่าลบ สามารถทำได้โดยการนำไอซี 2 ตัวมาต่อกัน แต่วงจรก็มีอยู่แล้วในไอซีตัวเดียวบางเบอร์

เรกกูเลเตอร์แบบโฟลดดิ้ง ใช้ในกรณีที่เราต้องการแรงดันเอาท์พุทมากๆ โดยแรงดันเอาท์พุทสามารถขยาย และจำกัดได้โดยขึ้นกับความสามารถของทรานซิสเตอร์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ออปแอมป์

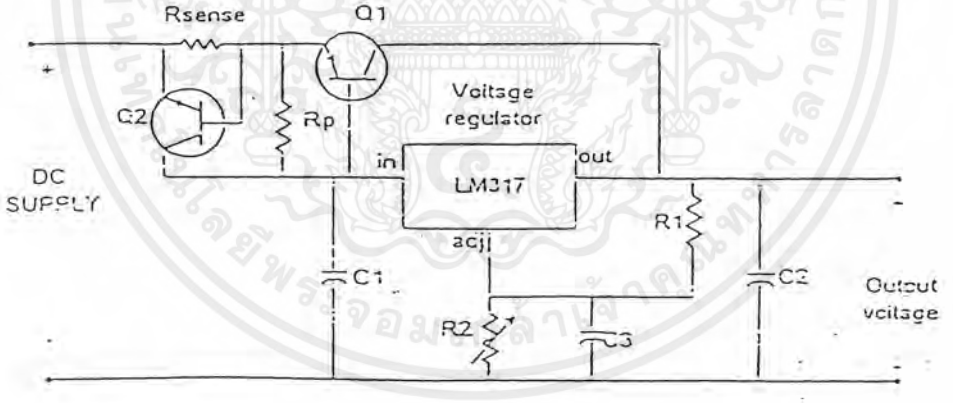
คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

1. มีค่า Input Impedance สูงมาก ($Z_{in} = \alpha$)
2. มีค่า Output Impedance ต่ำมาก ($Z_{out} = 0$)
3. มีค่า Open-Loop Gain สูงมาก ($A_O = \alpha$)
4. มีค่า Bandwidth กว้างมากตั้งแต่ DC จนถึงอนันต์ (BW = α)
5. มีค่า Offset Voltage (ค่า Output Voltage ขณะที่ไม่มี Input Voltage) เป็นศูนย์ ($V_{OS} = 0$)

จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เกิดผลขึ้น 2 ประการที่จะใช้ในการวิเคราะห์การทำงาน

1. ผลจากค่า Input Impedance ที่สูงมาก ทำให้กระแสที่ไหลเข้าสู่อินพุทออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์ ($I_{in} = 0$)

2. ผลจากการที่กระแสอินพุทมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้ Voltage ที่คร่อมอินพุททั้งสองของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์ด้วย ($V_d = 0$)

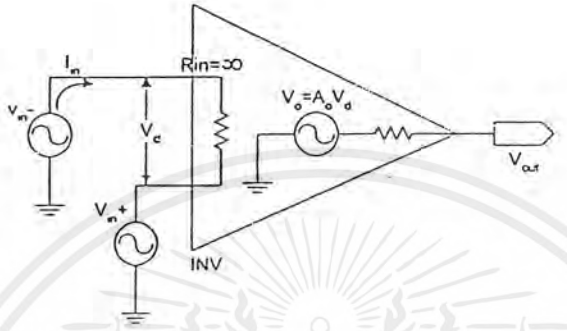


รูปที่ 2.29 ออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-Amp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายพื้นฐานของออปแอมป์

1. วงขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.30 วงจรขยายกลับเฟส

จากสมมติฐาน $V_d = 0$ จะทำให้แรงดันที่ A มีค่าเป็นศูนย์ด้วย และจะได้สมการ

$$V_{in} = I_1 R_1 \quad (2.29)$$

และ $$V_O = I_F Z_F \quad (2.30)$$

จาก KCL ที่จุด A $$I = 0$$

นั่นคือ $$I_1 = -I_F \quad (2.31)$$

$\therefore$ จะได้ $$V_O/V_{in} = -Z_F/R_1 = A_F \quad (2.32)$$

จาก (2.29) $$R_1 = V_{in}/I_1 \quad (2.33)$$

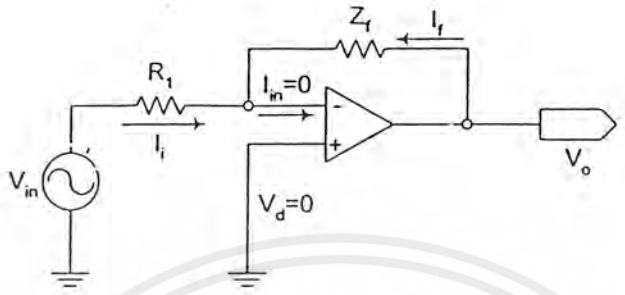
พิจารณา Input Impedance $$Z_{in} = V_{in}/I_1 \quad (2.34)$$

$$Z_{in} = R_1 \quad (2.35)$$

การที่จุด A มีศักดาเป็นศูนย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ Ground ดังนั้นจึงเรียกจุด A ว่าเป็นกราวน์เสมือน หรือกราวน์เทียม (Virtual Ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงขยายไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.31 วงจรขยายไม่กลับเฟส

จากสมมติฐาน $I_{in} = 0$

$$V_f = V_O R_1/(R_1+Z_F) \quad (2.36)$$

และจากสมมติฐาน $V_d = 0$ จะได้

$$V_{in} = V_F \quad (2.37)$$

และ

$$V_{out} = 1+(Z_F/R_1) \quad (2.38)$$

$$Z_{in} = V_{in}/I_{in} = \alpha \quad (2.39)$$

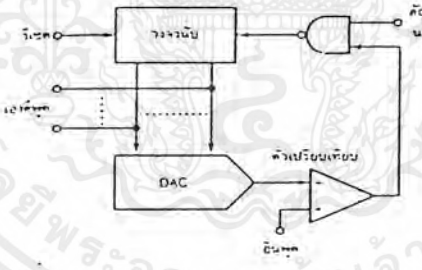
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ (DIGITAL VOLMETER)

ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนค่าแรงดันที่อยู่ในรูปสัญญาณอะนาลอกมาเป็นสัญญาณทางดิจิตอลเพื่อนำไปใช้แสดงผลเป็นค่าตัวเลข ดังนั้นส่วนประกอบของดิจิตอลโวลท์มิเตอร์จึงควรประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ คือ วงจรเปลี่ยนสัญญาณจากอะนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ADC (Analog to Digital Converrsion) และวงจรนำสัญญาณดิจิตอลไปแสดงผลเป็นตัวเลข

2.3.1 วงจร ADC

วิธีการของ ADC นี้มีหลายแบบแต่ที่พื้นฐานที่สุดเป็นแบบดิจิตอลแรมป์ (digital ramp) หลักการของ ADC แบบดิจิตอลแรมป์จะใช้วงจรนับต่อกับวงจรเปลี่ยนสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอะนาลอก (ADC) แล้วนำเอาท์พุทของ ADC นี้ไปเปรียบเทียบกับอินพุทที่เข้ามาแล้วนำเอาเอาท์พุทจากการเปรียบเทียบไปหยุดสัญญาณนาฬิการที่ให้กับวงจรนับ เอาท์พุทของวงจรนับก็จะกลายเป็นเอาท์พุทของวงจรเปลี่ยนสัญญาณจากอะนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการ ไดอะแกรมการทำงาน ดังรูปที่ 2.32

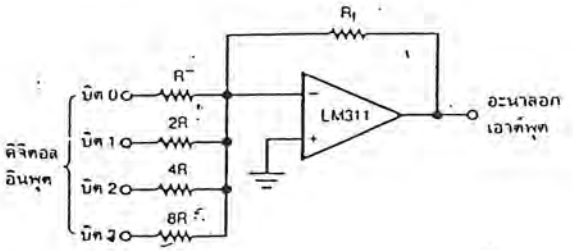


รูปที่ 2.32 บล็อกไดอะแกรมวงจร ADC

จากรูปที่ 2.32 วงจร ADC นี้มีส่วนประกอบของวงจรอื่นๆ หลายส่วน ดังต่อไปนี้

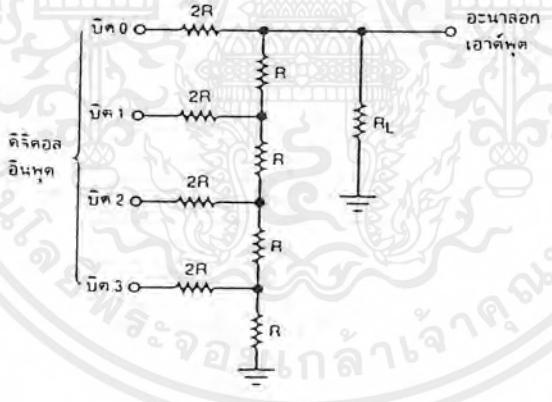
วงจร ADC ในส่วนนี้สามารถสร้างได้หลายแบบ เช่น แบบเวจต์ซิสเตอร์แลดเดอร์ (weight resister ladder) ออกแบบโดยใช้ค่าความต้านทานกำหนดน้ำหนักของค่าทางดิจิตอลให้มีความแตกต่างกันในแต่ละบิต แล้วนำมาต่อเข้าวงจรขยายแบบรวมอินพุท (Summing Amplifier) แสดงดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 วงจร DAC แบบ Weight resister ladder

ถ้าวงจรนี้มีจำนวนมากขึ้นจะต้องใช้ค่าความต้านทานค่าสูงมากขึ้นเป็นผลให้กระแสไหลได้น้อยลงทำให้สัญญาณรบกวนเข้ามามีบทบาท ด้วยเหตุนี้จึงต้องหาวงจรที่มีความเชื่อถือได้มากกว่านี้ ซึ่งก็คือวงจรแบบ R-2R ladder วงจรนี้จะใช้ค่าความต้านทานเพียงสองค่า คือ R-2R ladder วงจรนี้จะใช้ค่าความต้านทานเพียงสองค่า คือ R และ 2R ดังนั้นข้อผิดพลาดดังกล่าวจึงลดลง แสดงดังรูปที่ 2.34

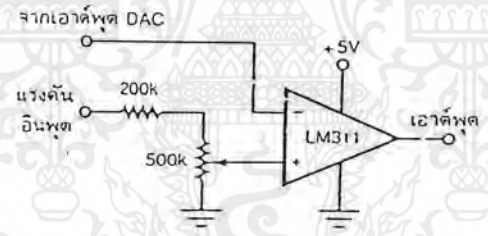


รูปที่ 2.34 วงจร DAC แบบ R-2R ladder

ข้อดีของวงจร R-2R ladder คือ มีค่าความต้านทานเพียงสองค่าทำให้ค่าไม่สูงเกินไป และเพื่อให้ถูกต้องยิ่งขึ้นสามารถใช้ค่าความต้านทานเพียงค่าเดียวได้ โดยใช้ค่าเท่ากับ R สองตัวต่ออนุกรมกันจะได้เท่ากับค่า 2R พอดี ค่าความต้านทานที่ใช้จะขึ้นอยู่กับโหลดด้วย (R_L ในรูปที่ 2.34) ซึ่งโหลดที่จะไปต่อ คือ ออปแอมป์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าแรงดันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

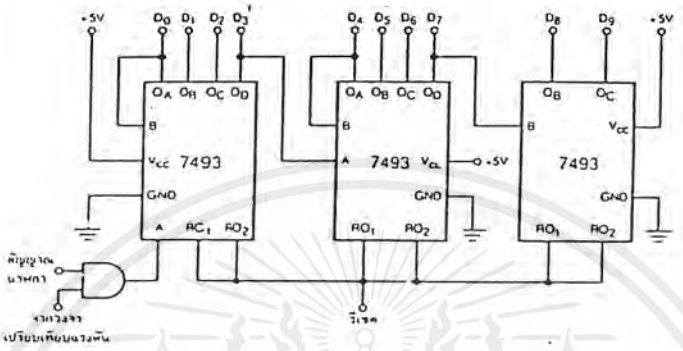
วงจรเปรียบเทียบค่าแรงดัน ส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าแรงดันระหว่างเอาท์พุทของส่วน DAC กับส่วนสัญญาณอินพุทที่เข้ามา ถ้าขนาดสัญญาณทั้งสองเท่ากันก็จะส่งสัญญาณไปปิดเกตให้หยุดส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับ การทำงานลักษณะนี้เราสามารถใช้ออปแอมป์เพียงตัวเดียวก็ได้ เพื่อความสะดวกเราจะใช้ออปแอมป์ที่เป็นแบบไฟบวกกับกราวด์ (หรือที่เรียกว่าซิงเกิลซัพพลาย) เช่น ออปแอมป์เบอร์ LM311 การต่อแสดงดังรูปที่ 2.35 ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้เพื่อลดระดับความแรงของแรงดันอินพุท คำนวณหาได้จากความต้องการที่จะให้ความต้านทานด้านอินพุทของโวท์มิเตอร์สูงเพียงใด ซึ่งค่าความต้านทานนี้จะมีผลต่อการวัดเนื่องจากเมื่อทำการวัดโวท์มิเตอร์จะต่อขนานกับวงจรที่มีผลทำให้ค่าแรงดันที่วัดเปลี่ยนแปลงจากค่าจริงได้ ความต้านทานส่วนนี้จึงควรจะสูง แต่ถ้าเราให้มีค่าสูงเกินไปเวลาวัดค่าแรงดันต่ำๆ อาจทำให้ค่าวัดที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงควรกำหนดให้มีค่าเหมาะสม ในรูปวงจรรูปที่ 2.35 ใช้ค่า 200 kΩ ต่ออนุกรมกับค่า 500 kΩ เป็นวงแบ่งแรงดัน



รูปที่ 2.35 วงจรส่วนเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุทกับสัญญาณจาก ADC

วงจรนับเป็นส่วนที่นำสัญญาณนาฬิกาจากเกตเข้ามานับแล้วให้เอาท์พุทเป็นแบบไบนารี่จำนวนบิตทั้งหมดทราบได้จากการกำหนดของส่วนภาคแสดงผลว่าจะใช้จำนวนกี่หลัก ในที่นี้ใช้ 3 หลัก ทำให้สามารถแสดงผลได้จาก 0.00 V ถึง 9.99 V ชนิดของไอซีที่ใช้จะเป็นตระกูล TTL เพราะไอซีตระกูล TTL นี้สามารถจ่ายกระแสไฟได้มากกว่าตระกูล CMOS ไอซีที่ใช้คือ เบอร์ 7493 เป็นวงจรแบบไบนารี่ 4 บิต ต้องให้ทั้งหมด 3 ตัว เพื่อประกอบกันให้ครบ 10 บิต ลักษณะการต่อจะนำเอาท์พุทสุดท้ายของตัวแรกไปต่อเป็นสัญญาณนาฬิกาของตัวถัดไปเรื่อยๆ จนครบทั้งหมด 10 บิต ดังรูปที่ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

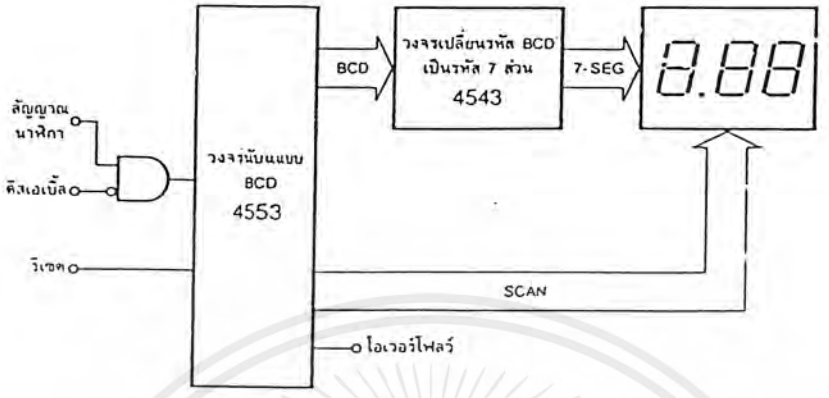


รูปที่ 2.36 วงจรนับของภาค ADC

2.3.2 วงจรแสดงผล

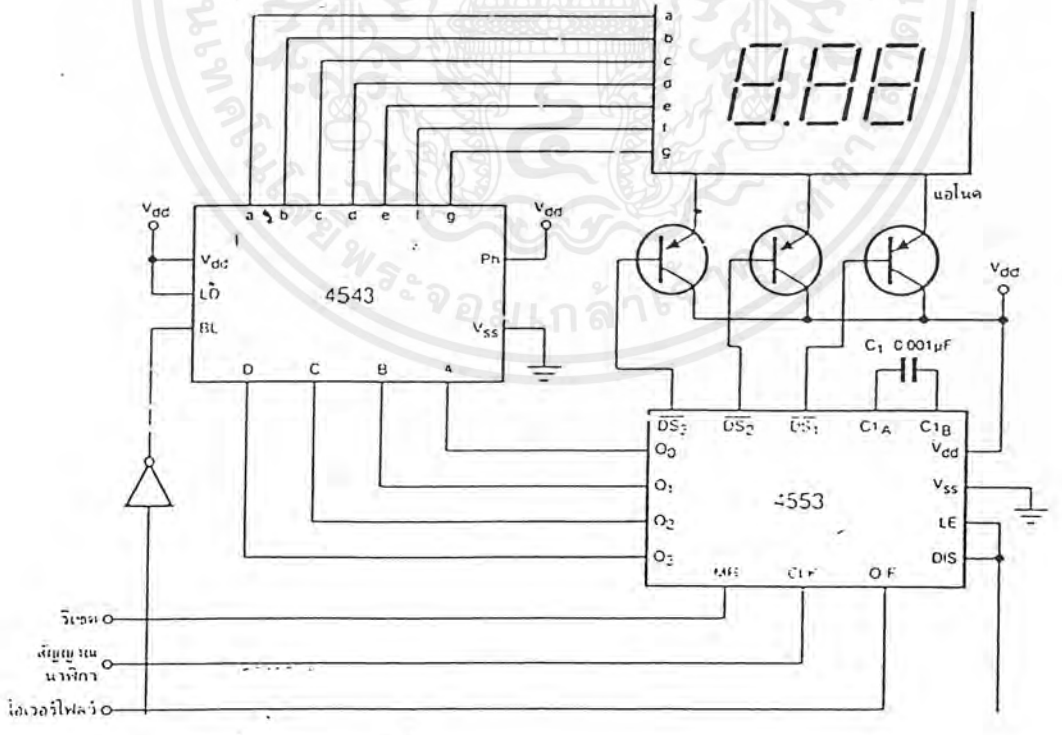
เมื่อได้วงจร ADC แล้วต่อไป คือ การนำค่าที่ได้ไปแสดงผล เอาท์พุทของวงจร ADC จะเป็นการนับแบบไบนารี่ แต่การแสดงผลของเราจะแสดงแบบ BCD จึงต้องมีการเปลี่ยนรหัสก่อนซึ่งจะเป็นผลให้วงจรเกิดความซับซ้อนมากขึ้น แต่เป็นที่โชคดีที่มีผู้ได้ทำไอซีที่ได้รวมเอาฟังก์ชั่นการทำงานทั้งวงจรนับแบบ BCD และวงจรแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์อยู่ในตัวเดียวกัน ทำให้สามารถลดความซับซ้อนลงได้มาก ไอซีที่ว่าคือ ไอซีตระกูล CMOS เบอร์ 4553 (ไอซีนี้ไม่มีคู่มือ CMOS ทั่วไป แต่จะอยู่ในคู่มือไอซี CMOS LSI ผู้อ่านสามารถขอถ่ายเอกสารได้ตามร้านจำหน่ายไอซี) wv:u4553 นี้ประกอบไปด้วยตัวนับแบบ BCD ซึ่งต่อกันแบบลำดับทั้งหมด 3 ตัว และสามารถเก็บค่า (latch) ที่นับได้ส่วนเอาท์พุทจะแสดงผลด้วยวิธีมัลติเพล็กซ์ โดยใช้เวลาของการสแกนของมัลติเพล็กซ์สามารถกำหนดได้จากตัวเก็บประจุภายนอก เนื่องจากเอาท์พุทของไอซีนี้เป็นแบบ BCD ดังนั้นจึงต้องนำไอซีที่เปลี่ยนรหัสจาก BCD เป็นรหัสสำหรับแสงผล LED 7 ส่วน มาต่อร่วมด้วยคือเบอร์ 4543 เป็นไอซีตระกูล CMOS (มีคู่มือใน CMOS ทั่วไป) ไอซีตัวนี้ออกแบบมาให้สามารถใช้กับตัวแสดงผล LCD และหากนำไปใช้กับ LED ก็สามารถกำหนดได้ว่าจะใช้ LED เป็นชนิด คอมมอนอะไรเพียงแต่เปลี่ยนจากลอจิกที่ขา Ph(Phase) รูปที่ 2.36 แสดงการจัดวงจรเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอลให้แสดงผลเป็นตัวเลข

วิธีการต่อในคู่มือไอซีเบอร์ 4553 มีวงจรตัวอย่างไว้ให้แต่เป็นการต่อกับตัวเลขแสดงผล 6 หลัก ซึ่งต้องใช้ไอซ 4553 นี้ถึง 2 ตัว แต่ในวงจรนี้ต้องการเพียง 3 หลัก ดังนั้น จึงใช้ไอซี 4553 เพียงตัวเดียวได้ แสดงวงจรได้ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้แสดงผลเป็นตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

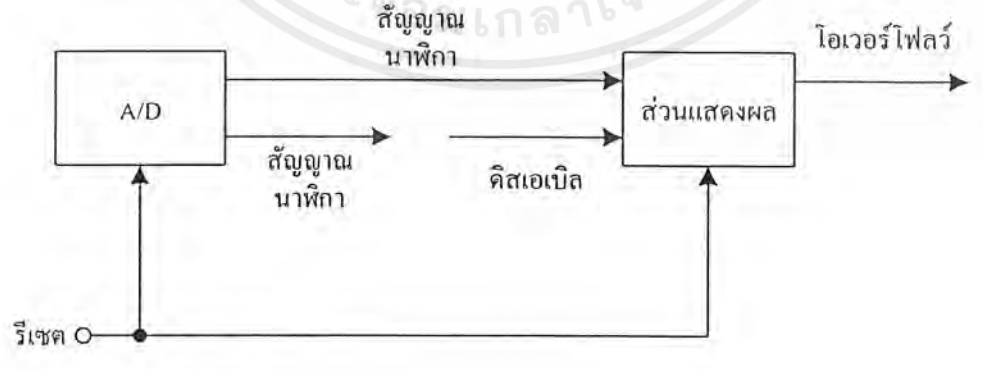
ไอซี 4553 จะทำหน้าที่นับและนำผลที่นับได้ไปแสดงผลแบบมัลติเพล็ก ขา DS_1 ถึง DS_3 เป็นขาสแกน ส่วนขา Q_0 ถึง Q_3 เป็นเอาท์พุท BCD ที่ส่งออกไปแสดงผล ซึ่งจะถูกเปลี่ยนรหัสจาก BCD เป็นรหัสแสดงผล 7 ส่วน โดยใช้ไอซี 4543 เมื่อเราใช้ตัวแสดงผล 7 ส่วนเป็นแบบคอมมอนแอโนด (common anod) ที่เขา Ph จะต้องให้ลอจิก "1" ขา LD(Latch disable) ไม่ได้ใช้งานต่อเข้ากับไฟบวกส่วนขา BL(Blanking) ใช้สำหรับกำหนดไม่ให้มีการแสงผลที่เอาท์พุท ในที่นี้ต่อเข้ากับขา Dis โดยผ่าน NOT เกต ซึ่งจะไม่มีการแสดงผลในขณะที่ทำการนับอยู่

2.3.3 วงจรควบคุมการเชื่อมต่อวงจร ADC กับวงจรส่วนแสดงผล

เมื่อได้วงจงจร ADC และวงจรส่วนแสดงผลแล้วในการเชื่อมต่อวงจรทั้งสองเข้าด้วยกนต้องรู้ถึงสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรทั้งสอง ของ ADC ให้สัญญาณอะไรออกมาและควบคุมให้สัญญาณนั้นส่งออกมาในจังหวะที่ต้องการได้อย่างไร หรือวงจส่วนแสดงผลต้องการสัญญาณอะไรและกำหนดช่วงเวลาการแสดงผลได้อย่างไร ปัญหาต่างๆ เหล่านี้เป็นงานต่อไปที่จะต้องออกแบบวงจรควบคุมให้ทั้งสองวงจรทำงานประสานกันได้อย่างสมบูรณ์

วงจร ADC จะมีเอาท์พุทออกมาทั้งสอง 2 เอาท์พุทคือสัญญาณจากวงจรเปรียบค่าแรงดันและสัญญาณนาฬิกาจากวงจรนับ ส่วนอินพุทที่ต้องการคือ สัญญาณรีเซตเพื่อหยุดวงจร

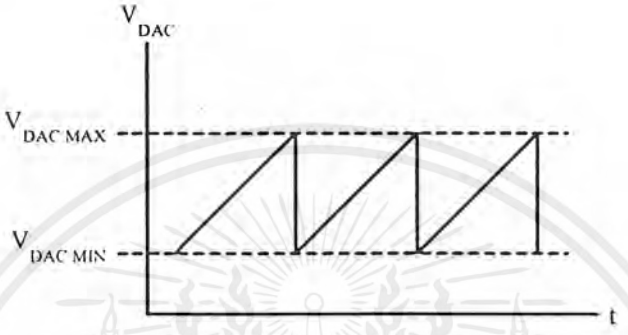
ส่วนวงจรแสดงผลจะต้องการอินพุททั้งหมด 3 อินพุท คือ สัญญาณรีเซตเพื่อเริ่มต้นนับใหม่สัญญาณนาฬิกาที่จะใช้นับและสัญญาณดิสเอเบิลเพื่อให้หยุดนับ และเอาท์พุทก็คือโอเวอร์โฟลว์เป็นสัญญาณว่าวงจรนับนั้นนับเกินค่า 999 แล้ว การเชื่อมต่อของทั้งสองวงจรสามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อของอินพุทและเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8 สามารถจะนำสัญญานาฬิกาจากตัวนับของวงจร ADC ไปต่อกับสัญญาณนาฬิกาของวงจรส่วนแสดงผลได้โดยตรง ส่วนขารีเซตของวงจร ADC จะทำงานเหมือนกับของวงจรส่วนแสดงผล จึงนำขาสัญญาณทั้งสองมารวมกันได้สัญญาณเอาท์พุทที่เหลือ คือ สัญญาณเปรียบเทียบแรงดันของวงจร ADC และโอเวอร์โฟลว์ของภาคแสดงผล ส่วนเอาท์พุทที่จะนำมาใช้ก็คือ ดิสเอเบิลและรีเซต

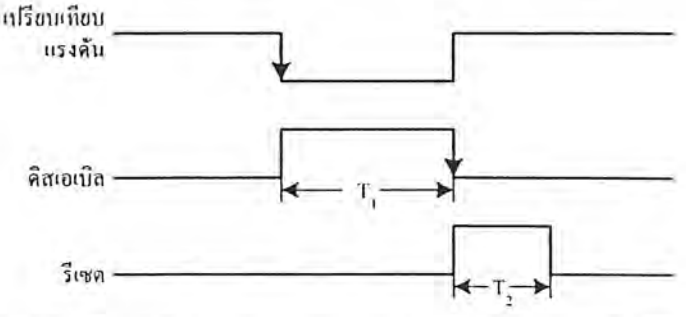


รูปที่ 2.40 แสดงแรงดันที่ได้จากเอาท์พุท DAC เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุท

ต่อไปเป็นการกำหนดสภาวะความต้องการของช่วงเวลาที่จะนำไปควบคุมวงจร ซึ่งแบ่งการทำงานของแต่ละสภาวะได้ทั้งหมด 3 สภาวะตามค่าแรงดันที่เข้ามาเป็นดังนี้ สังเกตรูปที่ 9 ประกอบ

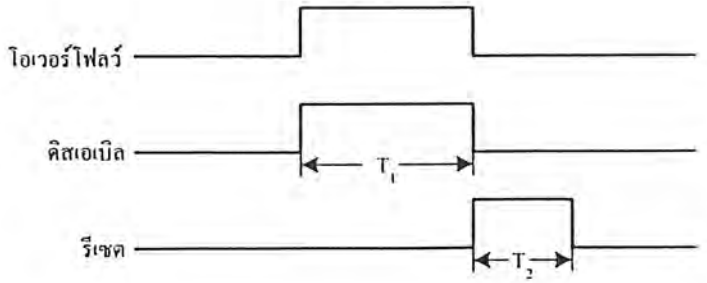
- แรงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMIN}
- แรงดันอินพุทอยู่ระหว่าง V_{DACMIN} กับ V_{DACMAX}
- แรงดันอินพุทมากกว่า V_{DACMAC}

จากทั้ง 3 สภาวะจะแบ่งการทำงนเป็นส่วนๆ โดยเขียนเป็นผังเวลา ดังรูปที่ 2.39 รูปที่ 2.40 และรูปที่ 2.41

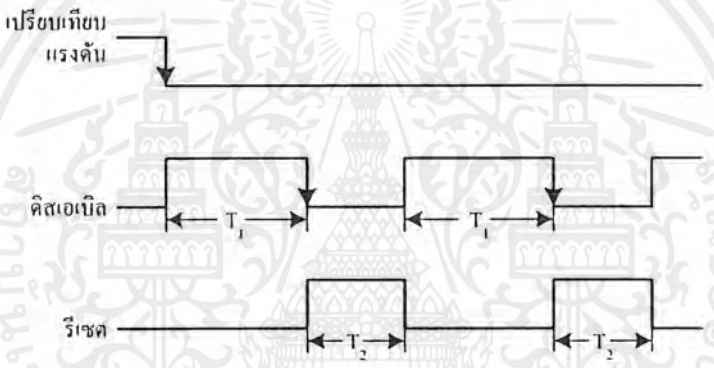


รูปที่ 2.41 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทอยู่ระหว่าง V_{DACMIN} กับ V_{DACMAX}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทมากกว่า V_{DACMAX}



รูปที่ 2.43 แสดงผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMIN}

จากรูปที่ 2.41 เป็นผังเวลาเมื่อแรงดินอินพุทอยู่ระหว่าง V_{DACMIN} กับ V_{DACMAX} จากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงฟังก์ชั่นการทำงานของไอซี 74121

อินพุท			เอาท์พุท	
A1	A2	B	Q	Q
L	X	H	L	H
X	L	H	L	H
X	X	L	L	H
H	H	X	L	H
H	↓	H		
↓	H	H		
↓	↓	H		
L	X	↑		
X	L	↑		

1. สภาวะที่แรงดันอินพุทอยู่ระหว่าง V_{DACMIN} กับ V_{DACMAX}
2. สภาวะที่แรงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMIN}
3. สภาวะที่รแงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMAX}

ถ้าอินพุททั้งสองเท่ากันแล้วเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะมีสัญญาณเป็นลอจิก "O" ช่วงนี้สัญญาณดิสเอเบิลเพื่อให้วงจรหยุดนับในขณะเดียวกันก็จะนำค่าที่อยู่ในตัวนับนั้นไปแสดงผลโดยใช้เวลาทั้งหมด T_1 และเมื่อหมดช่วงเวลาแสดงผลแล้วจะต้องมีสัญญาณรีเซตเป็นพัลส์เล็กๆ ขึ้น เพื่อรีเซตตัวนับให้เริ่มนับใหม่และทำการเปรียบแรงดันในครั้งต่อไป

จากรูปที่ 2.42 เป็นผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทมากกว่า V_{DACMAX} ต้องให้ตัวนับหยุดนับเนื่องจากตัวนับสามารถนับได้สูงสุด 1024 แต่ส่วนแสดงผลจะแสดงได้เพียง 999 ดังนั้นต้องกำหนดให้ตัวนับหยุดนับเมื่อโอเวอร์โฟลว์มีลอจิกเป็น "1" จากนั้นก็ให้เกิดสัญญาณดิสเอเบิลขึ้น เพื่อแสดงผลค่าสูงสุดผลเป็นเวลา T_1 จากนั้นก็ทำการรีเซตตัวนับใหม่ด้วยเวลา T_2

จากรูปที่ 2.43 เป็นผังเวลาเมื่อแรงดันอินพุทน้อยกว่า V_{DACMIN} ในช่วงแรกเหมือนกับรูปที่ 2.41 คือจะได้รับการทริกตากสัญญาณเปรียบเทียบแรงดันทำให้เกิดช่วงเวลา T_1 และ T_2 แต่หากว่าแรงดันอินพุทที่เข้ามาน้อยกว่า แล้วที่เอาท์พุทวงจรเปรียบเทียบก็จะยังคงเป็นลอจิก "0" อยู่ต้องให้ส่วนแสดงผลแสดงค่า 000 ออกมา ดังนั้นจึงต้องให้เกิดสัญญาณดิสเอเบิลขึ้นเพื่อไม่ให้ตัวนับนับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผังเวลาทั้ง 3 สภาวะ จะเห็นว่าสัญญาณคิสเอเบิลและสัญญารีเซตทั้ง 3 สภาวะเหมือนกันคือ T_1 และต่อด้วย T_2 ซึ่งช่วงเวลาทั้งสองสามารถสร้างได้โดยใช้วงจรโมนสเตเบิล (monostable) โดยมีสัญญาณเปรียบเทียบแรงดันและสัญญาณโอเวรอ์โฟลว์เป็นตัวทริกให้วงจรโมโนสเตเบิลบทำงาน แต่ในรูปที่ 2.43 นั้น ต้องหาสัญญาณเข้ามาช่วยทริกในวงจรทำงานได้ในที่นี้ใช้สัญญาณนาฬิกาช่วยทริกให้วงจรโมโนสเตเบิลสามารถทำงานได้

วงรจรโมโนสเตเบิลที่ใช้งานในช่วงเวลา T_1 จะใช้ไอซีตระกูล TTL คือเบอร์ 74121 ซึ่งมีอินพุทโดยแต่ลอินพุทมีวิธีการทริกแตกต่างกัน สามารถแสดงฟังก์ชั่นการทำงานได้ดังตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าอินพุท A_1 จะมีการทริกที่ขอบล่าง ส่วนอินพุท B จะมีการทริกที่ขอบขาขึ้นเมื่ออินพุท A_1 หรืออินพุท A_2 มีลอจิกเป็น "0" เท่านั้น สัญญาณเปรียบเทียบแรงดันของวงจรทำงานที่ขอบขาลงส่วนสัญญษณโอเวอร์โฟลว์จะทำงานที่ขอบขาขึ้น ดังนั้นเราสามารถนำสัญญาณเปรียบเทียบแรงดันไปต่อเข้ากับอินพุท A_1 ได้ส่วนสัญญาณโอเวอร์โฟลว์จะต้องต่อผ่าน NOT เกตก่อนจึงจะนำไปต่อกับอินพุท A_2 ของไอซี 74121 ได้ ส่วนสัญญาณนาฬิกาที่ต้องนำไปต่อด้วยให้ต่อเข้ากับอินพุท B ได้โดยตรง วงจรโมโนสเตเบิลก็จะทำงานในกรณีแรงดันอินพุทที่เข้ามาน้อยกว่า V_{DACMIN}

โดยสรุปแล้วในตารางที่ 2.1 มีสภาวะที่เราใช้งานได้เพียง 3 สภาวะตามที่ได้เขียนไว้ท้ายตาราง

เมื่อรู้วิธีการต่อวงจรโมโนสเตเบิลในช่วงเวลา T_1 นี้จะใช้เวลานานเท่าไหร่เพื่อคำนวณหาค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อกับวงจรได้ โดยช่วงเวลา T_1 จะขึ้นอยู่กับจังหวะการสุ่ม (sampling) ของค่าแรงดันในแต่ละครั้งที่ต้องการหาค่า ในที่นี้กำหนดให้เป็น 1 วินาทีต่อการสุ่ม 1 ครั้ง สามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุได้ดังนี้

จากสูตร $T_{ON} = 0.7\ RC$

เมื่อ TON = 1 วินาที และกำหนดให้ $C = 10\ \mu F$ แล้ว

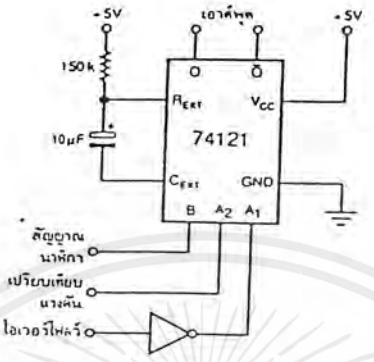
จะได้ $1 = 0.7R \times 10 \times 10^{-6}$

$R = 142.9\ k\Omega$

หรือ $R = 150\ k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

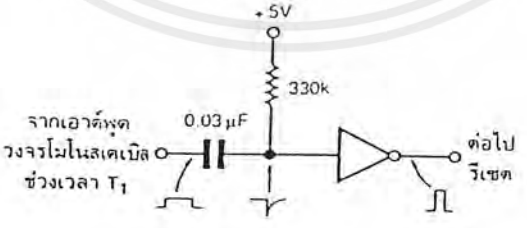
วงจรรูปสมบูรณ์ของโมโนสเตเบิลในช่วงเวลา T_1 แสดงได้ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 วงจรโมโนสเตเบิลในช่วงเวลา T_1

เมื่อได้วงจรโมโนเนสสเตเบิลที่ทำงานในช่วงเวลา T1 แบ้สต่อไปจะเป็นการออกแบบวงจรโมดนสเตเบิลสำหรับช่วงเวลา T2 โดยนำสัญญาณจากเอาท์พุทของวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ทำงานในช่วงเวลา T1 มาใช้เป็นสัญญาณทริก ช่วงเวลา T2 นี้จะเป็นช่วงเวลาแคบๆ ใช้สำหรับเคลียร์ตัวนับให้เริ่มนับใหม่สามารถสร้างจากวงจร RC ธรรมดาได้ดังรูปที่ 2.45

ค่า RC นั้นคำนวณได้จากช่วงเวลา T2 ถ้ากำหนดให้ช่วงเวลา T2 = 10 ms ดังนั้นค่า R และ C ที่นำมาคูณกันจะต้องมีค่าเท่ากับ 10 ms จึงได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 2.45

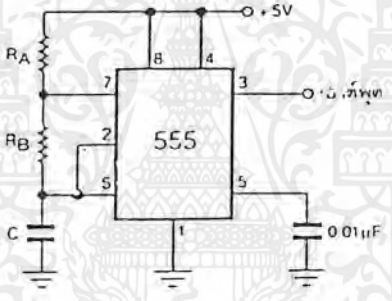


รูปที่ 2.45 วงจรโมโนสเตเบิลสำหรับช่วงเวลา T2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ยังขาดไปสำหรับวงจรดิจิตอลโวลว์มิเตอร์ ก็คือ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เนื่องจากวงจรที่ออกแบบไม่ยากนักและความถี่ของสัญญาณก็ไม่จำเป็นต้องเที่ยงตรงมากนัก ก่อนอื่นต้องกำหนดช่วงเวลาการนับของวงจรนับตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดควรมีค่าเท่าใด เพื่อให้ไม่สามารถสังเกตเห็นการกระพริบของ LED ที่ภาคแสดงผลในขณะทำการนับ ในที่นี้กำหนดช่วงเวลาให้มีความถี่ประมาณ 200 Hz ตัวนับสัญญาณนาฬิกาจะสามารถนับสูงได้ 1000 ลูกคลื่น ดังนั้นจะต้องใช้ความถี่ทั้งหมด 200,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำสุดที่จะใช้ได้ ส่วนความถี่สูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้อุปกรณ์ที่เราใช้บางตัวเป็นไอซีตระกูล CMOS ซึ่งทำงานที่ความถี่สูงสุดประมาณ 1 MHz จึงกำหนดให้ความพี่มีค่าเท่ากับ 400 kHz

ไอซี 555 เป็นที่นิยมใช่เป็นวงจรกำเนิดความถี่มากการออกแบบง่าย ส่วนประกอบด้วยและสดวกต่อการใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 การต่อวงจรกำหนดสัญญาณนาฬิกาใช้ไอซี

จาก $f = 1.43/(R_A - 2R_B)C$

เมื่อเราให้ $f = 400$ kHz, duty cycle = 33% และ $C = 0.01\ \mu f$

$(R_A + 2R_B) = 1.43/fC$

$(R_A + 2R_B) = 1.43/(400\text{kHz} \times 0.01\ \mu f$

$(R_A + 2R_B) = 357.5$ (1)

และ duty cycle $= R_B/(R_A+2R_B) \times 100$

$100 = R_B/(R_A+2R_B) \times 100$

$(R_A + 2R_B) = 3R_B$

$R_A = R_B$ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $R_B = R_A$ ในสมการ (1)

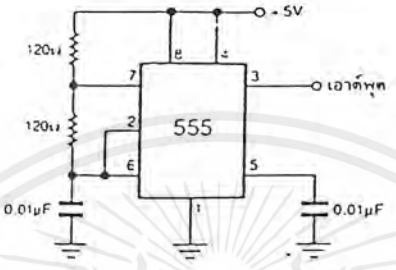
$(R_A+3R_A) = 357.5$

$R_A = 119.2\Omega$

เราใช้ค่า $R_A = 120\Omega$

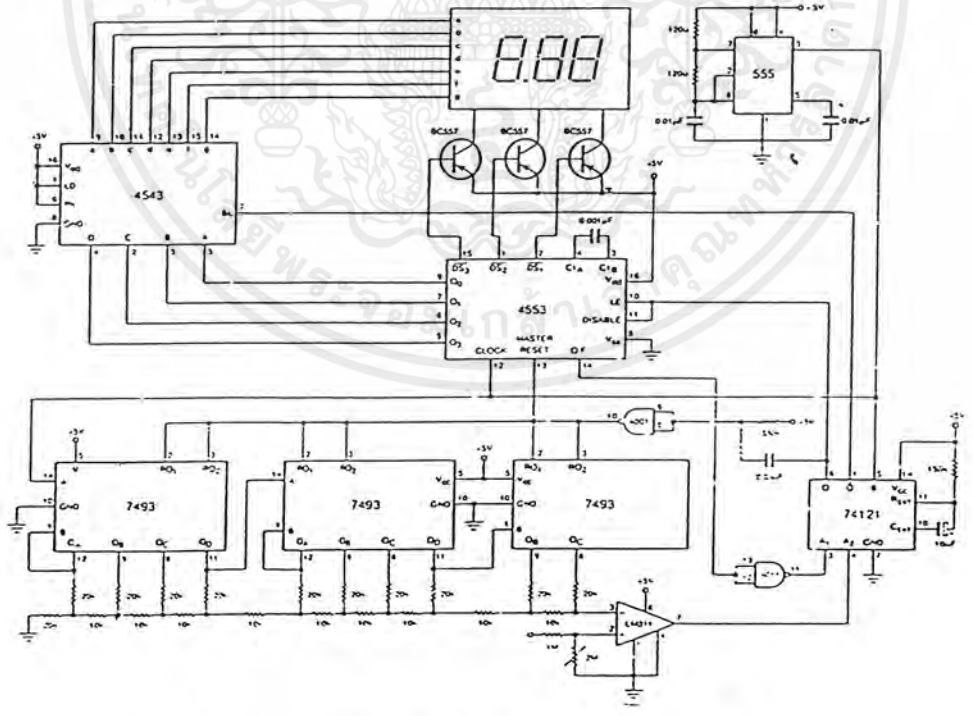
เมื่อ $R_A = R_B$ ในสมการที่ (2) ดังนั้น $R_B = 120\Omega$

วงจรสมบูรณ์กำเนิดสัญญาณนาฬิกา แสดงได้ดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 วงจรสมบูรณ์ของส่วนกำเนิดนาฬิกา

เมื่อออกแบบทุกส่วนหมดแล้วนำแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันก็จะได้ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 วงจรดิจิตอลโวลว์มิเตอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผู้ที่จะสร้างวงจรดิจิตอลโวลมิเตอร์ขอให้ศึกษาในส่วน ADC ให้ดีเนื่องจากความผิดพลาดจากการวัดนั้นขึ้นอยู่ในส่วนนี้ ซึ่งอาจเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่มีค่าผิดพลาดมาก เช่น ไอซีตัวนับสัญญาณเบอร์ 7493 หรือตัวต้านทานในวงจร DAC เป็นต้น

วงจร ADC ที่ได้ออกแบบนั้นเป็นแบบดิจิตอลแรมป์อาจมีข้อผิดพลาดได้มาก หากต้องการความถูกต้องมากกว่านี้อาจจะได้ไอซีสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาดมาสร้างในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

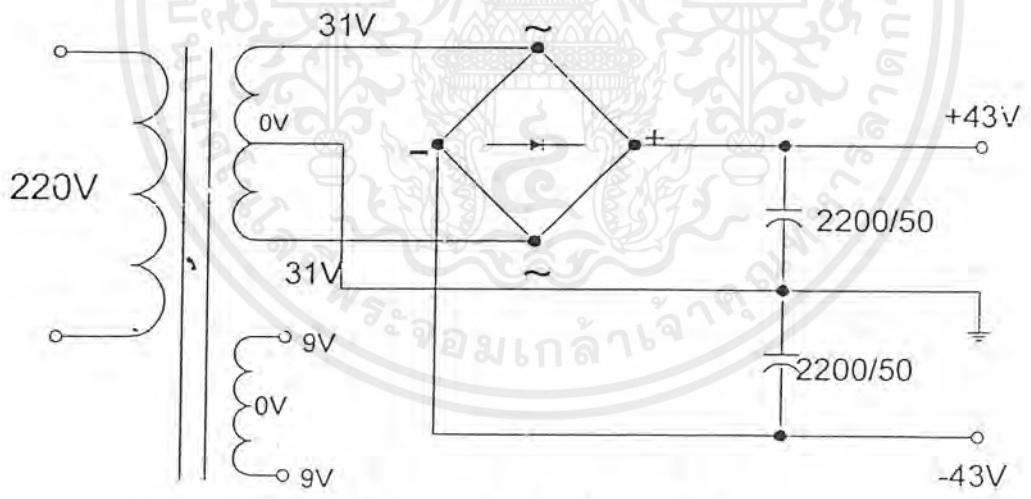
บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

โครงงาน DC Power Supply นี้ ให้เอาท์พุททั้งไฟบวกและไฟลบที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 โวลท์ จนถึง ±31 โวลท์ กระแสสูงสุดจ่ายได้ 1 แอมแปร์ ออกแบบวงจรให้มีการป้อนกลับด้านเอาท์พุทมีวงจรป้องกันกระแสเกิน นอกจากนี้ยังมีเอาท์พุท 5 โวลท์ คงที่ สำหรับใช้กับการทดลองวงจร TTL แสดงผลด้วย Digital Meter

3.1 ส่วนประกอบของวงจร DC Power Supply

3.1.1 ภาคจ่ายไฟเลี้ยงของระบบ

แหล่งจ่ายไฟหลักของระบบทั้งหมด ประกอบด้วย หม้อแปลง T1 ซึ่งมีขดลวดทุติยภูมิจ่ายแรงดัน 2 ขด ขอแรกจ่ายแรงดันไฟสลับ 31V, 0V, 31V กระแส 1.5A และขดที่สองจ่ายแรงดันไฟสลับ 9V, 0V, 9V กระแส 0.5A ขดแรกถูกป้อนเข้าสู่บริดจ์เรกติไฟเออร์ และถูกฟิลเตอร์ด้วย C1 และ C2 ได้แรงดันเอาท์พุทไฟตรง± 43 โวลท์



รูปที่ 3.1 ภาคจ่ายไฟหลักของเครื่อง

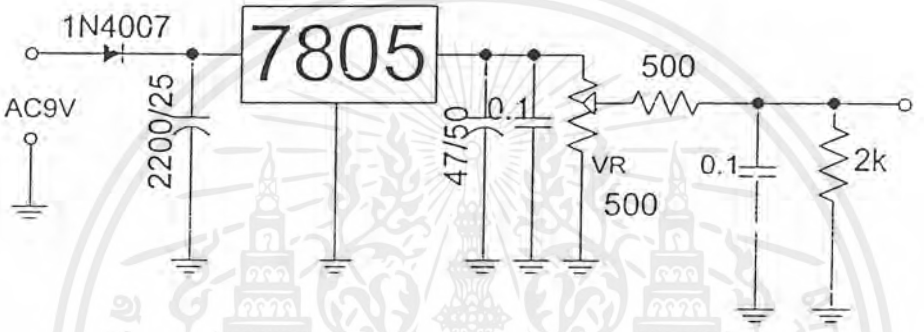
$$V_{dc} = \sqrt{2}\ Vrms - 0.7$$
$$= (1.414 \times 31X - 0.7$$
$$\approx 43V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขดที่สองนำไปป้อนให้กับวงจรเอาท์พุท 5 โวลท์คงที่ และป้อนให้กับวงจรปรับแรงดันอินพุทของภาคขยาย ภาคจ่ายไฟนี้นำไปป้อนให้ทั้งทางด้านวงจรแรงดันบวกและวงจรแรงดันลบ

3.1.2 ภาคอินพุทของวงจรขยาย

วงจรในส่วนนี้ใช้ IC เรกกูเลเตอร์ สำหรับด้านไฟบวกใช้ เบอร์ 7805 ส่วนด้านไฟลบใช้เบอร์ 7905



รูปที่ 3.2 วงจรปรับแรงดันอินพุท

จากรูปเบอร์ IC เบอร์ 7805 ให้เอาท์พุทคงที่ 5V VR500Ω (Volume ปรับค่าแรงดันของเครื่องจ่ายไฟ) ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจาก 0 - 5V จะได้แรงดันตกคร่อม R 2kΩ สูงสุด

คือ $V_{in(max)}$ = (5 x 2000) / (2000 + 500)

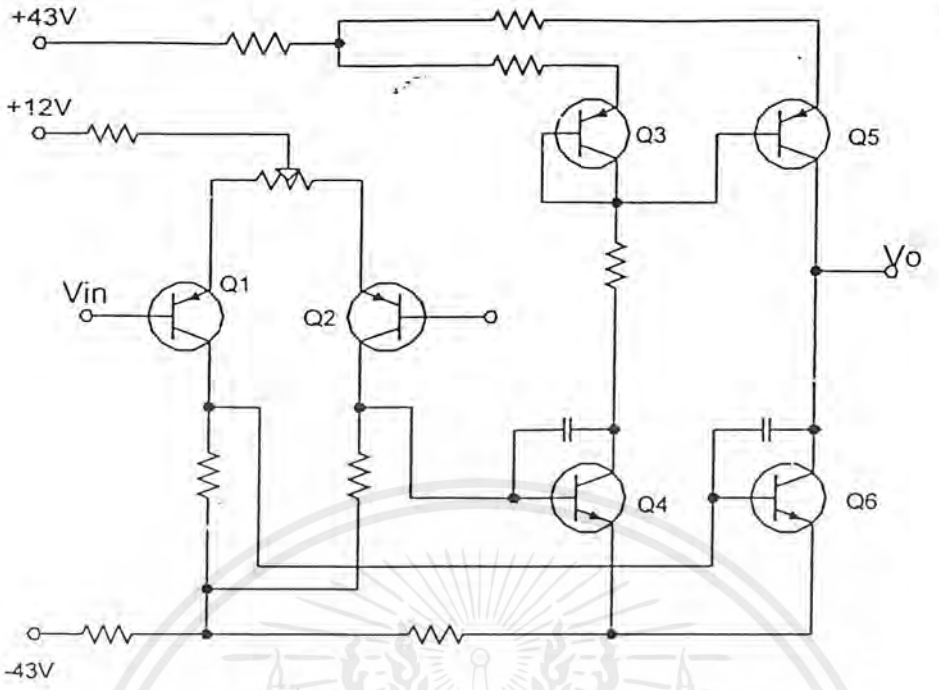
= 4 V

3.2 วงจรขยาย

3.2.1 วงจรขยายแรงดัน

ใช้วงจรขยายแบบ Differential Amplifier 2 ส่วน แรงดันเอาท์พุทของส่วนแรกนำไปป้อนเป็นแรงดันเอาท์พุทของส่วนที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



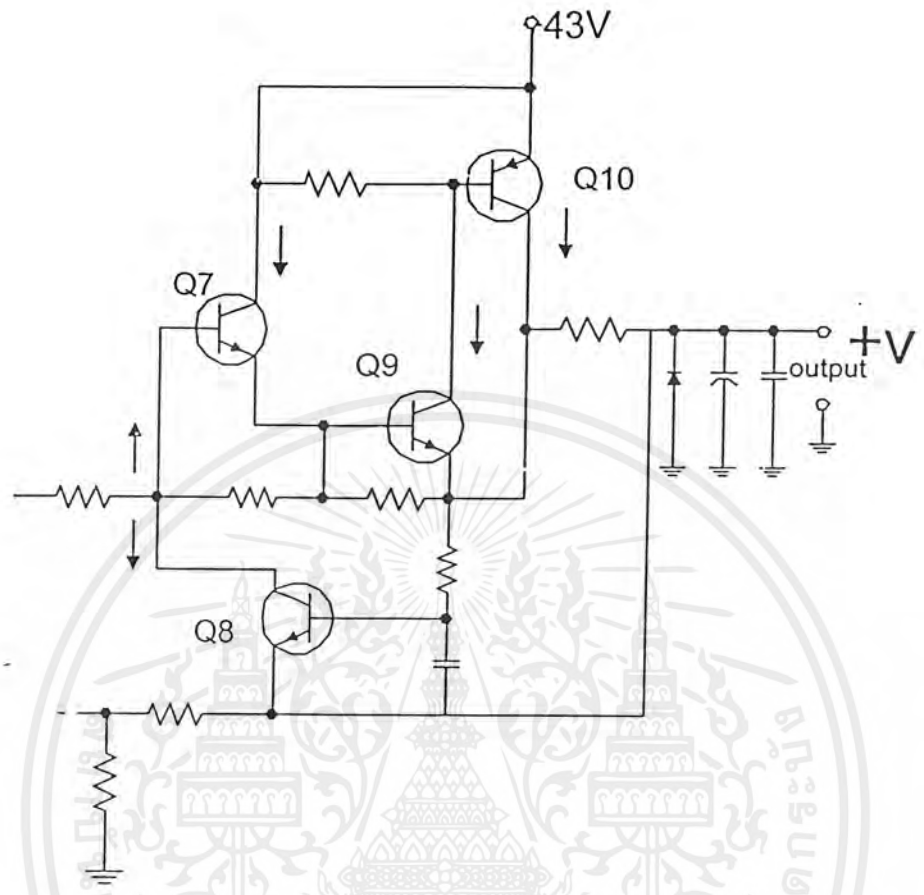
รูปที่ 3.3 วงจร Differential Amplifier

จากรูป Differential Amplifier Q_1 และ Q_2 ต่อเป็นวงจร Differential Amplifier เมื่อมีแรงดันป้อนเข้าที่ขาเบสของ Q_1 และ Q_2 แตกต่างกัน วงจรจะขยายค่าของแรงดันที่ต่างกันออกทางเขาของคอลเลคเตอร์ แต่ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้ามาที่ขาเบสของ Q_1 และ Q_2 มีขนาดเท่ากันแล้ววงจรจะไม่มีการขยายสัญญาณใดๆ จากสมการ $V_{out} = A(V_1 - V_2)$ Q_4 และ Q_6 เป็นวงจร Differential Amplifier ที่มี Q_3 และ Q_5 ทำหน้าที่เป็นวงจรสะท้อนกระแส (Current Miror) เพื่อให้วงจรขยายมีเสถียรภาพการทำงานที่ดี การเปลี่ยนแปลงของกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_4 และ Q_6 เนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะไม่เกิดขึ้นเลยในวงจร และสัญญาณออก V_0 จะมีค่าเป็นศูนย์อย่างแท้จริง เมื่อสัญญาเข้ามีขนาดเท่ากัน

3.2.2 วงจรขยายกระแสเอาท์พุทด้านไฟบวก

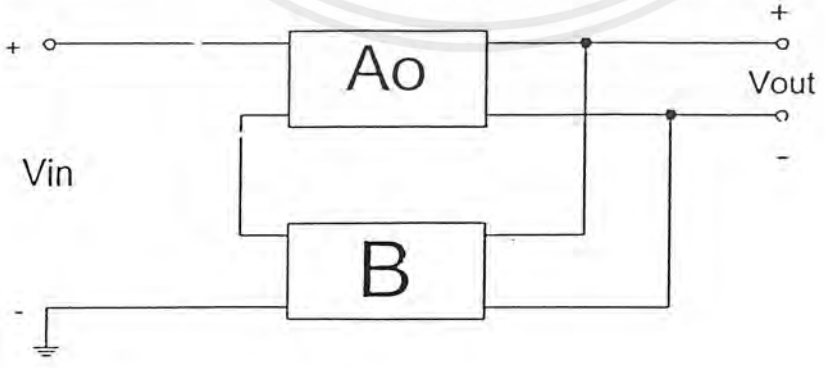
จากรูป 3.4 Q_7 และ Q_9 ทำหน้าที่ไอแอสให้กับ Q_{10} คือถ้ากระแสคอลเลคเตอร์ของ Q_9 สูงขึ้นจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมขา EB ของทรานซิสเตอร์ Q_{10} สูงขึ้น ทำให้กระแสไหลผ่าน Q_{10} ออกเอาท์พุทมากขึ้น ทรานซิสเตอร์ Q_8 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแส เมื่ออุณหภูมิของ Q_{10} สูงขึ้น กระแสที่ไหลเข้าทรานซิสเตอร์ Q_8 จะสูงขึ้น ทำให้ Q_8 ไปแบ่งกระแส IB ของ Q_7 จะเป็นการลดกระแส IC ของ Q_7, Q_8 และกระแสเอาท์พุทของ Q_{10} ตามลำดับ ไดโอดที่ต่อไว้ในส่วนเอาท์พุทมีไว้ป้องกันแรงดันกลับขั้ว ส่วนตัวเก็บประจุนั้นมีไว้เพื่อช่วยลดแรงดันทรานส์เซี้ยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 วงจรขยายเอาท์พุทด้านไฟบวก

3.2.3 วงจรขยายมีการป้อนกลับ



รูป 3.5 แผนผังแสดงการป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

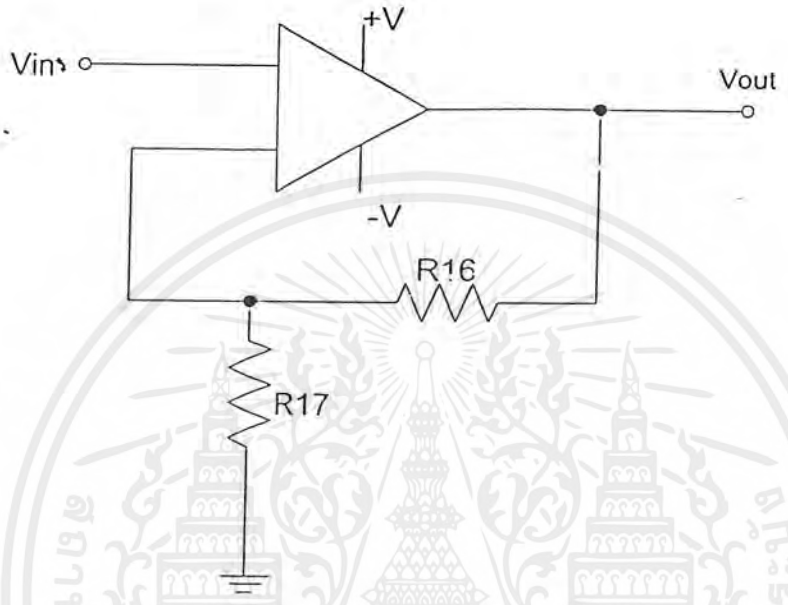
$V_{out} = A_{CL}V_{in}$

$A_{CL} = A_{OL}(1+BA_{OL})$

A_{OL} คือ อัตราขยายของวงจรเมื่อไม่มีการป้อนกลับ (Open Loop Gain)

A_{CL} คือ อัตราขยายของวงจรหลังจากมีการป้อนกลับ (Closed Loop Gain)

B คือ สัดส่วนของการป้อนกลับ



รูป 3.6 วงจรแสดงการป้อนกลับ

$B = B_{17}/(R_{17}+R_{16})$

ถ้า BA_{OL} มากกว่า 1 หลายๆ เท่าเราจะได้ว่า

$A_{CL} = A_{OL}/(BA_{OL}) = 1/B$

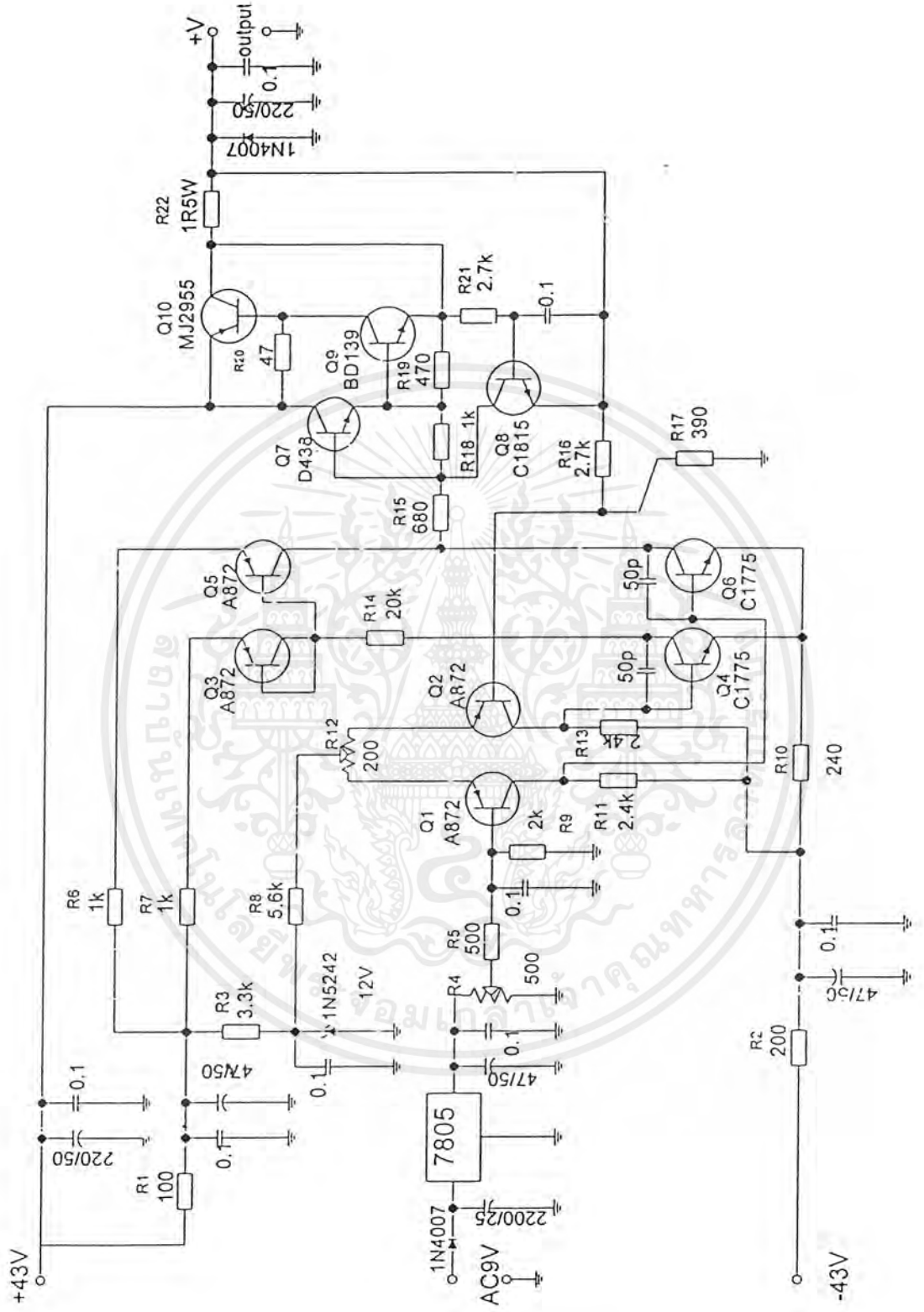
นั่นคือกำลังขยายของทั้งวงจรจะมีค่า

$A_{CL} = (R_{17}+R_{16})/R_{17} = (2700+390)/390 = 7.9$

จะได้แรงดันเอาท์พุทสูงสุด คือ

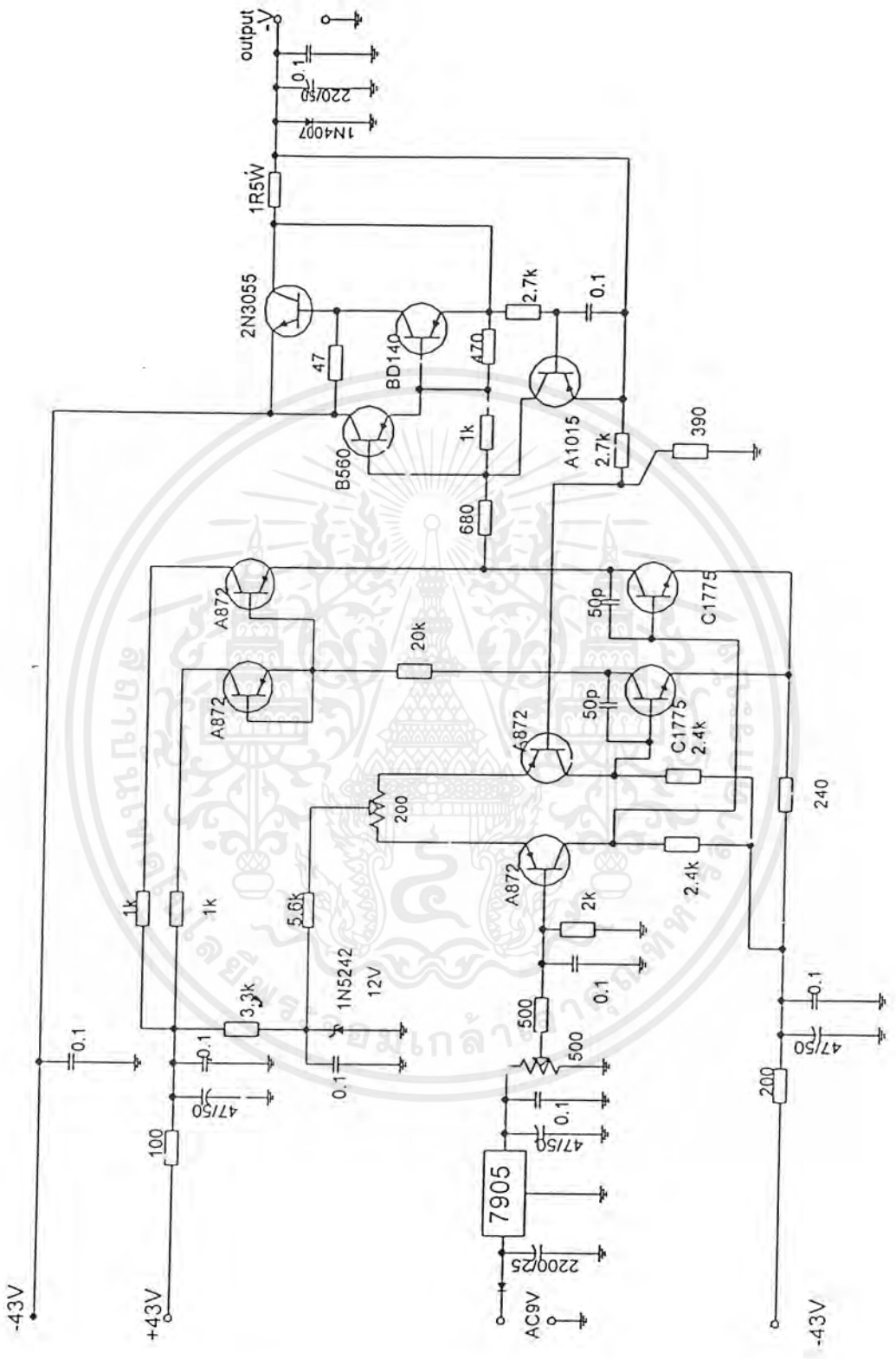
$V_{out} = 7.9 \times 4 = 31.6V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรสมบูรณ์ทางด้านไฟบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

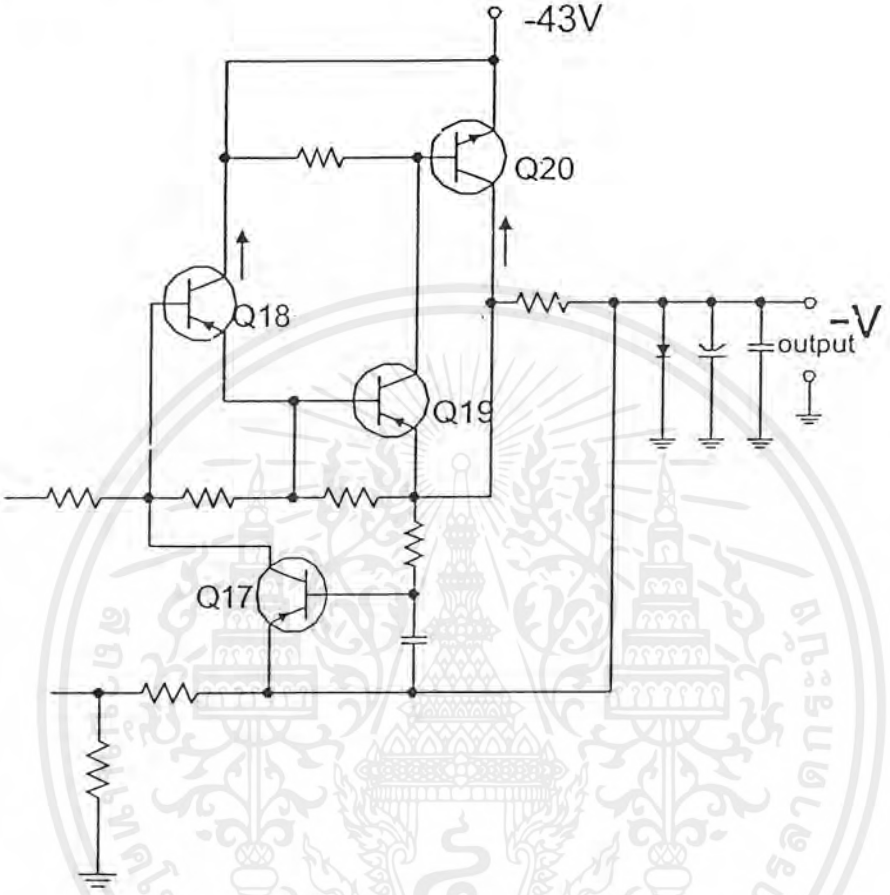


รูปที่ 3.8 วงจรสมบูรณ์ทางด้านไฟลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรขยายกระแสเอาท์พุทด้านไฟลบ

หลักการทำงานจะคล้ายกับด้านไฟบวก เพียงแต่ทิศทางของกระแสจะกลับกัน พิจารณาจากวงจรดังต่อไปนี้



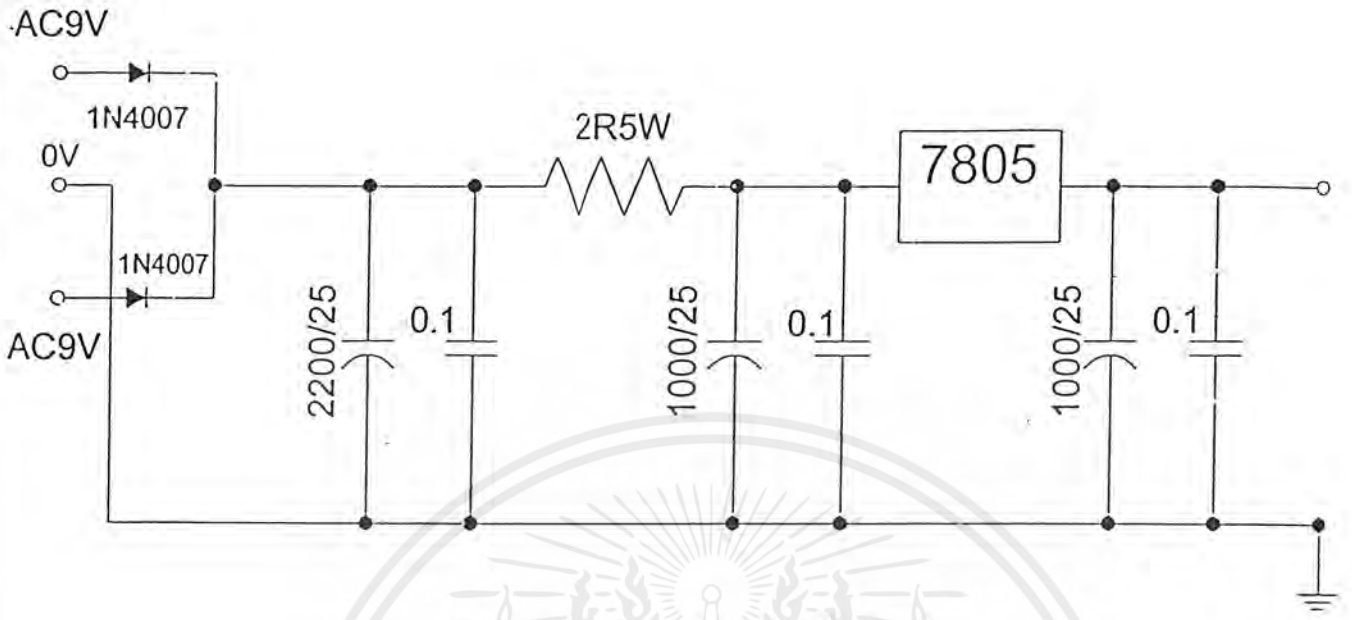
รูปที่ 3.9 วงจรขยายกระแสด้านไฟลบ

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรแรงดันด้านไฟลบนี้ จะเปลี่ยนเป็นชนิดที่ตรงกันข้ามกับทางด้านวงจรไฟบวก เช่น จาก NPN เป็น PNP หรือจาก PNP เป็น NPN ที่มีคุณสมบัติคล้ายๆ กัน ส่วนค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุยังคงเท่าเดิม

3.2.5 วงจรเอาท์พุทบวก 5 โวลท์คงที่

แรงดันไฟส่วนนี้มีไว้เพื่อจ่ายให้เป็นไฟเลี้ยงของ IC TTL ต่างๆ ในวงจรส่วนนี้ทำการรักษาแรงดันให้คงที่โดยใช้ IC เรกกูเลเตอร์ เบอร์ 7805 ซึ่งให้เอาท์พุทบวก 5 โวลท์คงที่ แรงดันที่ขา in ต้องป้อนมากกว่า 7V แต่ต้องไม่เกิน 20 V ตามที่ระบุไว้ใน DATA SHEET จึงจะทำให้ได้เอาท์พุท 5 โวลท์ตัวเก็บประจุต่อไว้เพื่อกรองแรงดันให้เรียบ และป้องกันสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.10 วงจรสมบูรณ์แรงดันคงที่ 5 โวลท์

3.3 การสร้าง

ขั้นตอนการสร้าง

1. ออกแบบและจัดทำแผ่นวงจรพิมพ์(PCB) พร้อมทั้งจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือให้ครบถ้วน

2. ลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ให้เรียบร้อย โดยใส่อุปกรณ์ที่มีความสูงน้อยๆ ก่อน เช่น ลวดจัมพ์ ตัวต้านทานเพื่อให้ลงอุปกรณ์ตัวต่อไปได้สะดวก

3. ยึดทรานซิสเตอร์กำลัง (MJ 3955 และ 2N3055) กับแผ่นระบายความร้อน รองระหว่างทรานซิสเตอร์กับแผ่นระบายความร้อนด้วยฉนวนไมการ์ ที่ทาซิลิโคนทั้งสองด้านเพื่อช่วยในการระบายความร้อน

4. ประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดลงกล่องแล้วเดินสายไฟให้เรียบร้อย ตรวจสอบให้ดีไม่ให้เกิดการผิดพลาด เพราะอาจจะทำให้เครื่องเสียหายได้เมื่อจ่ายไฟให้กับวงจร

5. เสียงไฟเปิดเครื่องวัดค่าต่างๆ ได้ตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็ทำการปรับแต่งให้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

รายการอุปกรณ์ลง PCB

ตัวต้านทาน	จำนวน
R 1Ω5w	2
R 2Ω5w	1
R 47Ω	2
R100Ω	2
R200Ω	2
R240Ω	2
R390Ω	2
R470Ω	2
R500Ω	2
VR500Ω(Volume)	2
R680Ω	2
VR200Ω(เกือกม้า)	2
R1kΩ	6
R2kΩ	2
R2.4kΩ	4
R2.7kΩ	4
R3.3kΩ	2
R5.6kΩ	2
R20kΩ	2
ตัวเก็บประจุ	
C50pF	4
C0.1μF	25
C47μF/50V	6
C220μF/50V	4
C1000μF/25V	2
C2200μF/25V	3
C2200μF/50V	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน
DIODE IN4007	8
ZENER DIODE IN5 2428	2
BRIDGE DIODE 3 A	1
IC 7805	3
IC 7905	1
MJ 2955	1
2N3055	1
BD139	1
BD140	1
A872	8
C1775	4
D438	1
B560	1
A1015	1
C1815	1
รายการอุปกรณ์ประกอบลงกล่องดิจิตอลมเตอร์	
สวิตซ์	2
หม้อแปลง	1
HEAT SINK	1
กระบอกฟิวส์	2
BIDING	5
แผ่น PCB	1
ปลั๊ก AC (ตัวเมีย 3 ขา)	1
สาย AC POWER	1
ไมลาร์, ฉนวน, น็อต	2(ชุด)
หางปลากลม	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เมื่อประกอบเครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการเสียบปลั๊ก เปิดเครื่อง แล้วลองวัดแรงดันเอาท์พุทดูว่าได้ตามต้องการหรือไม่

จากการทดลองวัดแรงดันเอาท์พุทสูงสุด

- ด้านไฟบวกวัดได้ 31.2 โวลท์
- ด้านไฟลบวัดได้ -31.6 โวลท์
- แรงดันคงที่วัดได้ 5 โวลท์

การทดสอบคุณสมบัติ DC POWER SUPPLY มีขั้นตอน ดังนี้

4.1 โหลดเรกูเลชั่น (Load Regulation)

คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุทเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟสลับทางอินพุทคงที่ และที่กระแสโหลดสูงสุดจะถือว่าเป็นความสามารถในการจ่ายกระแสของเครื่องจ่ายไฟอีกด้วย

การจัดอุปกรณ์สำหรับวัดแสดงในรูปต่อไปนี้ ในการวัดเริ่มวัดแรงดันเอาท์พุทในขณะที่ยังไม่มีโหลดแล้วบันทึกค่าไว้ จากนั้นปรับโหลด (Variable Resistor) ให้ดึงกระแสสูงสุดของเครื่องจ่ายไฟนั้น วัดแรงดันเอาท์พุทแล้วบันทึกค่าไว้ นำค่าทั้งสองที่ได้มาคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Load Regulation} = \frac{\left(V_O - V_L\right)}{V_O} \times 100$$

โดย V_O = แรงดันเอาท์พุทขณะไม่มีโหลด

V_L = แรงดันเอาท์พุทเมื่อโหลดดึงกระแสเต็มที่

ข้อควรคำนึงถึงในการวัดโหลดเรกูเลชชั่น ก็คือ ค่าทนกำลังของตัวต้านทาน ซึ่งต้องทนได้สูงกว่ากำลังที่เครื่องจ่ายออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ตารางบันทึกด้านไฟบวก

V_{noload} = 31 โวลท์

V_{out}(V)	I_{load}(A)	P = VI(w)
31.0	0.09	2.79
31.0	0.10	3.10
31.0	0.19	5.89
31.0	0.26	6.20
31.0	0.41	12.71
30.5	0.64	19.52
27.8	0.73	20.07
24.0	0.80	19.2
17.1	0.93	15.9
15.8	1.00	15.8

$$\% \text{ Load Regulation} = \frac{(31 - 30.5)}{31} \times 100$$

$$= 1.61\%$$

4.1.2 ตารางบันทึกด้านไฟลบ

V_{noload} = -31 โวลท์

V_{out}(V)	I_{load}(A)	P = VI(w)
-31.0	0.09	2.79
-31.0	0.10	3.10
-31.0	0.19	5.89
-31.0	0.26	6.20
-31.0	0.41	12.72
-30.8	0.65	20.02
-28.5	0.75	21.38
-24.5	0.82	20.09
-17.2	0.92	15.82
-15.2	1.00	15.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ Load Regulation} = \frac{(31 - 30.8)}{31} \times 100$$

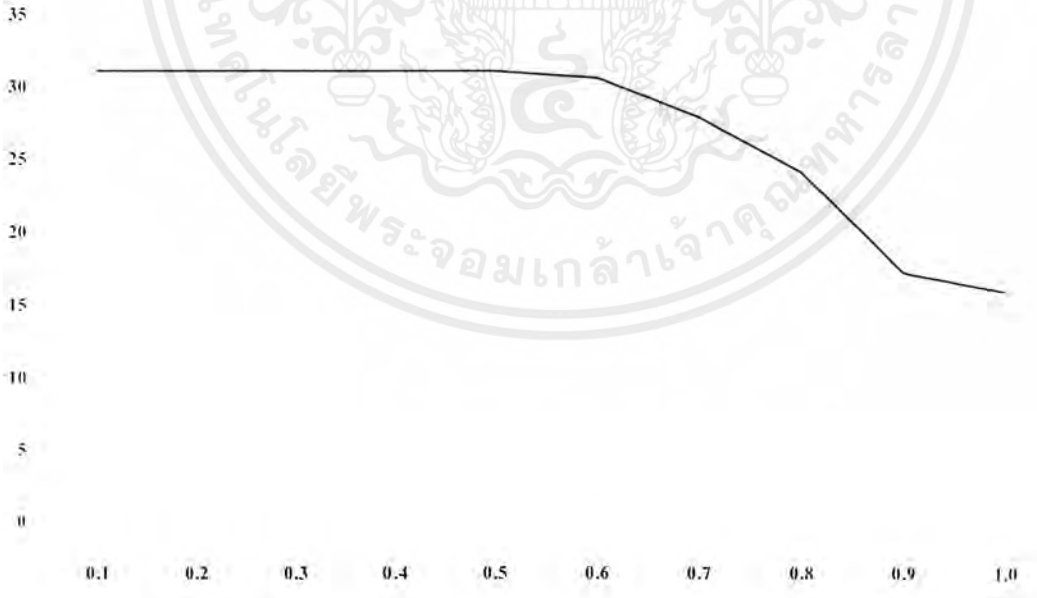
$$= 0.645\%$$

4.2 การวัดค่าริปเปิ้ล

การวัดค่าริปเปิ้ลเป็นการทดสอบแรงดันไฟฟ้า AC ที่ปะปนออกมากับแรงดันไฟฟ้า DC ที่เอาท์พุท จากการทดสอบ พบว่า ริปเปิ้ลที่ออกมามีค่าน้อยมาก ซึ่งถูกขจัดโดยวงจรเรกูเลเตอร์

4.3 การทดสอบการลัดวงจร

การทดสอบการลัดวงจร ทำโดยลัดวงจรระหว่างเอาท์พุทด้านลบกับบราวน์และเอาท์พุทด้านบวกกับกราวน์ ผลที่ได้คือจะทำให้ฟิวส์ขาดก่อนที่เครื่องจะเสียหาย



รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโหลดกับแรงดันเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและวิจารณ์

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง

1. ในการทดสอบคุณสมบัติทางโหลดเรกกูเลชั่น จะพบว่าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงที่ทำการทดสอบ มีความสามารถในการรักษาแรงดันเอาท์พุทให้มีขนาดค่อนข้างคงที่เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าลดลงเล็กน้อย และมีแรงดันกระเพื่อมเพียงเล็กน้อย เมื่อโหลดมีค่าลดลง

2. ในการทดลองคุณสมบัติทางไลน์เรกกูเลชั่น จะพบว่าเครื่องจ่ายไฟกระตรงที่ทำการทดสอบ มีความสามารถในการรักษาแรงดันเอาท์พุทให้มีขนาดค่อนข้างคงที่เมื่อระดับแรงดันอินพุทมีการเปลี่ยนแปลง เอาท์พุทจะมีแรงดันคงที่เมื่อขนาดแรงดันอินพุทตั้งแต่ประมาณ 230 โวลท์(ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามบ้าน)

3. ในการทดสอบคุณสมบัติของแรงดันกระเพื่อม (Ripple Rejection) แรงดันริปเปิ้ล ทางเอาท์พุทจะมากขึ้นเมื่อขนาดแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง เนื่องมาจากโหลดมีค่าลดลงซึ่งก็คือช่วงที่วงจรไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ แต่ในเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงนี้สามารถรักษาระดับแรงดันและให้มีระดับริปเปิ้ลต่ำเมื่อโหลดมีค่าน้อยๆ

4. ในการทดสอบการลัดวงจร จะพบว่าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงที่ทำการทดสอบมีความสามารถในการป้องกันการลัดวงจร คือเมื่อมีการลัดวงจรจะไม่ทำเครื่องเสียหาย และสามารถใช้งานได้เช่นเดิม เนื่องจากใช้วงจรในการป้องกันโดยการลดกระแสทางเอาท์พุทเมื่อลัดวงจร

5. เราสามารถนำเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงมาทำเป็นเครื่องจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 60 โวลท์ โดยนำเอาท์พุทของไฟบวกและลบมาต่ออนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เกรงชัย วีรวีมาส. **เรื่องดิจิตอลมิเตอร์.**

สว่าง ประกายรุ้งทอง. **หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ตอนที่ 1.** เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. เล่มที่ 81. 2530, หน้า 172-181.

สว่าง ประกายรุ้งทอง. **หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ตอนที่ 2.** เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. เล่มที่ 82. 2530, หน้า 190-201.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To Be Replace	ECG Replacement	FIG NO
2N3055	130	T28
MJ2955	219	T28
D438	382	T19
B560	298	T20
BD139	373	T45
BD140	374	T45
C1815	85	T16
A1015	290A	T16
A872	91	T18
C1775	90	T18
7805	960	L17
7905	961	L17
1N5242	5021A	Z3A
1N4007	125	Z3A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. in MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package Case	Package Fig. No.
ECG63	NPN-Si, UHF/Microwave Amp/Mixer G_{PE} 7.5 dB @ 2 GHz NF 4 dB @ 2 GHz	20	12	3	40 mA	400 mW	5 GHz typ	40	RF-19A	T49-3
ECG64	NPN-Si, UHF/Microwave Amp/Hi Speed Sw G_{PE} 10 dB @ 1 GHz NF 2 dB typ @ 1 GHz	25	15	3	30 mA	350 mW	4.5 GHz typ	60	RF-19A	T49-3
ECG65	NPN-Si, UHF/Microwave Amp, CATV, MATV	20	15	2	25 mA	180 mW	5 GHz typ	30 typ	RF-19	T49-2
ECG66	See FET Selector Guide Page 1-65	----	----	---	---	---	---	---	---	---
ECG67	See FET Selector Guide Page 1-65	----	----	---	---	---	---	---	---	---
ECG68 ECG68MCP	PNP-Si, Gen Purp Hi Pwr Amp (Compl to ECG388) Matched Compl Pair-Contains one each of ECG388 (NPN) and ECG68 (PNP)	400	250	5	16	250	4 min	30 typ	TO-3	T28
ECG69	NPN-Si, UHF/VHF Amp, Osc, Mixer	35	35	4	50 mA	.25 (T_A = 25°C)	800 min	70 typ	TO-92	T16
ECG70	NPN-Si, HV Pwr Amp, Switch	180	150	6	50	250	30 min	30 min	TO-63	T35
ECG71	NPN-Si, Current Amp, Fast Switch	150	90	7	20	200	20	20 min	TO-63	T35
ECG72	DISCONTINUED NPN-Si, Hi Current Amp, Fast Switch	120	100	6	10	115	30	30 min	TO-61 (Isolated)	T33
ECG74	DISCONTINUED NPN-Si, Gen Purp Amp, Sw	100	100	6	7	60	30	60 min	TO-59	T32
ECG75	NPN-Si, Hi Pwr Amp, Sw	100	80	8	5	50	50 min	40 min	TO-111	T30
ECG76 ECG76MP*	NPN-Si, CATV Broadband Amp	50	30	5	.4	5	1800	30 min	TO-117	T50
ECG77	NPN-Si, CATV Broadband Amp	50	30	5	.4	3.5	1800	30 min	TO-39	T6
ECG78	NPN-Si, RF PO, CB, 27 MHz, 3W	36	18	4	.6	5	----	5 min	TO-202M	T39
ECG79	NPN-Si, RF PO, CB, 27 MHz	36	18	4	2	10	----	5 min	TO-202M	T39
ECG81	DISCONTINUED Dual NPN-Si, Switch, DC to VHF Amp	75	40	6	.6	2 total (T_C = 25°C) .6 total (T_A = 25°C)	250 min	100 min	TO-78	T12
ECG82	Dual PNP-Si, Switch, DC to VHF	60	60	5	.6	2 total (T_C = 25°C) .6 total (T_A = 25°C)	200 min	100 min	TO-78	T12
ECG85	NPN-Si, Sw, Gen Purp Amp	70	70 (CES)	4	.4	.6 (T_A = 25°C)	200 min	120 min	TO-92	T16
ECG86	NPN-Si, Hi Gain DC Regulator, Amp	200	150	6	5	50	15	400 min	TO-3	T28
ECG87 ECG87MP*	NPN-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG88)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
ECG88 ECG88MP* ECG88MCP	DISCONTINUED PNP-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG87) Matched Compl Pair-Contains one each ECG87 (NPN) and ECG88 (PNP)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
ECG89	NPN-Si, Horiz Output with Damper Diode - Page 1-78	1500	600	6	7	50	---	5 min	TO-3	T28

Package Outlines - See Page 1-51

* MP- Matched Pair
# Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain
• When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. in MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package	
									Case	Fig. No.
ECG90	NPN-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG91)	120.	120	5	50 mA	.75 (T_A = 25°C)	350	400 min	TO-52M	T18
ECG91	PNP-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG90)	120	120	5	50 mA	.75 (T_A = 25°C)	150	400 min	TO-52M	T18
ECG92	NPN-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG93)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
ECG93 ECG93MCP	PNP-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG92) Matched Compl Pair-Contains one each ECG92 (NPN) and ECG93 (PNP)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
ECG94	NPN-Si, Gen Purp Pwr DC Regulator	300	300	5	5	100	2.5 min	30 min	TO-3	T28
ECG95	NPN-Si, HV Amp, Sw Isolated Stud	250	250	6	3	70	40	90 min	TO-5[illegible] (Isolated)	T31
ECG96	NPN-Si, Medium Pwr Amp, Sw, Isolated Stud	100	100	6	7	60	30 min	60 min	TO-5[illegible] (Isolated)	T31
ECG97	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t_f = .5 µsec	500	400	8	10	150	---	40 min	TO-[illegible]	T28
ECG98	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t_f = .6 µsec	700	500	8	20	175	---	40 min	TO-3	T28
ECG99	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t_f = 1 µsec	600	400	8	50	250	---	25 min	TO-3	T28
ECG100	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T_A = 25°C)	5 #	40 typ at 455 kHz	TO-[illegible]	T5
ECG101	NPN-Ge, RF/IF Amp, Osc Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T_A = 25°C)	5 #	40 typ at	TO-[illegible]	T5
ECG102	PNP-Ge, AF Driver, Preamp Pwr Output (Compl to ECG103)	30	16 (CER)	20	.3	.150 (T_A = 25°C)	2	90 typ	TO-5	T5
ECG120A	PNP-GE, AF Driver, Preamp Pwr Output (Compl to ECG103A)	32	32 (CES)	12	.5	.900 (T_A = 25°C)	2.3	120 typ	TO-[illegible]	T1
ECG103	NPN-Ge, AF Driver, Preamp Pwr Output (Compl to ECG102)	30	16 (CER)	20	.250	.150 (T_A = 25°C)	2 #	90 typ at	TO-[illegible]	T5
ECG103A	NPN-Ge, AF Driver, Preamp Pwr Output (Compl to ECG102A)	32	32 (CES)	10	.5	.340 (T_A = 25°C)	2.5	105 typ	TO-[illegible]	T1
ECG104 ECG104MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output	50	35 (CER)	20	7	90	10 kHz #	90 typ	TO-3	T28
ECG105	PNP-Ge, AF Pwr Output	50	35 (CER)	20	15	100	10 kHz #	90 typ	TO-3[illegible]	T29
ECG106	PNP-Si, RF/IF Amp, Osc, Mix	35	15	1	75 mA	.250 (T_A = 25°C)	500	20 min	TO-[illegible]	T2
ECG107	NPN-Si, UHF/VHF Amp, Osc, Mix, IF Amp	30	15	5	50 mA	.250 (T_A = 25°C)	800 min	70 typ	TO-5[illegible]	T16
ECG108	NPN-Si, RF/IF,Video Amp, Osc Mix, VHF/UHF	30	15	2	50 mA	.600 (T_A = 25°C)	800 min	20 min	TO-5[illegible]	T16
ECG121 ECG121MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output	65	45 (CER)	15	7.0	30	22 kHz #	80 typ	TO-3	T28
ECG123	NPN-Si, AF Preamp, Driver Video Amp, Sync Sep	60	30	5	.8	.800 (T_A = 25°C)	250	150 typ	TO-3[illegible]	T6
ECG123A	NPN-Si, AF/RF Amp, Sw	75	40	6	.8	.500 (T_A = 25°C)	300	200 typ	TO-[illegible]	T2
ECG123AP	NPN-Si, AF/RF Amp, Driver (Compl to ECG159)	75	40	6	.6	.500 (T_A = 25°C)	300	200 typ	TO-5[illegible]	T16
ECG124	NPN-Si, HV Audio Pwr Output	300	300	5	.150	20	30	100 typ	TO-66	T25

Notes: * MP- Matched Pair
Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain
• When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page 1-91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. In MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package Case	Package Fig. No.
ECG126A	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	15	15	3	50 mA	300 mW (T_A = 25°C)	250	40 typ	TO-18	T2
ECG127	PNP-Ge, Horiz & Vert Defl, Pwr Output	320	320 (CES)	2	10	40	1	15 min	TO-3	T28
ECG128	NPN-Si, AF Preamp, Driver Output, Video Amp (Compl to ECG129)	120	80	7	1	1 (T_A = 25°C)	120	90 min	TO-39	T5
ECG128P	NPN-Si, Gen Purp Amp, Sw (Compl to ECG129P)	100	80	7	1	1	100	100 min	TO-237	T17
ECG129 ECG129MCP	PNP-Si, AF Preamp, Driver, Output, Video Amp (Compl to ECG128) Matched Compl Pair-Contains one each ECG128 (NPN) and ECG 129 (PNP)	90	80	7	1	1 (T_A = 25°C)	120	90 min	TO-39	T5
ECG129P	PNP-Si, Gen Purp Amp, Sw (Compl to ECG128P)	80	80	7	1	1	150	100 min	TO-237	T17
ECG130 ECG130MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG219)	100	60	7	15	115	800	40 typ	TO-3	T28
ECG131 ECG131MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output (Compl to ECG155)	32	20	10	3 peak	6 (T_C = 63°C)	1	110 typ	TO-9	T27
ECG152 ECG152MP*	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG153)	60	60	5	7	50	10	60 typ	TO-220	T41
ECG153 ECG153MCP	PNP-Si, AF Pwr Output Compl to ECG152) Matched Compl Pair-Contains one each ECG152 (NPN) and ECG153 (PNP)	60	60	5	7	50	10	60 typ	TO-220	T41
ECG154	NPN-Si, Video Output Amp	300	300	7	.5	1.0 (T_A = 25°C) 7.0 (T_C = 25°C)	40	60 typ	TO-39	T5
ECG155	M(M-Ge, AF Pwr Amp (Compl to ECG131)	32	20	10	3 peak	7.5	1	110 typ	TO-9	T27
ECG157	NPN-Si, HV AF Pwr Amp (Compl to ECG39)	300	300	3	.5	20.8	10	30 min	TO-126	T45
ECG158	PNP-Ge, AF Pwr Amp	32	32	10	1	1.6	1.5	90 typ	TO-1	T1
ECG159 ECG159MCP	PNP-Si, AF Preamp, Driver Sw (Compl to ECG123AP) Matched Compl Pair-Contains one each ECG123AP (NPN) and ECG159 (PNP)	80	80	5	1	.600 (T_A = 25°C)	200	180 typ	TO-92	T15
ECG160	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc Mix	30	20 (CES)	.5	10 mA	.200 (T_A = 25°C)	400	20 typ	TO-72	T4
ECG161	NPN-Si, Video IF Amp	30	30 (CES)	2.5	25 mA	.200 (T_A = 25°C)	1000	50 typ	TO-72	T4
ECG162	NPN-Si, Vert Defl	500	300	5	3 cont. 10 peak	100	—	20 min	TO-3	T28
ECG163A	NPN-Si, Horiz Defl	700	700 (CEV)	5	10 peak	100	—	10	TO-3	T28
ECG164	NPN-Si, Vert Defl	1500	700 (CER)	5	1	50	5 min	20	TO-3	T28
ECG165	NPN-Si, Horiz Defl	1500	1400 (CES)	5	5	50	—	5	TO-3	T28
ECG172A	NPN-Si, Darlington AF Preamp, Medium-Speed Sw	40	40	12	.3	.400 (T_A = 25°C)	60	7000 min	TO-92	T15
ECG175	NPN-Si, AF Pwr Amp	500	300	6	3	40	10	50 typ	TO-66	T25
ECG176	PNP-Ge, AF Pwr Amp	25	25	6	2	6	700	110 typ	TO-39	T5

Notes: * MP- Matched Pair
Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain
- When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page T-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. in MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package Case	Package Fig. No.
ECG211	PNP-Si, AF Output, Sw (Compl to ECG210)	90	75	5	1	6.25 (T_C = 25°C) 1.33 (T_A = 25°C)	200	120 min	TO-202	T38
ECG213	PNP-Ge, Hi Current/Power	75	65	40	30	170	270	80 typ	TO-36	T29
ECG214	NPN-Si, Darlington Dr, Sw, Series Pass, t_f = 1.8 µsec typ	70	60	6	10	60	—	2000 min	TO-3PJ	T48-1
ECG215	NPN-Si, Darlington Dr, Sw Series Pass t_f = 1.6 µsec typ	110	100	6	8	60	—	1500 min	TO-3PJ	T48-1
ECG216	NPN-Si, Hi Speed Sw, Core Driver, t_d = 5 ns, t_r = 15 ns, t_s = 35 ns, t_f = 30 ns typ	80	50	6	1.5	1	300	60 min	TO-237	T17
ECG217	PNP-Si, Hi Speed Sw, Amp, t_d = 10 ns, t_r = 30 ns, t_s = 60 ns, t_f = 30 ns max	40	40	5	1	1	175	40 min	TO-237	T17
ECG218	PNP-Si, AF Pwr Output	90	80	7	3	25	3 min	20 min	TO-66	T25
ECG219 ECG219MCP	PNP-Si, AF Output, Sw (Compl to ECG130) Matched Compl Pair-Contains one each ECG130 (NPN) and ECG219 (PNP)	100	70 (CER)	7	15	150	4 min	20 min	TO-3	T28
ECG220 thru ECG222	See FET Selector Guide Page 1-65									
ECG224	NPN-Si, Final RF Pwr Output (P_o 4 W, 50 MHz)	60	60 (CEV)	2.5	2	10	200	50 typ	TO-39F	T23
ECG225	NPN-Si, AF Video & Sw	450	350	7	1	10	15	40 min	TO-39F	T23
ECG226 ECG226MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output	35	35 (CER)	6	2	12	450	125 typ	TO-9A	T25
ECG227	NPN-Si, HV Amp, Video Output	300	300	7	.1	1	50	40 min	TO-237	T17
ECG229	NPN-Si, VHF Osc, Mix, IF Amp	40	40	4	50 mA	.425 (T_A = 25°C)	600	30 min	TO-92	T15
ECG232	PNP-Si, Darlington Amp	30	30	8	.3	.625 (T_A = 25°C)	175	50,000 typ	TO-92	T15
ECG233	NPN-Si, Final Video IF	30	30	3	.1	.625 (T_A = 25°C)	300	45 typ	TO-92	T15
ECG234	PNP-Si, Lo Noise, Hi Gain AF Preamp	60	50	5	50 mA	.200 (T_A = 25°C)	50 min	TO-92	T15	
ECG235	NPN-Si, Final RF Pwr Output (P_o 5 W, 50 MHz)	65	65 (CER)	4	3 pulse	12	200 min	40 min	TO-220	T41
ECG236	NPN-Si, Final RF Pwr Output (P_o 13 W, 50 MHz, SSB)	70	70 (CER)	4	8 pulse	25	100	20 min	TO-220	T41
ECG238	NPN-Si, Horizontal Output	1500	1500 (CER)	5	7	50	—	5	TO-3	T28
ECG240	PNP-Si, HV AF Amp, Video Output (Compl to ECG191)	300	300	5	.5	10 (T_C = 25°C) 1 (T_A = 25°C)	50 min	40 typ	TO-202N	T38
ECG241	NPN-Si, AF Pwr, Sw (Compl to ECG242)	80	80	5	4	60	2	25 min	TO-220	T41
ECG242	PNP-Si, AF Pwr, Sw (Compl to ECG241)	80	80	5	4	60	2	25 min	TO-220	T41
ECG243	NPN-Si, Darlington Pwr Amp (Compl to ECG244)	80	80	5	8	100	—	3000 typ	TO-3	T28

Notes: * MP- Matched Pair
Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain
• When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page 1-91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. in MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package Case	Package Fig. No.
ECG275	PNP-Si, Darlington Pwr Amp Switch (Compl to ECG274)	80	80	5	4	50	—	3000 typ	TO-66	T25
ECG278	NPN-Si, Broad Band RF Amp	40	30	4	.4	3.5	1200 min	30 min	TO-39	T6
ECG280 ECG280MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG281)	140	140	5	12	100	6	70 min	TO-3	T29
ECG281 ECG281MP*	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG280) Matched Compl Pair-Contains one each ECG280 (NPN) and ECG281 (PNP)	140	140	5	12	100	6	70 min	TO-3	T29
ECG283	NPN-Si, HV-Hi Current Sw, Horiz Output	800	325	8	10	100	6	15 min	TO-3	T29
ECG284 ECG284MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG285)	180	180	5	16	150	6	70 min	TO-3	T29
ECG285 ECG285MCP	PNP-Si, AF Pwr amp (Compl to ECG284) Matched Compl Pair-Contains one each ECG284 (NPN) and ECG285 (PNP)	180	180	5	16	150	6	70 min	TO-3	T29
ECG287	NPN-Si, HV Gen Purp Amp (Compl to ECG288)	300	300	6	.5	.625 (T_A = 25°C)	50	40 min	TO-92	T15
ECG288	PNP-Si, HV Gen Purp amp (Compl to ECG287)	300	300	5	.5	.625 (T_A = 25°C)	50	40 min	TO-92	T15
ECG289A ECG289AMP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG290A)	100	80	5	.5	.500 (T_A = 25°C)	100	100 min	TO-92	T15
ECG290A ECG290AMCP	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG289A) Matched Compl Pair-Contains one each ECG289A (NPN) and ECG290A (PNP)	100	80	5	.5	.500 (T_A = 25°C)	100	100 min	TO-92	T15
ECG291	NPN-Si Pwr Amp, Sw (Compl to ECG292)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T47
ECG292 ECG292MCP	PNP-Si, Pwr Amp, Sw (Compl to ECG291) Matched Compl Pair-Contains one each ECG291 (NPN) and ECG292 (PNP)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T47
ECG293 ECG293MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG294)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T_A = 25°C)	200	100 min	TO-5	T20
ECG294	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG293)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T_A = 25°C)	200	100 min	TO-5	T20
ECG295	NPN-Si, RF Output/Driver	75	40	5	1	5	150 min	20 min	TO-126	T45
ECG297 ECG297MP*	NPN-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG298)	80	80	5	1 peak	.75 (T_A = 25°C)	100	100 min	TO-5	T20
ECG298	PNP-Si, AF Driver/Pwr Amp (Ccmpl to ECG297)	80	80	5	1 peak	.75 (T_A = 25°C)	100	100 min	TO-5	T20
ECG300 ECG300MP*	NPN-Si, AF Pwr Output	50	40	5	1.5	7	70	80 min	TO-202	T38
ECG302	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
ECG306	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
ECG311	NPN-Si, VHF/UHF Osc, Amp Driver	55	30	3.5	.4	5	800 min	25 min	TO-39	T6

Notes: * MP- Matched Pair

Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain

• When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page T-87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at T_C = 25°C Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV_{CBO}	Collector To Emitter Volts BV_{CEO}	Base to Emitter Volts BV_{EBO}	Max. Collector Current I_C Amps	Max. Device Diss. P_D Watts	Freq. in MHz f_t	Current Gain h_{FE}	Package Case	Package Fig. No.
ECG366	NPN-Si, RF PO, 407-512 MHz, 25 W	36	16	4	5	75	---	20 min	RF-50F5	T60
ECG367	NPN-Si, RF PO, 407-512 MHz, 45 W	36	16	4	8	175	---	20 min	RF-50F5	T60
ECG368	NPN-Si, RF PO, 407-512 MHz, 60 W	36	16	4	10	233	---	20 min	RF-50F5	T60
ECG369	NPN-Si, Vert Out, Sw, AF Amp	800	400	6	3.0 peak	40	7	30 min	TO-66	T25
ECG373	NPN-Si, AF Driver (Compl to ECG374)	180	160	5	1.5	1 (T_A = 25°C) 20 (T_C = 25°C)	140	100 typ	TO-126	T45
ECG374	PNP-Si, AF Driver (Compl to ECG373)	180	160	5	1.5	1 (T_A = 25°C) 20 (T_C = 25°C)	140	100 typ	TO-126	T45
ECG375	NPN-Si, Vert Defl, AF Amp (Compl to ECG398)	200	150	6	3	25	8	150 typ	TO-220	T41
ECG376	NPN-Si, Pwr Amp	300	300	5	.15	1.5 (T_A = 25°C) 15 (T_C = 25°C)	80	100 typ	TO-220	T41
ECG377	NPN-Si, Pwr Driver, PO, Sw, Reg (Compl to ECG378)	80	80	5	10	50	50	60 min	TO-220	T41
ECG378	PNP-Si, Pwr Driver, PO, Sw, Reg (Compl to ECG377)	80	80	5	10	50	50	60 min	TO-220	T41
ECG379	NPN-Si, HV Hi Speed Pwr Sw	700	400	9	12	100	4 min	20 typ	TO-220	T41
ECG381	PNP-Si, AF Pwr Amp	150	120	5	5	80	9	60 typ	TB-33	T43
ECG382	NPN-Si, AF Driver (Compl to ECG383)	120	100	5	1	.9 (T_A = 25°C)	140	200 typ	TO-92V	T18
ECG383	PNP-Si, AF Driver	120	100	5	1	.9 (T_A = 25°C)	140	200 typ	TO-92V	T18
ECG384	NPN-Si, Sw, Linear Amp	375	350	9	7	45	1 min	20 typ	TO-66	T25
ECG385	NPN-Si, HV Hi Speed Sw	550	350	6	10	150	----	20 typ	TO-3	T28
ECG386	NPN-Si, HV Hi Speed Sw	800	500	6	20	175	----	30 typ	TO-3	T28
ECG387 ECG387MP*	NPN-Si, Pwr Amp, Sw	180	150	6	50	350	30 min	70 typ	TO-3	T28A
ECG388	NPN-Si, Hi Pwr AF Amp (Compl to ECG63)	400	250	5	16	250	4 min	30 typ	TO-3	T28
ECG389	NPN-Si, Horiz Output	1500	1500 (CES)	5	4	100	4 min	5 min	TO-3	T28
ECG390	NPN-Si, Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG391)	100	100	5	10	80	3	40 min	TO-3P (TO-218)	T48
ECG391	PNP-Si, Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG390)	100	100	5	10	80	3	40 min	TO-3P (TO-218)	T48
ECG392	NPN-Si, Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG393)	100	100	5	25	125	3	25 min	TO-3P (TO-218)	T48
ECG393	PNP-Si, Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG392)	100	100	5	25	125	3	25 min	TO-3P (TO-218)	T48
ECG394	NPN-Si, HV Pwr Amp, Sw	500	400	5	3	100	2.5	30 min	TO-3P (TO-218)	T48
ECG395	PNP-Si, Wide Band VHF/UHF Amp, Osc	30	25	3	50 mA	.360 (T_A = 25°C)	2.3 GHz	25 min	TO-72	T4
ECG396	NPN-Si, Linear Amp & Hi Speed Sw (Compl to ECG397)	450	350	7	1	10	15 min	60 typ	TO-39	T5

Notes: * MP- Matched Pair
Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain
- When alternate packages are shown it indicates a change in progress. Although only one package is available, both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

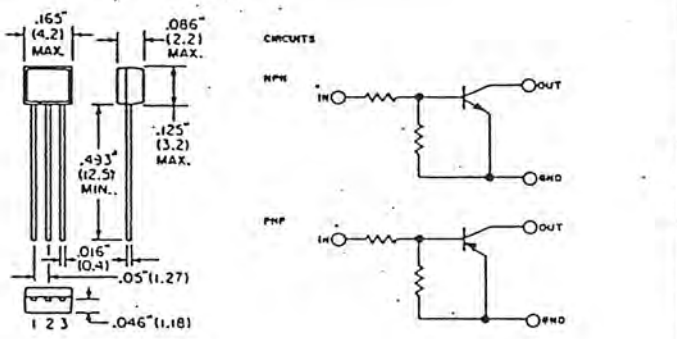
Package Outlines - See Page 1-91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor Outlines (cont'd)

Fig. T13-2
SP-92

ECG
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2367
2369
2370



1. GND
2. OUT
3. IN

Fig. T15 • Alternate Fig. T16
TO-98

ECG
172A•
199•

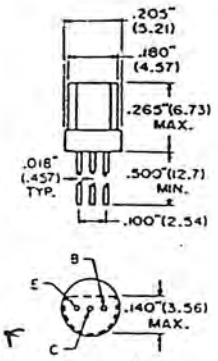
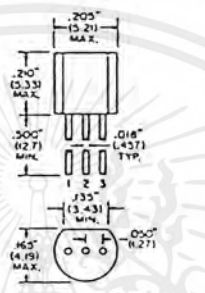


Fig. T16
TO-92

ECG	1	2	3
10	B	E	C
11	E	C	B
12	E	C	B
23	B	E	C
46	E	B	C
47	E	B	C
69	B	E	C
85	E	C	B
107	E	C	B
108	E	B	C
123AP	E	B	C
159	E	B	C
172A■	E	C	B

ECG	1	2	3
194	E	B	C
199■	E	C	B
229	B	E	C
232	E	B	C
233	E	B	C
234	E	C	B
287	E	B	C
288	E	B	C
289A	E	C	B
290A	E	C	B
312•	G	S	D
319P	B	E	C
451	D	S	G

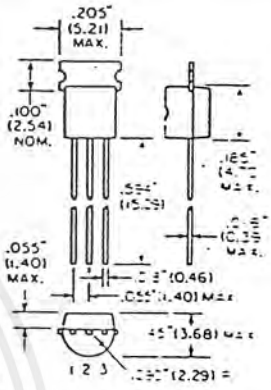
ECG	1	2	3
453•	D	S	G
457•	D	S	G
458	D	G	S
467	D	S	G
468	D	S	G
469	D	S	G
489	D	G	S
490	D	G	S
491	S	G	D
492	D	G	S
2341	E	C	B
2342	E	C	B
2503	E	C	B



• Alternate Fig. T13-1
■ Alternate Fig. T15
• D & S Interchangeable

Fig. T17
TO-237

ECG
24•
25•
128P
129P
216
217
227
255



1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

•1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

Fig. T18
TO-92M

ECG	1	2	3
31	E	C	B
32	E	C	B
48	E	B	C
90	E	C	B
91	E	C	B
382	E	C	B
383	E	C	B
2363	E	C	B
2364	E	C	B

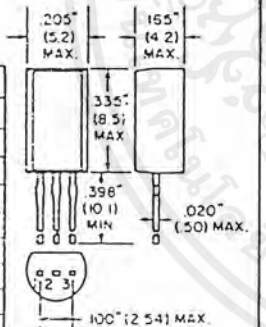


Fig. T19
SC-51

ECG
315

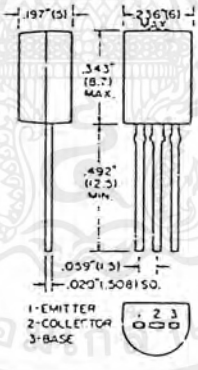


Fig. T20
T-16

ECG
293
294
297
298
340
399
2366

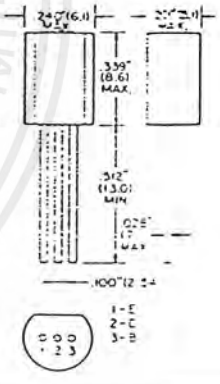


Fig. T20-1
SIP-5

ECG	1	2	3	4	5
40	B	C	E	C	B
41	B	C	E	C	B
42	B	C	E	C	B
43	B	C	E	C	B
44	E	C	B	C	E
45	E	C	B	C	E

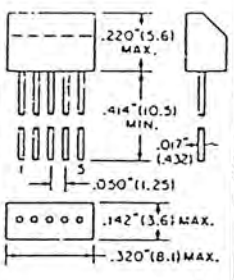
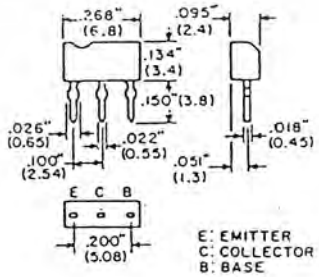


Fig. T20-2
M-68

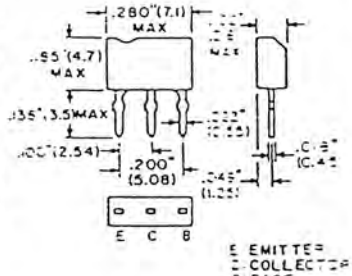
ECG
14
15



E: EMITTER
C: COLLECTOR
B: BASE

Fig. T20-3
M-71

ECG
13
16
17
18
19
20
21
22
2506



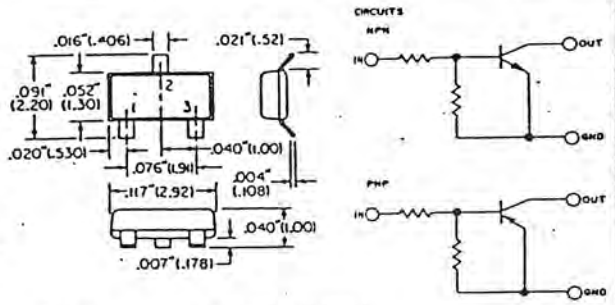
E: EMITTER
C: COLLECTOR
B: BASE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor Outlines (cont'd)

Fig. T20-4
SOT-23

ECG	
2401	2411
2402	2412
2403	2413
2404	2414*
2405	2415*
2406	2416*
2407	2417*
2408	2418*
2409	2419*
2410	

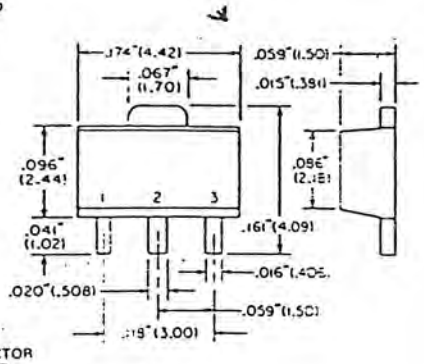


1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER

* DIGITAL TRANSISTORS
1. IN
2. OUT
3. GND

Fig. T20-5
SOT-89

ECG
2426
2427
2428
2429
2430
2431



1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER

Fig. T22
T-16HS

ECG
193A

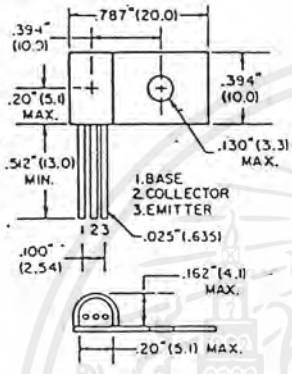


Fig. T23
TO-39F

ECG
224
225

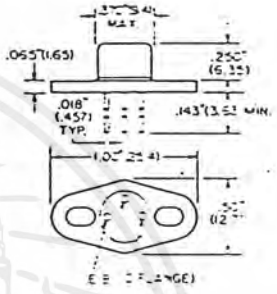


Fig. T24
TO-39HS

ECG
237

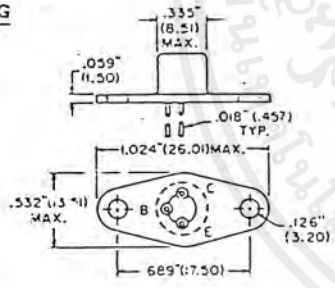


Fig. T25
TO-66

ECG
38
124
175
218
274
275
286
321
389
384

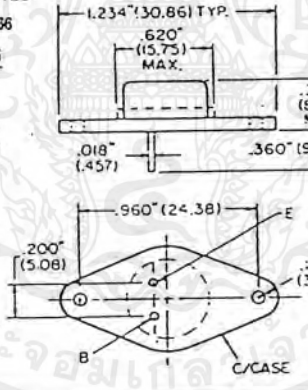


Fig. T26
TC-9A

ECG
226

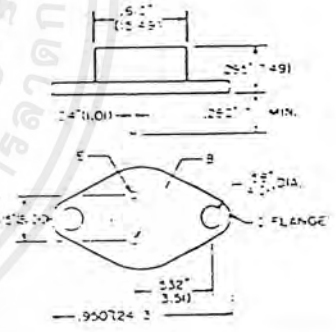


Fig. T27
TC-9

ECG
131
155

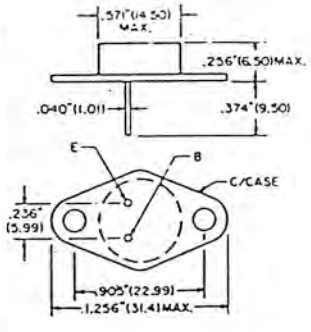
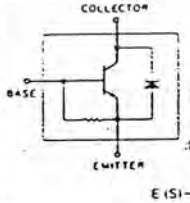
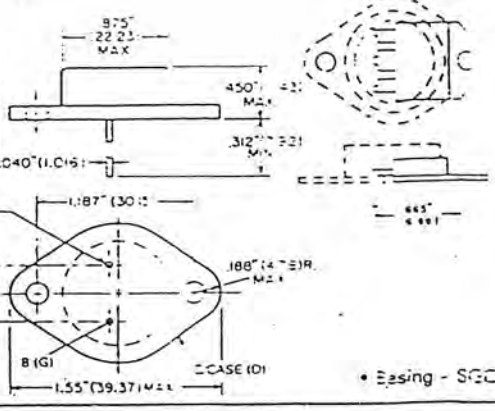


Fig. T28
T0-3

ECG		
52	162	250
53	163A	251
60	164	252
61	165	283
68	180	284
86	181	285
87	219	327
89*	238	328
94	243	385
97	244	386
98	245	388
99	246	389
121	247	2319
127	248	2386*
130	249	

* Internal Circuit for ECG89
RBE≅27 Ω





Mechanical Interchangeability of Plastic Package to TO-3 Case

* Easing - SGC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor Outlines (cont'd)

Fig. T43
TB-33

ECG
381

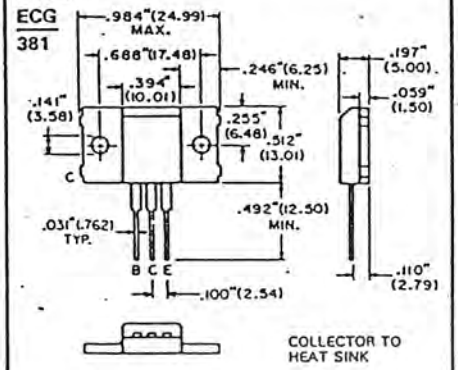


Fig. T44-1
TB-35

ECG
58
59
92
93

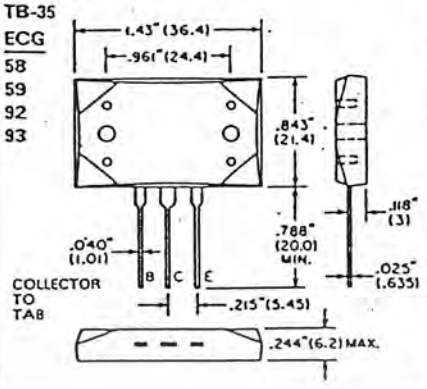


Fig. T45
TO-126

ECG
39
157
184
185
253
254
295
373
374
2327
2338
2506
2511
2512
2544

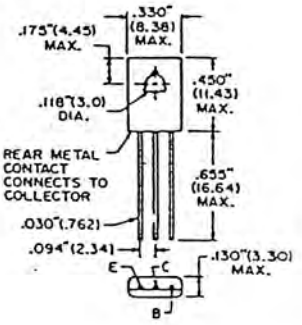


Fig. T45-1
TO-126N

ECG
2340

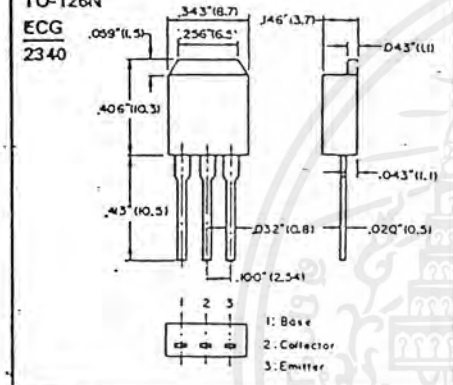


Fig. T45-2
SOT-82

ECG
2345
2346

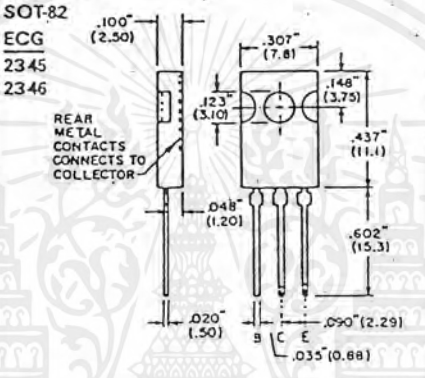


Fig. T45-3
TO-126M

ECG
2504
2513
2514
2515
2516

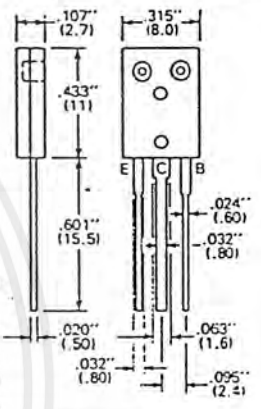


Fig. T45-4
TO-126M

ECG
2501
2502
2508
2509
2510
2517
2518
2519
2520
2521

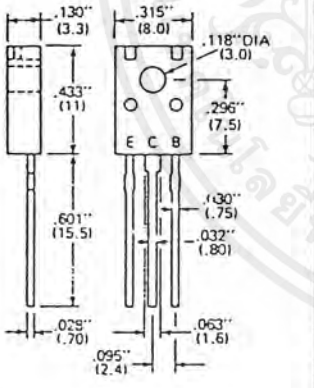
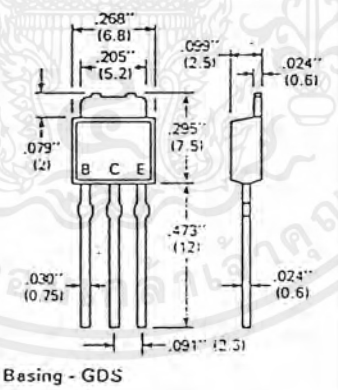


Fig. T45-5
TO-126N

ECG
2351
2352
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2980*
2981*



*Basing - GDS

Fig. T46
T0-127

ECG
257
259
260

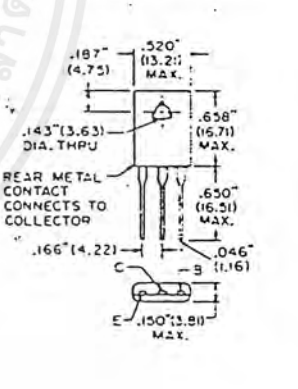
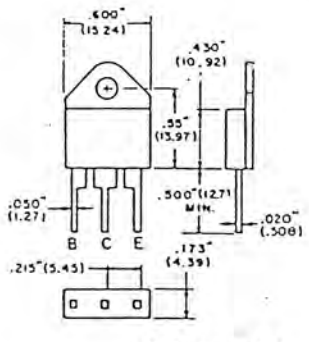


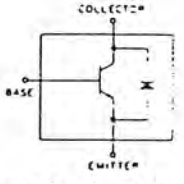
Fig. T48
TO-3P (TO-218)

ECG	
256	2317
270	2318*
271	2393†
390	2394†
391	
392	
393	
394	
2300	
2301	
2305	
2306	
2310	
2311	
2316	



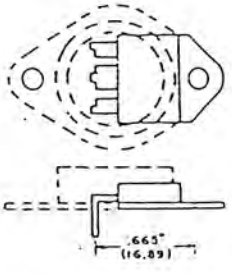
Collector to Tab

†Basing — GDS



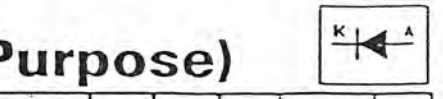
* Internal Circuit for ECG2318

Mechanical Interchangeability of TO-218 Plastic Package with TO-3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diodes and Rectifiers (General Purpose)



ECG Type	Description		Peak Reverse Voltage PRV Max V	Average Rectified Forward Current I_o Max	Forward Current Repetitive Peak I_{FRM} Max	Reverse Recovery Time t_{rr}	Forward Voltage Drop Max V_F	AFC	Fast Sw	Gen Purp	Fast Recovery	Fig. No.
ECG109	Gen Purp	Ge	100	200 mA	—	—	—			●		22
ECG110A	Gen Purp	Ge	40	50 mA	150 mA	—	—			●		22
ECG110MP	Matched Diode Pair	Ge	30	15 mA at 60°C	—	—	—	●		●		22
ECG112	UHF Mixer (Schottky)	Si	5	25 mA	—	—	.5 at 60 mA					24
ECG113A	Common Cathode Dual Diode, CenterTap TV Horiz	Si	100	1.5 A	—	—	0.95 V at 1 A	●		●		25
ECG114	Series Dual Diodes, TV Horiz	Se	20	min 1.1 mA	—	—	—	●		●		22
ECG115	Common Anode, Dual Diode, TV Horiz AFC	Se	20	min 1.1 mA	—	—	—	●		●		22
ECG116	Gen Purp Rect	Si	600	1 A	—	—	0.8 V at 1 A			●		23
ECG120	Color TV Convg Rect	Se	18	65 mA	—	—	—			●		27
ECG125	Gen Purp Rect	Si	1000	2.5 A at 25°C Lead Temp	—	—	1.1 V at 1 A			●		23
ECG156	Gen Purp Rect	Si	1000	3 A	—	—	1.1 V at 1.5 A			●		26
ECG177	Fast Sw, Det, etc.	Si	200	160 mA	250 mA	50 ns	1.0 V at 100 mA		●			24
ECG178MP	Matched Diode Pair, AFC, AFT, etc	Si	50	75 mA	100 mA	—	1.0 V at 5 mA	●				25
ECG506	Sw, Fast Recovery, Bst Damp, Blanking	Si	1400	2 A	3.5 A	500 ns	1.0 V at 1 A		●		●	28
ECG507	Gen Purp Rect, Gating, Centering	Si	50	250 mA	—	3 µs	1.0 V at 1 A			●		28
ECG515	Sw, Fast Recovery, SCR Defl Cla	Si	800	3 A	9 A	1.3 µs	1.3 V at 4 A		●		●	28
ECG519	Fast Sw Diode	Si	100 (BRV)	200 mA	450 mA	4 ns	1.0 V at 10 mA		●			24
ECG525	Sw, Fast Recovery, Damp	Si	2000	1 A	—	500 ns (Fwd Rec)	2 V at 2 A		●		●	28A
ECG552	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	600	1 A	—	200 ns	1.5 V at 250 mA		●	●	●	28
ECG558	Gen Purp Rect, Fast Recovery, HV	Si	1500	1 A	—	250 ns	1.2 V at 1 A		●	●	●	28
ECG569	Fast Sw, Soft Recovery	Si	600	3 A	100 A	200 ns	1.1 V at 3 A		●	●	●	28A
ECG571	Fast Sw, Soft Recovery	Si	1000	3 A	—	100 ns	1.5 V at 3 A		●	●	●	28B
ECG572	Gen Purp, Fast Recovery	Si	1000	6 A	300 A	500 ns	1.3 V at 6 A		●	●	●	28
ECG573	Schottky, Barrier Rectifier	Si	60	5 A	150 A	—	0.7 V at 5 A		●		●	28A
ECG574	Sw, Ultra Fast Rec.	Si	400	1 A	30 A	35 ns	1.3 V at 1 A		●	●	●	28
ECG575	Sw, Ultra Fast Rec.	Si	1000	1 A	30 A	70 ns	1.7 V at 1 A		●	●	●	28
ECG576	Sw, Ultra Fast Rec.	Si	400	5 A	150 A	35 ns	1.25 V at 5 A		●	●	●	28A
ECG577	Sw, Fast Recovery, HV	Si	1000	5 A	200 A	70 ns	1.7 V at 5 A		●	●	●	28A
ECG578	Schottky, Barrier Rect	Si	90	1 A	50 A	—	.8 V at 1 A		●			28
ECG579	Schottky, Barrier Rect	Si	90	3 A	150 A	—	.8 V at 3 A		●			28A
ECG580	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	600	3 A	Single Surge 100 A	250 ns	1.3 V at 3 A		●	●	●	28A
ECG581	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	400	8 A	Single Surge 150 A	200 ns	1.2 V at 3 A		●	●	●	28A
ECG582	TV Damper	Si	6000	300 mA	Single Surge 100 A	300 ns	8.0 V at 100 mA				●	28A
ECG583	Detector, Mixer, (Schottky) Hot Carrier Modulator	Si	70	15 mA	—	1 ps	.41 V at 1 mA	●	●	●	●	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microwave Mixer Diodes

Type No.	Test Freq. (MHz)	Noise Figure (dB)	I.F. IMPED. @ 30 MHz (Ohms)	VSWR Max. Ratio	Burn Out (ERGS)	Fig. No.
1N415C	9375	9.5	325-475	1.5	2.0	Z64
1N415E	9375	7.5	335-465	1.3	2.0	Z64
1N416C	3060	8.3	300-700	—	2.0	Z64
1N416E	3060	7.0	350-450	1.3	5.0	Z64

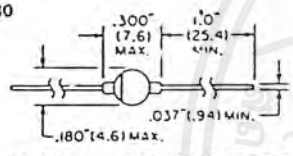
DISCONTINUED

PIN Diodes

ECG Type	Description and Application	Max. Power (mW)	V (BR) R Min. (Volts)	IR Max. (nA)	CT Max. (pf)	LS Typ. (nH)	RA Max. (Ohms)	Fig. No.
ECG553	Si PIN Diode, UHF, VHF Switch	200	30	150	2	2.5	1.2	Z4
ECG555A	Si PIN Diode, Gen Purp & VHF Switch	250	35	100	1.2	—	0.7	Z11A

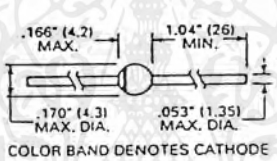
Diode and Rectifier Outlines

Fig. Z1A
ECG580



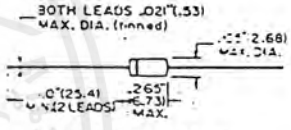
COLOR BAND INDICATES CATHODE END

Fig. Z1B
ECG571



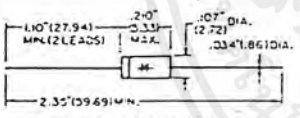
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z2 DO7
ECG
109



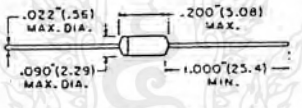
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z3 DO-41
ECG
116 585
125 587
552
558
574
575
578



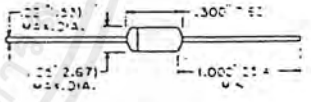
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z4 DO-35
ECG
112
177
519
553
583
584
600



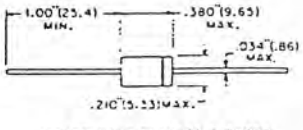
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z5
ECG178MP



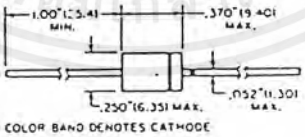
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z6
ECG
156
506
507



COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z6A DO-27
ECG
525
569
573
576
577
579
586
588



COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z7
ECG
606
607

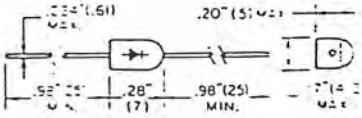


Fig. Z8
ECG515

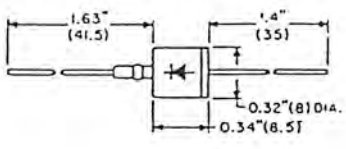
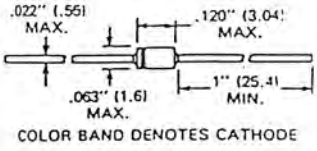
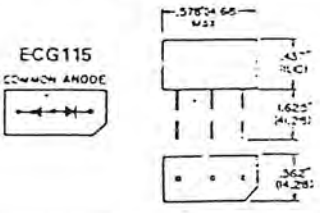


Fig. Z11A
ECG555A



COLOR BAND DENOTES CATHODE

Fig. Z12
ECG115
COMMON ANODE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zener Diodes

Note: 10 Watt and 50 Watt Zeners listed have anode connected to stud. Add Suffix letter "K" to the ECG number for cathode connected to stud. The ECG type numbers shown have a standard tolerance for the Zener voltage of +/- 5%.

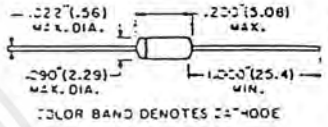
Voltage	Surface Mount	Axial Lead			Stud Mount	
	SOT-23				DO-4	DO-5
See Notes for Tolerance	Fig. No. Z69	Z3A		Z18	Z19	Z20
	0.3 W #	1/2 Watt †	1 Watt †	5 Watt	10 Watt	50 Watt
2.4	—	ECG5000A	—	—	—	—
2.5	—	ECG5001A	—	—	—	—
2.7	—	ECG5002A	ECG5063A	—	—	—
2.8	—	ECG5003A	—	—	—	—
3.0	—	ECG5004A	ECG5065A	—	—	—
3.3	ECG5005SM	ECG5005A	ECG5066A	ECG5111A	—	—
3.6	ECG5006SM	ECG5006A	ECG134A	ECG5112A	ECG5173A	—
3.9	ECG5007SM	ECG5007A	ECG5067A	ECG5113A	ECG5174A	ECG5240A
4.3	ECG5008SM	ECG5008A	ECG5068A	ECG5114A	ECG5175A	ECG5241A
4.7	ECG5009SM	ECG5009A	ECG5069A	ECG5115A	ECG5176A	ECG5242A
5.1	ECG5010SM	ECG5010A	ECG135A	ECG5116A	ECG5177A	ECG5243A
5.6	ECG5011SM	ECG5011A	ECG136A	ECG5117A	ECG5178A	ECG5244A
6.0	—	ECG5012A	ECG5070A	ECG5118A	ECG5179A	ECG5245A
6.2	ECG5013SM	ECG5013A	ECG137A	ECG5119A	ECG5180A	ECG5246A
6.8	ECG5014SM	ECG5014A	ECG5071A	ECG5120A	ECG5181A	ECG5247A
7.5	ECG5015SM	ECG5015A	ECG138A	ECG5121A	ECG5182A	ECG5248A
8.2	—	ECG5016A	ECG5072A	ECG5122A	ECG5183A	ECG5249A
8.7		ECG5017A	ECG5073A	ECG5123A	ECG5184A	ECG5250A
9.1	ECG5018SM	ECG5018A	ECG139A	ECG5124A	ECG5185A	ECG5251A
10.0	—	ECG5019A	ECG140A	ECG5125A	ECG5186A	ECG5252A
11.0	—	ECG5020A	ECG5074A	ECG5126A	ECG5187A	ECG5253A
11.5	—	—	ECG141A	—	—	—
12.0	ECG5021SM	ECG5021A	ECG142A	ECG5127A	ECG5188A	ECG5254A
13.0	—	ECG5022A	ECG143A	ECG5128A	ECG5189A	ECG5255A
14.0	—	ECG5023A	ECG144A	ECG5129A	ECG5190A	ECG5256A
15.0	ECG5024SM	ECG5024A	ECG145A	ECG5130A	ECG5191A	ECG5257A
16.0	—	ECG5025A	ECG5075A	ECG5131A	ECG5192A	ECG5258A
17.0	—	ECG5026A	ECG5076A	ECG5132A	ECG5193A	ECG5259A
18.0	ECG5027SM	ECG5027A	ECG5077A	ECG5133A	ECG5194A	ECG5260A
19.0	—	ECG5028A	ECG5078A	ECG5134A	ECG5195A	ECG5261A
20.0	—	ECG5029A	ECG5079A	ECG5135A	ECG5196A	ECG5262A
22.0	—	ECG5030A	ECG5080A	ECG5136A	ECG5197A	ECG5263A
24.0	ECG5031SM	ECG5031A	ECG5081A	ECG5137A	ECG5198A	ECG5264A
25.0	—	ECG5032A	ECG5082A	ECG5138A	ECG5199A	ECG5265A
27.0	—	ECG5033A	ECG146A	ECG5139A	ECG5200A	ECG5266A
28.0	—	ECG5034A	ECG5083A	ECG5140A	ECG5201A	ECG5267A
30.0	—	ECG5035A	ECG5084A	ECG5141A	ECG5202A	ECG5268A
33.0	—	ECG5036A	ECG147A	ECG5142A	ECG5203A	ECG5269A
36.0	—	ECG5037A	ECG5085A	ECG5143A	ECG5204A	ECG5270A
39.0	—	ECG5038A	ECG5086A	ECG5144A	ECG5205A	ECG5271A
43.0	—	ECG5039A	ECG5087A	ECG5145A	ECG5206A	ECG5272A
45.0	—	—	—	—	ECG5207A	ECG5273A
47.0	—	ECG5040A	ECG5088A	ECG5146A	ECG5208A	ECG5274A
50.0	—	—	—	—	ECG5209A	ECG5275A
51.0	—	ECG5041A	ECG5089A	ECG5147A	ECG5210A	ECG5276A
52.0	—	—	—	—	ECG5211A	ECG5277A
55.0	—	—	ECG148A	—	—	—
56.0	—	ECG5042A	ECG5090A	ECG5148A	ECG5212A	ECG5278A
60.0	—	ECG5043A	ECG5091A	ECG5149A	ECG5213A	ECG5279A
62.0	—	ECG5044A	ECG149A	ECG5150A	ECG5214A	ECG5280A
68.0	—	ECG5045A	ECG5092A	ECG5151A	ECG5215A	ECG5281A
75.0	—	ECG5046A	ECG5093A	ECG5152A	ECG5216A	ECG5282A
82.0	—	ECG5047A	ECG150A	ECG5153A	ECG5217A	ECG5283A
87.0	—	ECG5048A	ECG5094A	ECG5154A	ECG5218A	—
91.0	—	ECG5049A	ECG5095A	ECG5155A	ECG5219A	ECG5284A
100.0	—	ECG5050A	ECG5096A	ECG5156A	ECG5220A	ECG5285A
105.0	—	—	—	—	ECG5221A	ECG5286A
110.0	—	ECG5051A	ECG151A	ECG5157A	ECG5222A	ECG5287A
120.0	—	ECG5052A	ECG5097A	ECG5158A	ECG5223A	ECG5288A
123.0*	—	ECG5107T2	—	—	—	—
130.0	—	ECG5053A	ECG5098A	ECG5159A	ECG5224A	ECG5289A
140.0	—	ECG5054A	ECG5099A	ECG5160A	ECG5225A	ECG5290A
150.0	—	ECG5055A	ECG5100A	ECG5161A	ECG5226A	ECG5291A
160.0	—	ECG5056A	ECG5101A	ECG5162A	ECG5227A	ECG5292A
170.0	—	ECG5057A	ECG5102A	ECG5163A	ECG5228A	—
175.0	—	—	—	—	ECG5229A	ECG5293A
180.0	—	ECG5058A	ECG5103A	ECG5164A	ECG5230A	ECG5294A
190.0	—	ECG5059A	ECG5104A	ECG5165A	ECG5231A	ECG5295A
200.0	—	ECG5060A	ECG5105A	ECG5166A	ECG5232A	ECG5296A

* 2% Tolerance † 1/2 W and 1 W, 5% Tolerance Zeners are supplied 2 Per Pkg.
# 0.3 W, 5% Tolerance Zeners are supplied 3 Per Pkg.

1% Tolerance - ½ Watt

ECG Type	Nominal Zener Voltage @ T_A=25°C V_Z @ I_{ZT}=20 mA*
ECG5010T1	5.1
ECG5011T1	5.6
ECG5013T1	6.2
ECG5019T1	10
ECG5021T1	12

Fig. Z4

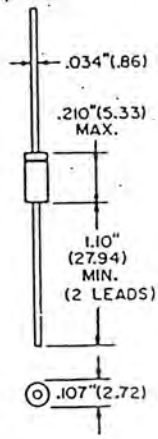


* I_{ZT} = Test Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

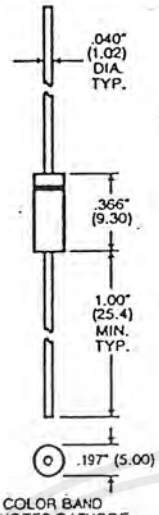
Zener Diode Outlines

Fig. Z3A



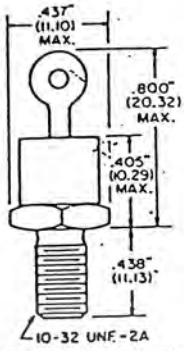
COLOR BAND
DENOTES CATHODE

Fig. Z18



COLOR BAND
DENOTES CATHODE

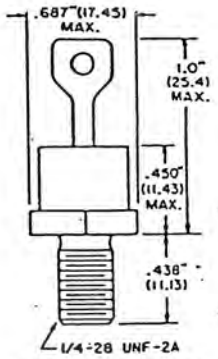
Fig. Z19



10-32 UNF-2A

DO-4-Torque To 15 in-lbs.min;
20 in-lbs. max.

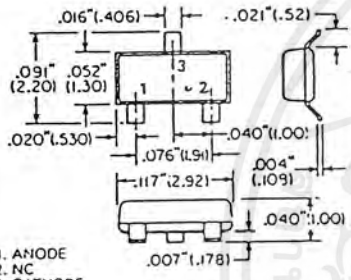
Fig. Z20



1/4-28 UNF-2A

DO-5-Torque To 25 in-lbs.min;
30 in-lbs. max.

Fig. Z69



1. ANODE
2. NC
3. CATHODE

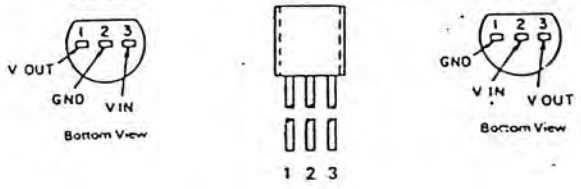
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Regulator Selector Guide

Fixed Regulators

Output Voltage V_{OUT} (DC) ±5%	ECG Type		I_o A (DC)	Input Voltage V_{IN} (DC)		PD Watts	Case Style
	Pos	Neg		Max	Min		
5	977	1917	0.1	30	7	0.7	TO-92
6.2	988	—	0.1	35	8.2	0.7	
8	981	—	0.1	30	10	1	
9	1902	—	0.1	30	11	0.7	
12	950	1903	0.1	35	14	0.7	
15	951	1905	0.1	35	17	0.7	
18	1906	1907	0.1	35	20	0.7	
24	1908	1909	0.1	40	26	0.7	
5	960	961	1	35	7	15	TO-220
6	962	963	1	35	8	15	
8	964	965	1	35	10	15	
9	1910	—	1	35	11	15	
10	1932	—	1	35	12	20	
12	966	967	1	35	14	15	
15	958	969	1	35	17	15	
18	958	959	1	35	20	15	
24	972	971	1	40	26	15	
3.3	1904	—	1	16	6	15	TO-220 (Low Dropout)
5	1951	—	1	16	6	15	
8	1952	—	1	19	9	15	
10	1953	—	1	21	11	15	
12	1954	—	1	23	13	15	
15	1955	—	1	26	16	15	
24	1956	—	1	30	25	15	
5	1960	1961	1	35	7	15	TO-220M
6	1962	1963	1	35	8	15	
8	1964	1965	1	35	10	15	
9	1966	1967	1	35	11	15	
10	1968	—	1	35	12	15	
12	1970	1971	1	35	14	15	
15	1972	1973	1	35	17	15	
18	1974	1975	1	35	20	15	
24	1976	1977	1	40	26	15	

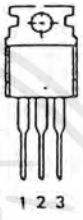
TO-92



TO-220

Positive

Tab Common to Pin 2
1. Input
2. Ground
3. Output



Negative

1. Ground
2. Input
3. Output
Tab Common to Pin 2

TO-220 (Low Dropout)

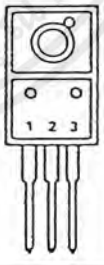
Positive

Tab Common to Pin 2
1. Input
2. Ground
3. Output

TO-220M

Positive

1. Input
2. Ground
3. Output



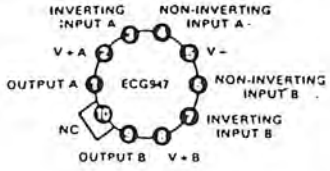
Negative

1. Ground
2. Input
3. Output

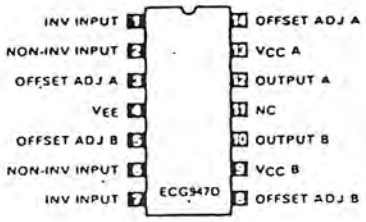
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear IC and Module Circuits (cont'd)

ECG947 10-Pin Can See Fig. L7
Dual, Freq-Compensated Op Amp

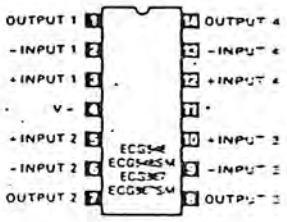


ECG947D 14-Pin DIP See Fig. L104
Dual, Freq-Compensated Op Amp



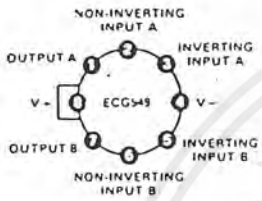
Pins 9 and 13 Tied Externally

ECG948 14-Pin DIP See Fig. L10
ECG948SM 14-Pin SOIC See Fig L16
Quad Op Amp



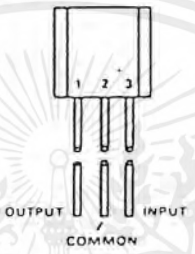
*ECG948, 948SM - Dual Supply, Pin 11 = V-

ECG949 8-Pin Can See Fig. L3
Dual Op Amp



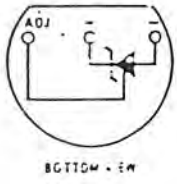
Pin 4 Connected to Case

ECG950 TO-92 See Fig. L16
Pos VR, 12 V, 100 mA
ECG951
Pos VR, 15 V, 100 mA

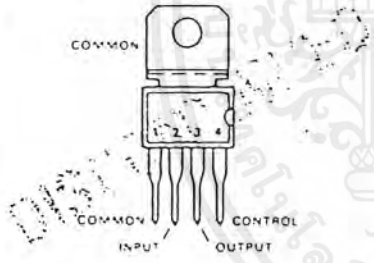


See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG952 TO-92 See Fig. L16
Precision 2.5 V Voltage Reference

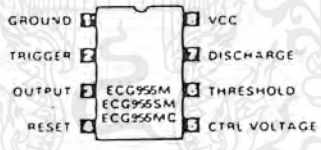


ECG953 TO-202 4-Pin See Fig. L18
Pos VR, Adjustable 5 to 30 V, 1 A

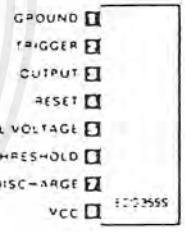


Heat sink tabs connected to common through device substrate. Not recommended for direct electrical connection.

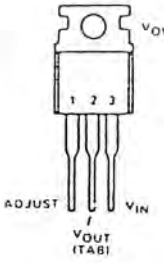
ECG955M 8-Pin DIP See Fig. L98
ECG955SM 8-Pin SOIC See Fig. L159
Timer/Oscillator
ECG955MC 8-Pin DIP See Fig. L97
Low Power Timer/Oscillator, CMOS Output



ECG955S 8-Pin SIP See Fig. L35
Timer/Oscillator

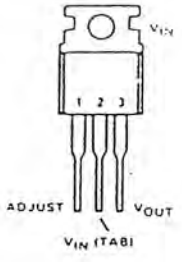


ECG956 TO-220 See Fig. L17
Pos VR, 1.2 to 37 V, 1.5 A



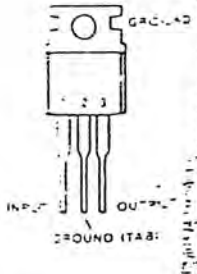
See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG957 TO-220 See Fig. L17
Neg VR, 1.2 to 37 V, 1.5 A



See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG958 TO-220 See Fig. L17
Pos VR, 18 V, 1 A
ECG960
Pos VR, 5 V, 1 A
ECG962
Pos VR, 6 V, 1 A
ECG964
Pos VR, 8 V, 1 A
ECG966
Pos VR, 12 V, 1 A
ECG968
Pos VR, 15 V, 1 A



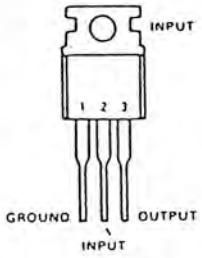
See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

Package Outlines - See Page 1-201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

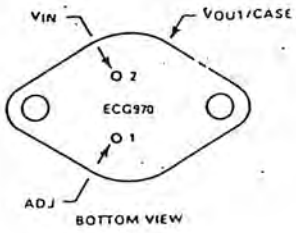
Linear IC and Module Circuits (cont'd)

ECG959 TO-220 See Fig. L17
Neg VR, 18 V, 1 A
ECG961
Neg VR, 5 V, 1 A
ECG963
Neg VR, 6 V, 1 A
ECG965
Neg VR, 8 V, 1 A
ECG967
Neg VR, 12 V, 1 A
ECG969
Neg VR, 15 V, 1 A



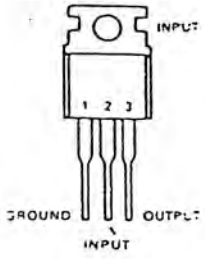
See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG970 TO-3 See Fig. L11
Pos VR, 1.2 to 33 V, 3 A



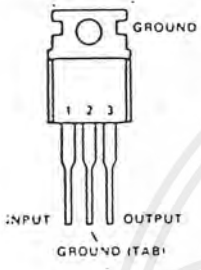
See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG971 TO-220 See Fig. L17
Neg VR, 24 V, 1 A



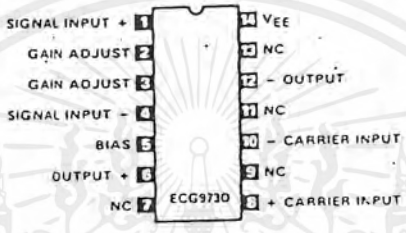
See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

ECG972 TO-220 See Fig. L17
Pos VR, 24 V, 1 A

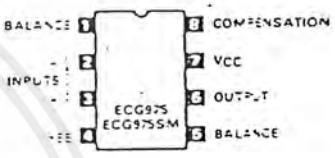


See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

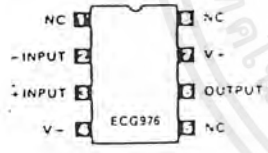
ECG973D 14-Pin DIP See Fig. L104
Balanced Mod/Demod



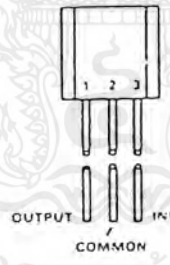
ECG975 8-Pin DIP See Fig. L5E
ECG975SM 8-Pin SOIC See Fig. L15E
Op Amp, Externally Compensated, Supply Voltage ±18 V Max



ECG976 8-Pin DIP See Fig. L97
Op Amp, Internally Compensated, Supply Voltage ±18 V Max

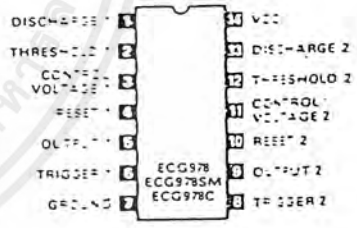


ECG977 TO-92 See Fig. L16
Pos VR, 5 V, 100 mA
ECG981
Pos VR, 8 V, 100 mA

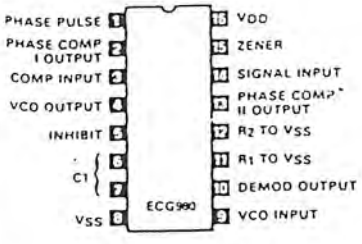


See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-179

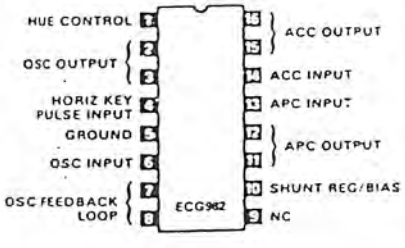
ECG978 14-Pin DIP See Fig. L104
ECG978SM 14-Pin SOIC See Fig. L15C
Dual Timing Circuit
ECG978C 14-Pin DIP See Fig. L104
Dual Low Power Timer/Oscillator CMOS Output



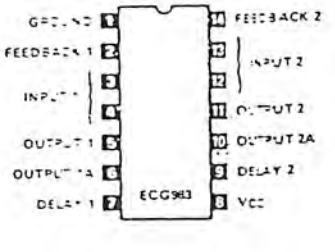
ECG980 16-Pin DIP See Fig. L111
CMOS Phase Locked Loop



ECG982 16-Pin DIP See Fig. L111
Subcarrier Regenerator ACC, APC Detector



ECG983 14-Pin DIP See Fig. L104
Dual Audio Preamp



Package Outlines - See Page 1-285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear IC and Module Outlines (cont'd)

Fig. L11B TO-3, 4-Pin

ECG
1927

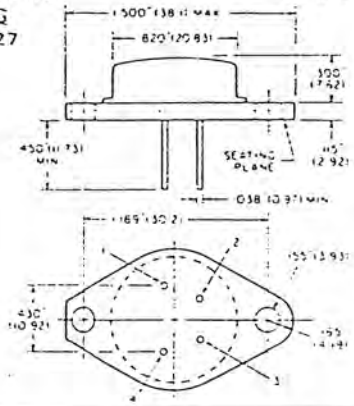


Fig. L12 TO-66, 9-Pin

ECG
946

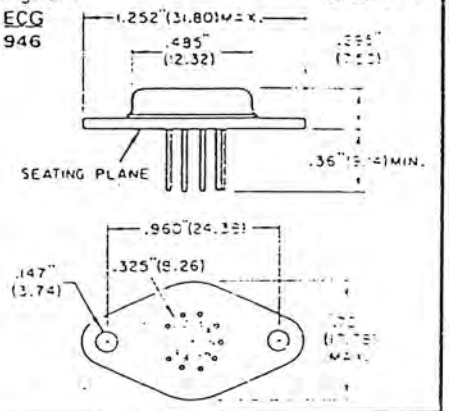


Fig. L15 TO-3, 14-P

ECG
1059

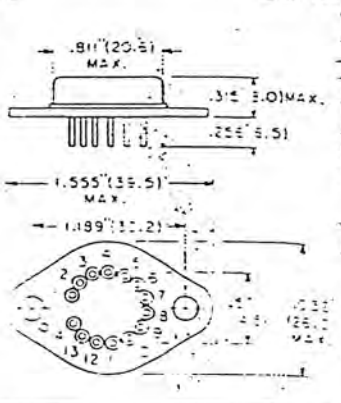


Fig. L16 TO-92

ECG
950
951
952
977
981
988
999
1900
1901
1902
1903
1905
1906
1907
1908
1909
1917
7060

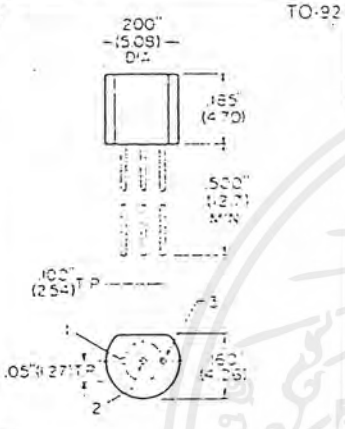


Fig. L16A TO-92

ECG
998

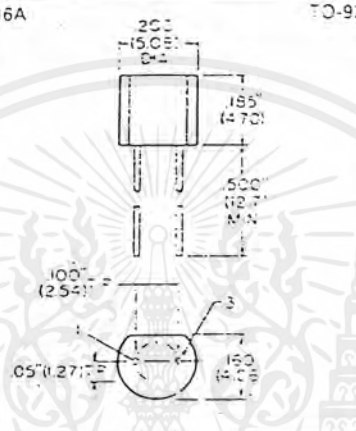


Fig. L17 TO-

ECG
956 1932
957 1951
958 1952
959 1953
960 1954
961 1955
962 1956
963
964
965
966
967
968
969
971
972
1904
1910

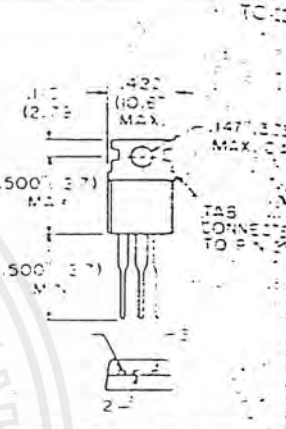


Fig. L17A TO-3PJ

ECG
1934
1934X
1936
1938
1940

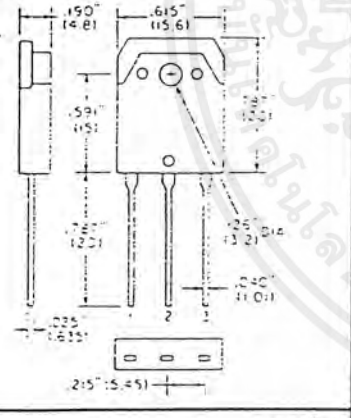


Fig. L17B 3-Pin SIP

ECG
1705

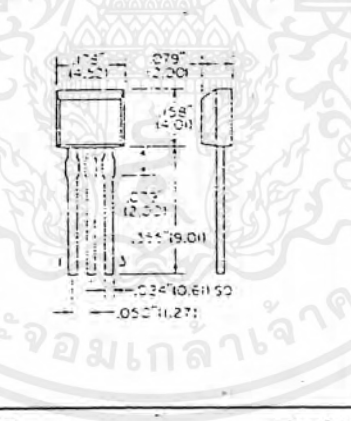


Fig. L17C TO-

ECG
1869

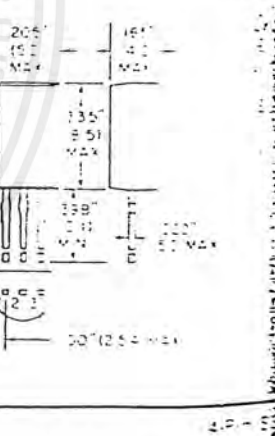


Fig. L18A 4-Pin SIP

ECG
9200
9402

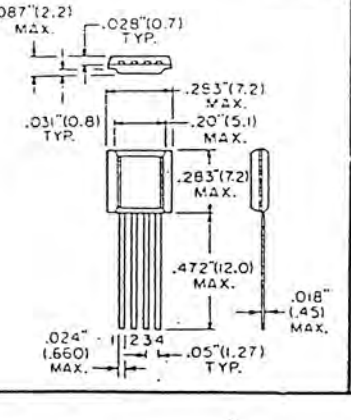


Fig. L18B 4-Pin SIP

ECG
1740
1741
1742
1743

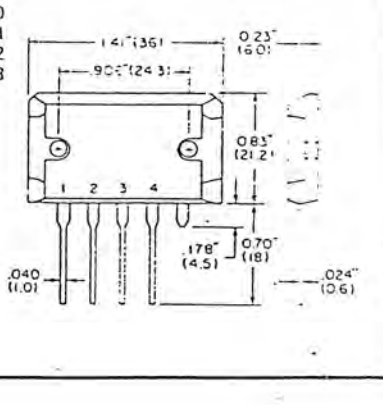
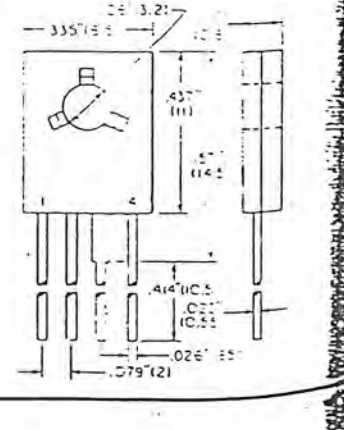


Fig. L18C 4-Pin

ECG
1844



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้