



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง
High Efficiency DC Power Supply

- | | | | | |
|--------------|----------------|-------------|--------------|----------|
| ชื่อนักศึกษา | 1. นายกัมพล | ไชยบรรดิษฐ์ | รหัสประจำตัว | 42035328 |
| | 2. นายธีระ | กงขำ | รหัสประจำตัว | 42035335 |
| | 3. นายสุรเชษฐ์ | จอดนาก | รหัสประจำตัว | 42035358 |
| | 4. นายอดิสร | นิลวิสุทธิ | รหัสประจำตัว | 42035361 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ. วิสุทธิ อธิพรธรรม

คณะกรรมการสอบปริญญาโท		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ไพบุลย์	พวงวงศ์ตระกูล	
2. ผศ. วิสุทธิ	อธิพรธรรม	
3. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	
4. อาจารย์ปิยะ	จิตธรรมมาภิรมย์	
5. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เวลา 11.15 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว
ลงนาม.....
(ผศ. วิสุทธิ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ ๑๕ เดือน ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๔๓



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง

HIGH EFFICIENCY DC POWER SUPPLY



นายกัมพล	ไชยบรรดิษฐ์
นายธีระ	คงขำ
นายสุรเชษฐ์	จอดนาค
นายอดิศร	นิลวิสุทธิ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ร.ร.

ก.ร.ร.

ร.ร.

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขที่.....

เลขทะเบียน 40172

ร.ร., เดือน, ปี 17 ค.ศ. 2544

b. 11092599
i.

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง
High Efficiency DC Power Supply

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้
2. เพื่อออกแบบวงจรเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้
3. เพื่อสร้างเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้
4. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้
5. เพื่อนำไปใช้ในห้องทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบ วงจรเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
2. สามารถออกแบบวงจรเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรป้องกัน เมื่อมีการลัด

วงจรทางเอาต์พุต

3. ได้เครื่องต้นแบบเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 เครื่อง
4. สามารถทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบก่อนนำไปใช้งาน
5. สามารถนำไปใช้งานในห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์

I

ชื่อหัวข้อ	เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง
นักศึกษา	นายกัมพล ไชยบรรดิษฐ์ นายธีระ คงขำ นายสุรเชษฐ์ จอดนาค นายอดิศร นิลวิสุทธิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการศึกษา และสร้างเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ประสิทธิภาพสูง โดยเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น ในการสร้างได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งในส่วนแรก คือ ภาคจ่ายแรงดันคงที่ ± 5 โวลต์ ส่วนที่ 2 คือ ภาคจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์ และในส่วนที่ 3 คือ ภาคแสดงผล ซึ่งแสดงผลโดยใช้ตัวแสดงผลเจ็ดส่วน โดยสามารถแสดงผลได้ 3 หลัก ใน 2 หลักแรก จะเป็นจำนวนเต็ม และในหลักที่ 3 จะเป็นทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง

ซึ่งจากการที่ได้สร้างเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องนี้ขึ้นมาทำให้ได้เครื่องต้นแบบ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย ทั้งในห้องทดลอง และนอกห้องทดลอง เพื่อให้การทดลองเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

II

Thesis Title	High Efficiency DC Power Supply	
Students	Mr.Kumpon	Chaibundit
	Mr.Theera	Kongkhum
	Mr.Surachad	Jodnak
	Mr.Adisorn	Ninvisut
Advisor	Mr.Paiboon	Pongwongtragull
Co-Advisor	Assist Prof.Wisuit	Atiporntrum
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Electronics and Computers	
Academic Year	2000	

ABSTRACT

This thesis presents studies and invents High Efficiency DC Power Supply. This is the Linear Power Supply. Invents consist of three parts. The first part is DC Power Supply ± 5 Volts. The second part is adjusting DC Power Supply at 0 to ± 30 Volts and the third part is Display. The Display used seven segments to show three digits of level. The first digits show number one to nine and the decimal notation.

This is High Efficiency DC Power Supply is provided to used for Electronic works.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอบพระคุณบุพการีที่เคารพ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและสนับสนุนในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด อีกทั้งคณะครู อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ การอบรม ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำมาโดยตลอด รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจจนการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณที่คณะผู้จัดทำได้สั่งสมมา จงน้อมนำสู่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ชี้ดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 หลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น	3
2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	4
2.3.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	5
2.4 ทรานซิสเตอร์	6
2.4.1 การไบอัสทรานซิสเตอร์	6
2.5 วิธีการเลือกขนาดหม้อแปลง ไดโอด และตัวเก็บประจุ ในทางปฏิบัติ	10
2.5.1 การเลือกขนาดหม้อแปลง	10
2.5.2 การเลือกขนาดไดโอด	10
2.5.3 การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ	11
2.6 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน	11
2.6.1 ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันสำเร็จรูป	12
2.6.2 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรง	12

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7 ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	13
2.7.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	13
2.7.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	15
2.7.3 การระบายความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	17
2.8 วงจรแปลงไฟ	18
2.8.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์	19
2.8.2 ความแตกต่างของวงจรเรกติไฟเออร์	20
2.9 ออปแอมป์	20
2.9.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์	21
2.9.2 การจัดวงจรเบื้องต้น	22
2.9.3 ค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์	23
2.10 ออปแอมป์ในเชิงปฏิบัติ	25
2.10.1 การปรับแรงดันออฟเซตมูลลิ่ง	25
2.10.2 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์	25
2.11 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล	26
2.11.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบการเปรียบเทียบแบบขนาน	27
2.11.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบคูอัลสโลป	28
2.11.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Successive Approximate	30
2.12 การทดสอบคุณสมบัติ	30
2.12.1 ไลน์เรกูเลชัน	30
2.12.2 โหลดเรกูเลชัน	31

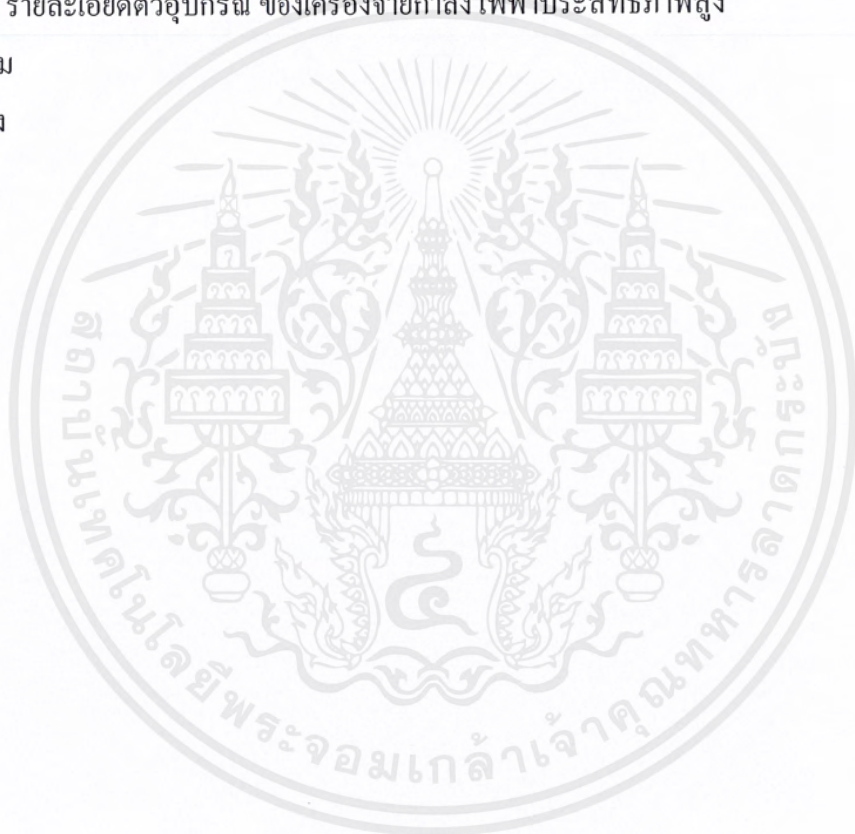
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	33
3.1 กล่าวนำ	33
3.2 การออกแบบวงจรเรกกูเรเตอร์จ่ายแรงดันคงที่ ± 5 โวลต์	33
3.2.1 การคำนวณค่าต่างๆ ในวงจร	37
3.3 การออกแบบภาคจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์	38
3.3.1 หลักการเบื้องต้น	38
3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบ	39
3.4 การออกแบบภาคแสดงผล	44
3.4.1 ภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้า	44
3.4.2 ภาคแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	47
3.4.3 ภาคดีโค้ดเดอร์	47
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 กล่าวนำ	48
4.2 การทดลองวงจรภาคจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์	48
4.3 การทดลองวงจรภาคจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์	50
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	50
4.3.2 ผลการทดลอง	51
4.4 การทดลองภาคแสดงผล	55
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	55
4.4.2 ผลการทดลอง	56
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาและแนวทางแก้ไข	57
5.1 บทสรุป	57
5.2 ปัญหาที่พบในโครงการ	57
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการพัฒนา	58

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง	59
ภาคผนวก ข วงจร และวงจรพิมพ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง	62
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง	69
ภาคผนวก ง รายละเอียดตัวอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง	74
บรรณานุกรม	91
ประวัติผู้แต่ง	92



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ชนิด 2N999	12
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองไลเรกกูเลชั่นของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์	51
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโพลครีกูเลชั่นของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์	53
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรภาคแสดงผล	56



สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.4 รูปแบบของแผ่นเหล็ก	5
รูปที่ 2.5 รูปแบบของแผ่นเหล็กที่ใช้คู่กัน	6
รูปที่ 2.6 ลักษณะของ Bobbin	6
รูปที่ 2.7 การไบอัสคงที่	7
รูปที่ 2.8 การไบอัสตัวเอง	7
รูปที่ 2.9 การแก้ปัญหาเสถียรภาพในวงจรไบอัสตัวเอง	8
รูปที่ 2.10 วงจรไบอัสที่มี R_E (Emitter Bias)	9
รูปที่ 2.11 การไบอัสแบบแบ่งแรงดัน	9
รูปที่ 2.12 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน	11
รูปที่ 2.13 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตัน	12
รูปที่ 2.14 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	14
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย	16
รูปที่ 2.16 ลักษณะของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้ถ่ายเทความร้อนออกจาก เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	18
รูปที่ 2.17 วงจรบริดจ์ เร็คติไฟเออร์	19
รูปที่ 2.18 บริดจ์เร็คติไฟเออร์ ระหว่างครึ่งคลื่นซีกบวก	19
รูปที่ 2.19 บริดจ์เร็คติไฟเออร์ ระหว่างครึ่งคลื่นซีกลบ	20
รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของออปแอมป์อย่างง่ายแทนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน	21
รูปที่ 2.21 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	22
รูปที่ 2.22 วงจรขยายอินเวอร์ตติ้ง เฟสของสัญญาณทางเอาต์พุตจะกลับ 180 องศา จากสัญญาณอินพุต	24
รูปที่ 2.23 วงจรขยายนอนอินเวอร์ตติ้ง เฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเฟสเดียวกัน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.24 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล ขยายความแตกต่างระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง	26
รูปที่ 2.25 การใช้โอปแอมป์มาทำเป็นวงจรออดิโอมิกเซอร์แบบ 3 อินพุต	26
รูปที่ 2.26 ลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล	27
รูปที่ 2.27 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบการเปรียบเทียบแบบขนาน	27
รูปที่ 2.28 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบคูอัลสโกล	28
รูปที่ 2.29 เอาต์พุตที่ได้จากอินทิเกรเตอร์	29
รูปที่ 2.30 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Successive Approximate	30
รูปที่ 2.31 การจับคู่ปรอทสำหรับวัดค่าไลน์เรกูเลชัน	30
รูปที่ 2.32 การจับคู่ปรอทสำหรับวัดค่าโพลเดเรกูเลชัน	32
รูปที่ 3.1 วงจรเรกูเรเตอร์ โดยใช้ LM723CN แบบแรงดันต่ำ	33
รูปที่ 3.2 วงจรเรกูเรเตอร์ ที่เพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาเพื่อขยายกระแส	34
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง	36
รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของหลักการเบื้องต้นในการออกแบบ วงจรจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์	38
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ	39
รูปที่ 3.6 วงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้จากการออกแบบ	40
รูปที่ 3.7 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ ไอซี	41
รูปที่ 3.8 วงจรปรับแรงดันทางด้านเอาต์พุต	41
รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายแรงดันทางด้านบวก	43
รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของวงจรภาคแสดงผล	44
รูปที่ 3.11 วงจรภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 0-30 โวลต์ให้เหลือ 0-30 มิลลิโวลต์	45
รูปที่ 3.12 วงจรจากภาคแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลและภาคดีโคเดอร์	47
รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์	48
รูปที่ 4.2 วงจรจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์	50
รูปที่ 4.3 วงจรแสดงผล	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.1 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านหน้า	60
รูปที่ ก.2 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านหลัง	60
รูปที่ ก.3 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านใน	61
รูปที่ ข.1 วงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์	63
รูปที่ ข.2 วงจรจ่ายแรงดันทางด้านบวก 0 ถึง +30 โวลต์	64
รูปที่ ข.3 วงจรจ่ายแรงดันทางด้านลบ 0 ถึง -30 โวลต์	65
รูปที่ ข.4 วงจรภาคแสดงผล	66
รูปที่ ข.5 วงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์	67
รูปที่ ข.6 การวางอุปกรณ์ลงบนวงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์	68
รูปที่ ข.7 วงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์	69
รูปที่ ข.8 การวางอุปกรณ์ลงบนวงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาท ในชีวิตประจำวันของคนเราอย่างมาก ไม่ว่าจะ เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงาน หรือใช้ภายในบ้าน ทางด้านการศึกษา นั้น อิเล็กทรอนิกส์ ก็ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก โดยนำเอาเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ มาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอน เพื่อให้มีความหลากหลาย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การที่จะประกอบวงจรขึ้นมาให้เป็นชิ้นงานสักชิ้นหนึ่ง เรา จำเป็นที่จะต้องทำการทดลองวงจรก่อน จนมั่นใจว่าวงจรนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และ สมบูรณ์มากที่สุด แล้วจึงนำไปประกอบเป็นวงจรที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วน ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ก็คือ แหล่งจ่ายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพ สูง และสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องปฏิบัติการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจำเป็น อย่างยิ่งจะต้องมีแหล่งจ่ายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพ และใช้งานได้เพียงพอ

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

1. จ่ายไฟคู่ปรับค่าได้ $\pm 0-30$ โวลต์
2. จ่ายไฟตรงคู่คงที่ ± 5 โวลต์
3. จ่ายกระแสได้สูงสุด 5 แอมป์
4. ในกรณีที่มีการลัดวงจรของ Load เครื่องจ่ายกำลังจะหยุดจ่าย O/P และมีสัญญาณไฟ เตือน เมื่อปลดโหลดออก เครื่องก็สามารถจ่าย O/P ได้ตามปกติ
5. Load Regulation = 1%
6. Line Regulation = 10%
7. ค่าผิดพลาด ≤ 5 mV และค่า ripple ≤ 2 mV p-p
8. มีลักษณะกระทัดรัด ใช้งานง่าย และเคลื่อนย้ายสะดวก แสดงผลในรูปแบบของดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาฉบับนี้ แบ่งออกเป็นบทต่าง ๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วย เนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วย เนื้อหาดังต่อไปนี้ คือ แหล่งจ่ายไฟตรงคงที่ ± 5 V, แหล่งจ่ายไฟตรงปรับค่าได้ $\pm 0-30$ V, ภาคแสดงผล , และภาคป้องกันการลัดวงจร ทางด้านเอาต์พุต

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง จะกล่าวเนื้อหาเกี่ยวกับวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ ได้แก่ วงจรเรกติไฟเออร์, รีเลย์เตอร์, วงจรขยายกระแสและแรงดัน, วงจรเปรียบเทียบกระแสและแรงดัน, วงจรปรับระดับกระแสและแรงดัน, วงจรแสดงผลค่าระดับแรงดัน

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของ วงจรภาคจ่ายแรงดัน และจ่ายกระแส วงจรแสดงผลระดับแรงดัน โดยใช้ตัวแสดงผลเป็น 7 Segment

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา

ภาคผนวก ก ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ภาคผนวก ข วงจร และวงจรพิมพ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ภาคผนวก ง รายละเอียดตัวอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

บทที่ 2

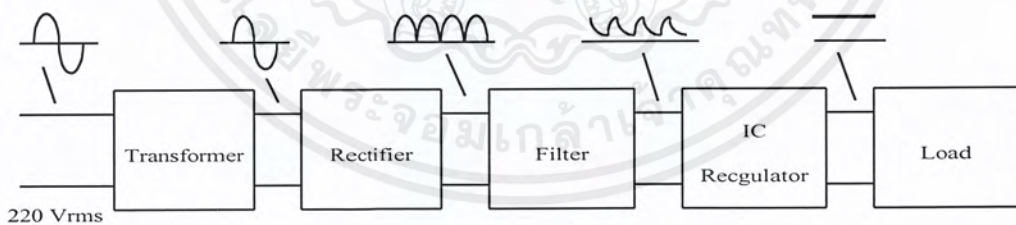
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น เป็นแหล่งจ่ายไฟชนิดเก่าแก่ที่สุดที่มีมานานแล้ว ตั้งแต่ยุคแรกก็นำเอาอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งาน ในช่วงแรกที่ได้นำหลอดสุญญากาศมาสร้างทำเป็นแหล่งจ่ายไฟเนื่องจากมีปัญหาคือ ขนาดใหญ่ และความทนทานน้อย ต่อมาก็เลยนำสารกึ่งตัวนำเข้ามาใช้ ก็ทำให้ขนาดของแหล่งจ่ายไฟลดลง ความทนทานค่อนข้างสูง ราคาถูก และแหล่งจ่ายไฟที่ได้สามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้สูงในระดับหนึ่ง ต่อมาได้มีการออกแบบอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่มีชื่อว่า IC (Integrate Circuits) มาใช้ทำแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งก็ทำให้ได้ผลดีขึ้นมากกว่าเก่า คือ ราคาถูก ขนาดเล็ก และออกแบบง่าย แต่มีข้อเสียคือ จ่ายกระแสและแรงดันยังไม่สูงมากนัก ก็เลยนำเอาทรานซิสเตอร์เข้ามาใช้ร่วมกับ IC เพื่อให้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายกระแสและแรงดัน

2.2 หลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น

จากรูปที่ 2.1 แสดงหลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นอย่างง่าย ซึ่งสามารถพิจารณาเป็น ส่วน ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น

ส่วนที่หนึ่ง คือ แรงดันไฟสลับที่เข้ามา ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าในประเทศไทยจะใช้ 220 V ความถี่ 50 Hz

ส่วนที่สอง คือ หม้อแปลง (Transformer) ลดระดับแรงดัน จะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟกระแสสลับสูงๆ ในมีขนาดน้อยลง โดยความถี่ยังคงเท่าเดิม ดังนั้น จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า

แรงดันไฟสลับที่ผ่านหม้อแปลงลดระดับแรงดันจะถูกลดขนาดแรงดันลงเท่านั้น ส่วนรูปร่างของสัญญาณ และความถี่ยังคงเดิม

ส่วนที่สาม คือ เร็คติไฟเออร์ (Rectifier) จะทำหน้าที่แปลงไฟสลับที่เข้ามาให้เป็นแรงดันไฟตรง การหาแรงดันไฟตรงก็ทำได้โดยการเฉลี่ยรูปสัญญาณ

ส่วนที่สี่ คือ วงจรกรองแรงดันหรือวงจรฟิลเตอร์ (Filter) จะทำหน้าที่กรองแรงดันที่ผ่านมาจากเร็คติไฟเออร์ให้เรียบยิ่งขึ้น ทำให้ได้ค่าแรงดันไฟตรงสูงขึ้น

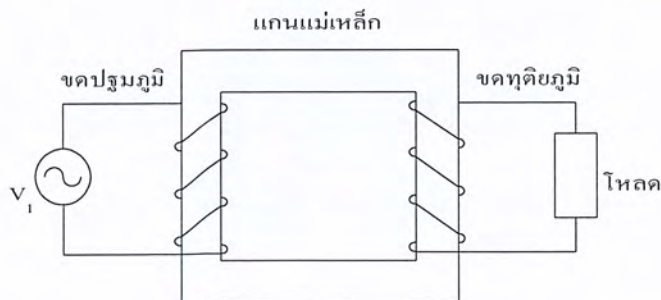
ส่วนที่ห้า คือ วงจรเร็คกูเลเตอร์ (Regulator) จะทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณแรงดันที่ผ่านมาจากวงจรกรองแรงดันให้เรียบขึ้นจนเป็นแรงดันไฟตรงที่สมบูรณ์

ส่วนที่หก คือ โหลด (Load) ซึ่งก็คืออุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการแรงดันไฟตรงที่ออกจากวงจรเร็คกูเลเตอร์ไปใช้งาน

จากรูปที่ 2.1 เป็นหลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นอย่างคร่าวๆ เท่านั้นเอง ในการใช้งานที่สมบูรณ์แบบจริงๆ จะมีส่วนต่างๆ เพิ่มมาเพื่อให้แหล่งจ่ายไฟทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์แบบ เช่น เพิ่มวงจรป้องกันแรงดันไฟเกิน เพิ่มวงจรป้องกันการลัดวงจรของโหลด เพิ่มวงจรป้องกันกระแสเกิน เป็นต้น

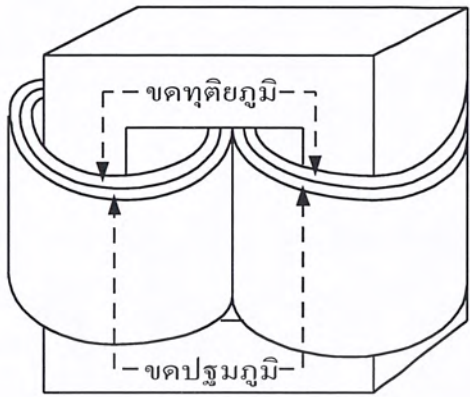
2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วย ขดลวด 2 ขด พันอยู่บนแกนเหล็กขดหนึ่งรับกำลังงานไฟฟ้าที่เข้ามาเรียกว่าขดปฐมภูมิ (Primary) และอีกขดหนึ่งเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไป เรียกว่าขดทุติยภูมิ (Secondary) รูปที่ 2.2 แสดงแกนเหล็กที่มีขดลวดพันอยู่ 2 ขด ขดหนึ่งมีจำนวนรอบเป็น n_1 รอบ และขดที่สองมีจำนวนรอบเป็น n_2 ในการพันหม้อแปลงจริงๆ จะไม่แยกพันขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิออกเป็นสองด้านอย่างในรูป แต่จะพันทับกันไป โดยให้ขดลวดแรงดันต่ำทับลงบนขดลวดแรงดันสูงดังรูปที่ 2.3

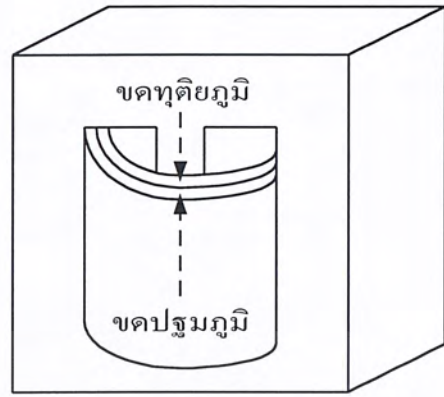


รูปที่ 2.2 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบ CORE



(ข) แบบ SHELL

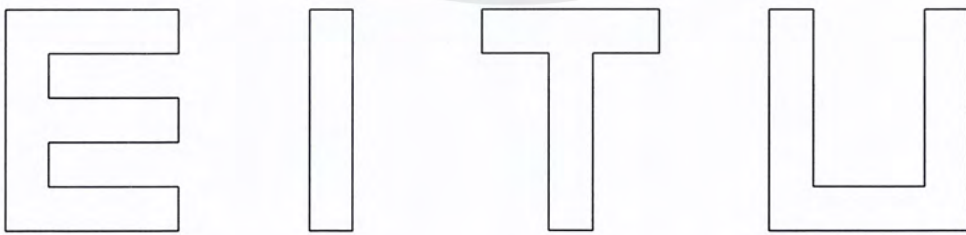
รูปที่ 2.3 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ CORE และหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ SHELL จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 (ก) และรูปที่ 2.3 (ข) ตามลำดับ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดในวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคือแบบ SHELL

2.3.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1) แกนแม่เหล็ก ซึ่งทำจากแผ่นเหล็กบาง ๆ หลาย ๆ แผ่น โดยลักษณะของแผ่นเหล็กบาง ๆ จะเป็นตัวรูปอักษรภาษาอังกฤษ คือ ตัวอี (E) ตัวไอ (I) ตัวที (T) และตัวยู (U) ดังรูปที่ 2.4 แต่การนำแผ่นเหล็กไปใช้งานจะใช้เป็นคู่ของตัวอักษรต่าง ๆ ดังนี้ ตัวอีคู่กับตัวไอ เรียกว่า แกนเหล็กแบบอีไอ (EI) ตัวทีคู่กับตัวยู เรียกว่า แกนเหล็กแบบทียู (TU) และตัวยูคู่กับตัวไอ เรียกว่า แกนเหล็กแบบยูไอ (UI) ดังรูปที่ 2.5 แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ แบบ EI



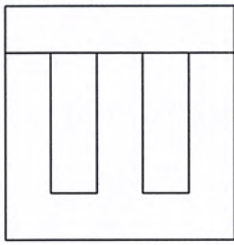
แบบตัวอี

แบบตัวไอ

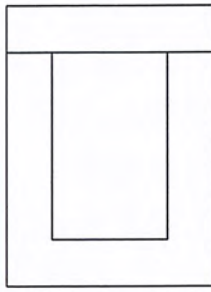
แบบตัวที

แบบตัวยู

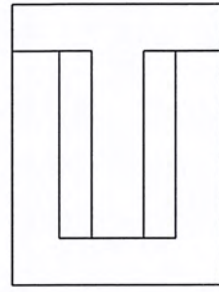
รูปที่ 2.4 รูปแบบของแผ่นเหล็ก



แบบ อีไอ



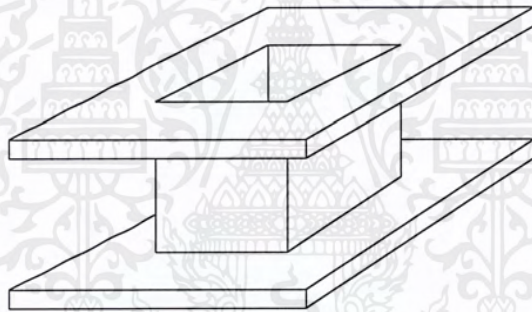
แบบ ยูไอ



แบบ ทียู

รูปที่ 2.5 รูปแบบของแผ่นเหล็กที่ใช้คู่กัน

- 2) ขดลวด ซึ่งนิยมใช้ขดลวดที่ทำมาจากทองแดงอบน้ำยา
- 3) Bobbin คือ ที่รองรับขดลวดจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของ Bobbin

2.4 ทรานซิสเตอร์

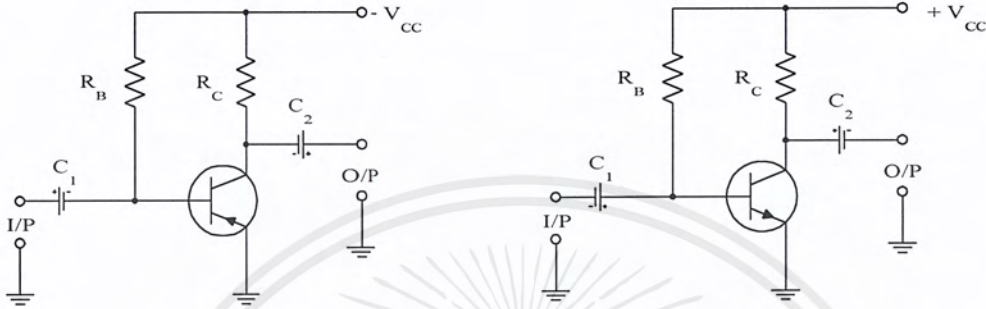
2.4.1 การไบอัสทรานซิสเตอร์

การนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งาน จะพบว่าทรานซิสเตอร์แต่ละตัวมีคุณสมบัติและจุดทำงานแตกต่างกันออกไป ถ้าเราให้กระแสไหลในวงจรมากเกินไปจะทำให้ทรานซิสเตอร์เข้าสู่สภาวะอิ่มตัวได้ และถ้าเรลดกระแสมากเกินไปก็อาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวนั้น ถึงจุดคัทออฟได้เช่นกัน นี่คือนิยามปัญหาประการหนึ่ง

ปัญหาประการที่สอง คือเวลาใช้งานเมื่อทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต้องการกระแสไม่เท่ากันหรือจุดทำงานแตกต่างกันไปแล้วแต่เบอร์ของทรานซิสเตอร์ จึงจำเป็นที่จะต้องให้แหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่เวลาที่ใช้งานเราจะใช้ภาคจ่ายไฟหลาย ๆ ภาค ก็จะทำให้สิ้นเปลืองโดย

ใช้เหตุ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมึวิธีการจัดไบอัสให้กับวงจรทรานซิสเตอร์ โดยจะสามารถแบ่งการจัดไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

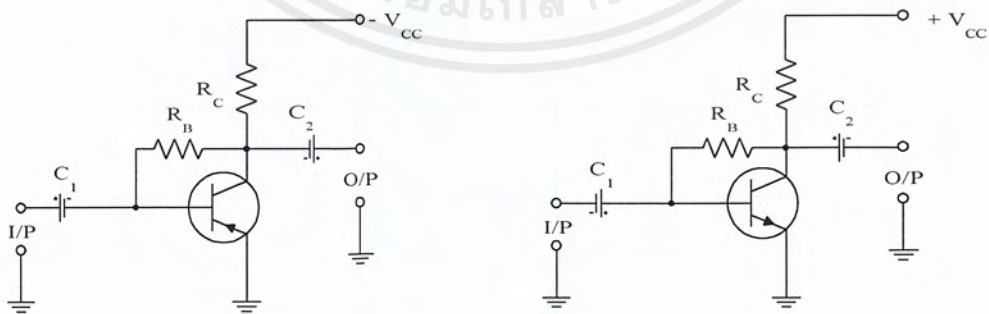
1) การไบอัสคงที่ (Fixed Bias)



รูปที่ 2.7 การไบอัสคงที่

เป็นวิธีการไบอัสที่ง่ายที่สุด โดยเราใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียวก็สามารถให้ไบอัสแก่วงจรได้แล้ว กระแสทางด้านเบสหรือไบอัสเบสนั้นได้มาจากแหล่งจ่าย V_{CC} ชุดเดียวกันกับขาคอลเล็กเตอร์ เช่น ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เราทราบว่ขาเบสต้องได้บวกเมื่อเทียบกับขาคีมิตเตอร์ และเช่นเดียวกันขาคอลเล็กเตอร์ก็ต้องการบวกเช่นกันเมื่อเทียบกับขาคีมิตเตอร์ จึงนำตัวความต้านทานค่ามากๆ ลดโวลต์จาก $+V_{CC}$ ให้เหลือโวลต์บวกที่เบสน้อยลง (เบสจะมีศักย์น้อยกว่าทางคอลเล็กเตอร์) ส่วนชนิด PNP เราก็ใช้วิธีการเช่นเดียวกัน

2) การไบอัสตัวเอง (Self Bias หรือ Voltage Feedback Bias)

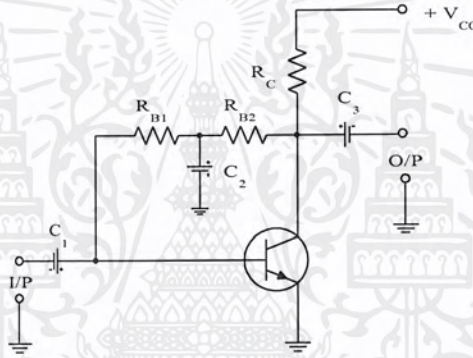


รูปที่ 2.8 การไบอัสตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

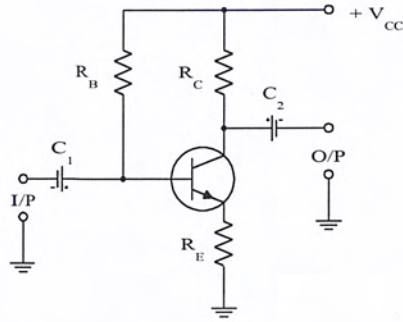
เป็นไบอัสอีกแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับกับแบบแรก เรียกไบอัสแบบนี้ว่า การไบอัสตัวเอง ซึ่งทราบกันแล้วว่าขาคอลเล็กเตอร์และขาเบสจะมีศักย์ทางไฟฟ้าเหมือนกัน ถ้าเทียบกับขาอิมิตเตอร์ เพียงแต่ศักย์ไฟฟ้าทางขาคอลเล็กเตอร์สูงกว่าศักย์ทางขาเบสเท่านั้น สามารถเอาโวลต์จจากขาคอลเล็กเตอร์มาไบอัสเบสได้ด้วยการทำให้แรงดันจากขาคอลเล็กเตอร์มีศักย์ต่ำลงเมื่อจะไบอัสเบส ซึ่งทำได้โดยการนำตัวความต้านทานมาลดแรงดันจากขาคอลเล็กเตอร์ให้ต่ำลงเมื่อไหลมายังเบส

อย่างไรก็ตามการไบอัสแบบนี้เสถียรภาพของวงจร (Stability) ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับการไบอัสแบบแรก เนื่องจากว่าถ้าหากแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันไบอัสเบสก็ต้องเปลี่ยนไปด้วย สามารถทำให้วงจรนี้มีเสถียรภาพสูงขึ้นได้โดยการใช้ ตัวความต้านทาน 2 ตัว และตัวเก็บประจุ ประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแก้ปัญหาเสถียรภาพในวงจรไบอัสตัวเอง

อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะแก้ปัญหาเรื่องเสถียรภาพของวงจรไบอัสแบบไบอัสตัวเองได้ แต่ยังมีปัญหาอย่างอื่นที่ตามมาอีก ปัญหาอันนี้คือ เรื่องความร้อน เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานหนัก ๆ แล้วจะเกิดความร้อนขึ้นมา ทำให้ความต้านทานระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์ต่ำลง กระแสจึงไหลมากขึ้น ถ้ากระแสไหลมากเกินไปความต้านทานก็จะลดลงต่อ จนกระทั่งทรานซิสเตอร์เสียหายในที่สุด เหตุการณ์นี้ไม่ใช่เกิดขึ้นเฉพาะการไบอัสแบบไบอัสตัวเองเท่านั้น แต่ยังเกิดกับการไบอัสแบบอื่นๆ ด้วย ถ้ากระแสมากขึ้นจนถึงขีดหนึ่งทำให้ความต้านทานของมันลดลงกระแสคอลเล็กเตอร์จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่กระแสเบสคงที่ การแก้ปัญหานี้กระทำได้โดยการใส่ R_E



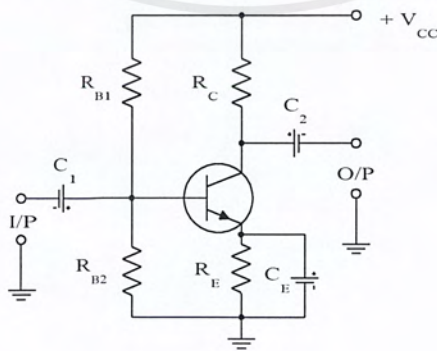
รูปที่ 2.10 วงจรไบอัสที่มี RE (Emitter Bias)

เมื่อทรานซิสเตอร์ร้อนขึ้น อันอาจจะทำให้ความต้านทานระหว่างคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ต่ำลง กระแสคอลเล็กเตอร์จะไหลได้มากขึ้นในขณะที่กระแสเบสคงที่อยู่ที่ ในกรณีเช่นนี้จะเห็นแล้วว่ากระแสเบสไม่สามารถบังคับกระแสคอลเล็กเตอร์ได้ จุดทำงานของทรานซิสเตอร์จะเริ่มเปลี่ยนไป ถ้าใส่ RE ไว้ที่ขาอิมิตเตอร์ เมื่อกระแสคอลเล็กเตอร์มากขึ้นแรงดัน VE ก็จะมากตามไปด้วย แต่เมื่อพิจารณาทางด้านเบส เมื่อกระแสเบสยังคงที่อยู่ที่ VB ก็ยังคงมีแรงดันเท่าเดิม เนื่องจาก

$$V_B = V_{BE} + V_E \tag{2.1}$$

ดังนั้นเมื่อ VE เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ไบอัสระหว่างเบส-อิมิตเตอร์ หรือ VBE ลดลง ทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะนำกระแสได้น้อยลง ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ต้องลดตาม ทรานซิสเตอร์ที่อาจจะร้อนขึ้นในตอนแรกจะลดอุณหภูมิลง

3) การไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Bias)



รูปที่ 2.11 การไบอัสแบบแบ่งแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำให้วงจรมีเสถียรภาพดีขึ้น โดยการให้แรงดันที่จะมาไบอัสมีแรงดันคงที่มากที่สุด จะเห็นว่าวงจรไบอัสแบบนี้จะมีความต้านทานทางเบส 2 ตัวด้วยกัน แม้ว่าวงจรทรานซิสเตอร์จะทำงานหรือไม่ทำงาน แต่แรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานทั้งสองยังคงปกติ นี่เองที่ทำให้เสถียรภาพของวงจรสูงกว่าแบบที่ 1 และ 2

หลักการของการรักษาเสถียรภาพของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ให้คงที่นั้น จะทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ถูกควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงไปได้น้อย เมื่อจุดทำงานเริ่มจะเปลี่ยนไป ตัวที่ทำให้การทำงานของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนไปอันดับแรกคือ อุณหภูมิ ซึ่งจะสามารถแก้ไขในขั้นต้น คือ การใส่ R_E เข้าไปที่ขาอิมิตเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ทรานซิสเตอร์เกิดความร้อนต่อเนื่องจน R_E ไม่สามารถควบคุมได้ สามารถใช้วงจรแบ่งแรงดัน เพราะว่าวงจรไบอัสแบบนี้สามารถรักษาระดับแรงดันทางเบสให้คงที่ได้จากค่าความต้านทานที่ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันไว้นั่นเอง ซึ่งค่าแรงดันนี้ไม่ขึ้นตรงต่อค่าพารามิเตอร์ตัวใด

2.5 วิธีการเลือกขนาดหม้อแปลง ไดโอด และตัวเก็บประจุ ในทางปฏิบัติ

2.5.1 การเลือกขนาดหม้อแปลง

การเลือกขนาดหม้อแปลง จะต้องเลือกอยู่ 2 อย่าง คือ เลือกขนาดกระแส และเลือกขนาดแรงดัน โดยการเลือกขนาดกระแส จะใช้ประมาณ 1.5 เท่าของกระแสโหลด ส่วนการเลือกขนาดแรงดัน จะเลือกดังสมการที่ 2.2 ถึง สมการที่ 2.4

$$\text{(วงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์)} \quad V_{rms} = \frac{(V_m + 0.7V)}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

$$\text{(วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ โดยใช้ไดโอด 2 ตัว)} \quad V_{rms} = \frac{2(V_m + 0.7V)}{\sqrt{2}} \quad (2.3)$$

$$\text{(วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์)} \quad V_{rms} = \frac{V_m + 1.4V}{\sqrt{2}} \quad (2.4)$$

2.5.2 การเลือกขนาดไดโอด

การเลือกขนาดไดโอด จะต้องเลือก 2 อย่าง คือ เลือกขนาดกระแส และเลือกขนาดแรงดัน โดยการเลือกกระแส จะเลือก $I_D > I_{TR}$ โดยที่ I_{TR} คือ กระแสที่หม้อแปลงจ่ายและ I_D คือ ค่ากระแสของไดโอดที่เลือกใช้ ส่วนการเลือกขนาดแรงดันจะเลือกประมาณ 2 เท่า ของแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลง (V_m) จ่ายออกมา เช่น $I_{TR} = 1.5A$ $V_m = 25V$ ดังนั้น จะเลือกไดโอดขนาด 50 V 2 A เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ

การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ จะเลือก 2 อย่าง คือ ค่าขนาดตัวเก็บประจุ และค่าขนาดแรงดันของตัวเก็บประจุ โดยค่าแรงดันตัวเก็บประจุจะหาได้จากสมการที่ 2.5 ถึง สมการที่ 2.7

$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}} \quad (2.5)$$

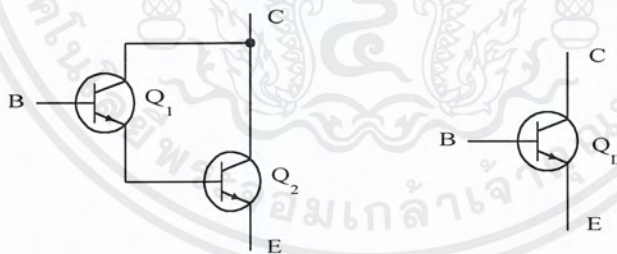
$$V_{r(rms)} = \frac{2.9I_{dc}}{C} = \frac{2.9V_m}{R_L C} \quad (2.6)$$

$$V_{dc} = V_m - \frac{5I_{dc}}{C} = V_m - \frac{5V_m}{R_L C} \quad (2.7)$$

ส่วนค่าแรงดันของตัวเก็บประจุจะใช้ประมาณ 2 เท่า ของแรงดันสูงสุดที่จ่ายจากหม้อแปลง

2.6 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

การต่อแบบคาร์ลิงตัน คือ การนำทรานซิสเตอร์แบบ NPN 2 ตัวมาต่อกันดังรูปที่ 2.12 (ก) และแสดงสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.12 (ข) เพื่อให้ได้ค่าซูเปอร์เบต้า (Super Beta) หรือทำให้ได้ค่า β เป็นทวีคูณ



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.12 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

จุดเด่นของการต่อวงจรแบบคาร์ลิงตัน คือ ทรานซิสเตอร์ที่ต่อรวมกันนั้นทำงานเป็นหน่วยเดียวกัน โดยมีอัตราขยายกระแส (β_D) เท่ากับผลคูณของ β แต่ละตัวดังสมการที่ 2.8

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2 \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าทรานซิสเตอร์ทั้งสองเหมาะสมกัน (Matched) อัตราขยายกระแสของการต่อแบบคาร์ลิงตันจะเปลี่ยนเป็นดังสมการที่ 2.9

$$\beta_D = \beta^2 \quad (2.9)$$

การต่อแบบคาร์ลิงตัน ทำให้ทรานซิสเตอร์เหล่านั้นมีอัตราขยายกระแสสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับ β ของทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว

2.6.1 ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันสำเร็จรูป

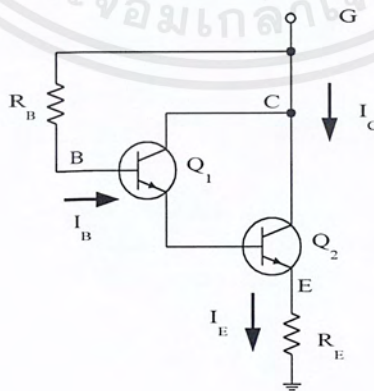
โดยทั่วไป การต่อแบบคาร์ลิงตันเป็นการต่อสำเร็จรูปภายในตัวถัง เรียกว่า ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันสำเร็จรูป สำหรับตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์ชนิด 2N999

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ชนิด 2N999

Parameter	Test Conditions	Min.	Max.
V_{BE}	$I_C = 100 \text{ mA}$		1.8V
h_{FE}	$I_C = 100 \text{ mA}$	4000	
(β_D)	$I_C = 100 \text{ mA}$	7000	70,000

2.6.2 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรง

การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรง ของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันเป็นดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทรานซิสเตอร์คาร์ลิงค์มี β สูง ค่า I_B ได้ดังสมการที่ 2.10

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta_D R_E} \quad (2.10)$$

สมการที่ 1.10 เหมือนกับทรานซิสเตอร์ปกติทั่วไป เพียงแต่ค่าของ β_D สูงกว่า β สำหรับ I_E ค่าได้ดังสมการที่ 2.11

$$I_E = (\beta_D + 1)I_B \approx \beta_D I_B \quad (2.11)$$

ค่าแรงดัน dc ได้ดังสมการที่ 2.12 และสมการที่ 2.23

$$V_B = I_E R_E \quad (2.12)$$

$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (2.13)$$

2.7 ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

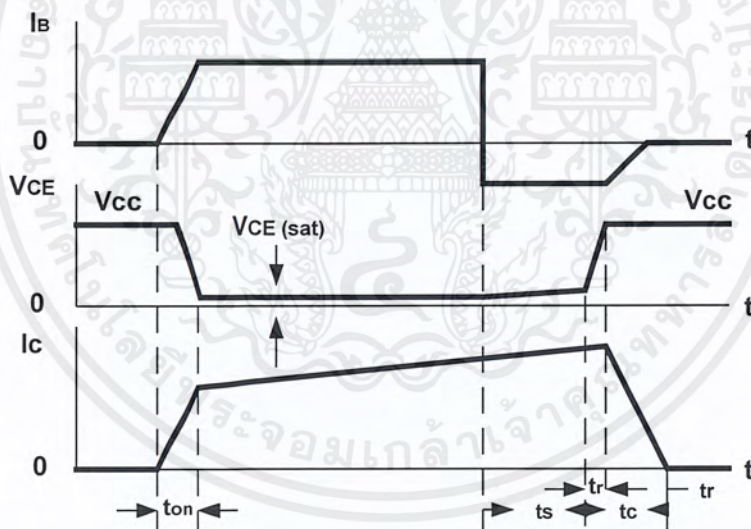
ปัจจุบันไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ได้ถูกเพาเวอร์มอสเฟตเข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตใช้เวลาในช่วงเปลี่ยนสถานะสั้น จึงเกิดกำลังงานสูญเสียต่ำกว่า และใช้งานที่ความถี่สูงๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงมีข้อคืออยู่ คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูง และมีราคาสูงกว่า รวมทั้งการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น เพื่อให้ใช้งานได้ที่ความถี่สูงๆ และลดกำลังงานสูญเสียยังคงมีกระทำกันอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้น ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จึงยังคงมีใช้งานในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งที่มีผลผลิตจำหน่ายในตลาดอุตสาหกรรม และมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาให้เข้าใจลักษณะการทำงานและการเกิดกำลังงานสูญเสียของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาไว้ด้วย

2.7.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

กำลังงานสูญเสียในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss) และกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation Loss) สำหรับการเปลี่ยนสถานะของการทำงานของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะที่จะเริ่มจะนำกระแส และขณะเริ่มหยุดนำกระแส แต่กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นสูงสุดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นหลัก

เมื่อเริ่มให้กระแสไบอัสที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{CC} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่ง คือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{CE(sat)}$ ดังรูปที่ 2.14 กำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้ เนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้น และกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ

เมื่อหยุดให้กระแสไบอัสและป้อนกระแสไบอัสค่าลบให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อหยุดการนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา t_s ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_s นี้จะเรียกว่า ช่วงเวลาสะสม (Storage Time) และขณะช่วงเวลา t_s นี้ แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังงานสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบอัสอยู่



รูปที่ 2.14 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเล็กเตอร์จะเริ่มลดลง และใช้เวลาเท่ากับ t_f (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา t_r และ t_f จะมีค่าสูง และเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_f$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time) กำลังงานสูญเสีย ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส นั้น อาจประมาณได้จากสมการที่ 2.14

$$P_{D_{sr}} = \frac{0.5V_{CC}I_{PK}t_C}{T} \quad \text{วัตต์} \quad (2.14)$$

- เมื่อ $P_{D_{sr}}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส
 V_{CC} คือ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และหยุดนำกระแส
 I_{PK} คือ ค่ากระแสสูงสุดเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส
 t_C คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ($t_C = t_r + t_f$)
 T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การทำให้กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส $P_{D_{sr}}$ มีค่าน้อยที่สุด จะทำให้การใช้งานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูง และลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงานด้วย

2.7.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การเลือกใช้ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สำหรับคอนเวอร์เตอร์นั้น มีข้อควรพิจารณาดังนี้ คือ

- 1) อัตราทนแรงดันและกระแสสูงสุด
- 2) ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
- 3) อัตราทนกำลังสูญเสีย

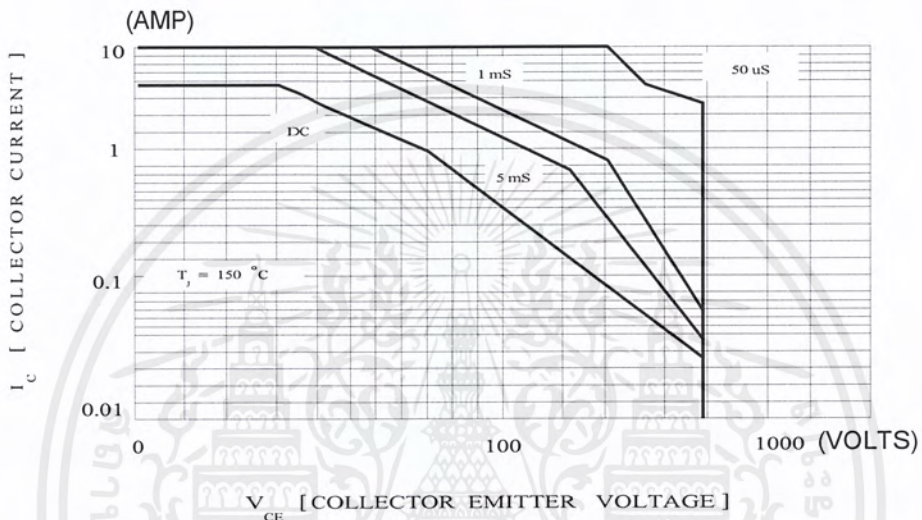
1) อัตราทนกำลังสูญเสียของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ความสามารถในการทนกำลังสูญเสียของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 2 ประการ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อ (Average Junction Temperature, T_j) และเซคันดารีเบรคดาวน์ (Secondary Breakdown)

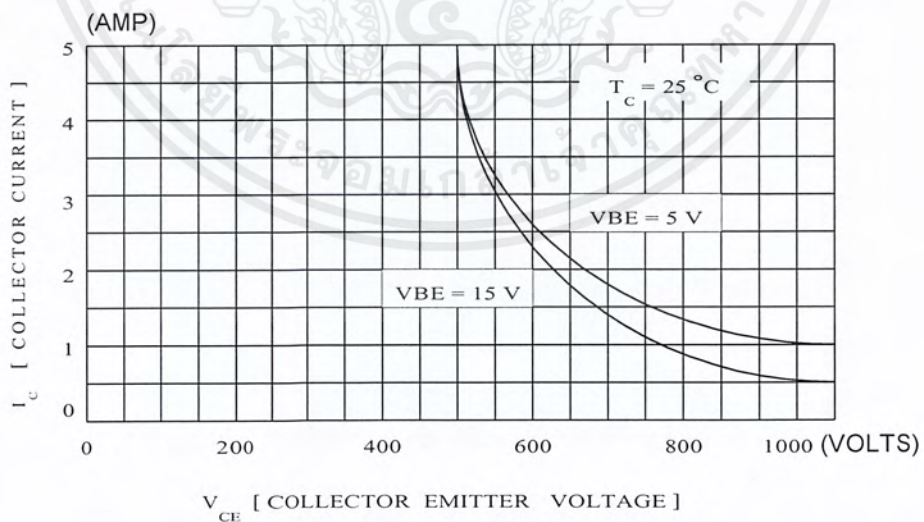
โดยทั่วไป ผู้ผลิตมักจะให้กราฟแสดงพิสัยปลอดภัย SOA (Safe Operating Area) มาพร้อมกับรายละเอียดอุปกรณ์ ที่ให้มากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ กราฟ SOA จะเป็นข้อมูลเพื่อให้ทราบกำลังงานสูญเสียที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถทนได้ โดยที่ SOA จะแสดงพิสัยค่า

ต่างๆ ของกระแสและแรงดันขณะทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ที่จะไม่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อสูงเกินกว่าที่มันจะทนได้ และไม่ทำให้เกิดเซกันคาร์ไบด์ที่บริเวณจัน

ปกติกราฟ SOA ของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมี 2 ลักษณะ คือ FBSOA (Forward Bias Safe Operating Area) และ RBSOA (Reverse Bias Safe Operating Area) ตัวอย่างของกราฟ FBSOA และ RBSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 (ก) และ 2.15 (ข) ตามลำดับ



(ก) ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย FBSOA ของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



(ข) ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย RBSOA ของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) FBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มนำกระแส

ช่วงเวลาขณะเริ่มนำกระแสของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะสั้นกว่าช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแส กำลังงานสูญเสียไปในขณะเริ่มนำกระแสจึงมีค่าน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันการเกิดเซกันดารีเบรกดาวน์ ผู้ออกแบบควรพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่จะเกิดกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มนำกระแสเอาไว้ด้วย โดยต้องจำกัดค่าแรงดันตกคร่อมและกระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส ให้มีค่าอยู่ภายใต้พื้นที่ของกราฟ FBSOA อย่างแท้จริง

3) RBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแส

ขณะที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส พิกัดปลอดภัยของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะแสดงโดยกราฟ RBSOA และขึ้นกับค่าแรงดันไบอัสกลับของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะพิกัดขอบค่อนข้างแคบกว่า FBSOA ดังนั้นขณะเริ่มหยุดนำกระแสของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

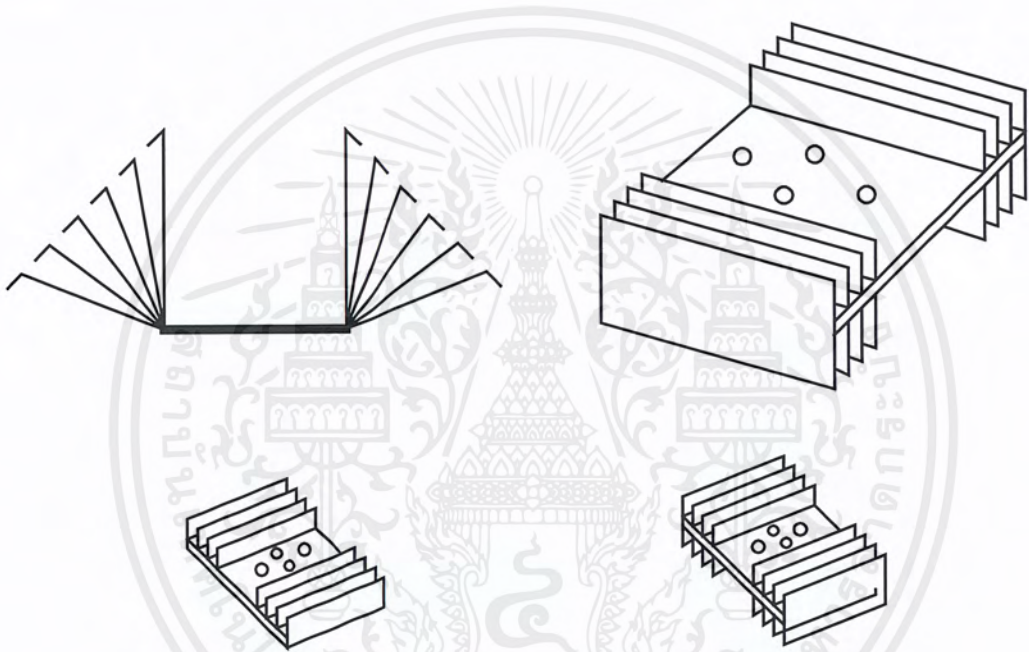
2.7.3 การระบายความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน เป็นเรื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำให้เกิดความร้อนที่รอยต่อ และอุณหภูมิที่รอยต่อ (T_j) ของสารกึ่งตัวนำภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น หากไม่มีการระบายความร้อนออกไปจากตัวถังแล้ว อุณหภูมิที่รอยต่อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดที่รอยต่อจะทนได้ ทำให้เกิดการพังเสียหายขึ้นในที่สุด

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไป จะมีค่าอุณหภูมิที่รอยต่อ T_j สูงสุดขณะทำงาน ประมาณ 150 °C ถึง 200 °C ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำและลักษณะของตัวถัง วิธีที่ง่ายที่สุดในการระบายความร้อน คือ การติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยตรง การระบายความร้อนออกจากตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเลือกขนาดและชนิดของแผ่นระบายความร้อนได้เหมาะสม แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและกินเนื้อที่มาก ในทางตรงข้าม แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กจะไม่สามารถระบายความร้อนได้เพียงพอ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะร้อนและอายุการใช้งานสั้นลง

การลดความร้อนที่รอยต่อ สามารถทำได้โดยการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นออกจากรอยต่อผ่านตัวถังของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และเมื่อติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับตัวถัง ความร้อนจะถูกถ่ายเทผ่านแผ่นระบายความร้อนออกไปสู่อากาศรอบข้างจนเกิดสมดุลย์ความร้อน ความร้อนที่รอยต่อก็จะลดลง

เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิด มีการระบายความร้อนผ่านตัวมันได้ไม่เท่ากัน ความสามารถในการระบายความร้อนได้มากหรือน้อยนั้น อาจกล่าวได้ว่า วัสดุมีค่าความต้านทานทางความร้อน (Thermal Resistance) หรือ R_{θ} ไม่เท่ากัน คือ เมื่อให้พลังงานความร้อนผ่านวัสดุ วัสดุจะสามารถระบายความร้อนผ่านตัวมัน โดยมีการต้านทานพลังงานความร้อนไม่ให้ผ่านไปได้ง่ายๆ ซึ่งจะทำให้ตัวมันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้น การระบายความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ผ่านแผ่นระบายความร้อน สามารถทำได้โดยใช้แผ่นระบายความร้อนที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้ถ่ายเทความร้อนออกจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

2.8 วงจรแปลงไฟ หรือวงจรเรกติไฟเออร์

วงจรเรกติไฟเออร์ คือหัวใจของแหล่งจ่ายไฟ หน้าที่ของมันคือการแปลงแรงดันสลับที่รับเข้ามาให้กลายเป็นแรงดันสลับออกไปทางเอาต์พุต ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด ใหญ่ ๆ คือ

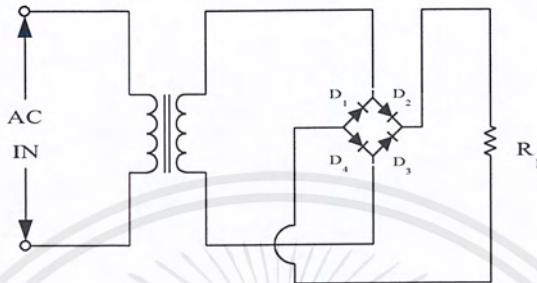
- 1) ฮาร์ฟเวฟ เรกติไฟเออร์ (Half Wave Rectifier)
- 2) ฟูลเวฟ เรกติไฟเออร์ (Full Wave Rectifier)
- 3) บริดจ์ เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวงจรเรกติไฟ์ล์แบบบริดจ์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

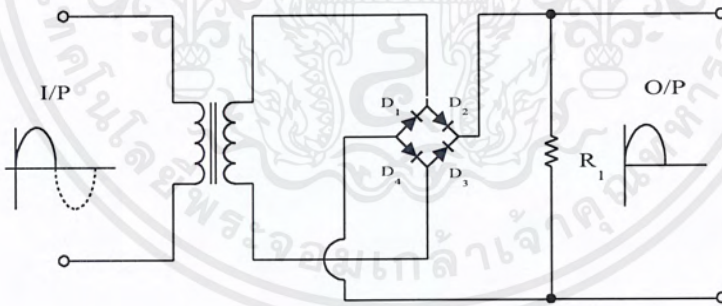
2.8.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

รูปที่ 2.17 แสดงวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งประกอบด้วยไดโอดทั้งหมด 4 ตัว วางเรียงลำดับเพื่อให้กระแสไหลผ่านโหลดในทิศทางเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.17 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

รูปที่ 2.17 แสดงการไหลของกระแสระหว่างครึ่งคลื่นซีกบวกของสัญญาณเข้า กระแสจะไหลจากด้านล่างของขดทุติยภูมิขึ้นผ่านไดโอด D_4 ผ่านโหลด ผ่านไดโอด D_2 ไปยังด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง จะเกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลดขึ้น



รูปที่ 2.18 การทำงานของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ระหว่างครึ่งคลื่นซีกบวก

รูปที่ 2.18 แสดงการไหลของกระแสในระหว่างครึ่งคลื่นซีกบวกของสัญญาณเข้าด้านบนของขดทุติยภูมิเป็นลบ และด้านล่างเป็นบวก กระแสไหลจากด้านบนของขดทุติยภูมิ ลงมาผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลดและไดโอด D_3 จนถึงด้านล่างของขดทุติยภูมิ สังเกตว่ากระแสไหลผ่านโหลดในทิศทางเดียวกันกับในช่วงระหว่างครึ่งคลื่นซีกบวก จึงทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลดอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

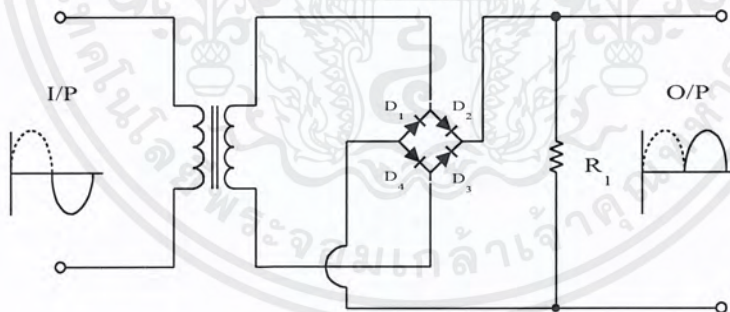
บริดจ์เรกติไฟเออร์ เป็นฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเพราะมันทำงานในครึ่งคลื่นทั้งสองของลูกคลื่น ข้อดีของบริดจ์เรกติไฟเออร์ คือไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง มีหน้าที่ทำให้แรงดันสูงขึ้นหรือต่ำลงเท่านั้น หรือเพื่อแยกแหล่งจ่ายไฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

2.8.2 ความแตกต่างของเรกติไฟเออร์

ข้อดีของฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ คือ ค่าใช้จ่ายน้อย เพราะใช้ไดโอดและหม้อแปลงอย่างละหนึ่งตัว แต่ประสิทธิภาพต่ำมาก เพราะใช้สัญญาณเข้าเพียงแค่ครึ่งคลื่นเท่านั้น ทำให้สามารถจ่ายกระแสต่ำ

ฟูลเวฟเรกติไฟเออร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ เพราะมันสามารถทำงานได้ทั้งสองครึ่งคลื่นของคลื่นไซน์ ทำให้เกิดความถี่รบกวนที่สูงกว่า จึงง่ายต่อการกรอง แต่มีข้อเสียคือต้องใช้หม้อแปลงที่มีเซ็นเตอร์แท็ป ทำให้แรงดันเอาต์พุตต่ำกว่าฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ในกรณีหม้อแปลงเหมือนกัน ทั้งนี้เพราะเซ็นเตอร์แท็ปทำให้เกิดการแบ่งแรงดันขึ้น

บริดจ์เรกติไฟเออร์ สามารถทำงานได้โดยปราศจากหม้อแปลง อย่างไรก็ตามหม้อแปลงก็มีส่วนจำเป็นเมื่อต้องการเพิ่มหรือลดแรงดัน ในด้านประสิทธิภาพแล้ว บริดจ์เรกติไฟเออร์จะมีมากที่สุด เมื่อเทียบกับฮาล์ฟเวฟ และฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ ข้อเสียของบริดจ์เรกติไฟเออร์ต้องใช้ ไดโอดถึง 4 ตัว แต่อย่างไรก็ตาม ไดโอดราคาไม่แพงมากเมื่อเทียบกับหม้อแปลงแบบเซ็นเตอร์แท็ป



รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ระหว่างครึ่งคลื่นซีกลบ

2.9 ออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ขยายแรงดันที่ถูกรออกแบบมาให้ทำงานขยายสัญญาณใกล้เคียงกับวงจรขยายในทางอุดมคติมากที่สุด คือ ให้อัตราขยายสูง และอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงในขณะที่ให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีอินพุตสองขั้ว คือ อินเวอร์ตติ้งอินพุต หรืออินพุตกลับเฟสสัญญาณ และนอนอินเวอร์ตติ้งอินพุต หรืออินพุตไม่กลับเฟสสัญญาณ ซึ่งมีการมี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

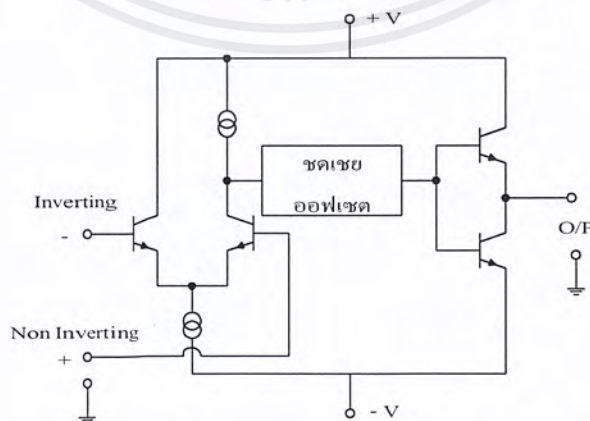
อินพุต เช่นนี้จะทำให้ออปแอมป์นำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น เช่นใช้ทำงานเป็นวงจรขยายความแตกต่าง, วงจรรองความถี่, วงจรกำเนิดความถี่ และวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เป็นต้น

ในส่วนที่เป็นการใช้การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์เบื้องต้น ที่สามารถนำไปดัดแปลงให้ทำงานอื่นๆ ได้หลากหลาย ปัจจุบันออปแอมป์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันแยกออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

- 1) ออปแอมป์ที่ทำงานขยายแรงดัน
- 2) ออปแอมป์ขยายผลต่างกระแส หรือ นอร์ตันออปแอมป์
- 3) ออปแอมป์ OTA

2.9.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์

ออปแอมป์ชนิดพื้นฐานที่สุดจะจัดวงจรดังในรูปที่ 2.20 ประกอบไปด้วยวงจรขยายความแตกต่างซึ่งอาจทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ธรรมดาหรือทรานซิสเตอร์แบบเฟต, ขั้วปรับชดเชยออฟเซตให้วงจรทางเอาต์พุตและส่วนของวงจรขยายภาคเอาต์พุต อัตราขยายของออปแอมป์ปกติจะมีค่าประมาณ 100 เดซิเบล สัญญาณทางด้านอินพุตจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทางขาอินเวอร์ตติ้งหรืออนอินเวอร์ตติ้ง เอาต์พุตที่ได้จะถูกป้อนสู่ภาคขยายเอาต์พุต โดยผ่านทางโครงข่ายการชดเชยออฟเซตเสียก่อน ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ที่มีจุดกึ่งกลางอยู่ที่ศูนย์โวลต์ตลอดเวลาแหล่งจ่ายแรงดันที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์ ปกติจะเป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ คือใช้ทั้งแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบ โดยมีจุดกราวด์เป็นจุดร่วมกันของแหล่งจ่ายไฟทั้งสองเพื่อให้เอาต์พุตของออปแอมป์สามารถที่จะทำงานสวิงแรงดันได้ทั้งในซีกบวกและซีกลบ และมีค่าศูนย์โวลต์ เมื่อแรงดันที่ป้อนเข้าทางดิฟเฟอเรนเชียลอินพุตมีค่าศูนย์โวลต์



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของออปแอมป์อย่างง่ายแทนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การจัดวงจรเบื้องต้น

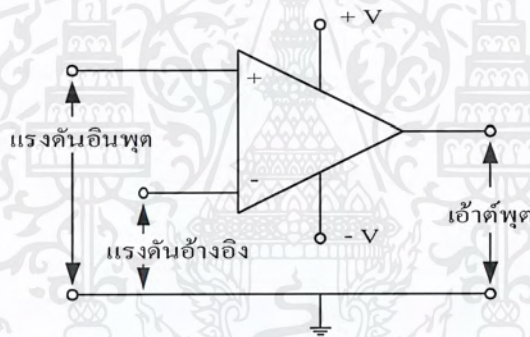
จากที่ทราบมาแล้วว่าออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แรงดันแบบต่อรองที่มีอัตราขยายสูงมีค่าอินพุตอินพีแดนซ์สูง และเอาต์พุตอินพีแดนซ์ต่ำ โดยแรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์จะแปรผันกับค่าความแตกต่างระหว่างขาอินพุตทั้งสองตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.15

$$V_{OUT} = A_0(V_1 - V_2) \quad (2.15)$$

โดยที่ A_0 คือ อัตราขยายของออปแอมป์ขณะที่ยังไม่มีกรป้อนกลับ

V_1 คือ ค่าแรงดันอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้ง

V_2 คือ ค่าแรงดันอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้ง



รูปที่ 2.21 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ออปแอมป์สามารถนำมาใช้งานขยายสัญญาณในลักษณะกลับเฟสทางเอาต์พุตได้โดยการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าทางขาอินเวอร์ตติ้ง และจัดให้ขาอินเวอร์ตติ้งลงกราวด์ไป แต่ถ้าต้องการจัดวงจรขยายปกติไม่กลับเฟสทางเอาต์พุตก็ทำได้โดยการป้อนอินพุตเข้าทางขาอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ และจัดให้อินเวอร์ตติ้งลงกราวด์ หรือจะใช้เป็นวงจรขยายผลต่างโดยการป้อนอินพุตที่ต้องการขยายจากทั้งสองแหล่งเข้าที่ขาอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าเท่ากัน เอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ด้วย

ประโยชน์ในการใช้งานอีกอย่างหนึ่งของออปแอมป์ คือ ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันที่มีค่าแตกต่างกัน เช่นตัวอย่างในรูปที่ 2.21 ค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้จะถูกป้อนเข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง เนื่องจากอัตราขยายแรงดัน เปิดลูบของออปแอมป์มีค่าสูงมากเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่าแรงดัน เอาต์พุตที่ออกมาจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟเลี้ยง +V (เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าสูงกว่าแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงเพียงเล็กน้อย) ในทางตรงกันข้ามเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงเพียงเล็กน้อย เอาต์พุตจะเป็นแรงดันอิมิตัว ทางด้านไฟเลี้ยง $-V$

2.9.3 ค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์

ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ อัตราขยาย และแบนด์วิดท์เป็นอนันต์ ส่วนเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ถือว่าเป็นศูนย์ แต่ออปแอมป์ในทางปฏิบัติจะแตกต่างออกไปซึ่งจะดูได้จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงในข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตที่ให้มา ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละเบอร์ซึ่งมีรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) อัตราขยายเปิดลูป คือ อัตราขยายแรงดันในทางความถี่ต่ำเปรียบเทียบกับระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีหน่วยเป็นเดซิเบล โดยทั่วไปแล้วออปแอมป์จะมีอัตราขยายเปิดลูปประมาณ 100,000 เท่า หรือ 100 เดซิเบล

2) อินพุตอิมพีแดนซ์ คือ ค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์เมื่อยังไม่ได้มีการป้อนกลับใด ๆ หรือในขณะที่เปิดลูป โดยปกติแล้วจะมีค่ามากกว่า 1 เมกะโอห์ม ในกรณีของ โพลาร์-ออปแอมป์ และมีค่ามากกว่าล้านเมกะโอห์มในกรณีที่อินพุตออปแอมป์เป็นเฟด

3) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ คือ ค่าความต้านทานทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์ขณะเปิดลูป โดยทั่วไปมีค่า 200-300 โอห์ม

4) กระแสไบแอสอินพุต คือ ค่ากระแสที่ซิงก์ หรือซอร์สทางขาอินพุตของออปแอมป์เป็นค่ากระแสที่มีค่าจำกัดเมื่อถูกไบแอสให้ทำงานในลักษณะเชิงเส้น ขนาดของกระแส IB นี้จะมีค่าน้อยมาก มีค่าเป็นเศษส่วนในหน่วยของไมโครแอมป์ ในกรณีของไบโพลาร์ออปแอมป์ (1 ไมโครแอมป์ เท่ากับ 1/1000000 แอมป์) และมีค่าเพียง 2-3 พิโกแอมป์ในกรณีที่เป็นเฟดออปแอมป์

5) แรงดันไฟเลี้ยง ไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์เป็นไฟเลี้ยงคู่ ออปแอมป์จะทำงานเป็นปกติในย่านแรงดันขนาดหนึ่ง ถ้าป้อนแรงดันให้ออปแอมป์สูงมากเกินไปก็จะทำให้ออปแอมป์เสียหาย แต่ถ้าป้อนไฟเลี้ยงต่ำเกินไป ออปแอมป์ก็ไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วแรงดันไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์จะมีค่าประมาณ 3 ถึง 15 โวลต์

6) แรงดันอินพุต ค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนให้ออปแอมป์ทำงาน ปกติค่าอินพุตสูงสุดป้อนให้ออปแอมป์จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟเลี้ยงประมาณ 1-2 โวลต์ หรือ $V_{I(max)}$ น้อยกว่า V_s ประมาณ 1-2 โวลต์

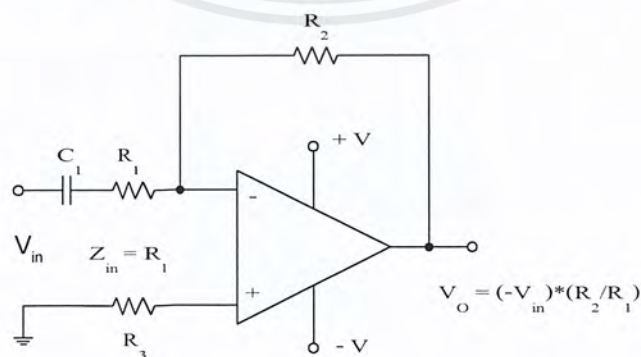
7) แรงดันอินพุตออฟเซต ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีการแทรกคั้งกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างขั้วอินพุตและเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ แต่ในเชิงปฏิบัติจะมีความไม่สมดุลบางอย่างเล็กน้อยในตัวออปแอมป์ทำให้อเอาต์พุตไม่เป็นศูนย์โวลต์ตามทฤษฎี ดังนั้น จะต้องมีการชดเชยแรงดันชดเชยแรงดันเล็กน้อยหรือมีการให้แรงดันไบแอสระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง โดยทั่วไปแล้วค่า

แรงดันขดเซย์ที่อินพุตหรือแรงดันอินพุตออฟเซตนี้จะมีค่าเล็กน้อยในหน่วยมิลลิโวลต์เท่านั้น แต่ค่าแรงดันน้อย ๆ นี้เมื่อถูกขยายโดยออปแอมป์จึงมีขั้วออฟเซตสูงลิ้นมาเพื่อให้ปรับขดเซย์ให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์โวลต์

8) อัตราคอมมอนโหมดรีเจกชัน ออปแอมป์จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่แปรผันไปตามระดับแรงดันที่ขั้วอินพุตทั้งสอง โดยทางอุดมคติแล้ว ค่าสัญญาณอินพุตทั้งสองเมื่อป้อนให้เท่ากันจะต้องมีค่าเอาต์พุตเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณที่ป้อนเข้ามาอาจไม่สามารถหักล้างภายในตัวของออปแอมป์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้เกิดค่าแรงดันค่าน้อยๆทางเอาต์พุต ความสามารถของออปแอมป์ที่จะขจัดสัญญาณคอมมอนโหมดนี้ก็คืออัตราคอมมอน โหมดรีเจกชันหรืออัตราส่วนของอัตราขยายออปแอมป์ในทางอินพุตแบบดิเฟอเรนเชียลและสัญญาณคอมมอนโหมดทางเอาต์พุต โดยปกติแล้วค่า CMMR นี้จะมีค่าประมาณ 90 เดซิเบล

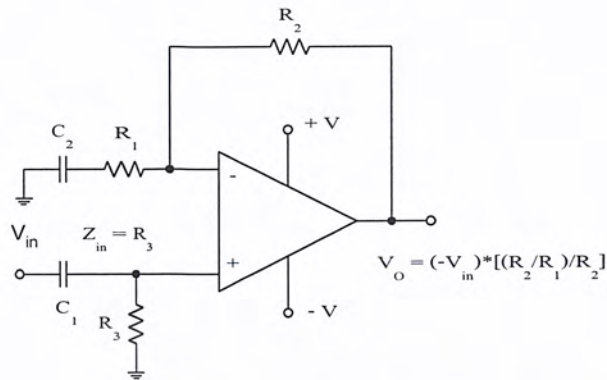
9) ความถี่ทรานสิชั่น ออปแอมป์จะมีอัตราขยายในทางความถี่ลดลง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าเป็นหนึ่งเมื่อถึงความถี่ทรานสิชั่น โดยปกติแล้วจะมีอัตราการตอบสนองความถี่ตกลงที่ 6 เดซิเบลต่อออปเตฟ เมื่อออปแอมป์ถูกนำมาต่อใช้งานในลักษณะโคลสลูป แบนด์วิดธ์ของวงจรถูกขึ้นอยู่กับอัตราขยายโคลสลูปค่าอัตราขยายนี้จะมีค่าลดลงเมื่อค่าถี่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าแบนด์วิดธ์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ถ้าลดอัตราขยายลงไปอีกเหลือแบนด์วิดธ์จะกว้างขึ้นอีกเป็น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้อีกอย่างว่าความถี่ทรานสิชั่น หรือ f_T คือ ผลคูณระหว่างอัตราขยาย และแบนด์วิดธ์ของออปแอมป์นั่นเอง

10) สลัว์เรต คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดของเอาต์พุตเมื่อเทียบกับเวลา นิยามในหน่วยโวลต์ต่อไมโครวินาที โดยมากแล้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 โวลต์ต่อไมโครวินาที ถึง 10 โวลต์ต่อไมโครวินาที ผลที่เกิดจากค่าสลัว์เรต คือ แบนด์วิดธ์ เอาต์พุตของออปแอมป์จะมีค่ากว้างถ้าค่าสลัว์เรตสูง และแคบลงถ้ามีค่าสลัว์เรตต่ำ



รูปที่ 2.22 วงจรขยายอินเวอร์ตดิเฟสของสัญญาณทางเอาต์พุตจะกลับ 180 องศา จากสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 วงจรขยายอนอินเวอร์ตึงเฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเฟสเดียวกัน

2.10 ออปแอมป์ในเชิงปฏิบัติ

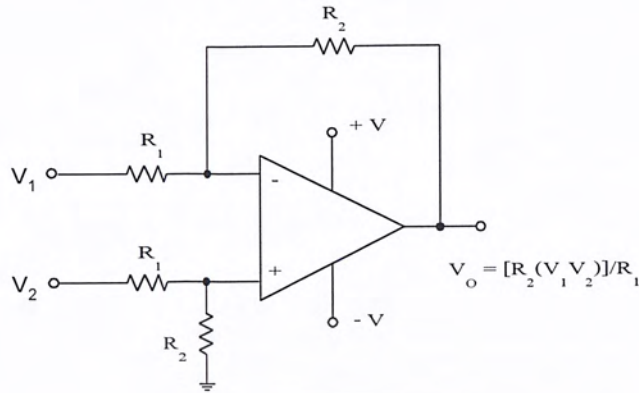
ออปแอมป์มีหลายชนิดทั้งไบโพลาร์, มอสเฟต, เจเฟต และอื่น ๆ ในรูปร่างแพ็คเกจที่แตกต่างกันออกไป เช่น แบบดินตะขาบ หรือตัวถังโลหะ เป็นต้น ในแต่ละแพ็คเกจก็อาจจะประกอบด้วยออปแอมป์ภายใน 1 ตัว, 2 ตัว หรือ 4 ตัว จะแสดงลักษณะเฉพาะของออปแอมป์เบอร์ที่นิยมใช้กันในรูปร่างแบบ DIP 8 ขา

2.10.1 การปรับแรงดันออฟเซตมูลตั้ง

จะเป็นการปรับแรงดันออฟเซตเพื่อให้แรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์โวลต์อย่างแท้จริง ทำได้โดยการต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม ไว้ระหว่างขา 1 และขา 5 จะต่อโดยตรงหรือต่อผ่านตัวความต้านทาน 4.7 กิโลโอห์ม เข้าทางโฟลบ ในกรณีของออปแอมป์ที่เป็นเฟต เช่น ออปแอมป์เบอร์ CA3130 จะใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้ค่าสูง ขึ้นขนาด 100 กิโลโอห์ม แทน

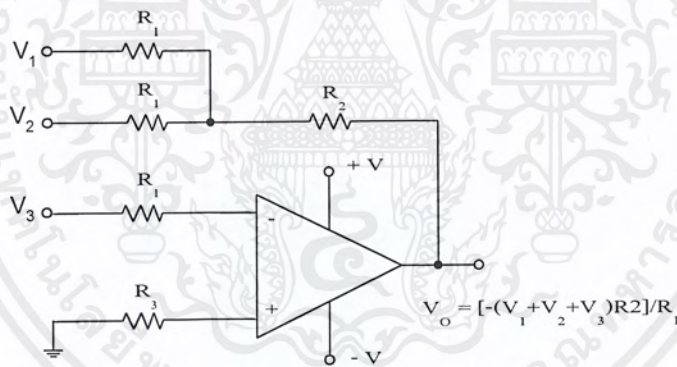
2.10.2 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

ในรูปที่ 2.24 ถึงรูปที่ 2.25 จะเป็นตัวอย่างที่นำออปแอมป์ไปใช้งานต่าง ๆ รูปที่ 2.24 แสดงให้เห็นถึงการนำออปแอมป์มาใช้เป็นวงจขยายสัญญาณไฟสลับแบบอินเวอร์ตึง และอนอินเวอร์ตึง ที่สามารถกำหนดอัตราขยายได้ในทั้งสองกรณี สามารถควบคุมอัตราขยายและค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้โดยการเลือกใช้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.24 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลขยายความแตกต่างระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง

รูปที่ 2.25 เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายเท่ากับ R_2/R_1 ถ้า R_1 และ R_2 มีค่าเท่ากับค่าความต่างของสัญญาณอินพุตทั้งสองแม้เพียงชนิดเดียวก็ส่งผลที่เอาต์พุตได้

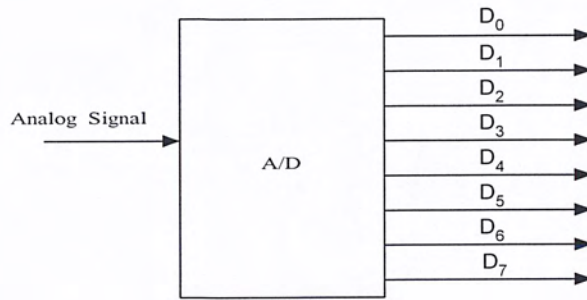


รูปที่ 2.25 ใช้โอปแอมป์มาทำเป็นวงจรออดิโอมิคเซอร์แบบ 3 อินพุต

2.11 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ลักษณะทั่ว ๆ ไป ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จะมีความเกี่ยวข้องกันเป็นอย่างมากเมื่อเราสามารถนำสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนเป็นแอนะล็อกได้แล้ว ในทางกลับกันควรจะเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลได้ด้วย ซึ่งในจุดนี้จะทำให้เราทำการอ่านค่าข้อมูลทางแอนะล็อกได้ เช่น ค่าความดัน ค่าอุณหภูมิ โดยจะมีประโยชน์อย่างมากต่องานทางด้านวิศวกรรม

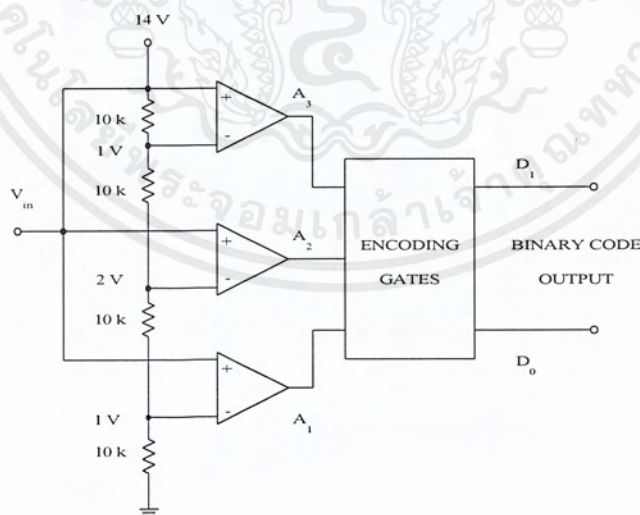
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

คุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล จะมีลักษณะเหมือนกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกและจะมีคุณสมบัติพิเศษอีก 1 อย่าง คือ การเปลี่ยนแปลงเวลา (Conversion Time) ดังนี้ หมายถึงช่วงเวลาที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลได้ 1 ค่า วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ดีควรมีการเปลี่ยนแปลงเวลาน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีหลักการได้หลายแบบโดยจะกล่าวเป็นข้อ ๆ ดังนี้

2.11.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการเปรียบเทียบแบบขนาน



รูปที่ 2.27 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการเปรียบเทียบแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.27 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ใช้หลักการของการเปรียบเทียบแบบขนาน โดยสัญญาณที่นำมาแปลงนั้นจะต่อขนานกับตัวเปรียบเทียบทุกตัวสัญญาณจะเข้าที่ขาบวก ส่วนขาลบของตัวเปรียบเทียบจะต่อกับแรงดันอ้างอิงของแต่ละระดับโดยมาก ได้มาจากการต่อแบ่งของความต้านทาน จากวงจรนี้ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีค่าเท่ากับจุดเปรียบเทียบใด ๆ ก็จะทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบอันนั้นเป็น 1 เช่น ถ้าสัญญาณเข้ามา 2.6 โวลต์ จะทำให้ A_1 และ A_2 มีค่าเป็น 1 เอาต์พุต A_1, A_2, A_3 นี้ไม่ได้อยู่ในรูปของไบนารีจึงจำเป็นต้องทำการแปลงโดยใช้วงจรลอจิกทั่ว ๆ ไปได้ จุดเด่นของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้คือสามารถทำการเปลี่ยนแปลง (Convert) ได้เร็วมาก ซึ่งมีค่าทั่วไปอยู่ที่ 20 นาโนวินาที เท่านั้น แต่ข้อเสีย คือ จะต้องสิ้นเปลืองฮาร์ดแวร์จำนวนมาก รูปที่ 2.13 คือ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 2 บิต เท่านั้น ซึ่งจะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบถึง 3 ตัว เขียนเป็นสมการที่ 2.16

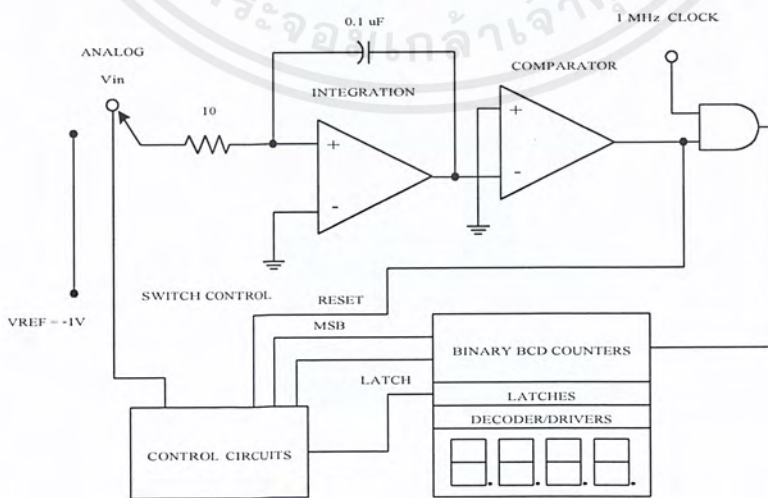
$$2^n - 1$$

$$(2.16)$$

โดย n คือ จำนวนบิตที่ต้องการ

หมายความว่าถ้าต้องการวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ขนาด 8 บิต จะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบถึง 255 ตัว จึงทำให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก

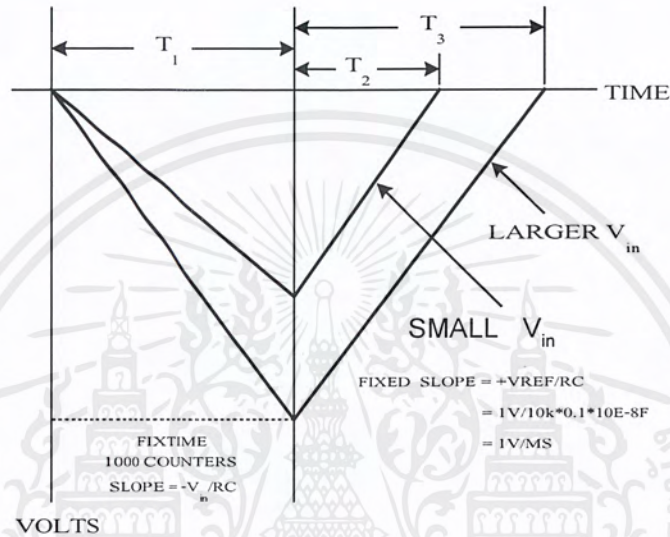
2.11.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบคูอัลสโลป



รูปที่ 2.28 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบคูอัลสโลป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

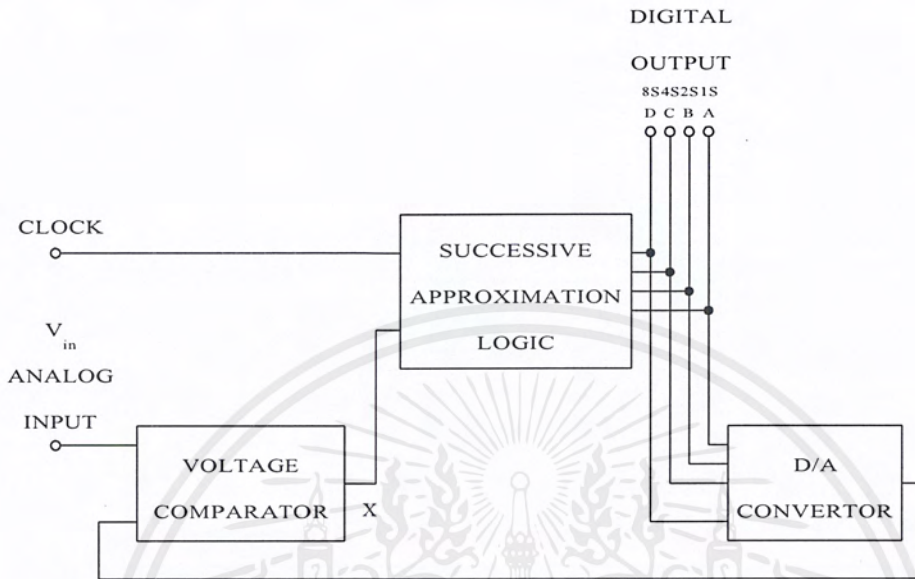
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้มักจะใช้กับดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ เนื่องจากมีราคาถูก ในขณะที่สามารถให้รายละเอียดได้ดี การทำงานเริ่มต้นด้วยการรีเซ็ตตัวนับให้มีค่าเป็น 0 และต่อสัญญาณแอนะล็อกเข้ากับอินทิเกรเตอร์ (Integrator) ถ้าสมมติว่าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวก เอาต์พุตจากอินทิเกรเตอร์จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 เอาต์พุตที่ได้จากอินทิเกรเตอร์

เมื่อค่าเอาต์พุตจากอินทิเกรเตอร์มีค่าเป็นลบจะทำให้คอมพิวเตอร်ทำงานส่งผลให้เอนด์เกตเปิด และจะทำให้สัญญาณนาฬิกาสามารถผ่านไปยังระบบนับได้ ค่าเอาต์พุตจากอินทิเกรเตอร์นี้จะถูกกำหนดระยะเวลา (Fixed Time) จากวงจรควบคุมเมื่อถึงจุดนี้จะทำการรีเซ็ตตัวนับอีกครั้ง และต่อสัญญาณอินพุตของอินทิเกรเตอร์เข้ากับแรงดันอ้างอิง (V_{REF}) ที่เป็นค่าลบ ซึ่งยังผลให้เอาต์พุตของอินทิเกรเตอร์มี สโลปขึ้นเป็นบวก ค่าสโลปตั้งแต่ขึ้นจนกระทั่งถึงค่า 0 นี้เอง จะทำให้ตัวนับนับความถี่ได้ และค่าที่จะสัมพันธ์กับแรงดันอินพุตเริ่มแรกที่วัดได้ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้มักจะอยู่ในรูปของไอซีสำเร็จรูป และใช้กับงานด้านดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงเวลาประมาณ 300 มิลลิวินาที

2.11.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive Approximate

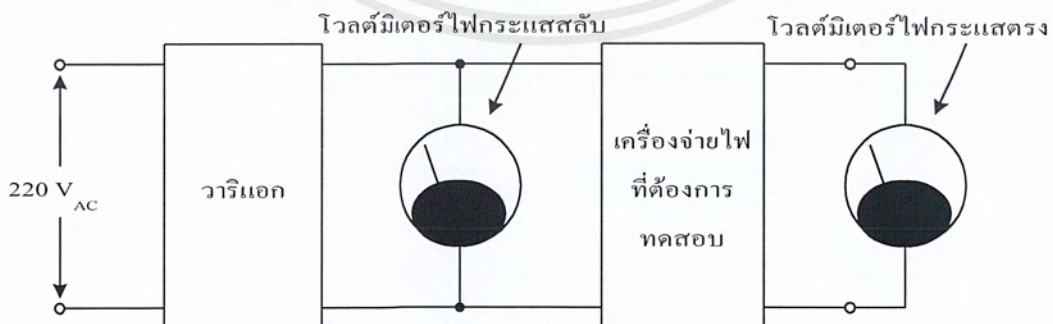


รูปที่ 2.30 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive Approximate

2.12 การทดสอบคุณสมบัติ

2.12.1 ไลน์เรกูเลชัน

ไลน์เรกูเลชัน (Line Regulation) คือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตเมื่อโหลดคงที่



รูปที่ 2.31 การจัดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าไลน์เรกูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดอุปกรณ์ในการวัดแสดงดังรูปที่ 2.31 การวัดให้เริ่มปรับแรงดันไฟสลับขาเข้า โดยการปรับที่ตัววารีเอก ไปที่จุดต่ำสุดของช่วงใช้งานของแหล่งจ่ายไฟที่นำมาทดสอบ แล้วบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงไว้ จากนั้นปรับแรงดันไฟสลับไปที่แรงดันสูงสุดที่แหล่งจ่ายไฟ รับผิดชอบ วัดและบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุต นำค่าทั้งสองมาคำนวณหาค่าไลน์เรกูเลชันได้จากสมการ 2.17

$$\%Line\ Regulation = \frac{(V_{oh} - V_{ol})}{V_o} \times 100 \quad (2.17)$$

$$\frac{(V_{ih} - V_{il})}{V_i}$$

โดยที่ V_o = แรงดันเอาต์พุตปกติ

V_{oh} = แรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงสูงสุด

V_{ol} = แรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงต่ำสุด

V_i = แรงดันอินพุตปกติ

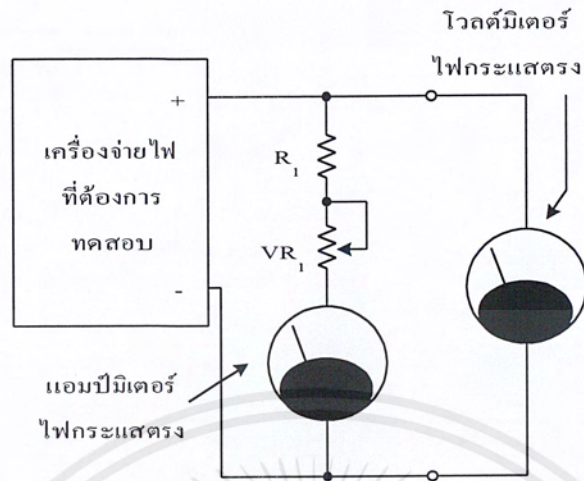
V_{ih} = แรงดันอินพุตปกติที่เปลี่ยนแปลงสูงสุด

V_{il} = แรงดันอินพุตปกติที่เปลี่ยนแปลงต่ำสุด

2.12.2 โหลดเรกูเลชัน

โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation) คือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟสลับทางอินพุตคงที่

การจัดอุปกรณ์สำหรับวัดแสดงดังรูปที่ 2.32 ในการวัดเริ่มจากวัดแรงดันเอาต์พุตขณะยังไม่มีโหลดบันทึกค่า จากนั้นเปลี่ยนค่าโหลดให้ถึงกระแสสูงสุดของเครื่องจ่ายไฟ วัดแรงดันเอาต์พุตและบันทึกค่า นำค่าทั้งสองมาคำนวณจากสมการ 2.18



รูปที่ 2.32 การจัดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าโวลต์เรกูเลชัน

$$\% \text{Load Regulation} = \frac{(V_o - V_L)}{V_o} \times 100 \quad (2.18)$$

โดยที่ V_o = แรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

V_L = แรงดันเอาต์พุตเมื่อโหลดดึงกระแสเต็มที่

บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

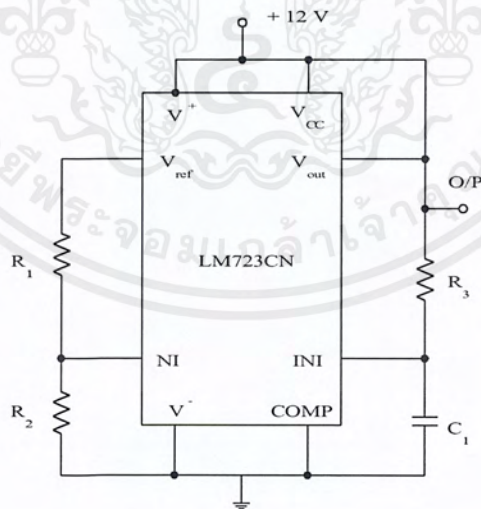
3.1 กล่าวนำ

สิ่งที่สำคัญที่สุดของวงจรไฟฟ้า คือ แหล่งจ่ายไฟ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับคนแล้ว แหล่งจ่ายไฟก็เสมือนกับหัวใจของคน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงแบบลิเนียร์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- 1) การออกแบบวงจรจ่ายแรงดันคงที่ ± 5 โวลต์
- 2) การออกแบบวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์
- 3) การออกแบบภาคแสดงผล

3.2 การออกแบบวงจรเรกกูเรเตอร์จ่ายแรงดันคงที่ ± 5 โวลต์

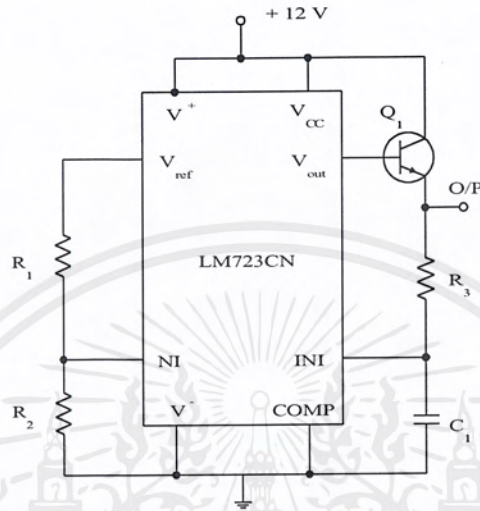
โดยใช้ IC LM723CN



รูปที่ 3.1 วงจรเรกกูเรเตอร์ โดยใช้ LM723CN แบบแรงดันต่ำ

จากรูปที่ 3.1 เป็นวงจรเรกกูเรเตอร์ โดยใช้ LM723CN แบบแรงดันต่ำ โดยจ่ายกระแสสูงสุด 150 มิลลิแอมป์ (ดูจากรายละเอียดของ IC ในภาคผนวก ค) ซึ่งค่ากระแสที่ต้องการเท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 แอมป์ เพราะฉะนั้น จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ มาต่อร่วมกับ LM723CN เพื่อขยายกระแสให้ได้สูงขึ้น โดยต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาที่ขา V_{out} ของ LM723CN แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรเรกกูเรเตอร์ ที่เพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาเพื่อขยายกระแส

จากรูปที่ 3.2 แสดงวงจรเรกกูเรเตอร์ ที่เพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาเพื่อขยายกระแสให้ได้ค่ากระแสตามที่ต้องการ จากวงจรในรูปที่ 3.2 R_1 เป็นตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งต่อระหว่างแรงดันอ้างอิงกับขานอนอินเวอร์ตติ้ง ส่วน R_2 จะต่อลงกราวด์ จากขานอนอินเวอร์ตติ้ง และ R_3 จะเป็นตัวป้อนกลับ การออกแบบเพื่อหาค่าต่างๆ ในวงจรทำได้ดังสมการที่ 3.1 ถึง สมการที่ 3.6

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.1)$$

$$R_3 = R_1 // R_2 \quad (3.2)$$

$$I_C = I_L \quad (3.3)$$

$$V_{CE} = V_{supply} - V_{out} \quad (3.4)$$

กำลังไฟฟ้าที่ทรานซิสเตอร์จ่ายคือ

$$P_C = I_C V_{CE} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_{CE} คือแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์
อัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ คือ

$$\beta = hfe = \frac{I_C}{I_{IC}} \quad (3.6)$$

โดยที่ I_{IC} คือ กระแสสูงสุดที่ LM723CN จ่ายได้ ซึ่งเท่ากับ 150 มิลลิแอมป์
จากรูปที่ 3.2 จะเพิ่มการจำกัดกระแสโดยภายในของ LM723CN จะมีทรานซิสเตอร์ จำกัด
กระแส ดังนั้น ในการที่จะจำกัดกระแสได้นั้น ต้องนำตัวต้านทานมาต่อเข้าที่ขา CL และ CS ของ
LM723 CN ซึ่งตัวความต้านทานที่นำมาต่อ ใช้ตัวย่อว่า R_{sens} (Sensing Resistor) ซึ่งสามารถหาค่า
 R_{sens} ได้จากสมการที่ 3.7

$$R_{sens} = \frac{V_{sens}}{I_{max}} \quad (3.7)$$

โดยที่ ค่า $V_{sens} = 0.7V$
ค่ากำลังไฟที่เกิดขึ้นที่ R_{sens} สามารถหาได้จากสมการที่ 3.8

$$P_{R_{sens}} = I_{max}^2 R_{sens} \quad (3.8)$$

เมื่อได้เอาต์พุตตามต้องการ ส่วนต่อไปคือ ภาคป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุตโดย
การออกแบบจะใช้โอปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบ หลักการเบื้องต้นของวงจรจากรูปที่ 3.3 เป็น
วงจรขยายความแตกต่างลักษณะที่สำคัญของวงจรคือการป้อนอินพุตเข้าทางขาอินเวอร์ตติ้งอินพุต
และนอนอินเวอร์ตติ้งอินพุต ในการวิเคราะห์ห้วงจรสมมติให้มีอินพุตคือ V_{i1} และ V_{i2} ถ้าหากแรงดัน
อินพุตทั้งสองเท่ากันเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์ โคนหลักการของโอปแอมป์ แต่ถ้าหากอินพุตตัว V_{i2} เกิด
การลัดวงจร วงจรขยายจะเป็นชนิดนอนอินเวอร์ตติ้งหรือชนิดไม่กลับเฟส จะได้สัญญาณอินพุตที่เข้า
ขาอินเวอร์ตติ้ง ดังสมการที่ 3.9

$$V_N = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) V_{i1} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้เอาต์พุตดังสมการที่ 3.10

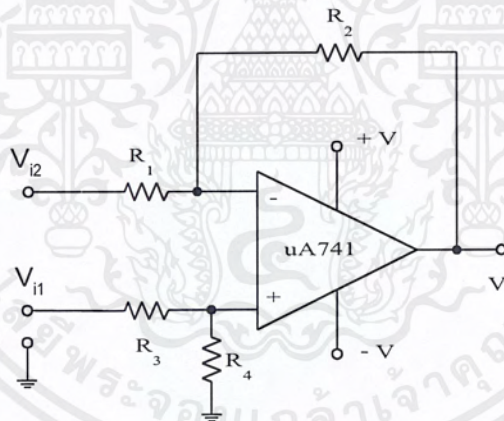
$$V_{o1} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) V_{i1} \quad (3.10)$$

ผลรวมของเอาต์พุตได้ ดังสมการที่ 3.11

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} \quad (3.11)$$

ในกรณีที่ $R_1 = R_2$ และ $R_3 = R_4$ จะได้ดังสมการที่ 3.12

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_{i1} - V_{i2}) \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง

จากรูปที่ 3.3 สามารถนำวงจรไปต่อร่วมกับวงจรจ่ายไฟ 5 โวลต์ โดยต่อขาอินเวอร์ตติ้งกับเอาต์พุตของวงจรจ่ายไฟ 5 โวลต์ ส่วนขาอนอินเวอร์ตติ้งต่อแรงดันที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบเอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่างต่อกับทรานซิสเตอร์ เพื่อขยายกระแสก่อนที่จะไปขับขดลวดรีเลย์ ให้ทำงาน เมื่อนำวงจรทุกวงจรที่ออกแบบต่อร่วมกันจะได้วงจรสมบูรณ์ดังภาคผนวก ข

3.2.1 การคำนวณค่าต่างๆ ในวงจร

วงจรเรกกูเรเตอร์จะต้องจ่ายแรงดันคงที่ออกมาทางเอาต์พุตเท่ากับ 5 V และสามารถจ่ายกระแสสูงสุด 5A ซึ่งจะต้องกำหนดค่า $V_{ref} = 7.15V$ $R_2 = 1.8k\Omega$

จากสมการที่ 3.1 แทนค่าต่างๆ เพื่อหาค่า R_1 ได้ดังนี้

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$5 = 7.15 \left(\frac{1.8k\Omega}{R_1 + 1.8k\Omega} \right)$$

$$\therefore R_1 = 778 \Omega$$

$$R_3 = R_1 // R_2$$

$$R_3 = 778 \Omega // 1.8 k\Omega = 543 \Omega$$

$$V_{CE} = V_{supply} - V_{out}$$

$$V_{CE} = 12 - 5 = 7V$$

$$I_C = I_L = 5A$$

$$\beta = h_{fe} = \frac{I_C}{I_{IC}} = \frac{5A}{150mA} = 33.33$$

$$P_C = I_C V_{CE} = 5A \times 7V = 35W$$

$$R_{sens} = \frac{V_{sens}}{I_{max}} = \frac{0.7V}{5A} = 0.14 \Omega$$

1) ค่า Line Regulation

จากรายละเอียดของ IC ในภาคผนวก ค. จะได้ ค่า Line Regulation = 0.1% V_{out}

$$Line\ Regulation = \frac{0.1 \times 5V}{100} = 5mV/V$$

ดังนั้น ถ้าแรงดัน V_{in} เปลี่ยนแปลง 1 โวลต์ จะทำให้แรงดัน V_{out} เปลี่ยนไป 5 มิลลิโวลต์

2) ค่า Load Regulation

จากรายละเอียดของ IC ในภาคผนวก ค. จะได้ ค่า Load Regulation = 0.2% V_{out}

$$Load\ Regulation = \frac{0.2 \times 5V}{100} = 0.01V/A$$

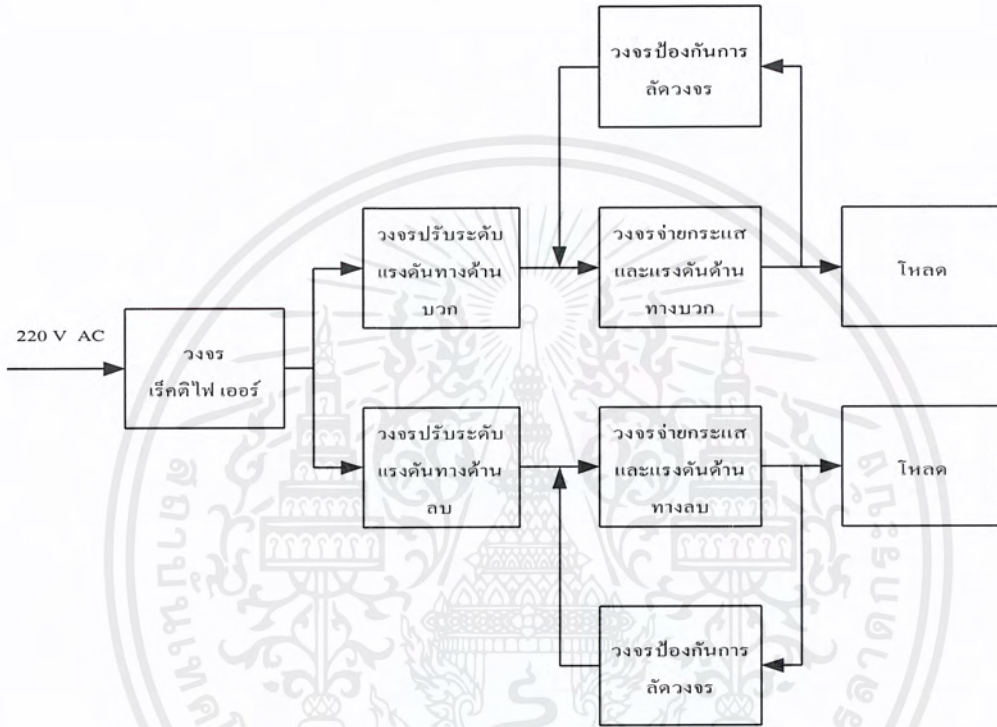
ดังนั้น ถ้ากระแส Load เปลี่ยนแปลง 1 แอมป์ จะทำให้แรงดัน V_{out} เปลี่ยนไป 0.01 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบภาคจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 V

3.3.1 หลักการเบื้องต้น

หลักการเบื้องต้นในการออกแบบสามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงาน ได้ดังรูปที่ 3.4



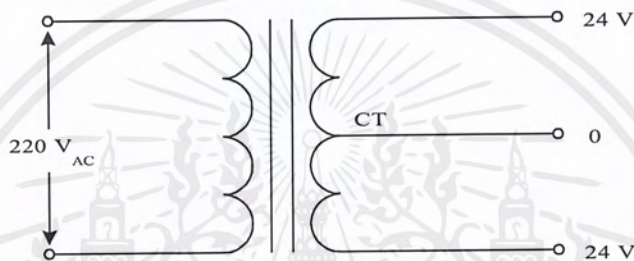
รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของหลักการเบื้องต้นในการออกแบบ วงจรจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์

จากรูปที่ 3.4 เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้ามา จะมีวงจรเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 24 - 0 - 24 โวลต์จากหม้อแปลง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 34 โวลต์ หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 34 โวลต์ ก็ถูกส่งเข้าไปสู่ตัววงจรปรับระดับแรงดันทางด้านบวก และด้านลบ โดยแรงดัน + 34 โวลต์ จะถูกส่งไปสู่ตัววงจรปรับระดับแรงดันด้านบวก และแรงดัน - 34 โวลต์ จะถูกส่งไปสู่ตัววงจรปรับระดับแรงดันด้านลบ โดยวงจรปรับระดับแรงดันทั้ง 2 ด้านจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันให้ได้ตามที่โหลดต้องการ หลังจากนั้นจะส่งแรงดันไปยังวงจรจ่ายกระแส และแรงดันทางด้านบวกและด้านลบ เพื่อที่จะจ่ายให้กับโหลดตามต้องการ ซึ่งแรงดันที่ออกจากวงจรจ่ายกระแสและแรงดันจะอยู่ในช่วง 0 ถึง ± 34 โวลต์

3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

1) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

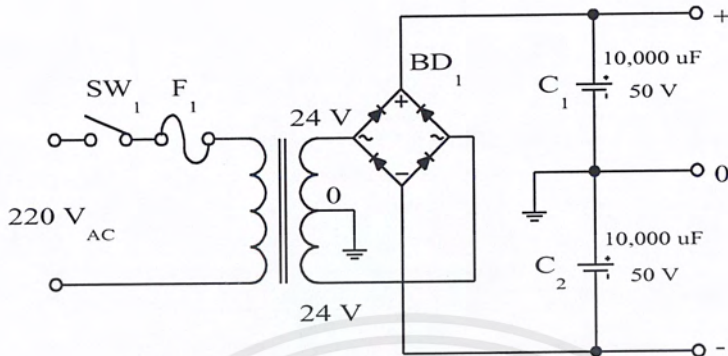
เนื่องจากการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง ± 30 โวลต์ ที่ออกแบบนี้ ต้องการออกแบบให้วงจรเป็นวงจรจ่ายไฟแบบเชิงเส้น จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเชิงเส้น โดยต้องการแรงดันทางเอาต์พุตของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระดับแรงดันบวก 24 โวลต์ และแรงดันลบ 24 โวลต์ โดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีเซ็นเตอร์เทป ด้วย ซึ่งโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ

เมื่อนำหม้อแปลงที่ได้มาทำการต่อแรงดันไฟฟ้า ทางด้านเอาต์พุตเข้ากับวงจรเรกติไฟเออร์ โดยในการเลือกใช้วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ เลือกใช้วงจรบริดจ์ที่สามารถทนกระแสได้ถึงประมาณ 1.5 เท่า ของกระแสที่ออกมาจากหม้อแปลงไฟฟ้า ในการออกแบบนี้จะใช้วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ที่สามารถทนกระแสได้สูงสุด 8 แอมป์ และทนแรงดันได้ 100 โวลต์

2) วงจรเรกติไฟเออร์

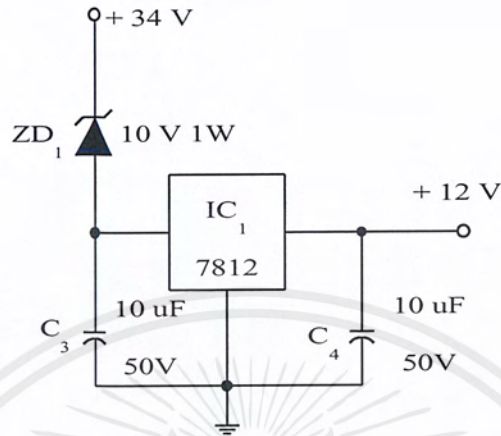


รูปที่ 3.6 วงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้จากการออกแบบ

จากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรในส่วนแรกของการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยหม้อแปลง T_1 จะทำการลดขนาดไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เหลือ 24 – 0 – 24 โวลต์ แล้วผ่าน บริดจ์ BD_1 เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในจุดนี้ มี C_1 กับ C_2 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากบริดจ์ ให้เรียบยิ่งขึ้น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ตรงจุดนี้จะมีค่าประมาณ ± 34 โวลต์ เพื่อนำไปเลี้ยงวงจรส่วนอื่นๆ ต่อไป โดยสามารถคำนวณค่าได้ดังสมการที่ 3.13

$$V_{DC} = \sqrt{2}V_{rms} \quad (3.13)$$

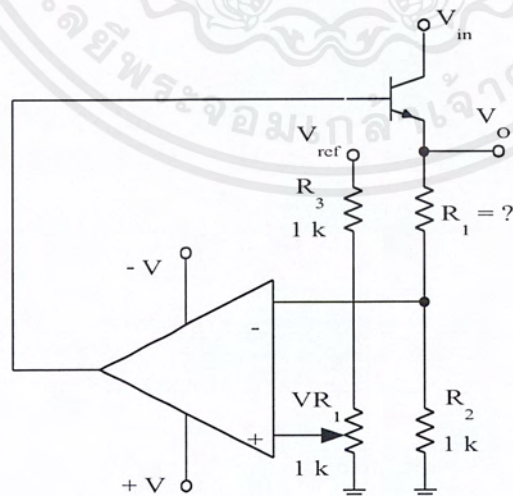
3) วงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ ไอซี



รูปที่ 3.7 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ ไอซี

จากวงจรรูปที่ 3.7 เป็นวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซี ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระแส และแรงดันรวมถึงเป็นกำลังสำรองของภาคจ่ายไฟ โดยแรงดันจะผ่านเข้า ZD_1 เพื่อลดแรงดันให้เหลือ 26 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับ IC_1 ซึ่งทำหน้าที่จำกัดแรงดันให้เหลือ 12 โวลต์ โดยมี C_3 และ C_4 เป็นตัวกรองแรงดันที่ได้จาก IC_1 อีกครั้ง เพื่อให้แรงดันมีความเรียบยิ่งขึ้น

4) วงจรปรับแรงดันทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 3.8 วงจรปรับแรงดันทางด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 สามารถคำนวณค่า R_1 ได้ดังสมการที่ 3.14

$$V_o = \left(\frac{V_{ref} \times V_{R1}}{R_2 + V_{R1}} \right) \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \quad (3.14)$$

โดย V_{ref} คือแรงดันอ้างอิง

จากรูปที่ 3.7 กำหนด $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ และ $V_{R1} = 1 \text{ k}\Omega$

กำหนดที่ $V_o = 30$ โวลต์

$V_{ref} = 12$ โวลต์

หาค่า R_1 ได้จาก

$$30 = \left(\frac{12 \times 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \right) \left(\frac{R_1 + 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \right)$$

$$30 = 6 \left(\frac{R_1 + 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \right)$$

$$5 = \frac{R_1 + 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega}$$

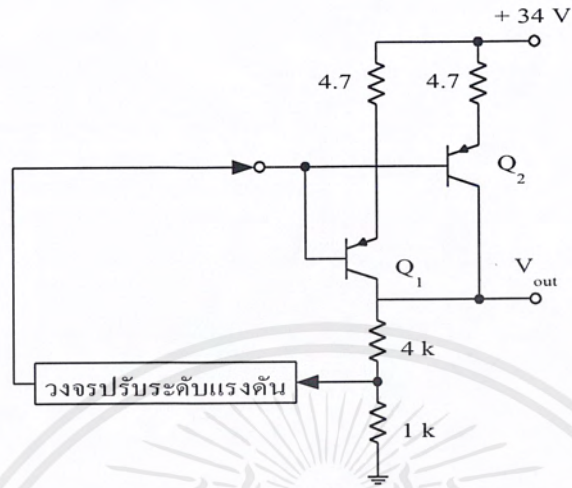
$$R_1 = 4 \text{ k}\Omega$$

ในการปรับค่าแรงดันที่ $V_{R1} = 500 \text{ }\Omega$

$$V_o = \left(\frac{12 \text{ V} \times 0.5 \text{ k}\Omega}{1.5 \text{ k}\Omega + 0.5 \text{ k}\Omega} \right) \left(\frac{4 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \right)$$

$$V_o = 15 \text{ V}$$

5) วงจรจ่ายแรงดันทางด้านบวก



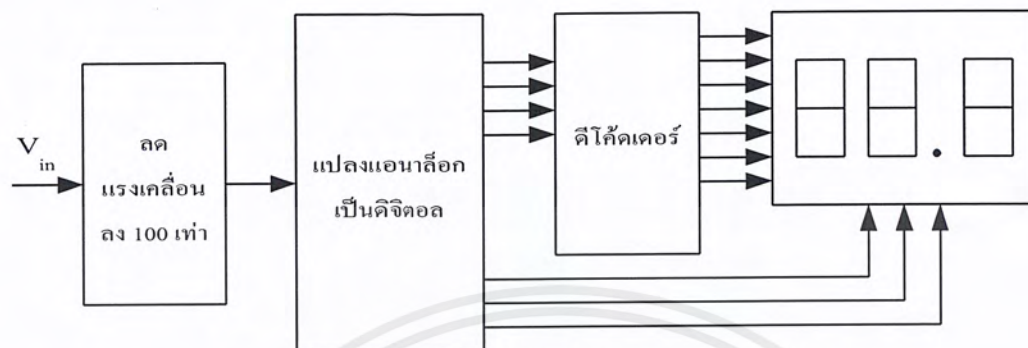
รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายแรงดันทางด้านบวก

จากวงจรรูปที่ 3.9 กระแสเบสของทรานซิสเตอร์ I_B จะถูกควบคุมโดย วงจรปรับระดับแรงดันทางด้านบวก เพื่อไปไบอัสให้ทรานซิสเตอร์จ่ายแรงดันออกทางเอาต์พุต ในวงจรที่ออกแบบใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวเพื่อแบ่งกระแสส่งออกทางด้านเอาต์พุต โดยมี R 4k Ω และ R 1k Ω ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน เพื่อส่งกลับไปควบคุมแรงดันที่วงจรปรับระดับแรงดันต่อไป

6) วงจรจ่ายแรงดันทางด้านลบ

ในการออกแบบวงจรจ่ายแรงดันด้านลบก็ใช้หลักการเดียวกับการออกแบบวงจรจ่ายแรงดันทางด้านบวกเพียงแต่ว่า เปลี่ยนทรานซิสเตอร์เป็นชนิด NPN เท่านั้น

3.4 การออกแบบภาคแสดงผล



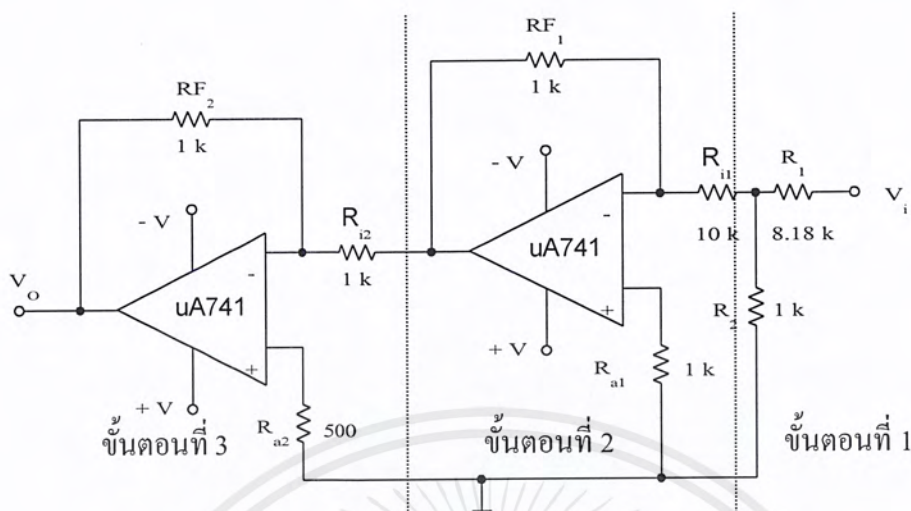
รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของวงจรภาคแสดงผล

จากแผนผังการทำงานของภาคแสดงผล ดังในรูปที่ 3.10 อธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้ามาที่อินพุต (V_i) วงจรภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะทำการลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าลง 100 เท่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุต (V_i) เพื่อเป็นอินพุตให้กับวงจรภาคแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) ภาคแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) จะให้อาต์พุตเป็นรหัส BCD (Binary Coded Decimal) และสัญญาณการสแกนโค้ด 3 หลัก

ภาค ดีโค้ดเดอร์ เป็นการแปลงรหัส BCD เพื่อขับตัวแสดงผลแอลอีดีเจ็ดส่วน โดยมีรายละเอียดและวิธีการแปลงในบทที่ 2 และการแสดงผลจะแสดงเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 หลักกับจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง

3.4.1 ภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้ามาที่อินพุต (V_i) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 30 โวลต์ แต่ภาคแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) ต้องการอินพุตแค่ 0 ถึง 300 มิลลิโวลต์ ดังนั้นภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงต้องทำการลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 0 ถึง 30 โวลต์ให้เหลือ 0 ถึง 300 มิลลิโวลต์ โดยสามารถออกแบบและสร้างวงจรได้ดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 0-30 โวลต์ให้เหลือ 0-30 มิลลิโวลต์

การคำนวณหาค่าตัวความต้านทาน R_1 และ R_2 ของวงจรในรูปที่ 3.11 ขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นวงจรแบ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้า (รายละเอียดทฤษฎีการคำนวณอยู่ในบทที่ 2)

เราทราบแล้วว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่เข้ามาที่อินพุต (V_i) มีค่าเท่ากับ 30 โวลต์ และต้องการให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมตัวความต้านทาน R_2 ลดลงจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุต 10 เท่า ซึ่งจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมตัวความต้านทาน R_2 สูงสุดเท่ากับ 3 โวลต์ (V_1) และเลือกค่า R_2 เท่ากับ 1 กิโลโห์ม ดังนั้นคำนวณค่า R_1 ได้โดยใช้สมการที่ 3.14

$$V_1 = \frac{V_i R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.14)$$

จะได้

$$R_1 = \frac{V_i R_2 - V_1 R_2}{V_1}$$

$$R_1 = \frac{(30V)(1k\Omega) - (3V)(1k\Omega)}{3V}$$

$$R_1 = 9k\Omega$$

เมื่อทราบแล้วว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมตัวความต้านทาน R_1 เท่ากับ 0 ถึง 3 โวลต์ ดังนั้นทำการลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าลงไปอีกเพื่อให้ได้ 0 ถึง 300 มิลลิโวลต์ ทำได้โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ uA741 โดยใช้วงจรแบบอินเวอร์ตติ้ง วงจรดังรูปที่ 3.11 ขั้นตอนที่ 2 (รายละเอียดทฤษฎีได้อธิบายไว้ในบทที่ 2) และแรงเคลื่อนเอาต์พุต (V_2) ที่ได้จะมีค่าเป็นลบโดยเอาต์พุตที่ได้จะมีค่า 0 ถึง -300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิโวลต์ โดยเลือกใช้ค่าตัวความต้านทาน RF_1 เท่ากับ 1 กิโลโอห์ม และสามารถคำนวณหาค่าตัวความต้านทาน R_{a1} และ R_{i1} ดังนี้ หากค่า R_{a1} ได้จากสูตรเลือกใช้ค่าตัวความต้านทาน R_{a1} เท่ากับ 1 กิโลโอห์ม จะได้วงจรดังใน รูปที่ 3.11 ขั้นตอนที่ 2

$$Ra_1 = \frac{RF_1 Ri_1}{RF_1 + Ri_1}$$

$$Ra_1 = \frac{1 * 10^3 \Omega * 10 * 10^3 \Omega}{(1 * 10^3 \Omega) + (10 * 10^3 \Omega)}$$

$$Ra_1 = 909.0909 \Omega$$

$$V_2 = \left(-\frac{RF_1}{Ri_1}\right) V_1$$

$$Ri_1 = -RF_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

$$Ri_1 = \frac{-1 * 10^3 \Omega * 3V}{-300 * 10^{-3} V} = 10k\Omega$$

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ที่ (V_2) มีค่าเป็นลบอยู่แต่เอาต์พุต (V_o) ที่ต้องการจริงจะต้องเป็นบวก ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรออปแอมป์แบบอินเวอร์ตอีกหนึ่งวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.11 ขั้นตอนที่ 3 โดยวงจรในขั้นตอนที่ 3 นี้มีคุณสมบัติแค่ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นบวกเท่านั้นส่วนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นยังเท่าเดิม เลือกค่าตัวความต้านทาน R_{i2} เท่ากับค่าตัวความต้านทาน RF_2 โดยเลือกค่าเท่ากับ 1 กิโลโอห์มส่วนค่าความต้านทาน R_{a2} หาได้ดังนี้

$$Ra_2 = \frac{RF_2 Ri_2}{RF_2 + Ri_2}$$

$$Ra_2 = \frac{1 * 10^3 \Omega * 1 * 10^3 \Omega}{(1 * 10^3 \Omega) + (1 * 10^3 \Omega)}$$

$$Ra_2 = 500 \Omega$$

เมื่อนำมาต่อเป็นวงจรร่วมกันจะได้วงจรดังรูปที่ 3.11 โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุต (V_1) เท่ากับ 0 ถึง 30 โวลต์ และจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต(V_o) เท่ากับ 0 ถึง 300 มิลลิโวลต์ ตามต้องการ

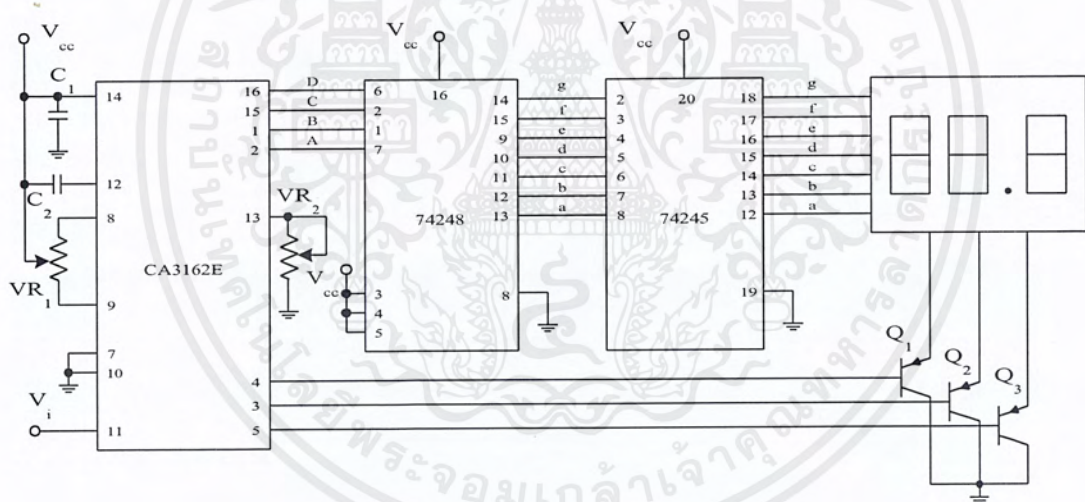
3.4.2 ภาคแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ภาคนี้จะรับอินพุตมาจากเอาต์พุตของวงจรภาคลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแล้วนำมาแปลงเป็นดิจิตอลรหัส BCD และจะส่งสัญญาณสแกนโค้ดออกมา 3 หลักด้วย โดยจะใช้ไอซีเบอร์ CA3162 เป็นตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล โดยรายละเอียดการทำงานของไอซีเบอร์นี้อยู่ในส่วนของภาคผนวก ก

3.4.3 ภาคดีโค้ดเดอร์

เมื่อภาคแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแปลงสัญญาณดิจิตอลออกมาเป็นรหัส BCD วงจรภาคดีโค้ดเดอร์จะถอดรหัสจากรหัส BCD เป็นรหัสสัญญาณขับตัวแสดงผลแอลอีดีเจ็ดส่วนโดยใช้ไอซีดีโค้ดเดอร์เบอร์ 74LS248 และใช้ไอซีเบอร์ 74LS245 เป็นไอซีบัฟเฟอร์เพื่อขับตัวแสดงผลแอลอีดีเจ็ดส่วนที่เป็นคอมมอนคาโทด

เมื่อออกแบบได้แล้วจะได้อะไรดังในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรจากภาคแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลและภาคดีโค้ดเดอร์

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

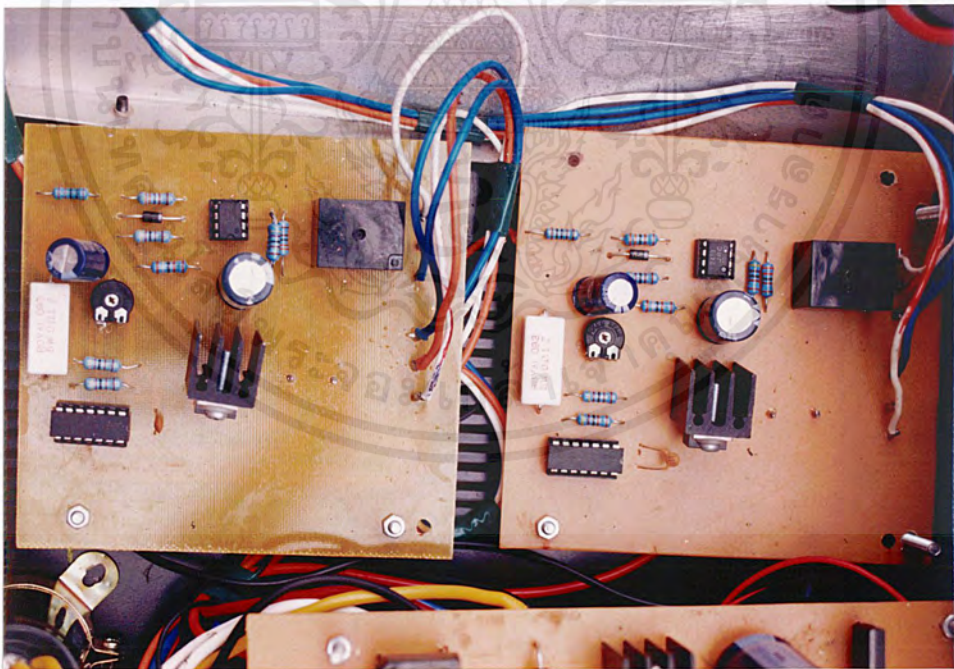
4.1 กล่าวนำ

เพื่อให้ง่ายแก่การทดลองและการตรวจสอบการทำงานของวงจรจึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง การทดลองภาคจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์ ส่วนที่สอง การทดลองภาคจ่ายแรงดัน 0 ถึง 30 โวลต์ และส่วนที่สาม เป็นส่วนของการทดลองภาคแสดงผล

4.2 การทดลองวงจรภาคจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลองและผลการทดลอง

1. ต่อดังตามรูปที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) ซึ่งจะได้เป็นวงจรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์ ที่ได้จากการต่อตามรูปที่ ข.1

2. ตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร และจ่ายไฟให้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ป้อนแรงดัน 12 โวลต์ ที่ขา 11 ของไอซี LM723CN ซึ่งเป็นหัวใจหลัก
4. นำดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุต
5. หากแรงดันเอาต์พุตไม่ได้ 5 โวลต์ ให้ปรับ VR 2.2 k Ω จนได้เอาต์พุตตามต้องการ
6. เมื่อได้แรงดันเอาต์พุตถูกต้อง ทดสอบการป้องกันการลัดวงจรทางเอาต์พุต
7. ช้อตเอาต์พุต นำดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์
8. ตรวจสอบบริเลย์ว่าทำงานหรือเปล่า ถ้ารีเลย์ไม่ทำงานจะทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N3055 ร้อนขึ้นเรื่อยๆ

9. ในทางกลับกันรีเลย์ทำงานปกติคือ ตัดขา E ของ 2N3054 จากขา B ของ 2N3055 ซึ่งจะ
ทำให้แรงดันที่เอาต์พุตตกลงจนศูนย์โวลต์และไม่ทำให้วงจรเกิดการเสียหาย

10. ขณะที่ช้อตเอาต์พุตเมื่อปลดโหลด วงจรอยู่ในสภาวะปกติ (ไม่ช้อต) แรงดันเอาต์พุตจะ
ได้ 5 โวลต์โดยไม่ต้องกรีเซต

11. วัดค่าไลน์เรกูเลชันต่อวงจรตามหัวข้อ 2.12.1

12. จ่ายแรงดันไฟสลับ 220 VAC วัดแรงดันเอาต์พุตได้ 5 โวลต์

13. ปรับแรงดันไฟสลับไปที่จุดต่ำสุดช่วงใช้งาน 155 VAC วัดแรงดันเอาต์พุตได้ 4.99
โวลต์

14. ปรับแรงดันไฟสลับไปที่จุดสูงสุดที่เครื่องจ่ายไฟรับได้ 250 VAC วัดแรงดันเอาต์พุต
ได้ 5.02 โวลต์

$$\begin{aligned}
 15. \text{ คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ไลน์เรกูเลชัน} &= \frac{(5.02V - 4.99V)}{220V_{AC}} \times 100 \\
 &= \frac{3 \times 10^{-3}}{220} \times 100 \\
 &= 1.36\%
 \end{aligned}$$

16. ต่อวงจรตามหัวข้อที่ 2.12.2 เพื่อหาค่าโหลดเรกูเลชัน โดยเริ่มจากจ่ายแรงดันไฟสลับ
220 VAC วัดและบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตขณะยังไม่มีโหลดได้ 5 โวลต์

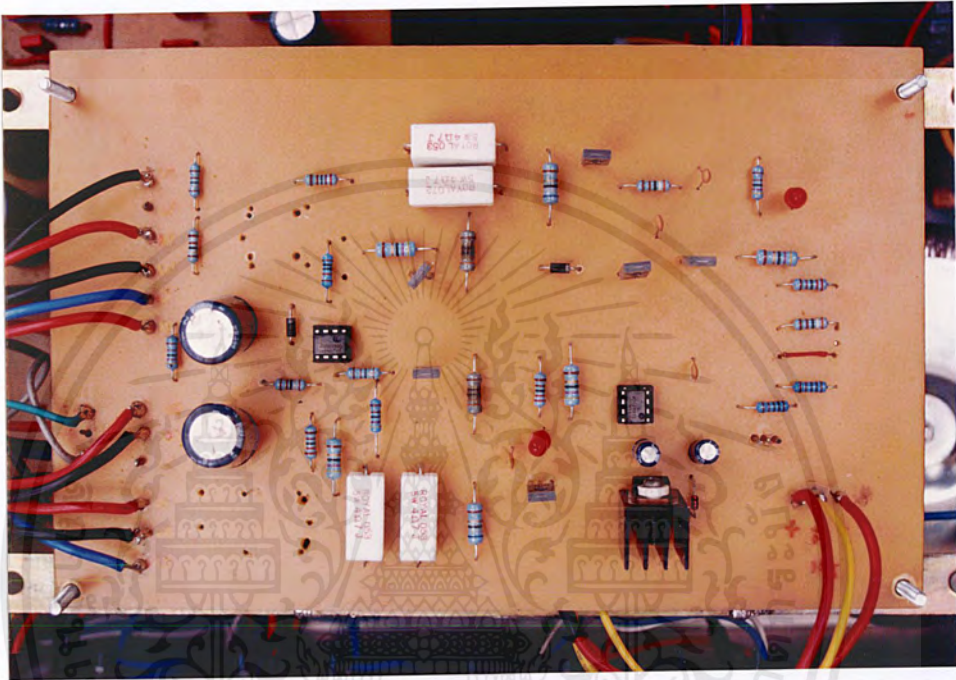
17. เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดให้ถึงกระแสสูงสุดของเครื่องจ่ายไฟ วัดและบันทึกค่า
แรงดันเอาต์พุตได้ 3.1 โวลต์ ที่กระแส 5.11 แอมป์แปร์

$$\begin{aligned}
 18. \text{ คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดเรกูเลชัน} &= \frac{(5V - 3.1V)}{5V} \times 100 \\
 &= 38\%
 \end{aligned}$$

4.3 การทดลองภาคจ่ายแรงดัน 0 ถึง ± 30 โวลต์

4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อบอร์ดตามรูปที่ ข.2 และรูปที่ ข.3 (ภาคผนวก ข) ซึ่งจะได้เป็นวงจรดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรจ่ายแรงดัน ± 30 โวลต์ ที่ได้จากการต่อตามรูปที่ ข.2 และรูปที่ ข.3

2. ทำการวัด ไลเรกกุเลชั่น ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.31 โดยเริ่มจากการปรับแรงดันไฟสลับขาเข้า ไปที่จุดต่ำสุดของช่วงใช้งานแหล่งจ่ายไฟ แล้วบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลง ลงในตารางที่ 4.1 จากนั้นปรับแรงดันไฟสลับไปที่จุดสูงสุด ที่แหล่งจ่ายไฟสามารถรับได้ จากนั้นทำการวัดและบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุต ลงในตารางที่ 4.1 นำค่าที่ได้จากการวัดทั้งสอง มาคำนวณ ค่าไลเรกกุเลชั่น จากสมการที่ 2.17

3. ทำการวัด โหลดเรกกูเรชั่น ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.32 โดยทำการเริ่มวัดแรงดันเอาต์พุตในขณะที่ยังไม่มีโหลด แล้วบันทึกค่าไว้ในตารางที่ 4.2 จากนั้นทำการต่อโหลดเข้ากับวงจร หลังจากนั้นทำการปรับโหลดให้ไดคิกระแสสูงสุดของตัวเครื่อง วัดแรงดันเอาต์พุตแล้วบันทึกค่าไว้ในตารางที่ 4.2 แล้วนำค่าทั้งสอง มาคำนวณ ค่าโหลดเรกกูเลชั่น จากสมการที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง ไตรรกุเลชัน ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

V_{in} 220 V _{AC}		$V_{in (min)}$ 170 V _{AC}		$V_{in (max)}$ 250 V _{AC}	
$V_{out +}$	$V_{out -}$	$V_{out +}$	$V_{out -}$	$V_{out +}$	$V_{out -}$
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15
17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19
20	20	19.7	19.8	20	20
21	21	19.6	19.6	21	21
22	22	19.6	19.6	22	22
33	33	19.6	19.6	33	33
24	24	19.6	19.6	24	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองไลเรกยูเลชั่น ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

V_{in} 220 V_{AC}		$V_{in (min)}$ 170 V_{AC}		$V_{in (max)}$ 250 V_{AC}	
$V_{out +}$	$V_{out -}$	$V_{out +}$	$V_{out -}$	$V_{out +}$	$V_{out -}$
25	25	19.6	19.6	25	25
26	26	19.7	19.8	26	26
27	27	19.7	19.8	27	27
28	28	19.7	19.8	28	28
29	29	19.7	19.8	29	29
30	30	19.7	19.8	30	30

จากผลการทดลองไลเรกยูเลชั่น นำค่าที่ได้จากการวัดที่แรงดันค่าต่างๆ ตามตารางที่ 4.1 นำไปคำนวณหาค่าไลเรกยูเลชั่น ตามสมการที่ 2.17 โดยหาค่าไลเรกยูเลชั่น ที่ทุกๆ ค่าทางด้านบวกและลบ ค่าไลเรกยูเลชั่นของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพควรจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของค่าไลเรกยูเลชั่น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

ไลเรกยูเลชั่น ทางด้านบวกเท่ากับ 12.87 %

ไลเรกยูเลชั่น ทางด้านลบเท่ากับ 12.76 %

ตาราง 4.2 ผลการทดลองโหลดเรกูละชั่น ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

ขณะไม่มีโหลด		ขณะโหลดถึงกระแสสูงสุด	
$V_{out} +$	$V_{out} -$	$V_{out} +$	$V_{out} -$
1	1	0.8	0.8
2	2	1.2	1.2
3	3	1.6	1.6
4	4	1.7	1.7
5	5	2.1	2.1
6	6	2.6	2.6
7	7	2.8	2.8
8	8	3.2	3.2
9	9	3.3	3.3
10	10	3.4	3.4
11	11	3.7	3.7
12	12	4.7	4.7
13	13	4.8	4.8
14	14	5.2	5.2
15	15	5.6	5.6
16	16	6.1	6.1
17	17	6.3	6.3
18	18	6.6	6.6
19	19	7.1	7.1
20	20	2.7	2.7
21	21	7.4	7.4
22	22	7.9	7.9
23	23	8.2	8.2
24	24	8.8	8.8
25	25	9	9
26	26	9.2	9.2
27	27	9.5	9.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองโหลดเรกกูเลชัน ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

ขณะไม่มีโหลด		ขณะโหลดคั้งกระแสสูงสุด	
V_{out+}	V_{out-}	V_{out+}	V_{out-}
28	28	10.1	10.1
29	29	10.5	10.5
30	30	10.7	10.7

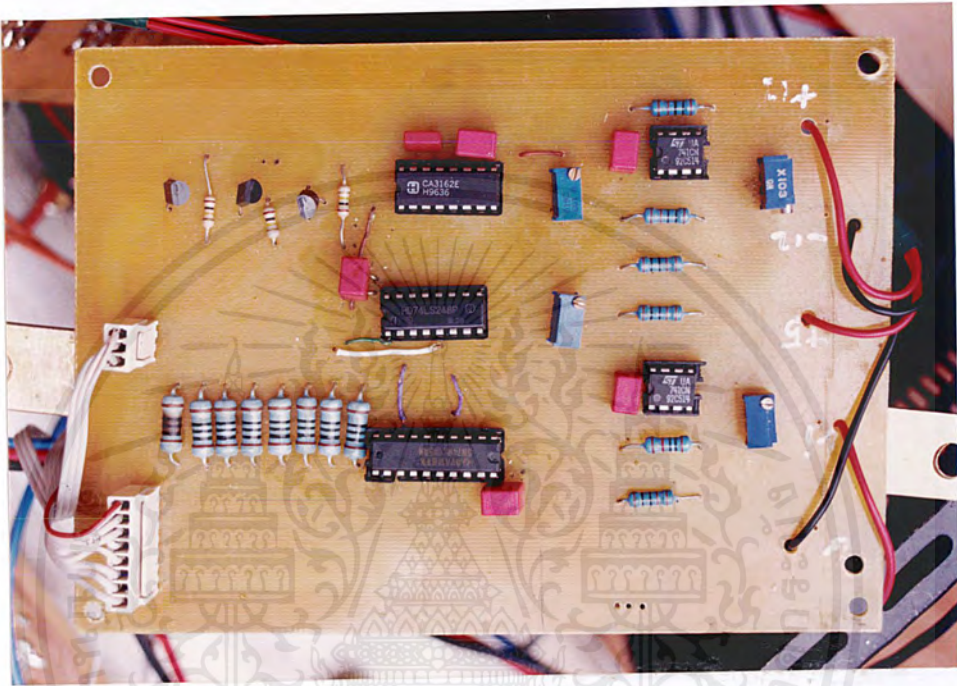
ผลการทดลองโหลดเรกกูเลชัน ดังตารางที่ 4.2 โดยการวัดโหลดเรกกูเลชัน โดยวัดในขณะไม่มีโหลดและมีโหลดคั้งกระแส โดยวัดที่ทุกๆ ค่าทั้งทางด้านแรงดันบวกและลบ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสมการที่ 2.18 ค่าโหลดเรกกูเลชันของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคำนวณค่าโหลดเรกกูเลชันครบทุกๆ ค่าแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยโหลดเรกกูเลชัน จะได้

โหลดเรกกูเลชัน ทางด้านไฟบวกและไฟลบ มีค่าเท่ากับ 60.03 %

4.4 ผลการทดลองภาคแสดงผล

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรดังในรูปที่ ข.4 (ภาคผนวก ข) ซึ่งจะได้เป็นวงจรถัดรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรแสดงผล ที่ได้จากการต่อตามรูปที่ ข.4

2. ตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร
3. จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร
4. นำอินพุตของวงจรภาคแสดงผลไปทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด(แรงดันที่วัดต้องไม่เกิน 99.9 โวลต์)
5. อ่านค่าที่แสดงผลทางตัวแสดงผลแอลอีดีเจ็ดส่วน
6. นำมัลติมิเตอร์ที่เป็นมาตรฐานมาวัดแรงดันนั้นซ้ำอีกครั้งหนึ่งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองวงจรภาคแสดงผลตามลำดับการทดลองข้างต้น ปรากฏว่าค่าแรงดันที่วัดได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าผลต่างประมาณ 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรภาคแสดงผล

แรงดันอินพุต (V)	ภาคแสดงผลวัดได้ (V)	มัลติมิเตอร์มาตรฐานวัดได้ (V)
1	1.1	1
5	5.1	5
10	10.2	10
15	15.2	15
20	20.2	20
25	25.2	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ซึ่งในการสร้างได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบคงที่ ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกทางเอาต์พุตได้ ± 5 โวลต์ และมีวงจรถ่วงการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต โดยได้ค่าโพลดเรกกูเลชัน 38 % และไลเรกกูเลชัน 1.39 % ซึ่งมีค่าผิดพลาดไปจาก ชัดความสามารถที่กำหนดไว้ เนื่องจากการออกแบบ และคุณภาพของอุปกรณ์

2. ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกทางเอาต์พุตได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์ โดยได้ค่าโพลดเรกกูเลชัน 60.03 % และไลเรกกูเลชันทางด้านบวก 12.7 % และทางด้านลบ 12.76 % และไม่มีวงจรถ่วงการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต ซึ่งไม่ตรงกับขีดความสามารถที่ได้กำหนดไว้

3. ชุดแสดงผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุต ซึ่งสามารถแสดงผลได้ 3 หลัก โดย 2 หลักแรก จะเป็นจำนวนเต็ม และอีก 1 หลักจะเป็นจำนวนทศนิยม ซึ่งมีค่าความผิดพลาดในการแสดงผลของแรงดัน เมื่อเปรียบเทียบกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐาน 0.2 โวลต์

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ

ในการจัดทำโครงการชุดนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ

1. ปัญหาในเรื่องงบประมาณ เนื่องจากทางภาควิชาได้ให้งบประมาณในการทำ โครงการเพียง 4,000 บาท และจากโครงการต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมากและยังต้องใช้อุปกรณ์มาทดลองหลายชุด และอุปกรณ์บางอย่างที่มีราคาค่อนข้างแพง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ไม่สามารถ เบิกได้

2. ปัญหาด้านระยะเวลา ในการทำโครงการนั้นเนื่องจากมีเวลาทำค่อนข้างน้อยกว่าปีก่อน ๆ ประกอบกับต้องเรียนไปด้วย และงานย่อยในแต่ละวิชาค่อนข้างมาก จึงทำให้เวลาในการทำโครงการน้อยลง ในโครงการนี้อาจจะดูว่าง่าย ไปเอาจรรยาจากไหนก็ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วต้องใช้เวลาในการออกแบบค่อนข้างมาก ออกแบบมาแล้วไม่ได้ตามต้องการก็ต้องออกแบบใหม่ต้องเสียเวลามาก จึงทำให้ไม่สามารถทำโครงการให้ออกมาได้ตามแผนที่กำหนดไว้

3. ปัญหาทางด้าน การป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุตของวงจร ± 30 โวลต์ ซึ่งมีปัญหาเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะต้องเลือกอุปกรณ์ที่จะมาทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต จะทำอย่างไรที่จะไม่ให้มีสวิตช์รีเซ็ต ไม่ให้เกิดการความร้อนที่ตัวทรานซิสเตอร์

4. ปัญหาทางด้านเมื่อทดลองต่อในบอร์ดทดลอง วงจรสามารถทำงานได้ตามความต้องการ แต่เมื่อนำอุปกรณ์ไปลงในแผ่นลายวงจรพิมพ์ทำให้วงจรเกิดการผิผื่น ไม่สามารถทำงานได้ตามต้องการ

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการพัฒนา

แนวทางการแก้ไขและพัฒนาโครงการทำได้ดังนี้ คือ

1. ในกรณีปัญหาทางด้านงบประมาณนั้น ไม่สามารถแก้ไขอะไรได้เนื่องจาก หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง และร้านที่รับทำไม่สามารถเขียนบิลเป็นอุปกรณ์ชนิดอื่นได้ เนื่องจากทางร้านไม่ได้จำหน่ายอะไหล่หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. ในกรณีปัญหาทางด้านระยะเวลาในการทำโครงการนั้น เนื่องจากตอนแรกไม่ค่อยมีเวลาทำเพราะว่าต้องเรียนไปด้วย ต้องทำงานในแต่ละวิชาส่งด้วย จึงได้มีการแบ่งงานกันทำโดยต้องลดเวลาพักผ่อนของตนเองลง และให้เวลากับการทำโครงการมากขึ้น จึงมีความก้าวหน้าของงานเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่เต็มที่

3. ในกรณีปัญหาทางด้านอุปกรณ์ที่จะนำมาเป็นตัวป้องกันการลัดวงจร ได้ตามจากอาจารย์บางท่าน และก็ได้รับการเสนอแนะมาเป็นอย่างดี ซึ่งอุปกรณ์บางอย่างก็ใช้ไม่ได้ อุปกรณ์บางอย่างก็ใช้ได้แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงได้ทดลองใช้ตัวอื่น ๆ ไปเรื่อย ๆ

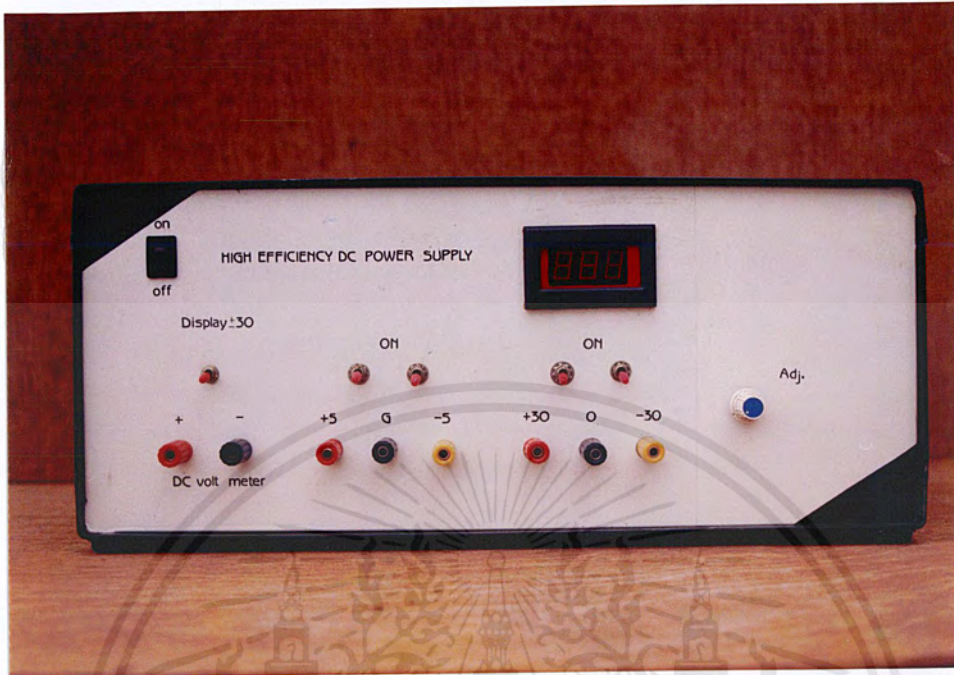
4. ในกรณีปัญหาเมื่อทดลองในแผ่นลายวงจรพิมพ์แล้ววงจรไม่ทำงานนั้น ก็ได้ทำการแก้ไขโดยตรวจสอบวงจร และลายวงจร ใหม่อีกรอบ และทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

5. ในส่วนของวงจรภาคแสดงผล สามารถพัฒนาให้แสดงผลแรงดันที่มีค่าสูงกว่า 3 หลักได้ และสามารถพัฒนาให้แสดง สถานะของแรงดันที่วัดได้ เช่น แสดงเครื่องหมาย + หรือเครื่องหมาย - ไว้หน้าค่าแรงดันที่วัดได้

6. สามารถเพิ่มการจ่ายกระแสให้สูงขึ้น โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์ภาคขยาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

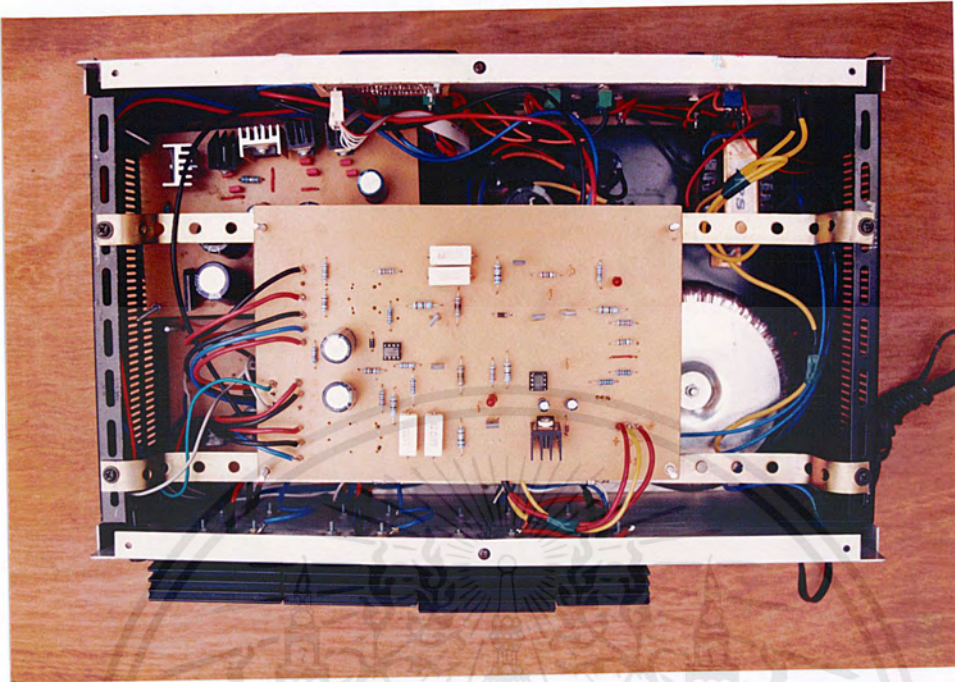


รูปที่ ก.1 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านหน้า




รูปที่ ก.2 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



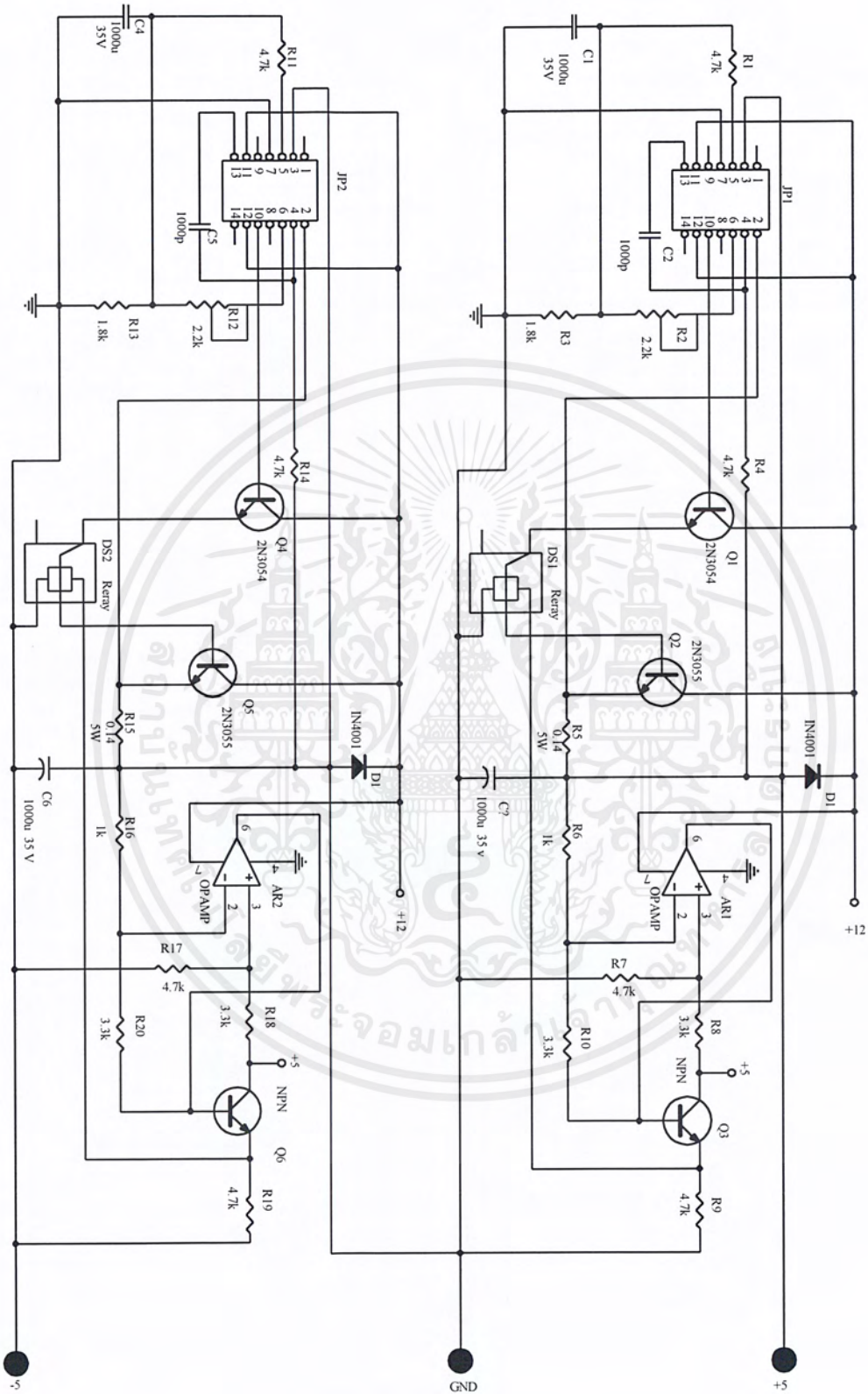
รูปที่ ก.3 ตัวเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง ด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



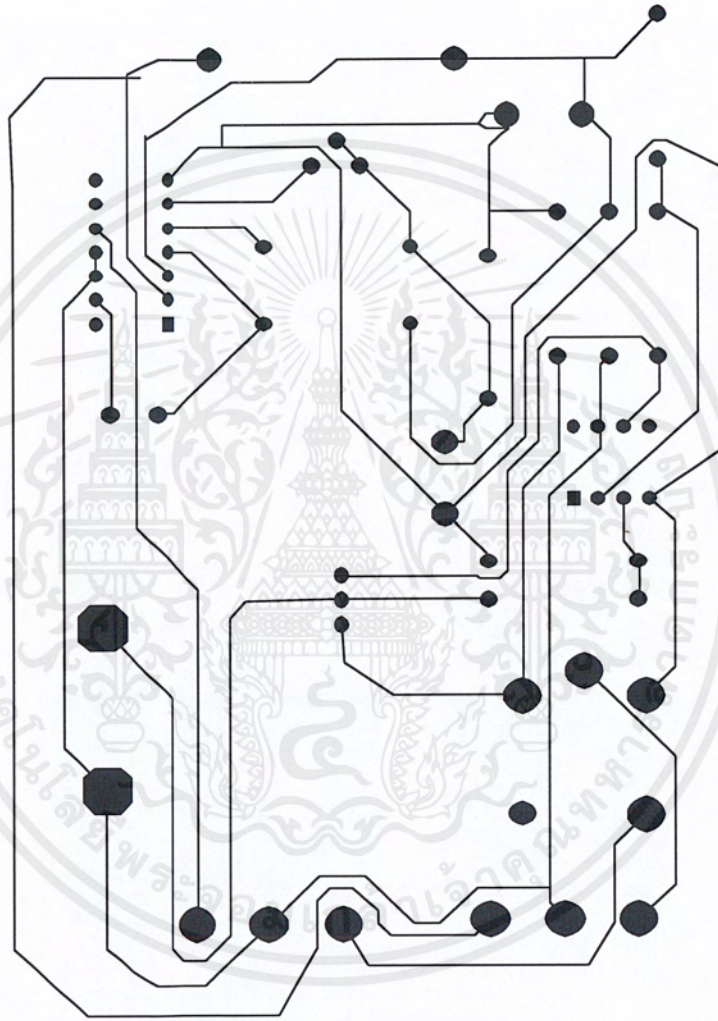
ภาคผนวก ข
วงจร และวงจรพิมพ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



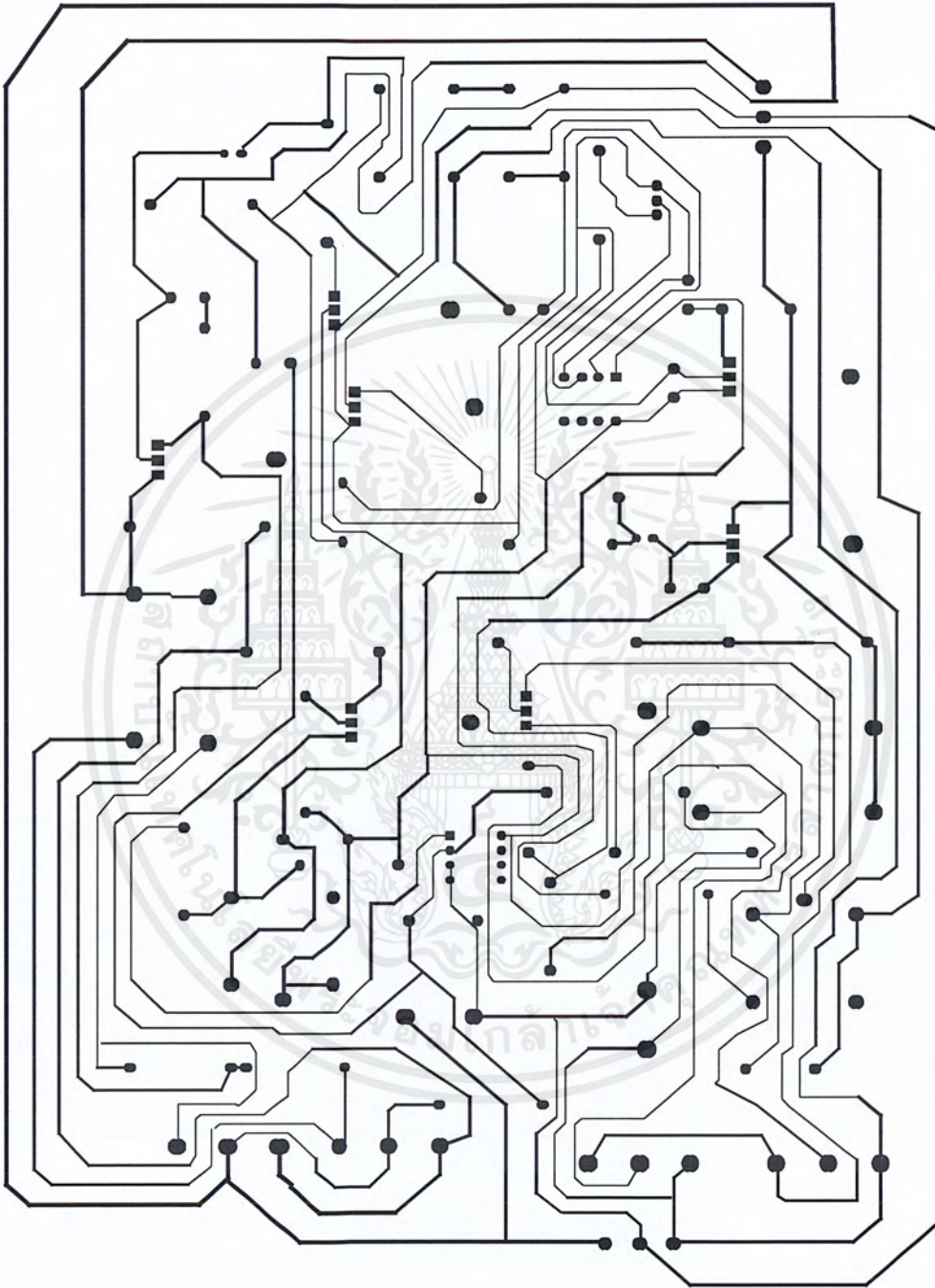
รูปที่ ข.1 วงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



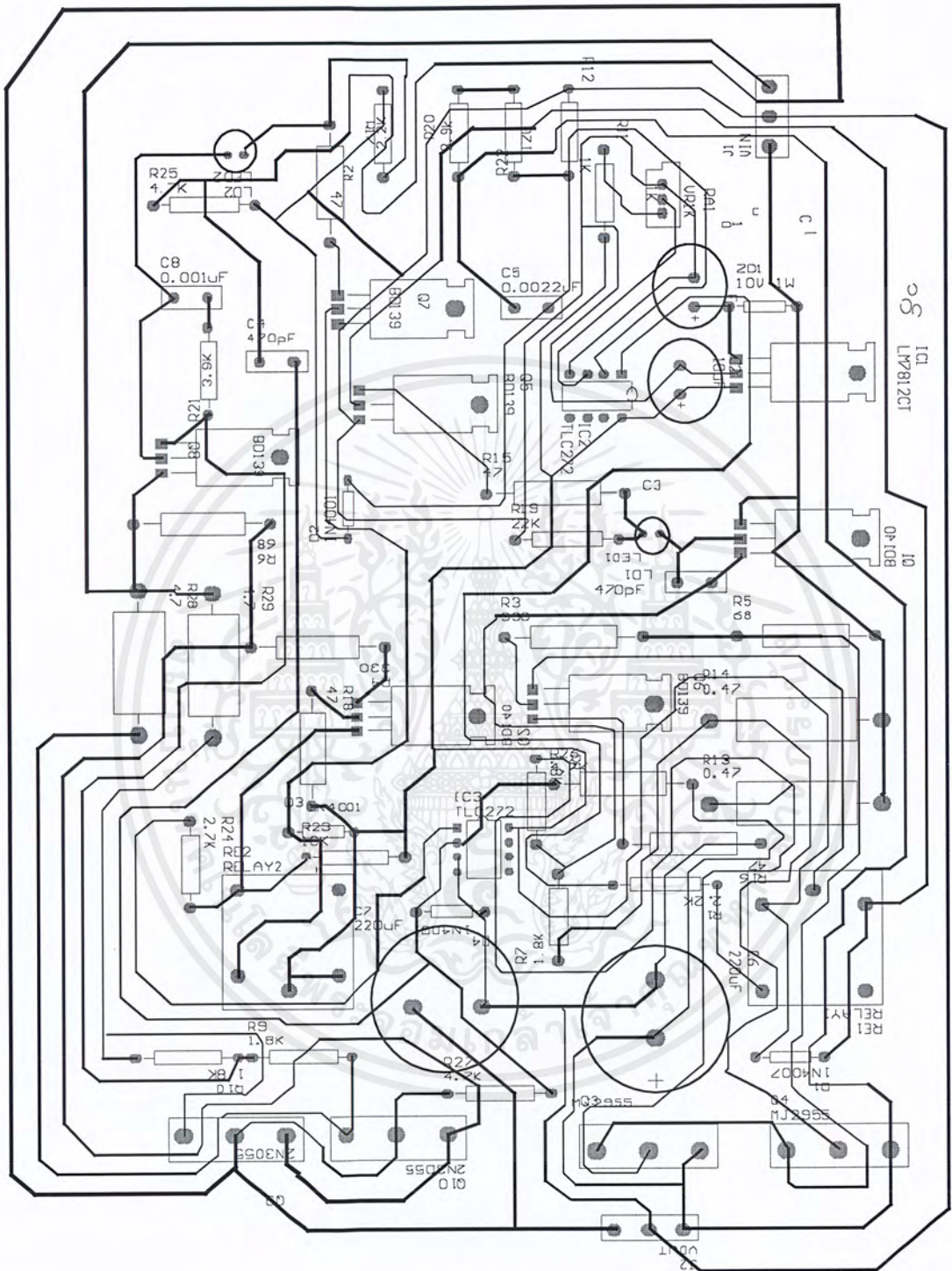
รูปที่ ข.5 วงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ข.7 วงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 การวางอุปกรณ์ลงบนวงจรพิมพ์ ของวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
ประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ ของภาคจ่ายแรงดัน ± 5 โวลต์

ตัวความต้านทาน

R1,R4,R7,R9,R11,R14,R17,R19	4.7 k Ω 1/2 W 1 %
R2,R12	2.2 k Ω (VR)
R3,R13	1.8 Ω 1/2 W 1 %
R6,R16	1 k Ω 1/2 W 1 %
R8,R10,R18,R20	3.3 k Ω 1/2 W 1 %
R5,R15	0.1 Ω 5 W

ทรานซิสเตอร์

Q1,Q4	2N3054
Q2,Q5	2N3055
Q3,Q6	TIP41C

ไอซี

IC1,IC2	LM741
---------	-------

คาปาซิเตอร์

C1,C3,C4,C6	1000 uf 35 V
C2,C5	1000 pf

ไดโอด

D1,D2	1N4001
-------	--------

รีเลย์

ปกติปิด	2 ตัว
---------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ ของภาคจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 0 ถึง ± 30 โวลต์

ตัวความต้านทาน

1 k Ω 1/2 W	2 ตัว
1.8 k Ω 1/2 W	4 ตัว
2.2 k Ω 1/2 W	3 ตัว
3.9 k Ω 1/2 W	2 ตัว
2.7 k Ω 1/2 W	1 ตัว
4.7 k Ω 1/2 W	3 ตัว
47 Ω 1 W	4 ตัว
68 Ω 1 W	2 ตัว
330 Ω 1 W	2 ตัว
0.47 Ω 5 W	4 ตัว

ทรานซิสเตอร์

BD139	4 ตัว
BD140	2 ตัว
MJ2955	2 ตัว
2N3055	2 ตัว

ไอซี

7812	1 ตัว
TLC272	2 ตัว

คาปาซิเตอร์

470 pF	2 ตัว
0.001 uF	1 ตัว
0.002 uF	1 ตัว
10 uF 50 V	2 ตัว
220 uF 50 V	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอด	
1N4001	4 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด	
10 V 1 W	1 ตัว
รีเลย์	
2 คอนแทก	2 ตัว
LED	1 ตัว



รายการอุปกรณ์ ของภาคแสดงผล

ตัวความต้านทาน

R1-R6	1 k Ω	1/2 W	1 %
R7-R9	10 k Ω	1/2 W	1 %
R10-17	47 Ω	1 W	1 %
VR1,VR4	10 k Ω		
VR2	100 k Ω		
VR3	500 Ω		

ทรานซิสเตอร์

Q1-Q3	BC327
-------	-------

ไอซี

IC1	LM741
IC2	CA3162E
IC3	74LS248
IC4	74LS245

คาปาซิเตอร์

C1,C2	0.1 uF
C3,C4	10 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

รายละเอียดตัวอุปกรณ์ ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM723/LM723C

Voltage Regulator

General Description

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

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

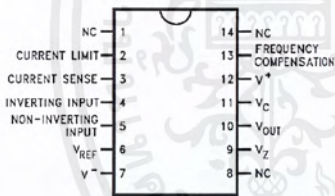
The LM723C is identical to the LM723 except that the LM723C has its performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Features

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

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package

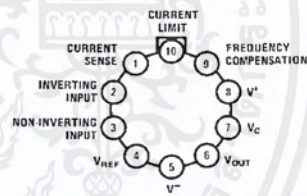


DS008563-2

Top View

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

Metal Can Package



DS008563-3

Top View

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

Note: Pin 5 connected to case.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

(Note 10)

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

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

Electrical Characteristics (Note 3) (Note 10)

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

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

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

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

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

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

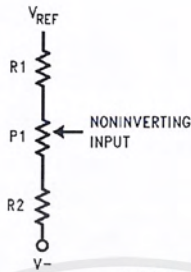
Note 6: Replace R1/R2 in figures with divider shown in Figure 13.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

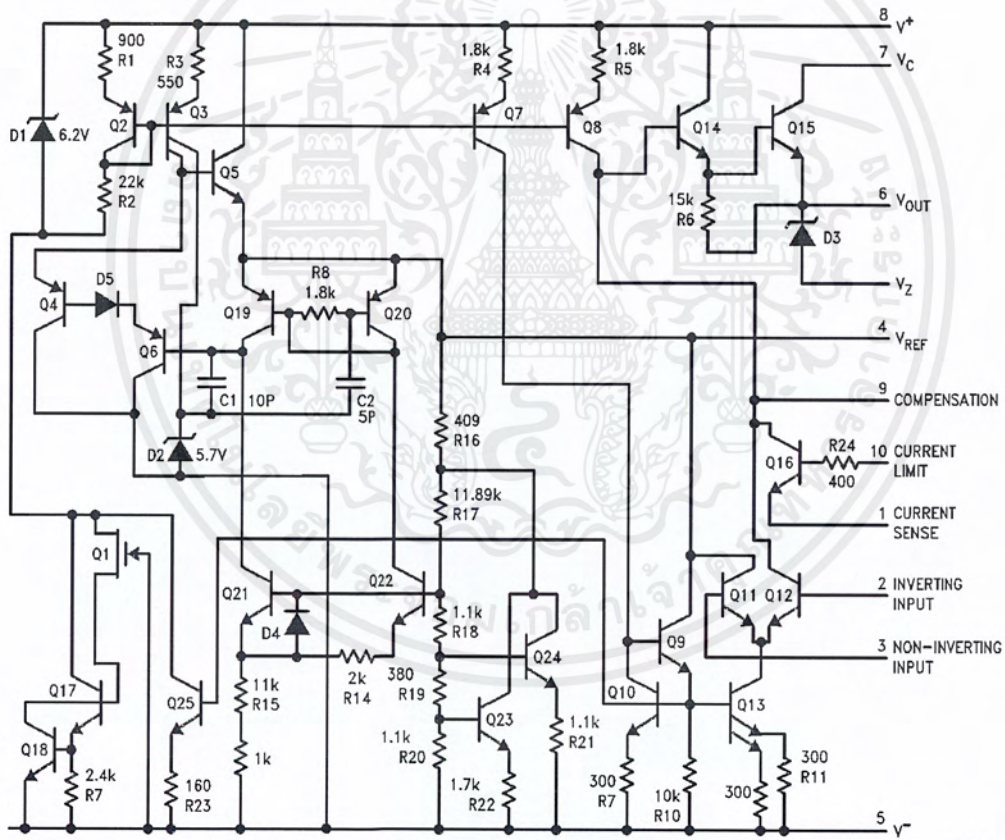
Typical Applications (Continued)



DS008563-21

FIGURE 13. Output Voltage Adjust (Note 6)

Schematic Diagram



DS008563-1

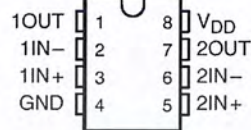
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277 LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

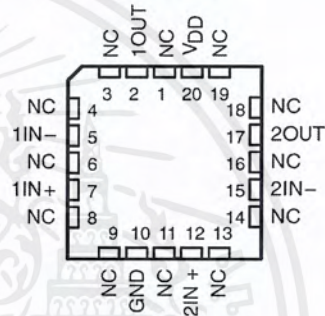
SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

- **Trimmed Offset Voltage:**
TLC277 . . . 500 μV Max at 25°C,
 $V_{\text{DD}} = 5\text{ V}$
- **Input Offset Voltage Drift . . . Typically**
0.1 $\mu\text{V}/\text{Month}$, Including the First 30 Days
- **Wide Range of Supply Voltages Over**
Specified Temperature Range:
0°C to 70°C . . . 3 V to 16 V
-40°C to 85°C . . . 4 V to 16 V
-55°C to 125°C . . . 4 V to 16 V
- **Single-Supply Operation**
- **Common-Mode Input Voltage Range**
Extends Below the Negative Rail (C-Suffix,
I-Suffix types)
- **Low Noise . . . Typically 25 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at**
 $f = 1\text{ kHz}$
- **Output Voltage Range Includes Negative**
Rail
- **High Input impedance . . . $10^{12}\ \Omega$ Typ**
- **ESD-Protection Circuitry**
- **Small-Outline Package Option Also**
Available in Tape and Reel
- **Designed-in Latch-Up Immunity**

D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

description

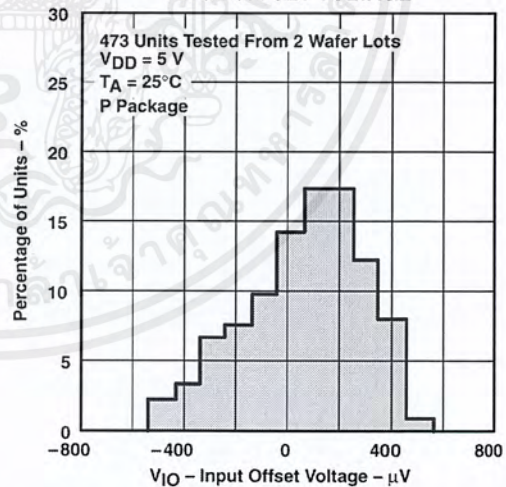
The TLC272 and TLC277 precision dual operational amplifiers combine a wide range of input offset voltage grades with low offset voltage drift, high input impedance, low noise, and speeds approaching that of general-purpose BIFET devices.

These devices use Texas instruments silicon-gate LinCMOS™ technology, which provides offset voltage stability far exceeding the stability available with conventional metal-gate processes.

The extremely high input impedance, low bias currents, and high slew rates make these cost-effective devices ideal for applications which have previously been reserved for BIFET and NFET products. Four offset voltage grades are available (C-suffix and I-suffix types), ranging from the low-cost TLC272 (10 mV) to the high-precision TLC277 (500 μV).

These advantages, in combination with good common-mode rejection and supply voltage rejection, make these devices a good choice for new state-of-the-art designs as well as for upgrading existing designs.

DISTRIBUTION OF TLC277
INPUT OFFSET VOLTAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277 LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGED DEVICES					CHIP FORM (Y)
		SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)	
0°C to 70°C	500 μV	TLC277CD	—	—	TLC277CP	—	—
	2 mV	TLC272BCD	—	—	TLC272BCP	—	—
	5 mV	TLC272ACD	—	—	TLC272ACP	—	—
	10 mV	TLC272CD	—	—	TLC272CP	TLC272CPW	TLC272Y
-40°C to 85°C	500 μV	TLC277ID	—	—	TLC277IP	—	—
	2 mV	TLC272BID	—	—	TLC272BIP	—	—
	5 mV	TLC272AID	—	—	TLC272AIP	—	—
	10 mV	TLC272ID	—	—	TLC272IP	—	—
-55°C to 125°C	500 μV	TLC277MD	TLC277MFK	TLC277MJG	TLC277MP	—	—
	10 mV	TLC272MD	TLC272MFK	TLC272MJG	TLC272MP	—	—

The D package is available taped and reeled. Add R suffix to the device type (e.g., TLC277CDR).

description (continued)

In general, many features associated with bipolar technology are available on LinCMOS™ operational amplifiers without the power penalties of bipolar technology. General applications such as transducer interfacing, analog calculations, amplifier blocks, active filters, and signal buffering are easily designed with the TLC272 and TLC277. The devices also exhibit low voltage single-supply operation, making them ideally suited for remote and inaccessible battery-powered applications. The common-mode input voltage range includes the negative rail.

A wide range of packaging options is available, including small-outline and chip carrier versions for high-density system applications.

The device inputs and outputs are designed to withstand -100-mA surge currents without sustaining latch-up.

The TLC272 and TLC277 incorporate internal ESD-protection circuits that prevent functional failures at voltages up to 2000 V as tested under MIL-STD-883C, Method 3015.2; however, care should be exercised in handling these devices as exposure to ESD may result in the degradation of the device parametric performance.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277 LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

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

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1)	18 V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	$\pm V_{DD}$
Input voltage range, V_I (any input)	-0.3 V to V_{DD}
Input current, I_I	± 5 mA
output current, I_O (each output)	± 30 mA
Total current into V_{DD}	45 mA
Total current out of GND	45 mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 3)	unlimited
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature, T_A : C suffix	0°C to 70°C
I suffix	-40°C to 85°C
M suffix	-55°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, P, or PW package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C

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

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to network ground.
2. Differential voltages are at IN+ with respect to IN-.
3. The output may be shorted to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the maximum dissipation rating is not exceeded (see application section).

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	377 mW	N/A
FK	1375 mW	11 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
JG	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	546 mW	210 mW
P	1000 mW	8.0 mW/°C	640 mW	520 mW	N/A
PW	525 mW	4.2 mW/°C	336 mW	N/A	N/A

recommended operating conditions

		C SUFFIX		I SUFFIX		M SUFFIX		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{DD}		3	16	4	16	4	16	V
Common-mode input voltage, V_{IC}	$V_{DD} = 5$ V	-0.2	3.5	-0.2	3.5	0	3.5	V
	$V_{DD} = 10$ V	-0.2	8.5	-0.2	8.5	0	8.5	
Operating free-air temperature, T_A		0	70	-40	85	-55	125	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277 LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

electrical characteristics, $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TLC272Y			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 50\ \Omega$, $V_{IC} = 0$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$		1.1	10	mV
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage			1.8		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current (see Note 4)	$V_O = 2.5\text{ V}$, $V_{IC} = 2.5\text{ V}$		0.1		pA
I_{IB} Input bias current (see Note 4)	$V_O = 2.5\text{ V}$, $V_{IC} = 2.5\text{ V}$		0.6		pA
V_{ICR} Common-mode input voltage range (see Note 5)		-0.2 to 4	-0.3 to 4.2		V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{ID} = 100\text{ mV}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$	3.2	3.8		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -100\text{ mV}$, $I_{OL} = 0$		0	50	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = 0.25\text{ V to } 2\text{ V}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$	5	23		V/mV
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	65	80		dB
kSVR Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{DD} = 5\text{ V to } 10\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	65	95		dB
I_{DD} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load $V_{IC} = 2.5\text{ V}$		1.4	3.2	mA

NOTES: 4. The typical values of input bias current and input offset current below 5 pA were determined mathematically.
5. This range also applies to each input individually.

electrical characteristics, $V_{DD} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TLC272Y			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 50\ \Omega$, $V_{IC} = 0$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$		1.1	10	mV
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage			1.8		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current (see Note 4)	$V_O = 5\text{ V}$, $V_{IC} = 5\text{ V}$		0.1		pA
I_{IB} Input bias current (see Note 4)	$V_O = 5\text{ V}$, $V_{IC} = 5\text{ V}$		0.7		pA
V_{ICR} Common-mode input voltage range (see Note 5)		-0.2 to 9	-0.3 to 9.2		V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{ID} = 100\text{ mV}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$	8	8.5		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{ID} = -100\text{ mV}$, $I_{OL} = 0$		0	50	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = 1\text{ V to } 6\text{ V}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$	10	36		V/mV
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	65	85		dB
kSVR Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{DD} = 5\text{ V to } 10\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	65	95		dB
I_{DD} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 5\text{ V}$, No load $V_{IC} = 5\text{ V}$		1.9	4	mA

NOTES: 4. The typical values of input bias current and input offset current below 5 pA were determined mathematically.
5. This range also applies to each input individually.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277
LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

TYPICAL CHARACTERISTICS

Table of Graphs

		FIGURE	
V_{IO}	Input offset voltage	Distribution	6, 7
α_{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage	Distribution	8, 9
V_{OH}	High-level output voltage	vs High-level output current	10, 11
		vs Supply voltage	12
		vs Free-air temperature	13
V_{OL}	Low-level output voltage	vs Common-mode input voltage	14, 15
		vs Differential input voltage	16
		vs Free-air temperature	17
		vs Low-level output current	18, 19
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	vs Supply voltage	20
		vs Free-air temperature	21
		vs Frequency	32, 33
I_{IB}	Input bias current	vs Free-air temperature	22
I_{IO}	Input offset current	vs Free-air temperature	22
V_{IC}	Common-mode input voltage	vs Supply voltage	23
I_{DD}	Supply current	vs Supply voltage	24
		vs Free-air temperature	25
SR	Slew rate	vs Supply voltage	26
		vs Free-air temperature	27
	Normalized slew rate	vs Free-air temperature	28
$V_{O(PP)}$	Maximum peak-to-peak output voltage	vs Frequency	29
B_1	Unity-gain bandwidth	vs Free-air temperature	30
		vs Supply voltage	31
ϕ_m	Phase margin	vs Supply voltage	34
		vs Free-air temperature	35
		vs Load capacitance	36
V_n	Equivalent input noise voltage	vs Frequency	37
		Phase shift	vs Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277 LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

APPLICATION INFORMATION

single-supply operation

While the TLC272 and TLC277 perform well using dual power supplies (also called balanced or split supplies), the design is optimized for single-supply operation. This design includes an input common-mode voltage range that encompasses ground as well as an output voltage range that pulls down to ground. The supply voltage range extends down to 3 V (C-suffix types), thus allowing operation with supply levels commonly available for TTL and HCMOS; however, for maximum dynamic range, 16-V single-supply operation is recommended.

Many single-supply applications require that a voltage be applied to one input to establish a reference level that is above ground. A resistive voltage divider is usually sufficient to establish this reference level (see Figure 38). The low input bias current of the TLC272 and TLC277 permits the use of very large resistive values to implement the voltage divider, thus minimizing power consumption.

The TLC272 and TLC277 work well in conjunction with digital logic; however, when powering both linear devices and digital logic from the same power supply, the following precautions are recommended:

1. Power the linear devices from separate bypassed supply lines (see Figure 39); otherwise, the linear device supply rails can fluctuate due to voltage drops caused by high switching currents in the digital logic.
2. Use proper bypass techniques to reduce the probability of noise-induced errors. Single capacitive decoupling is often adequate; however, high-frequency applications may require RC decoupling.

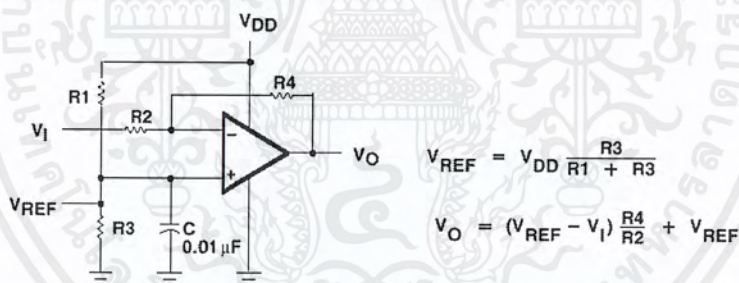


Figure 38. Inverting Amplifier With Voltage Reference

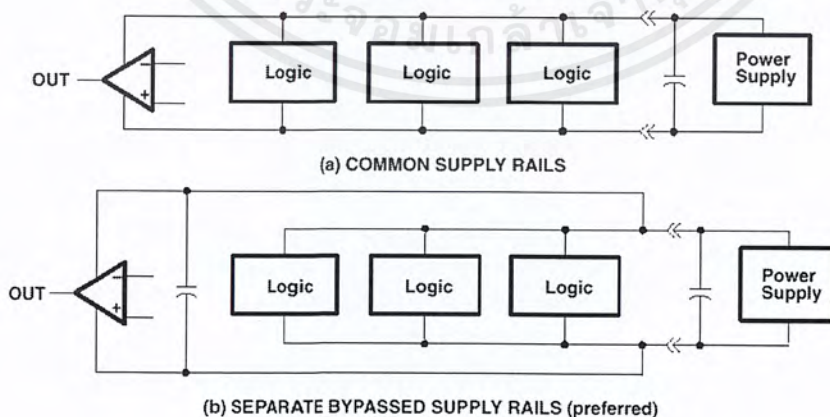


Figure 39. Common vs Separate Supply Rails

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277
LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

APPLICATION INFORMATION

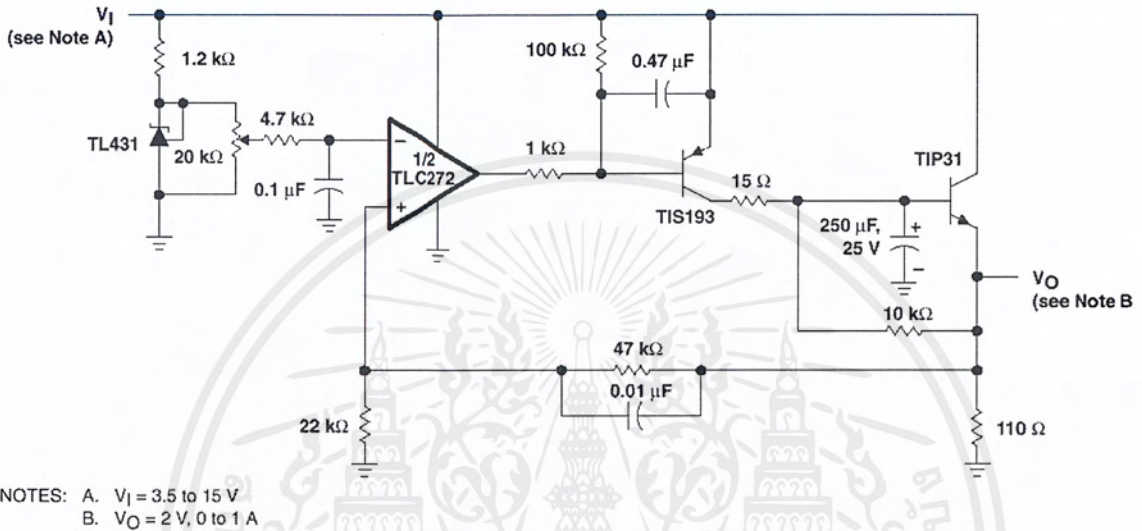


Figure 46. Logic-Array Power Supply

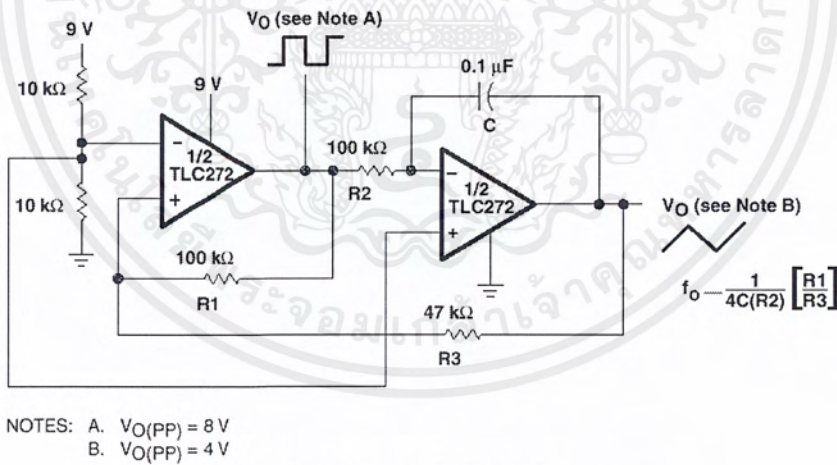


Figure 47. Single-Supply Function Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

intersil

CA3162, CA3162A

August 1997

A/D Converters for 3-Digit Display

Features

- Dual Slope A/D Conversion
- Multiplexed BCD Display
- Ultra Stable Internal Band Gap Voltage Reference
- Capable of Reading 99mV Below Ground with Single Supply
- Differential Input
- Internal Timing - No External Clock Required
- Choice of Low Speed (4Hz) or High Speed (96Hz) Conversion Rate
- "Hold" Inhibits Conversion but Maintains Delay
- Overrange Indication
 - "EEE" for Reading Greater than +999mV, "-" for Reading More Negative than -99mV When Used With CA3161E
- Extended Temperature Range Version Available

Ordering Information

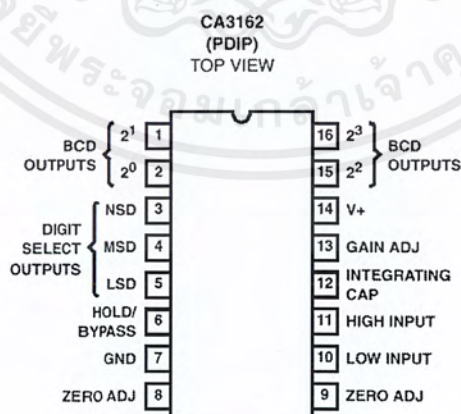
PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3162E	0 to 70	16 Ld PDIP	E16.3
CA3162AE	-40 to 85	16 Ld PDIP	E16.3

Description

The CA3162E and CA3162AE are I²L monolithic A/D converters that provide a 3 digit multiplexed BCD output. They are used with the CA3161E BCD-to-Seven-Segment Decoder/Driver and a minimum of external parts to implement a complete 3-digit display. The CA3162AE is identical to the CA3162E except for an extended operating temperature range.

The CA3161E is described in the Display Drivers section of this data book.

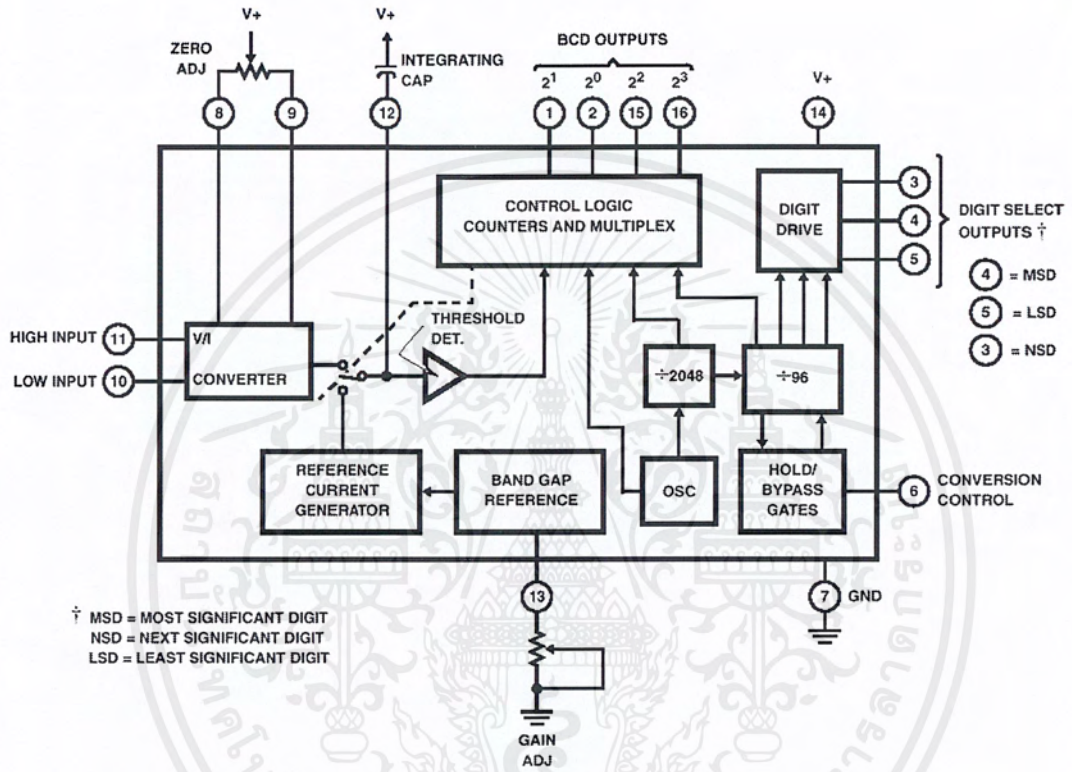
Pinout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA3162, CA3162A

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA3162, CA3162A

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage (Between Pins 7 and 14) +7V
 Input Voltage (Pin 10 or 11 to Ground) $\pm 15V$

Operating Conditions

Temperature Range

CA3162E 0 to 75°C
 CA3162AE -40°C to 85°C

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

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1) θ_{JA} (°C/W)
 PDIP Package 90
 Maximum Junction Temperature 150°C
 Maximum Storage Temperature Range -65°C to 150°C
 Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) 300°C

Electrical Specifications $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_+ = 5V$, Zero Pot Centered, Gain Pot = 2.4k Ω , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage Range, V_+		4.5	5	5.5	V
Supply Current, I_+	100k Ω to V_+ on Pins 3, 4, 5	-	-	17	mA
Input Impedance, Z_i		-	100	-	M Ω
Input Bias Current, I_{IB}	Pins 10 and 11	-	-80	-	nA
Unadjusted Zero Offset	$V_{11}-V_{10} = 0V$, Read Decoded Output	-12	-	+12	mV
Unadjusted Gain	$V_{11}-V_{10} = 900mV$, Read Decoded Output	846	-	954	mV
Linearity	Notes 1 and 2	-1	-	+1	Count
Conversion Rate					
Slow Mode	Pin 6 = Open or GND	-	4	-	Hz
Fast Mode	Pin 6 = 5V	-	96	-	Hz
Conversion Control Voltage (Hold Mode) at Pin 6		0.8	1.2	1.6	V
Common Mode Input Voltage Range, V_{ICR}	Notes 3, 4	-0.2	-	+0.2	V
BCD Sink Current at Pins 1, 2, 15, 16	$V_{BCD} \geq 0.5V$, at Logic Zero State	0.4	1.6	-	mA
Digit Select Sink Current at Pins 3, 4, 5	V_{DIGIT} Select = 4V at Logic Zero State	1.6	2.5	-	mA
Zero Temperature Coefficient	$V_I = 0V$, Zero Pot Centered	-	10	-	$\mu V/^\circ V$
Gain Temperature Coefficient	$V_I = 900mV$, Gain Pot = 2.4k Ω	-	0.005	-	%/ $^\circ C$

NOTES:

1. Apply 0V across V_{11} to V_{10} . Adjust zero potentiometer to give 000mV reading. Apply 900mV to input and adjust gain potentiometer to give 900mV reading.
2. Linearity is measured as a difference from a straight line drawn through zero and positive full scale. Limits do not include ± 0.5 count bit digitizing error.
3. For applications where low input pin 10 is not operated at pin 7 potential, a return path of not more than 100k Ω resistance must be provided for input bias currents.
4. The common mode input voltage above ground cannot exceed +0.2V if the full input signal range of 999mV is required at pin 11. That is, pin 11 may not operate higher than 1.2V positive with respect to ground or 0.2V negative with respect to ground. If the maximum input signal is less than 999mV, the common mode input voltage may be raised accordingly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA3162, CA3162A

Timing Diagram

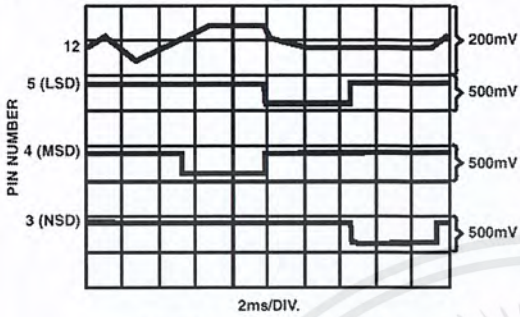


FIGURE 1. HIGH SPEED MODE

Detailed Description

The Functional Block Diagram of the CA3162E shows the V/I converter and reference current generator, which is the heart of the system. The V/I converter converts the input voltage applied between pins 10 and 11 to a current that charges the integrating capacitor on pin 12 for a predetermined time interval. At the end of the charging interval, the V/I converter is disconnected from the integrating capacitor, and a band gap

reference constant current source of opposite polarity is connected. The number of clock counts that elapse before the charge is restored to its original value is a direct measure of the signal induced current. The restoration is sensed by the comparator, which in turn latches the counter. The count is then multiplexed to the BCD outputs.

The timing for the CA3162E is supplied by a 786Hz ring oscillator, and the input at pin 6 determines the sampling rate. A 5V input provides a high speed sampling rate (96Hz), and grounding or floating pin 6 provides a low speed (4Hz) sampling rate. When pin 6 is fixed at +1.2V (by placing a 12K resistor between pin 6 and the +5V supply) a "hold" feature is available. While the CA3162E is in the hold mode, sampling continues at 4Hz but the display data are latched to the last reading prior to the application of the 1.2V. Removal of the 1.2V restores continuous display changes. Note, however, that the sampling rate remains at 4Hz.

Figure 1 shows the timing of sampling and digit select pulses for the high speed mode. Note that the basic A/D conversion process requires approximately 5ms in both modes.

The "EEE" or "---" displays indicate that the range of the system has been exceeded in the positive or negative direction, respectively. Negative voltages to -99mV are displayed with the minus sign in the MSD. The BCD code is 1010 for a negative overrange (---) and 1011 for a positive overrange (EEE).

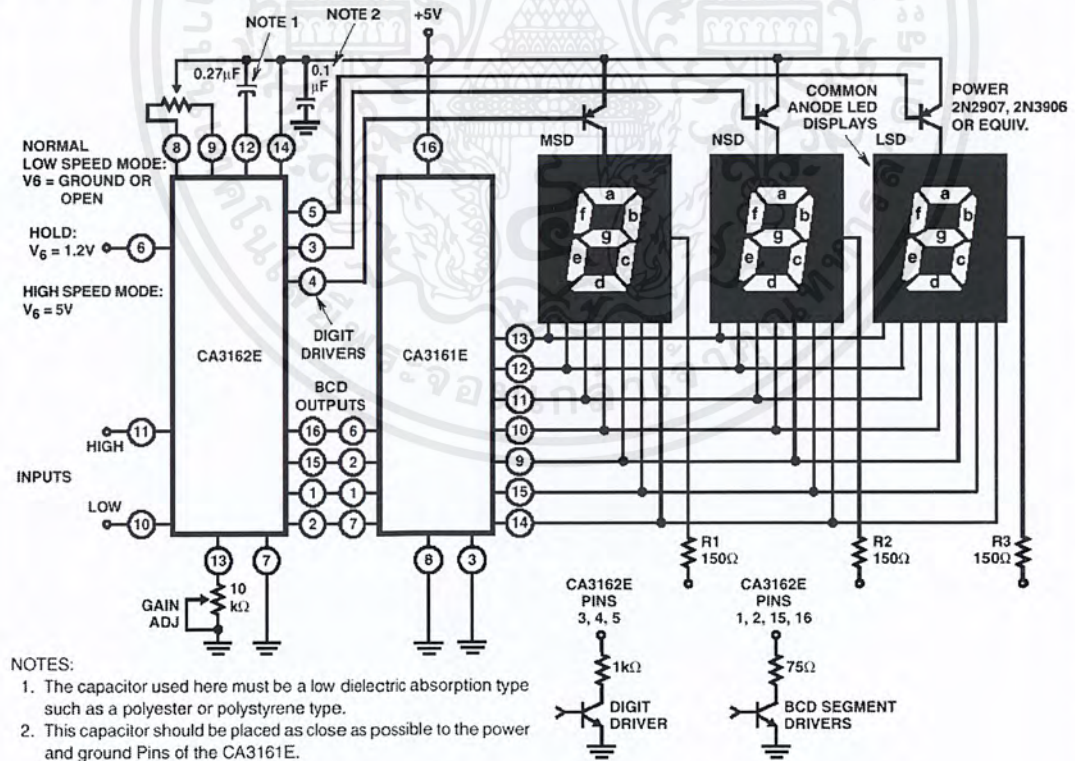


FIGURE 2. BASIC DIGITAL READOUT SYSTEM USING THE CA3162E AND THE CA3161E

CA3162, CA3162A

CA3162E Liquid Crystal Display (LCD) Application

Figure 3 shows the CA3162E in a typical LCD application. LCDs may be used in favor of LED displays in applications requiring lower power dissipation, such as battery-operated equipment, or when visibility in high-ambient-light conditions is desired.

Multiplexing of LCD digits is not practical, since LCDs must be driven by an AC signal and the average voltage across each segment is zero. Three CD4056B liquid-crystal decoder/drivers are therefore used. Each CD4056B contains an input latch so that the BCD data for each digit may be latched into the decoder using the inverted digit-select outputs of the CA3162E as strobes.

The capacitors on the outputs of inverters G3 and G4 filter out the decode spikes on the MSD and NSD signals. The

capacitors and pull-up resistors connected to the MSD, NSD and LSD outputs are there to shorten the digit drive signal thereby providing proper timing for the CD4056B latches.

Inverters G1 and G2 are used as an astable multivibrator to provide the AC drive to the LCD backplane. Inverters G3, G4 and G5 are the digit-select inverters and require pull-up resistors to interface the open-collector outputs of the CA3162E to CMOS logic. The BCD outputs of the CA3162E may be connected directly to the corresponding CD4056B inputs (using pull-up resistors). In this arrangement, the CD4056B decodes the negative sign (-) as an "L" and the positive overload indicator (E) as an "H".

The circuit as shown in Figure 3 using G7, G8 and G9 will decode the negative sign (-) as a negative sign (-), and the positive overload indicator (E) as "H".

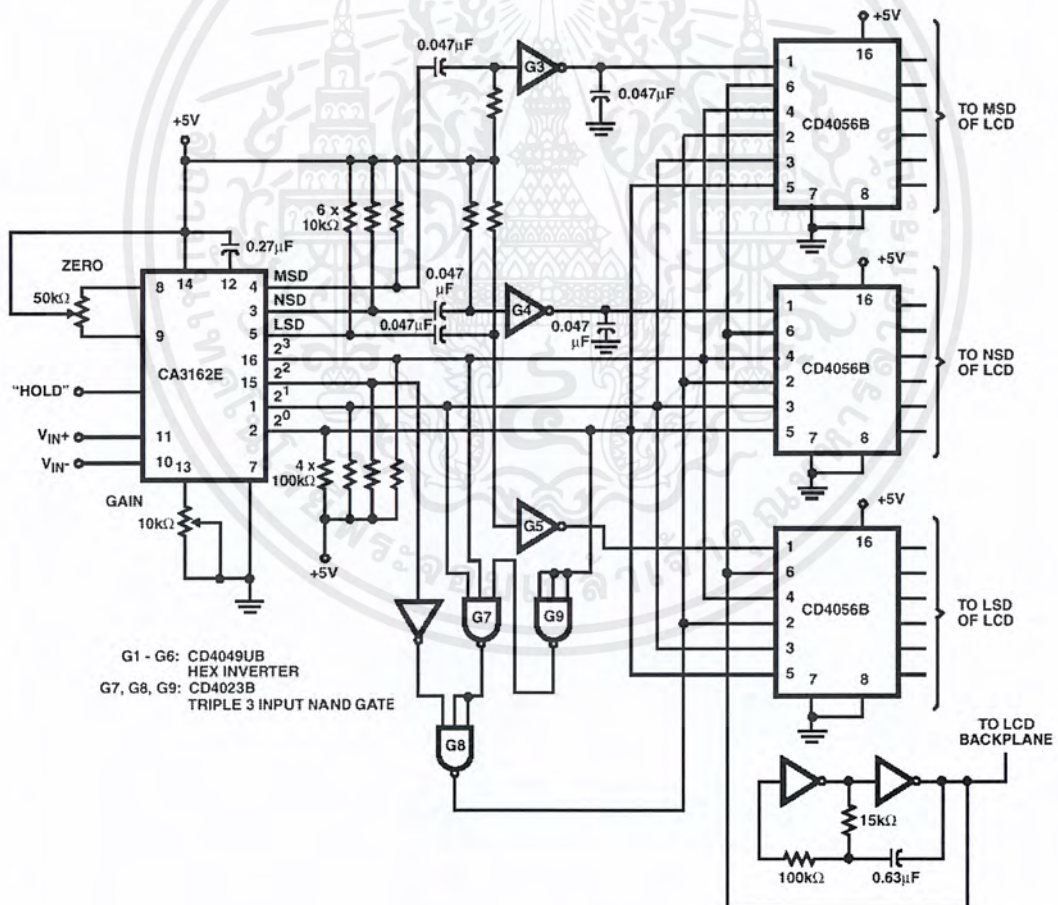


FIGURE 3. TYPICAL LCD APPLICATION

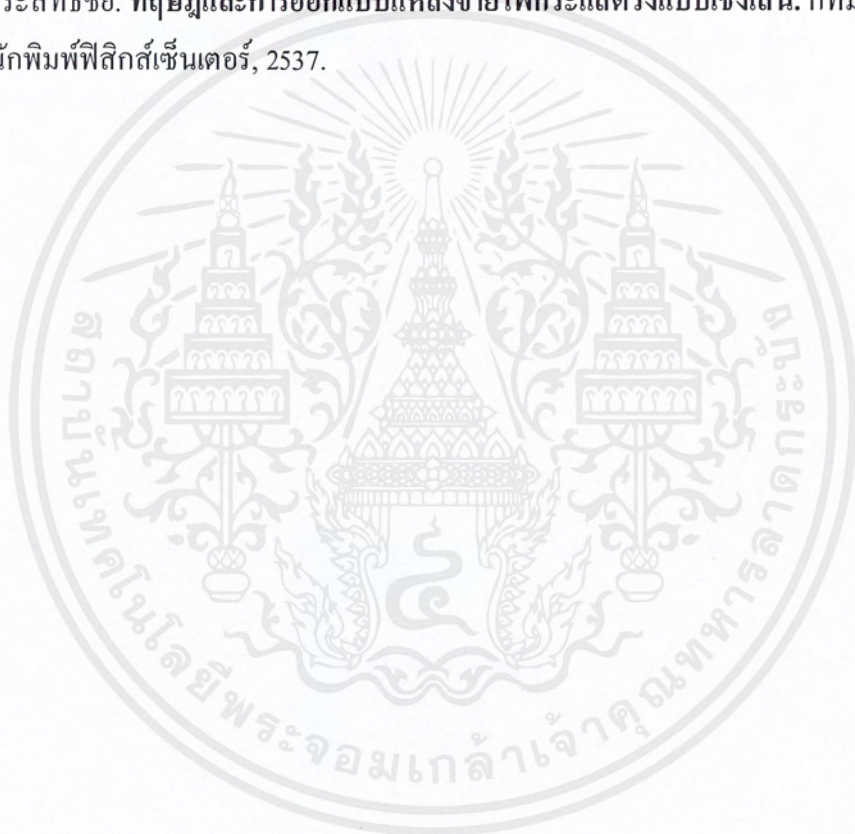
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กิติพงศ์ มะโน. เอกสารประกอบการเรียนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. ภาควิชาครุศาสตร์
วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง, 2543.

ยีน ภูสุวรรณ. เทคนิคการประยุกต์ใช้งานลินีเยร์ไอซี. กทม: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2521.

สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย. ทฤษฎีและการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น. กทม:
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2537.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์	นายกัมพล ไชยบรรดิษฐ์
วันเดือนปีเกิด	16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
ภูมิลำเนาเดิม	52/1 หมู่ 6 ต.นาหว้า อ.จะนะ จ.สงขลา
ที่อยู่ปัจจุบัน	52/1 หมู่ 6 ต.นาหว้า อ.จะนะ จ.สงขลา
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดประจำ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนจะนะชนูปถัมภ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สงขลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	เสียเหงื่อให้กับการกีฬา ดีกว่าเสียน้ำตาให้กับยาเสพติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์	นายธีระ คงขำ
วันเดือนปีเกิด	8 มีนาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง
ภูมิลำเนาเดิม	237 ม. 16 ต. เขาวิเศษ อ. วังวิเศษ จ. ตรัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	237 ม. 16 ต. เขาวิเศษ อ. วังวิเศษ จ. ตรัง
โทรศัพท์	075-261479
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเขาโอน
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวังวิเศษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคตรัง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สงขลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	ทุนยกเว้นค่าหน่วยกิต ปีการศึกษา 2542
คติพจน์	ปัญญา คือแสงสว่างนำทางชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายสุรเชษฐ์ จอดนาค
วันเดือนปีเกิด	19 เมษายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดยะลา
ภูมิลำเนาเดิม	11 ถ. เวฬุวัน ซ. 5 ต. สะเตง อ. เมือง จ. ยะลา
ที่อยู่ปัจจุบัน	11 ถ. เวฬุวัน ซ. 5 ต. สะเตง อ. เมือง จ. ยะลา
โทรศัพท์	073-257047
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านนิคมสร้างตนเองธารโต
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนคณะราษฎรบำรุง จ. ยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ดีชั่วเพราะตัวทำ สูงต่ำเพราะทำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์	นายอดิศร นิลวิสุทธิ
วันเดือนปีเกิด	5 มิถุนายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดยะลา
ภูมิลำเนาเดิม	28 ถ. พังเมือง 1 ซ. 2 ต. สะเตง อ. เมือง จ. ยะลา
ที่อยู่ปัจจุบัน	28 ถ. พังเมือง 1 ซ. 2 ต. สะเตง อ. เมือง จ. ยะลา
โทรศัพท์	073-211517
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนนิบงชนูปถัมภ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรียะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวรกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	อด และทนเพื่อวันที่สดใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้