



การควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง
ROTATIONAL SPEED AND DIRECTION CONTROL OF DC MOTORS

นางสาวอรุณรัตน์ วงษา รหัส 49381605

นายเอกชัย เทพสุริยะ รหัส 49381650

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๙/๗/๕๕.....
เลขทะเบียน..... 15736625.....
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๒๕๕๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อโครงการ การควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวอรุณรัตน์ วงษา รหัส 49381605
นายเอกชัย เทพสุริยะ รหัส 49381650
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
N. Santhamint ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....
S. W. กรรมการ
(ดร. ศุภวรรณ พลหิทัศน์ชัย)

..... กรรมการ
(ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์)

หัวข้อโครงการ	การควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวอรุณรัตน์ วงษา รหัส 49381605 นายเอกชัย เทพสุริยะ รหัส 49381650
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2552

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โครงการเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง ในปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนได้ง่ายและทำได้หลายวิธี โดยในโครงการนี้ใช้วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ภายใต้หลักการการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยรับ ไฟด้านเข้าเป็นไฟกระแสสลับ 220 V 50 Hz แล้วแปลงผันเป็นไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V และใช้วงจรเอชบริดจ์เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนในทิศทางหนึ่งหรือตามเข็มนาฬิกา จากการทดสอบพบว่าวงจรทั้งสองสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างดี ทำให้การควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นไปอย่างราบรื่น

Project title Rotational Speed and Direction Control of DC Motors
Name Ms. Arunrat Wongsai ID. 49381605
 Mr. Eakkachai Thepsuriya ID. 49381650
Project advisor Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2009

.....

Abstract

This thesis presents a project that deals with rotational speed and direction control of DC motors. Nowadays, the DC motors are still widely used because their rotational speed and direction can be easily controlled. Hereby, the speed of a chosen motor was controlled by varying the motor's input voltage via a voltage regulator. In this project, the regulator accepted the 220V-50Hz input and provided varying DC voltage of 0-30 V. The rotational direction of the motor was dictated by means of the H-bridge circuit. The experimental results revealed that the two aforementioned circuits worked well together, so the motor was smoothly controlled.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยชี้แนะแนวทางตลอดการทำโครงการ นอกจากนี้ยังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอันประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณคุณณัฐภัทร มีทรัพย์งษ์ถาวร คุณกฤษดา สมจิตชอบ และคุณกรรกรต กางพรม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์และวิธีการทดลองในระหว่างดำเนินโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาอย่างหาที่เปรียบมิได้ที่ให้ความรัก ความหวังดี กำลังใจ และคอยสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นางสาวอรุณรัตน์ วงษา

นายเอกชัย

เทพสุริยะ

สารบัญ

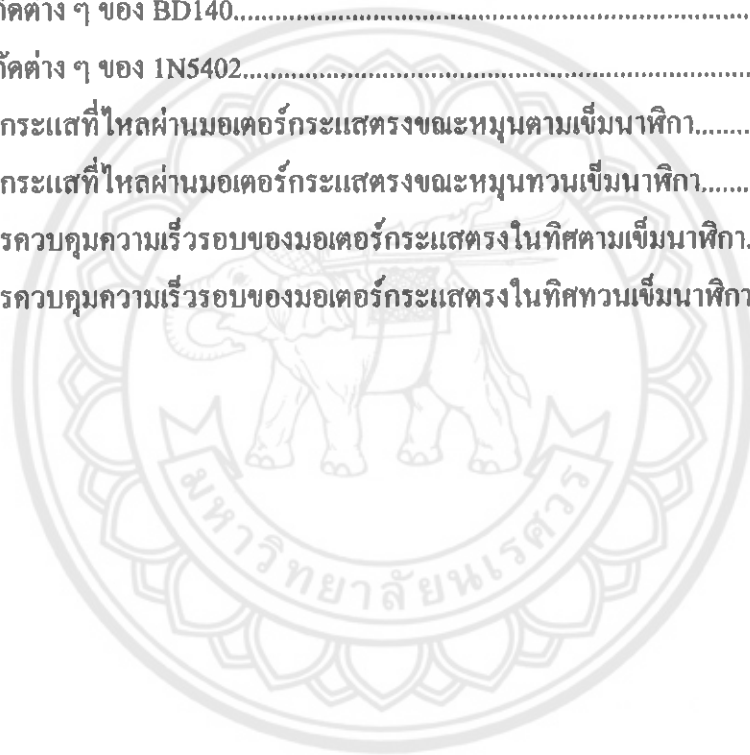
	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	4
2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง.....	5
2.1.2 แรงบิด.....	9
2.1.3 สมการความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง.....	9
2.1.4 การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง.....	11
2.2 วงจรเอชบริดจ์.....	12
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรเอชบริดจ์.....	12
2.3 วงจรคุมค่าแรงดัน.....	15
2.3.1 หลักการทำงานของวงจรมูลค่าแรงดัน.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การสร้างวงจรควบคุมการทำงาน.....	19
3.1 วงจรเอชบริดจ์.....	19
3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรเอชบริดจ์.....	19
3.1.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรเอชบริดจ์.....	19
3.2 วงจรคุมค่าแรงดัน.....	24
3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรวงจรคุมค่าแรงดัน.....	24
3.2.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรวงจรคุมค่าแรงดัน.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 ผลการทดลองการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง.....	33
4.2 ผลการทดลองการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	38
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	38
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก ก รายละเอียดของมอเตอร์ IRFP460N.....	41
ภาคผนวก ข รายละเอียดของซีเนอร์ไดโอด 1N5404.....	49
ภาคผนวก ค รายละเอียดของ LM723.....	52
ภาคผนวก ง รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ 2N3055.....	68
ภาคผนวก จ รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ BD140.....	72
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	พิกัดต่าง ๆ ของ IRFP460.....20
3.2	พิกัดต่าง ๆ ของ 1N5404..... 22
3.3	พิกัดต่าง ๆ ของ LM723..... 26
3.4	พิกัดต่าง ๆ ของ Q2N3055.....27
3.5	พิกัดต่าง ๆ ของ BD140.....27
3.6	พิกัดต่าง ๆ ของ 1N5402..... 28
4.1	ค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์กระแสตรงขณะหมุนตามเข็มนาฬิกา.....33
4.2	ค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์กระแสตรงขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา.....34
4.3	การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงในทิศตามเข็มนาฬิกา..... 35
4.4	การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงในทิศทวนเข็มนาฬิกา..... 36



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....4
2.2	ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา.....5
2.3	การสร้างแรงบิดจนทำให้อาร์เมเจอร์หมุน.....7
2.4	วงจรควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้วงจรเอชบริดจ์..... 12
2.5	แสดงทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์กระแสตรง..... 13
2.6	แสดงทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์กระแสตรง..... 13
2.7	วงจรเอชบริดจ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง.....14
2.8	วงจรภายในของวงจรคุมค่าแรงดัน..... 15
2.9	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง..... 16
2.10	วงจรสมมูลภายในและขาต่าง ๆ..... 17
2.11	วงจร ไอซีคุมค่าแรงดัน..... 17
2.12	วงจรป้องกันการลัดวงจร..... 18
3.1	รูปและขาต่าง ๆ ของ IRFP460N.....20
3.2	วงจรการใช้งานมอสเฟต..... 21
3.3	ลักษณะซีเนอริโคไดโอด..... 21
3.4	ตัวต้านทาน 4.7 k Ω -ขนาด 1 W..... 22
3.5	ลักษณะแผ่นระบายความร้อน..... 23
3.6	วงจรเอชบริดจ์.....23
3.7	วงจรภายในวงจรเอชบริดจ์.....24
3.8	รูปและขาต่าง ๆ ของ LM723..... 25
3.9	แผนภาพวงจรภายในของ LM723..... 26
3.10	ลักษณะของทรานซิสเตอร์ Q2N3055..... 27
3.11	ลักษณะของซีเนอริโคไดโอด 1N5402..... 28
3.12	ลักษณะของตัวต้านทาน..... 29
3.13	ลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้.....29
3.14	ลักษณะของตัวเก็บประจุ..... 30
3.15	ลักษณะของหม้อแปลง AC220-DC24 V, 3 A..... 30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 อุปกรณ์ที่ต่อในวงจรคุมค่าแรงดัน.....	31
3.17 วงจรคุมค่าแรงดัน.....	31
3.18 วงจรเอชบริคจ์และวงจรคุมค่าแรงดัน.....	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของมอเตอร์.....	34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันของมอเตอร์.....	36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันมอเตอร์เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยเฉพาะสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายสิ่งของวัตถุทั้งขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกสบาย อีกทั้งยังเป็นการช่วยผ่อนแรงให้กับมนุษย์อีกทางหนึ่ง มนุษย์จึงมีการนำมอเตอร์เหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ เช่น การใช้มอเตอร์หมุนสายพานเพื่อลำเลียงสิ่งของ รถเข็นไฟฟ้า เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำมอเตอร์กระแสตรงมาประยุกต์ใช้ได้นั้นก็ต้องมีส่วนที่เป็นวงจรควบคุมมาใช้ในการควบคุมตัวมอเตอร์กระแสตรงด้วย

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกตามความเหมาะสม โดยการเลือกเอาวงจรต่างๆ ที่มีอยู่หลากหลายรูปแบบมาใช้ในการควบคุมตามความเหมาะสมกับการใช้งาน วงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงต่างก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป วงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดันนับว่าเป็นวงจรที่มีความสามารถหลากหลายเมื่อนำไปใช้งาน เป็นวงจรที่ไม่สลับซับซ้อนมาก นักสามารถคิดตามด้วยหลักการง่าย ๆ ไม่ยุ่งยาก โดยวงจรเอชบริดจ์เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงที่สามารถกำหนดทิศการหมุนให้กับมอเตอร์กระแสตรงได้ และวงจรคุมค่าแรงดัน ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยทั้งสองวงจรมียังสามารถทำงานร่วมกันเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงให้หมุนได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทำงาน

โครงการนี้จึงทำการศึกษาหลักการทำงานและสร้างวงจรเอชบริดจ์เพื่อควบคุมการกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง พร้อมทั้งศึกษาและสร้างวงจรคุมค่าแรงดันเพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมความเร็วรอบและทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างวงจรเอชบริดจ์เพื่อควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง
- 2) สร้างวงจรคุมค่าแรงดันที่รับแรงดันด้านเข้าเป็นไฟกระแสสลับ 220 V 50 Hz และจ่ายแรงดันด้านออกเป็นไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2552							ปี 2553		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาการทำงานของวงจรเอชบริดจ์										
2. ศึกษาและเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้สร้างวงจรเอชบริดจ์										
3. ออกแบบและสร้างวงจรเอชบริดจ์										
4. ศึกษาการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน										
5. เลือกอุปกรณ์ที่จะใช้สร้างวงจรคุมค่าแรงดัน										
6. ออกแบบและสร้างวงจรคุมค่าแรงดัน										
7. ทดสอบและปรับปรุงวงจร										
8. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

โครงการนี้สามารถควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง และสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้ ด้วยการนำวงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดันมาทำงานร่วมกัน และสามารถนำวงจรนี้ใช้กับค่าน้ำเข้าของกระแสสลับ 220 V 50 Hz ได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน แต่ก็ยังสามารถนำวงจรเอชบริดจ์มาใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสตรงได้

1.6 งบประมาณ

1) วงจรเอชบริดจ์	2,200 บาท
2) วงจรคุมค่าแรงดัน	1,400 บาท
3) มอเตอร์กระแสตรง 12 V	550 บาท
4) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการสร้างชิ้นงาน	1,500 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	650 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันสามร้อยบาทถ้วน)	<u>6,300 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

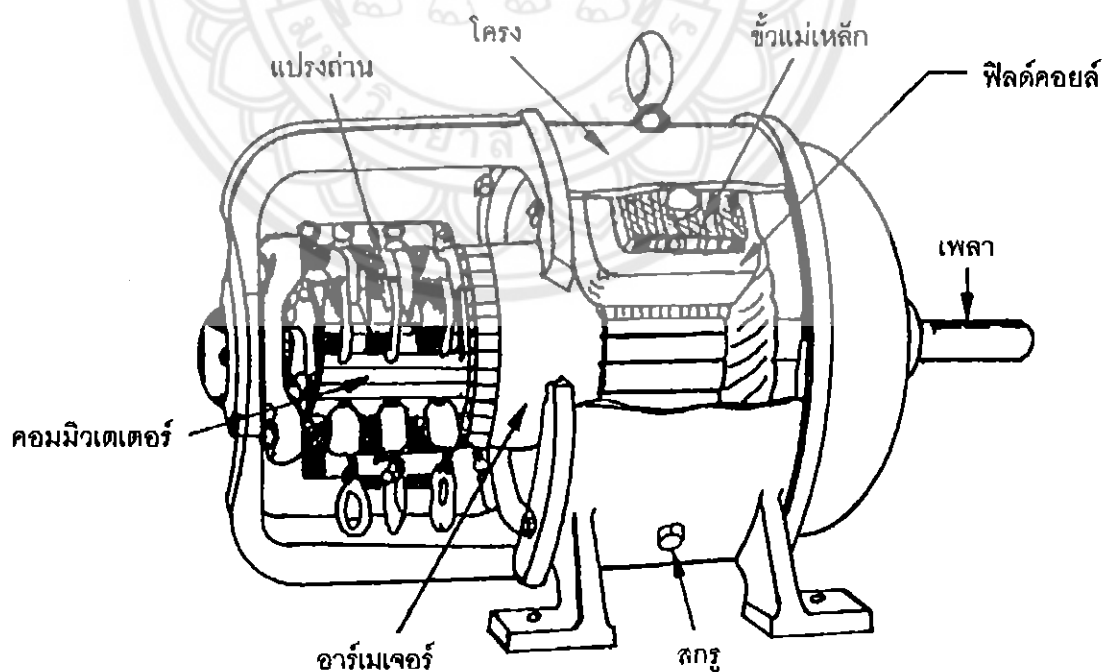
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงและควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงที่ศึกษาในโครงการนี้เป็นวงจรเอชบริดจ์ และวงจรคุมค่าแรงดัน ในบทนี้จึงได้อธิบายหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง วงจรเอชบริดจ์ และวงจรคุมค่าแรงดัน ดังจะกล่าวในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 มอเตอร์กระแสตรง

พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ ในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงมีการแปลงรูประหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยทั่วไปเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานเป็นได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (DC generator) และมอเตอร์ไฟฟ้า (DC motor) โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

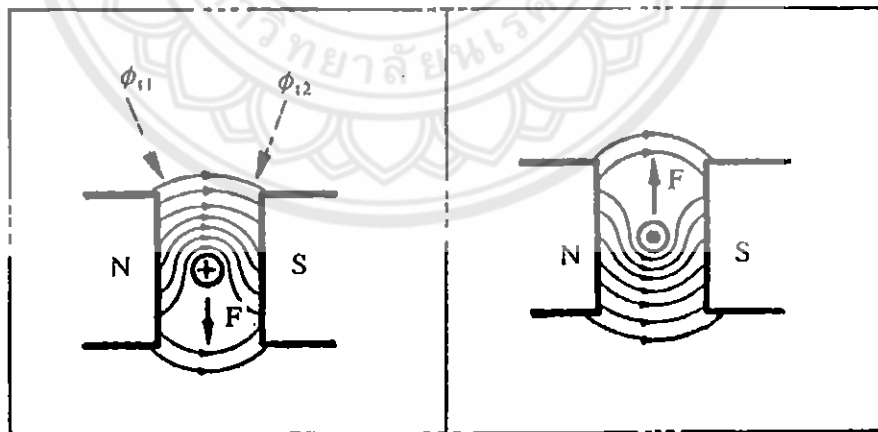


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]

2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

หน้าที่ของมอเตอร์ไฟฟ้าคือการสร้างแรงบิด (Torque) ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หมุน ในที่นี้มอเตอร์จำเป็นจะต้องสร้างแรง (Force) เพื่อจะทำให้เกิดแรงบิด ซึ่งทำได้โดยวางแท่งตัวนำไว้ในสนามแม่เหล็กแล้วปล่อยกระแสให้ไหลผ่านแท่งตัวนำนั้น ในทางปฏิบัติจะมีแท่งตัวนำจำนวนมากอยู่บนอาร์เมเจอร์ ดังนั้นในมอเตอร์กระแสตรง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะจ่ายให้มอเตอร์ผ่านทางแปรงถ่าน (Brush) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) จะเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในกลุ่มแท่งตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก นั่นคือกระแสในแท่งตัวนำแต่ละตัวจะไหลกลับทิศเมื่อแท่งตัวนำนั้นเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง (ขั้วที่ต่างกัน) ที่อยู่ติดกัน ผลที่เกิดขึ้นคือแท่งตัวนำทั้งหมดจะถูกแรงกระทำในทิศเดียวกัน จึงทำให้อาร์เมเจอร์หมุน

การเกิดแรงกระทำบนแท่งตัวนำที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.2 สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งจากขั้วเหนือ ไปขั้วใต้ เมื่อมีกระแสไหลเข้าสู่แท่งตัวนำ (รูปซ้าย) กระแสจะสร้างสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำโดยมีทิศตามเข็มนาฬิกา ซึ่งไปเสริมความเข้มสนามแม่เหล็กที่อยู่เหนือแท่งตัวนำและหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้ตัวนำ ทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งเดิมมีค่าสม่ำเสมอเกิดความผิดเพี้ยนไป นั่นคือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กด้านบนสูงกว่าด้านล่าง ผลคือเส้นแรงแม่เหล็กด้านบนพยายามบิดตัวให้กลับสู่สภาพเดิม จึงเกิดการดันแท่งตัวนำให้เคลื่อนที่ลง เมื่อกระแสไหลผ่านแท่งตัวนำในทิศพุ่งออก (รูปขวา) จะเกิดผลตรงกันข้ามกับที่อธิบายมาข้างต้น



รูปที่ 2.2 ทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา [2]

นั่นคือกระแสจะสร้างแม่เหล็กสนามรอบแท่งตัวนำในทิศวนเข็มนาฬิกา ซึ่งไปเสริมความเข้มสนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้แท่งตัวนำและหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่อยู่เหนือตัวนำ ทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กด้านล่างสูงกว่าด้านบน จึงเกิดการดันแท่งตัวนำให้เคลื่อนที่ขึ้น

แรงผลักดันทำให้เกิดเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.2 จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแท่งตัวนำและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือกับขั้วใต้ดังนี้

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad (2.1)$$

โดยที่ \vec{F} คือ เวกเตอร์ของแรงผลักดันแท่งตัวนำ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

I คือ ความยาวของตัวนำในสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร (m)

\vec{l} คือ เวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้าในแท่งตัวนำ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

\vec{B} คือ เวกเตอร์ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ทิศของแรงที่กระทำบนแท่งตัวนำจะเป็นไปตามกฎมือขวา ถ้าทิศการไหลของกระแสหรือทิศของสนามแม่เหล็กมีการกลับทิศ จะทำให้แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำมีการกลับทิศ แต่หากทั้งกระแสและสนามแม่เหล็กกลับทิศ แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำจะมีทิศคงเดิม

ขนาดของแรงจะคำนวณได้จาก

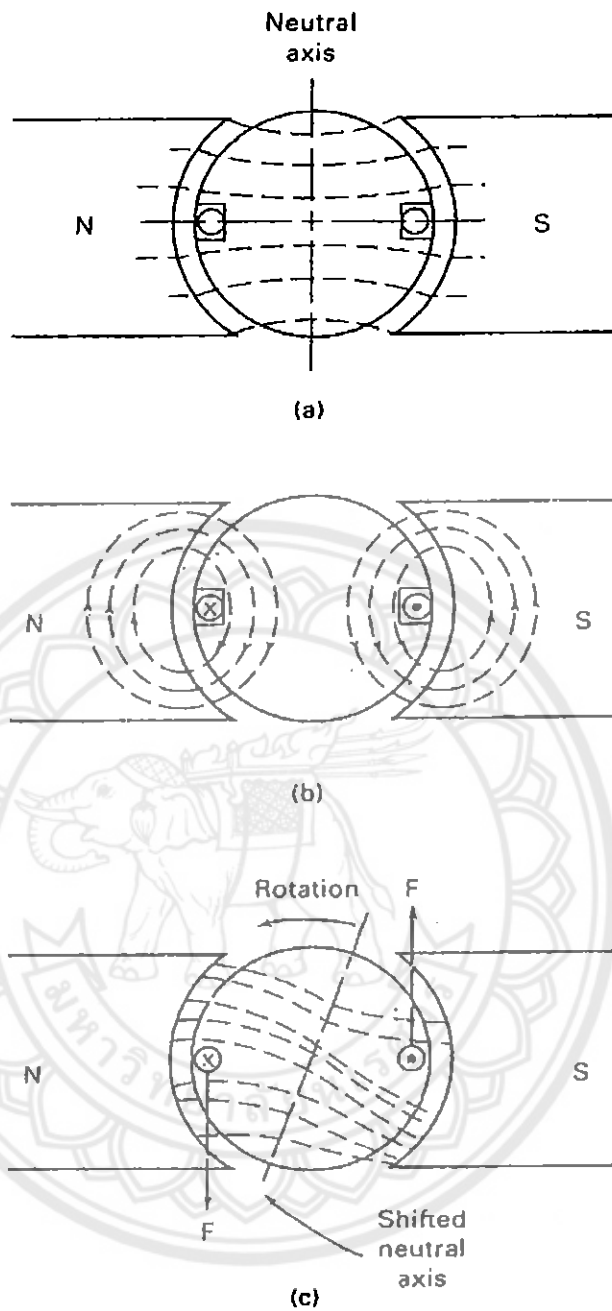
$$F = I l B \sin \theta \quad (2.2)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่าง \vec{l} และ \vec{B}

เราจะพบว่าขนาดของแรงจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\theta = 90^\circ$ นั่นคือทิศการไหลของกระแสในแท่งตัวนำตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็ก เราสามารถเขียนได้ว่า

$$F = I l B \quad (2.3)$$

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการสร้างแรงเพื่อทำให้เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ในมอเตอร์กระแสตรง เมื่อแท่งตัวนำที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (รูป a) มีกระแสไหลผ่าน กระแสจะสร้างสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำ (รูป b) ทำให้สนามแม่เหล็กหลักของมอเตอร์ผิดเพี้ยนไป (รูป c) จึงเกิดแรงกระทำบนแท่งตัวนำที่ทำให้เคลื่อนที่จากบริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กมีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ในที่นี้ความหนาแน่นสูงสุดเกิดขึ้นในบริเวณด้านบนของขดลวดด้านซ้าย (ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ) และด้านล่างของขดลวดด้านขวา (ที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้) จึงเกิดแรงกระทำบนอาร์เมเจอร์ทำให้หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.3 การสร้างแรงบิดจนทำให้อาร์เมเจอร์หมุน [3]
 (a) แท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์วางอยู่ในสนามแม่เหล็กหลัก
 (b) สนามแม่เหล็กที่สร้างจากกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์
 (c) การเกิดแรงกระทำต่อแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์

จากหลักการทำงานของมอเตอร์ แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องแท่งตัวนำดังกล่าว เนื่องจากแท่งตัวนำเหล่านี้มีกระแสไหลผ่าน จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในแท่งตัวนำ ดังนั้นขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนจะเกิดการ ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย แต่การทำงานเป็นมอเตอร์จะมีผล

มากกว่าการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพราะทิศการไหลของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ถูกกำหนดโดยแหล่งจ่ายซึ่งคงที่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะมีทิศตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเพื่อจำกัดค่ากระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่ในระดับที่เพียงพอจะขับโหลด เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ต้านแรงดันแหล่งจ่ายโดยตรง ตามกฎของเลนส์ (Lenz's law) จึงเรียกว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ” (Counter EMF หรือ Back EMF)

ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะถูกสร้างขึ้นในแท่งตัวนำเดียวกันนั้น เพราะแท่งตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการ ทำงานเป็นมอเตอร์ ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ถูกกำหนดโดยกฎมือขวา

จากกฎของโอห์ม เราสามารถคำนวณหากระแสอาร์เมเจอร์ได้จาก

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} \quad (2.4)$$

โดยที่ I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
 V_t คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องจักร มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
 E_a คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
 R_a คือ ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

ในมอเตอร์กระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจำกัดกระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่ในระดับที่โหลดต้องการ ดังนั้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่าย ($=V_t$) โดยทั่วไป แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะมีค่าอยู่ในช่วง 80% ถึง 95% ของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว

จากสมการ (2.4) จะพบว่าผลต่างระหว่างแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะบ่งบอกถึงค่ากำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์ (Armature copper loss) เพราะ

$$V_t - E_a = I_a R_a$$

คูณทั้งสองข้างของสมการด้วย I_a

$$V_t I_a - E_a I_a = I_a^2 R_a$$

จัดรูป

$$V_t I_a - I_a^2 R_a = E_a I_a \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.10) ผลคูณระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับและกระแสอาร์เมเจอร์คือ กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้น (Developed power, P_d) นั่นคือ

$$P_d = E_a I_a \quad (2.6)$$

กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้สามารถคำนวณจากผลต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ $V_a I_a$ และกำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์ $I_a^2 R_a$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับสูงเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้จะทำงานมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับต่ำ ในทางปฏิบัติหลักการนี้นำไปสู่การออกแบบให้ความต้านทานของอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำเพื่อให้กำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำ

2.1.2 แรงบิด

กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าเพียงพอในการขับโหลดทางกลที่เพลลาของมอเตอร์ นอกเหนือไปจากการเอาชนะค่าความสูญเสียทางกลของตัวมอเตอร์เองซึ่งประกอบด้วย กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core losses) แรงต้านของอากาศ (Windage) ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่มอเตอร์หมุน และแรงเสียดทาน (Friction losses) ที่เกิดขึ้นในแบร์ริง (Bearing) ที่รองรับอาร์เมเจอร์

จากการศึกษากลศาสตร์ เรารู้ว่าแรงบิดคำนวณได้จากผลคูณระหว่างแรงและแขนของแรง (Arm) ในกรณีของเครื่องจักรกลไฟฟ้า แขนของแรงคือความยาวของรัศมีของอาร์เมเจอร์

$$T = F \cdot r = IIB \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.7) เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับได้ดังนี้

$$E_a I_a = T\omega \quad (2.8)$$

สมการ (2.8) บ่งบอกกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับกำลังทางกลที่เกิดขึ้น

2.1.3 สมการความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

จากสมการแรงดันไฟฟ้า $E_a = \frac{ZP}{60a} \phi n = k_g \phi n$ และสมการ $E_a = V - I_a R_a$ ค่าความเร็วรอบ n จะได้ว่า

$$V = I_a R_a + \frac{ZP}{60a} \phi n$$

เพราะฉะนั้นค่าความเร็วรอบจึงเท่ากับ

$$n = \frac{V - I_a R_a}{\phi} \frac{60a}{ZP}$$

เมื่อกำหนดให้ $\frac{60a}{ZP}$ เป็นค่าคงที่ สมการความเร็วรอบจึงเท่ากับ

$$n = K_a \frac{V - I_a R_a}{\phi} \quad (2.9)$$

กำหนดให้ n คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

V คือ แรงดันแหล่งจ่าย มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

I_a คือ กระแสไฟฟ้าทางด้านอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

R_a คือ ความต้านทานทางด้านอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์ (Wb)

K_a คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $\frac{60a}{ZP}$

จากสมการข้างต้นในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นจะมีตัวแปรที่สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์คือ

ก) การปรับความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Armature Resistance)

$$n = K_a \frac{V - I_a R_a}{\phi}$$

จากสมการข้างต้นเมื่อกำหนดให้ ϕ มีค่าคงที่การปรับค่าความต้านทานนั้นจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแรงดันก็จะส่งผลถึงความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยกล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มค่าความต้านทานแรงดันเมื่อผ่านตัวต้านทานก็มีค่าลดลงส่งผลให้ความเร็วรอบลดลง

ข) การปรับวงจรสนาม (Field Current)

เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับกระแสสนามหรือสนามแม่เหล็ก ϕ

$$n = K_a \frac{V - I_a R_a}{\phi}$$

ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์คงที่จะเห็นว่า ความเร็วของมอเตอร์จะแปรผกผันกับเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ)

$$n \propto \frac{1}{\phi}$$

เมื่อทำให้เส้นแรงแม่เหล็กลดลง ความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นแต่ถ้าทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นความเร็วของมอเตอร์จะลดลงการปรับความเร็วของรอบมอเตอร์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ปรับความเร็วอย่างละเอียดสามารถปรับความเร็วได้หลายระดับ ช่วงพิกัดความเร็วปรับได้กว้าง และ

ให้ประสิทธิภาพสูง ภายหลังจากตัดตัวต้านทานเริ่มหมุนออกจากอาร์เมเจอร์เรียบร้อยแล้วความเร็วรอบอาจปรับให้สูงขึ้นได้แต่ไม่สามารถปรับให้ลดลงได้

ค) แรงดันอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage)

$$n = K_a \frac{V - I_a R_a}{\phi}$$

ถ้าให้ R_a และ ϕ คงที่ความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับค่าโวลต์

$$n \propto V$$

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีปรับขนาดของค่าแรงดันอาร์เมเจอร์นี้มีข้อเสียตรงที่พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานเริ่มหมุนและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงภาระเล็กน้อยก็จะส่งผลให้ความเร็วมันเปลี่ยนแปลงอีกด้วย

นอกจากการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงด้วยการปรับความต้านทานอาร์เมเจอร์ การปรับวงจรสนาม และแรงดันอาร์เมเจอร์ ยังสามารถนำวงจรคุมค่าแรงดันมาช่วยในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ โดยการปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

2.1.4 การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

ทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงสามารถควบคุมได้ 3 ลักษณะ คือ ทิศตามเข็มนาฬิกา ทิศทวนเข็มนาฬิกา และหยุดหมุน การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง ทำได้โดย เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุน ให้จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ ทิศทางการจ่ายไฟจะเป็นตัวควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์ ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ ทำได้โดยการจ่ายไฟกลับทิศให้กับมอเตอร์ และถ้าต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนให้หยุดจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์

ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีการควบคุมทิศการหมุนอย่างง่าย ด้วยการต่อวงจรแบบวงจรเอชบริดจ์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยมนานในปัจจุบัน ด้วยวิธีการที่ง่ายและไม่ซับซ้อนของวงจร กลุ่มโครงการจึงได้เลือกใช้วงจรเอชบริดจ์มาใช้ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง โดยจะกล่าวถึงในบทต่อไป

2.2 วงจรเอชบริดจ์

วงจรเอชบริดจ์ (H-Bridge) เป็นวงจรการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้สวิตช์อย่างง่าย เป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อนมาก และมีอุปกรณ์น้อยชิ้น ประกอบไปด้วยสวิตช์ 4 ตัว และมอเตอร์ที่เป็นโหลด แสดงดังรูปที่ 2.4 การจ่ายแรงดันให้มอเตอร์ ซึ่งในสภาวะปกติ สวิตช์ทุกตัวจะอยู่ที่ตำแหน่งเปิดวงจร (off) หรือสวิตช์ปิดนั่นเอง ซึ่งจะไม่มีกระแสไหลในวงจร

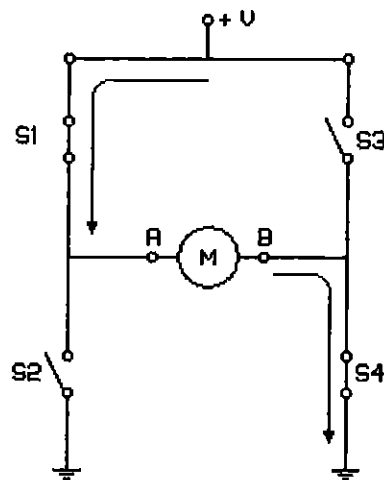
วงจรเอชบริดจ์ ประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว คือ S1, S2, S3 และ S4 และมีมอเตอร์กระแสตรง เป็นภาระต่ออยู่ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้วงจรเอชบริดจ์

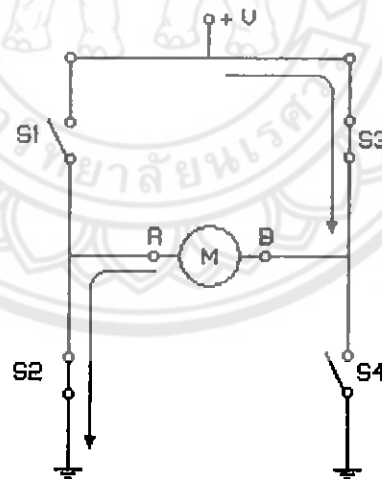
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรเอชบริดจ์

ในวงจรเอชบริดจ์ จะเริ่มพิจารณาที่สวิตช์ S1 และ S4 โดยทำการปิดวงจร (on) ที่ S1 และ S4 จะเห็นได้ว่าเกิดมีการครบวงจรเกิดขึ้น โดยเส้นทางการไหลของกระแส แสดงดังรูปที่ 2.5 กระแสไหลจากขั้ว A ไปยังขั้ว B ของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางแรกแล้ว ทำให้การเปิดวงจรที่ S1 และ S4 ให้อยู่ในสภาวะเปิดวงจรเหมือนดังรูปที่ 2.4



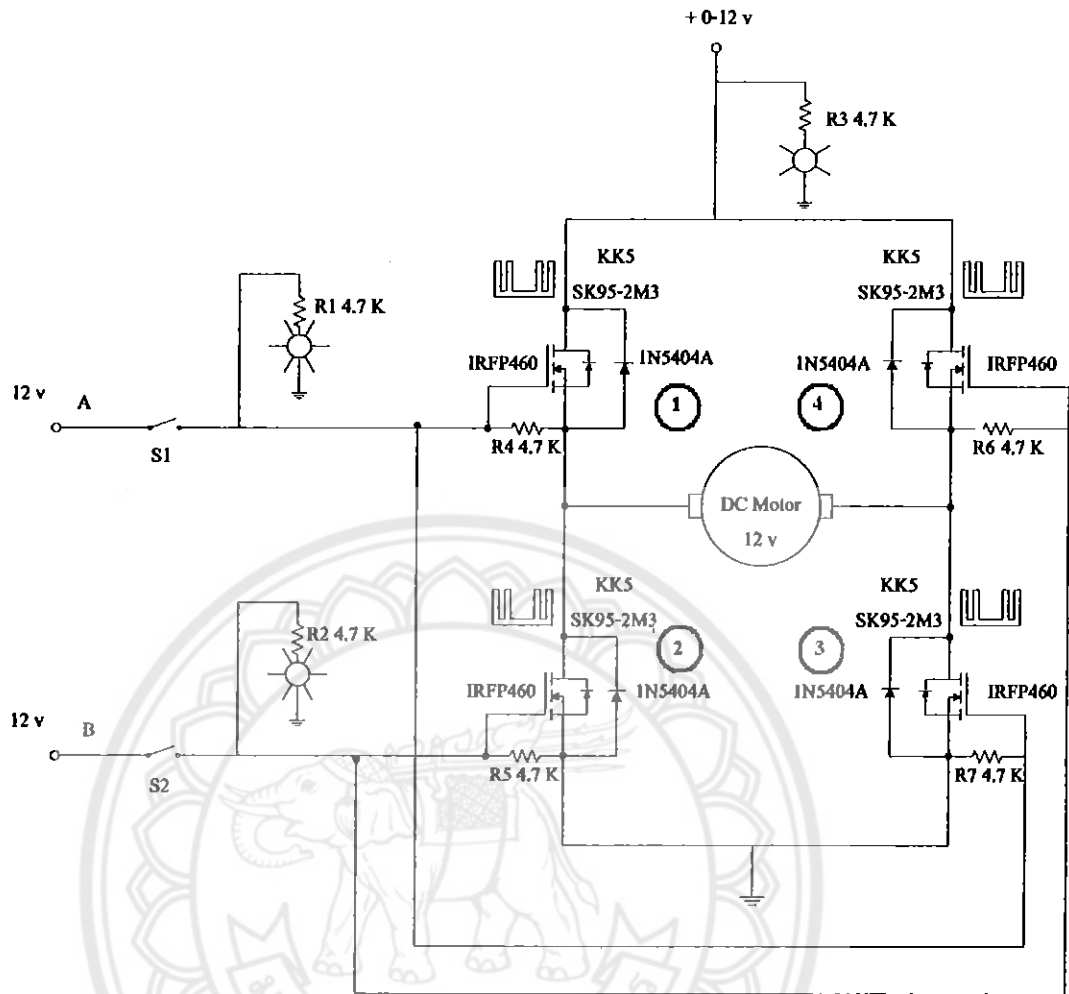
รูปที่ 2.5 แสดงทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์กระแสตรง

หลังจากนั้นเริ่มพิจารณาที่สวิตช์ S2 และ S3 ทำการปิดวงจร (on) ที่ S2 และ S3 จะเห็นว่าเกิดมีการครบวงจรเกิดขึ้น โดยเส้นทางไหลของกระแส แสดงดังรูปที่ 2.6 กระแสไหลจากขั้ว B ไปยังขั้ว A ของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน แต่จะหมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางแรก



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์กระแสตรง

จากทฤษฎีและคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าการควบคุมทิศทางมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรเอชบริดจ์เป็นวิธีที่ง่ายต่อการควบคุม ดังนั้นโครงการนี้จึงเลือกวิธีการควบคุมทิศทางมอเตอร์กระแสตรงจากวงจรเอชบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรเอชบริคจ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

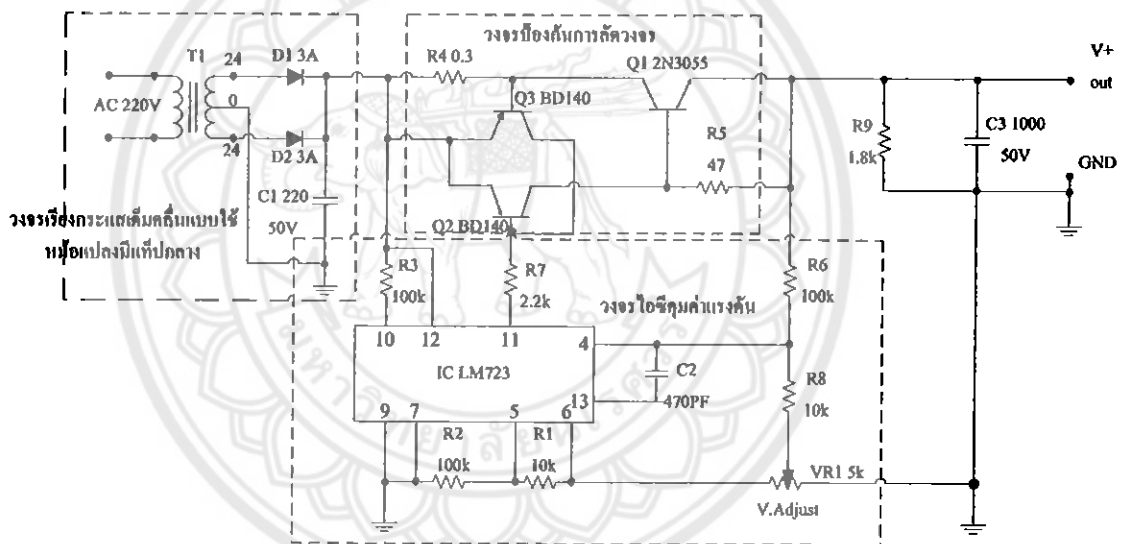
จากรูปที่ 2.7 เมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้าที่จุด A จะทำให้มีแรงดันตกคร่อมขาเกตของมอสเฟตตัวที่ 1 และมีแรงดันตกคร่อมขาเกตของมอสเฟตตัวที่ 3 ทำให้มอสเฟตตัวที่ 1 และมอสเฟตตัวที่ 3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่านขาเดรนและซอร์สของมอสเฟตตัวที่ 1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขาเดรนและซอร์สของมอสเฟตตัวที่ 3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

จากนั้นเมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้าที่จุด B จะทำให้มีแรงดันตกคร่อมขาเกตของมอสเฟตตัวที่ 2 และมีแรงดันตกคร่อมขาเกตของมอสเฟตตัวที่ 4 ทำให้มอสเฟตตัวที่ 2 และมอสเฟตตัวที่ 4 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย ผ่านขาเดรนและขาซอร์สของมอสเฟตตัวที่ 2 ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขาเดรนและซอร์สของมอสเฟตตัวที่ 4

ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทางตรงข้ามกับกรณีแรก

2.3 วงจรคุมค่าแรงดัน

วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage regulator) คือวงจรที่ต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไม่คงที่กับโหลด มีหน้าที่จ่ายไฟตรงให้กับโหลดและสามารถรักษาแรงดันให้คงตัวขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (กระแสด้านออกเปลี่ยน) อุดมภูมิของวงจร แรงดันของแหล่งจ่ายไฟไม่คงที่ เป็นคั่น ภายในวงจรคุมค่าแรงดัน (รูปที่ 2.8) ยังประกอบไปด้วยวงจรย่อยอีก 3 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) วงจรไอซีคุมค่าแรงดัน (General purpose regulator) และวงจรป้องกันการลัดวงจร (Short-circuit protector)



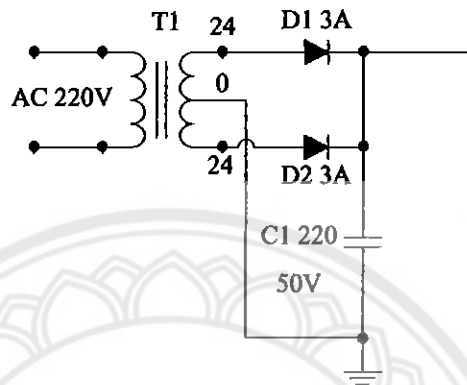
รูปที่ 2.8 วงจรภายในวงจรคุมค่าแรงดัน

2.3.1 หลักการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน

- 1) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง (Full-wave centered tap rectifier) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC voltage) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC voltage) ที่ด้านออกของวงจร และสามารถเรียงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ออกทางด้านออก ได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดัน ไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่ด้านเข้าของวงจร โดยไม่มีส่วนใดของแรงดันไฟ

กระแสสลับถูกตัดทิ้งไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟกระแสสลับเป็นสัญญาณไฟกระแสตรงโดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท่งปกกลาง (Center tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดการต่างเฟสกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายกระแสได้เรียบและสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท่งปกกลาง

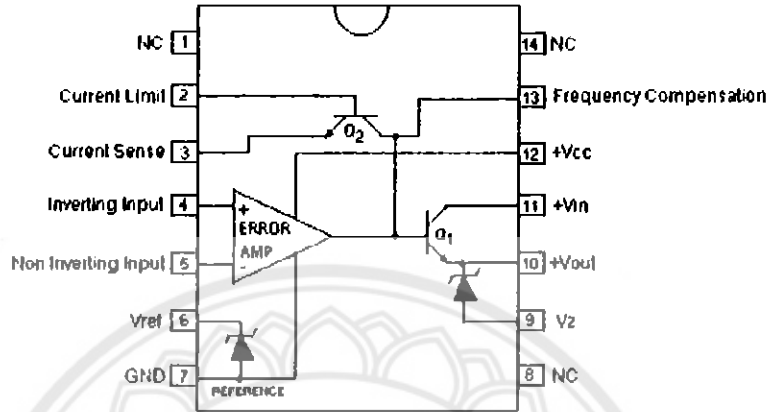
จากรูปที่ 2.9 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท่งปกกลาง เมื่อมีแรงดันไฟกระแสสลับ V_N ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันไฟกระแสสลับขึ้นที่ขั้วบนและขั้วล่างของขดลวดทุติยภูมิที่แท่งปกกลางของหม้อแปลงจะกำหนดให้มีแรงดัน 0 V ดังนั้นแรงดันครึ่งหนึ่งจึงเกิดที่แท่งปกกลางกับขั้วด้านบนของหม้อแปลง และอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่แท่งปกกลางกับอีกขั้วด้านล่างของหม้อแปลง โดยระหว่างขั้วด้านบนและขั้วด้านล่างจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำงานของวงจรเมื่อขั้วบนของขดลวดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นบวก ขั้วล่างมีแรงดันเป็นลบ ไดโอด D1 จะได้รับไบอัสตรง นำกระแสมีกระแสไหลผ่าน ไดโอดผ่าน โหลด C1 ไปครบวงจรที่ขั้วแท่ง ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด C1 เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่น

ในช่วงเวลาต่อมา ขั้วบนของขดลวดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นลบ ขั้วล่างมีค่าแรงดันเป็นบวก ไดโอด D2 จะได้รับไบอัสกลับ ไดโอด D2 ได้รับไบอัสตรงเกิดการนำกระแส มีกระแสไหลผ่าน ไดโอดผ่าน โหลด C1 ไปครบวงจรที่ขั้วแท่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด C1 เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่นด้านบวก

2) วงจรไอซีคุมค่าแรงดัน

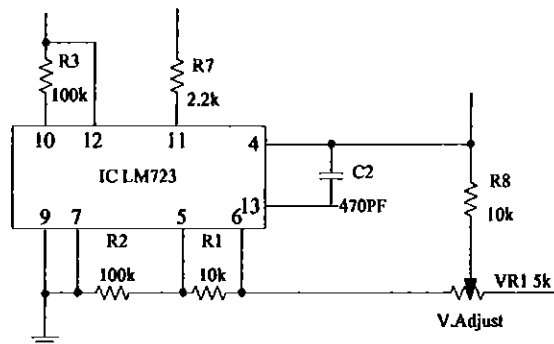
วงจรแหล่งจ่ายไฟที่นิยมกันมากในปัจจุบัน คือวงจรคุมค่าแรงดันโดยใช้ไอซีเพราะว่าสามารถออกแบบง่าย ใช้งานได้ครอบคลุม ครบถ้วน และสามารถจ่ายกระแสได้สูง ทั้งยังสามารถจ่ายแรงดันที่คุมค่าได้และปรับค่าได้ทั้งด้านลบและด้านบวก สามารถขยายกระแสด้วยออกได้จาก

วงจรทรานซิสเตอร์ภายนอก ลักษณะวงจรสมมูลภายในประกอบด้วยออปแอมป์ที่ใช้ทำวงจรคุมค่าแรงดันหลายตัว ซึ่งสามารถแยกออกได้ 4 ส่วน คือ แรงดันอ้างอิง วงจรขยายค่าผิดพลาด ทรานซิสเตอร์ขยายกระแส และการจำกัดค่ากระแส แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลภายในและขาต่าง ๆ

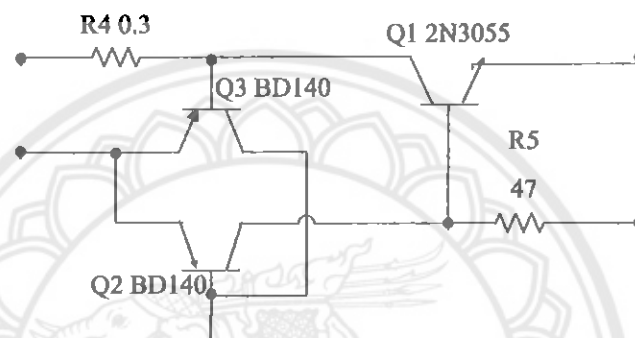
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรคุมค่าแรงดันทำหน้าที่ควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับระดับแรงดัน (VR1) เพื่อให้วงจรทำงานจนได้แรงดันด้านออกตามที่ต้องการ ทั้งนี้ วงจรสามารถปรับแรงดันด้านออกได้ตั้งแต่ 0-30 V และใช้ R1 เป็นตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งต่อระหว่างด้านเข้าไม่กลับเฟสสัญญาณ (NI, ขา 5) กับแรงดันอ้างอิง (V_{ref} , ขา 6) ซึ่งแรงดันอ้างอิงจะมีแรงดันที่ออกมา 7 V เมื่อไบอัส $+V_{cc}$ และ $-V_{EB}$ สำหรับขา 1, 14 และ 8 เป็นขา NC (Not Connected) ด้านแรงดันด้านออกคือ ขา 10 (V_{out}) ขาแรงดันไบอัสบวกคือ V^+ และ ไบอัสลบคือ V^- ที่ขา 12 และ 7 ตามลำดับ ส่วน R2 จะต่อลงกราวด์จากขาเข้าไม่กลับเฟสสัญญาณและวงจรป้อนกลับจะใช้ R3 เป็นตัวป้อนกลับ



รูปที่ 2.11 วงจร ไอซีคุมค่าแรงดัน

3) วงจรป้องกันการลัดวงจร

วงจรป้องกันการโอเวอร์โวลด์หรือการลัดวงจรทางด้านออก เป็นวงจรที่ทำหน้าที่โดยใช้ R4 เป็นตัวตรวจสอบปริมาณการไหลของกระแสไม่ให้สูงกว่าค่าที่กำหนด หากกระแสที่ไหลผ่านจนทำให้แรงดันตกคร่อม R4 สูงถึง 0.6 V ก็จะทำให้ Q3 ทำงาน และกระแสไบอัสระหว่าง เบส-อีมิทเตอร์ Q2 ทำให้ Q2 หยุดทำงาน จึงทำให้ไม่มีแรงดันไบอัสจ่ายให้กับเบสของ Q1 ยังส่งผลทำให้ Q1 หยุดทำงานด้วย แรงดันด้านออกที่ได้ก็จะเบี่ยงหรือลดลงไปสัก ๆ ศูนย์ แสดงดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรป้องกันการลัดวงจร

จากวงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดัน ที่นำมาควบคุมทิศการหมุนและควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งจากวงจรเราสามารถปรับค่าแรงดันด้านออกที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 0-30 V, 2 A ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เป็นไปตามการจ่ายค่าแรงดันเข้าไปให้กับมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งการสร้างวงจรการทำงานของวงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดันจะได้กล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

การสร้างวงจรควบคุมการทำงาน

จากการศึกษาการควบคุมทิศการหมุนและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง ในบทที่ 2 จะพบว่า การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์จะต้องอาศัยวงจรเอชบริดจ์ในการควบคุมการทำงานและการควบคุมความเร็วรอบต้องอาศัยวงจรมอเตอร์ค่าแรงดันในการควบคุมการทำงาน ดังนั้นในบทนี้จึงได้อธิบายถึงกระบวนการสร้างวงจรเอชบริดจ์และวงจรมอเตอร์ค่าแรงดัน

3.1 วงจรเอชบริดจ์

วัตถุประสงค์ของการออกแบบวงจรเอชบริดจ์เพื่อนำวงจรนี้ไปใช้ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

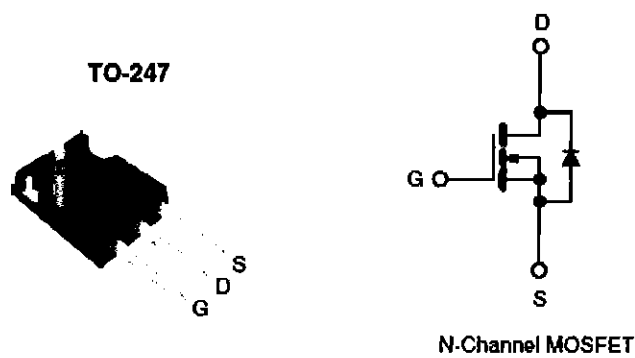
3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรเอชบริดจ์

- ก) ออกแบบวงจรเอชบริดจ์ โดยการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ
- ข) ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวงจรมอเตอร์ทำงานของมอเตอร์เฟส ใด โอด และตัวต้านทานจัดซื้ออุปกรณ์
- ค) ต่อยังตามแบบที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบมา โดยการต่อยังเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard) และทดลองการทำงาน
- ง) ใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าแรงดันและกระแสที่ด้านออก
- จ) นำวงจรเอชบริดจ์ที่สมบูรณ์แล้วไปลงลายละเอียดในแผ่น PCB

3.1.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรเอชบริดจ์

- ก) มอเตอร์

ในวงจรนี้ใช้มอเตอร์ หมายเลข IRFP460 เป็นชนิด N-channel (รูปที่ 3.1) ที่สามารถทนกระแสได้ที่สูง มีแรงดันตกคร่อมน้อย และมีความเร็วในการสวิตช์นำกระแสและหยุดนำกระแสได้รวดเร็ว



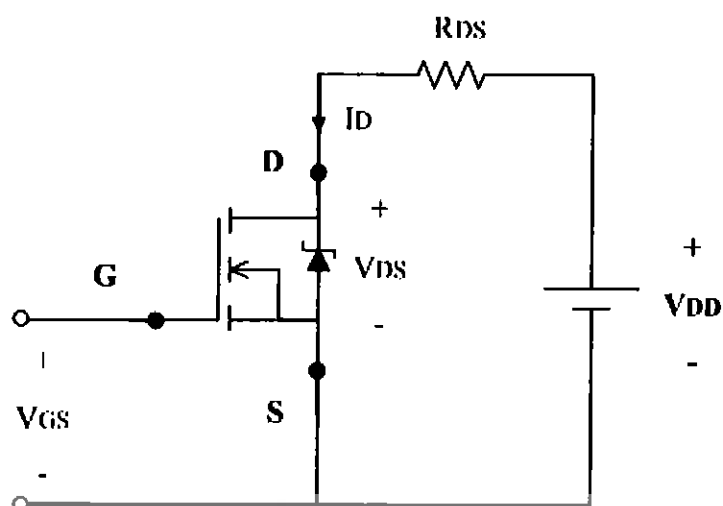
รูปที่ 3.1 รูปและขาต่าง ๆ ของ IRFP460

พิกัดต่าง ๆ IRFP460 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พิกัดต่าง ๆ ของ IRFP460

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันขาเดรน	V_{DS}	500	V
แรงดันขาเกต	V_{GS}	± 30	V
กระแสขาเดรน	$I_D (T = 25^\circ)$	20 (at $V_{GS} = 10$)	A
	$I_D (T = 100^\circ)$	13 (at $V_{GS} = 10$)	A
ความต้านทานขาเดรน	R_{DS}	0.27 (at $V_{GS} = 10$)	Ω

หลักการทํางาน IRFP460 แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ทํางานด้วยหลักการของคุณสมบัติตัวเก็บประจุเนื่องจากเกตของคิมอสเฟตเป็นโลหะและมีฉนวน (ซิลิกอนไดออกไซด์) กั้นกลางระหว่างเพลทของเกตกับเซนเนลของคิมอสเฟต เพื่อให้แรงดันเกตเป็นลบ ($-V_{GS}$) จะเกิดประจุลบที่เกตและประจุบวกที่เซนเนลภายในตัว คิมอสเฟตประจุบวกนี้จะทำให้ทางเดินของกระแสในเซนเนลระหว่างเดรนกับซอร์สแคบลงทำให้กระแสเดรน (I_D) ไหลได้น้อย แต่ถ้าให้ $V_{GS} = 0$ V กระแสเดรนจะไหลได้สูงสุด ดังนั้นจึงสามารถควบคุมกระแสเดรน (I_D) ได้ด้วยค่าแรงดันที่เกตระหว่างค่าของ V_{GS} เท่ากับ $V_{GS(on)}$ จนถึง 0 V รายละเอียดของ IRFP460 สามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ก



รูปที่ 3.2 วงจรการใช้งานมอสเฟต

ข) ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

ในวงจรนี้ใช้ซีเนอร์ไดโอด หมายเลข 1N5404 (รูปที่ 3.3) เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดธรรมดาทั่วไป แต่ไดโอดธรรมดาทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันทลาย (Breakdown voltage) จะทำให้เกิดการเสียหายได้ สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิกอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนทั้งสองของสารพีและเอ็นมีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้ค่าแรงดันทลายสูง และค่าแรงดันทลายหรือแรงดันซีเนอร์สามารถกำหนดได้ด้วยการควบคุมความหนาแน่นของสารเจือปนและเมื่อให้ไบอัสกลับจะสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงโดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่ รายละเอียดของ 1N5404 แสดงดังตารางที่ 3.2 และสามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ข



รูปที่ 3.3 ลักษณะซีเนอร์ไดโอด

ตารางที่ 3.2 พิกัดต่าง ๆ ของ 1N5404

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันย้อนกลับ	V_{RRM}	400	V
แรงดันเฉลี่ยกำลังสอง	V_{RMS}	280	V
แรงดันกระแสตรง	V_{DC}	400	V
กระแสเฉลี่ย	I_o	3	A

ค) ตัวต้านทาน (Resistor)

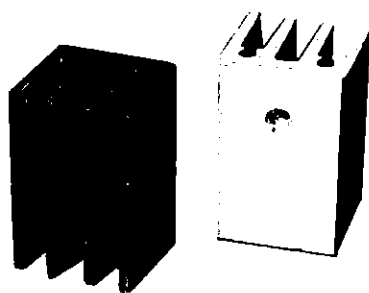
ในวงจรนี้ใช้ค่าความต้านทาน $4.7 \text{ k}\Omega$ ขนาด 1 W (รูปที่ 3.4) ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดแรงดัน (V_{DD}) และกระแสไฟฟ้า (I_o) ที่ไหลในวงจรเรขาคณิต กล่าวคือเมื่อมีแรงดันผ่านเข้ามายังตัวต้านทานแล้วแรงดันที่ออกมาจะลดลงเล็กน้อย ดังนั้นถ้าค่าความต้านทานมีค่ามาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงมาก (ทำให้แรงดัน ไฟออกมาน้อย) ถ้าค่าความต้านทานมีค่าน้อย จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงได้น้อย

รูปที่ 3.4 ตัวต้านทาน $4.7 \text{ k}\Omega$ ขนาด 1 W

ง) แผ่นระบายความร้อน (Heat sink)

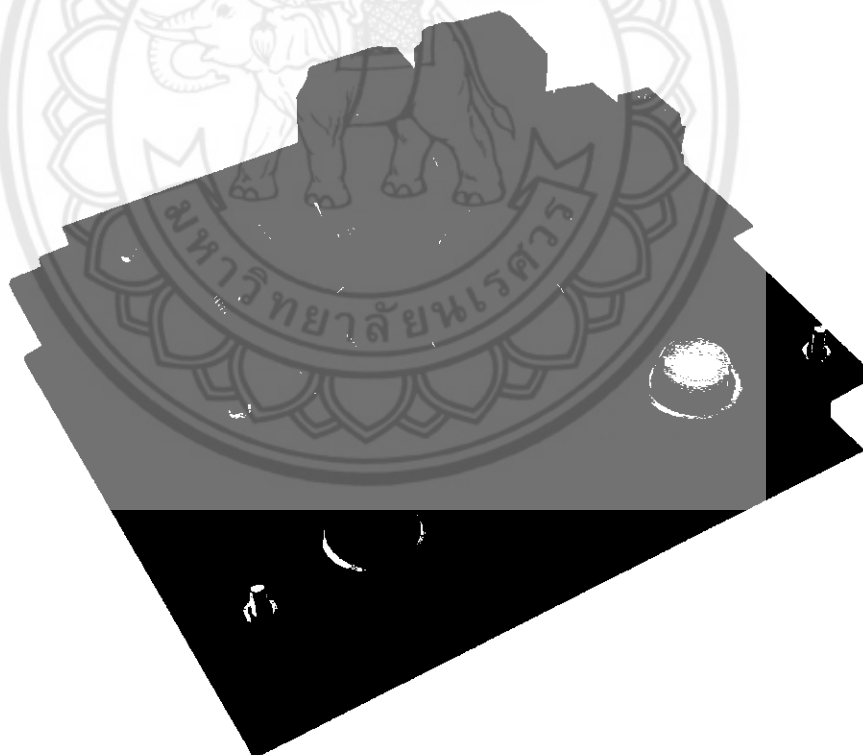
ในวงจรนี้ใช้แผ่นระบายความร้อนแบบฉีดยาเป็นเส้น (Extrude heat sink) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อนให้ทรานซิสเตอร์กำลังหรือมอสเฟตกำลัง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการระบายความร้อนสูงมาก

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้กำลังสูง ๆ จำเป็นต้องได้รับการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวออกไปให้เร็วที่สุด โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนที่ดี มิเช่นนั้นแล้วความร้อนที่เกิดขึ้นหากสูงกว่าอุณหภูมิที่ทนได้ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอาจเสียหายได้ในทันทีหรือความร้อนที่สะสมขึ้นเรื่อย ๆ เป็นเวลานานหลาย ๆ ครั้งจะทำให้อุปกรณ์นั้นมีอายุการใช้งานสั้นลง



รูปที่ 3.5 ลักษณะแผ่นระบายความร้อน

หลังจากเลือกอุปกรณ์และทดสอบการทำงานของวงจรบน โปรโตบอร์ดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว
จึงนำมาประกอบลงบนแผงวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรเอชบริคจ์



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ภายในวงจรเอชบริดจ์

3.2 วงจรคุมค่าแรงดัน

วัตถุประสงค์ในการสร้างวงจรคุมค่าแรงดันคือ เพื่อเป็นตัวปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรเอชบริดจ์ ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรคุมค่าแรงดัน

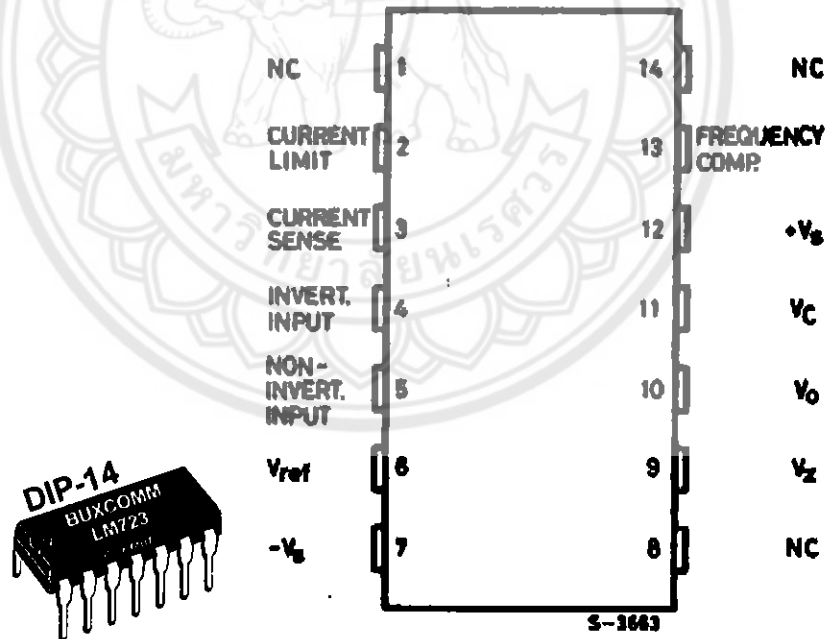
- ก) ออกแบบวงจรคุมค่าแรงดัน โดยการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ
- ข) ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวงจรควบคุมการทำงานของไอซี ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทานและหม้อแปลง จัดซื้ออุปกรณ์
- ค) ต่อยังตามแบบที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบมา โดยการต่อยังเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard) และทดลองการทำงาน
- ง) ใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าแรงดันความเร็วรอบของมอเตอร์
- จ) ใช้มาตรวัดความเร็วรอบ (Tachometer) วัดความเร็วรอบของมอเตอร์
- ช) นำวงจรคุมค่าแรงดันที่สมบูรณ์แล้วไปลงรายละเอียดในแผ่น PCB

3.2.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรคุมค่าแรงดัน

ก) ไอซีคุมค่าแรงดัน

ในวงจรนี้ใช้ไอซี หมายเลข LM723 เป็นไอซีคุมค่าแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันได้ เป็นไอซีคุมค่าแรงดันแบบอนุกรม จะจ่ายกระแสค่านอกได้สูงสุดถึง 150 mA สามารถนำไปต่อร่วมกับทรานซิสเตอร์กำลังภายนอกได้ เพื่อเพิ่มการจ่ายกระแสให้โหลด โดยสามารถควบคุมกระแสได้ถึง 10 A รับแรงดันด้านเข้าได้สูงสุด 40 V ปรับแรงดันด้านออกจาก 2 V ถึง 37 V การทำงานของไอซีเป็นแบบเชิงเส้นหรือแบบสวิตซิงก็ได้ รูปร่างไอซี ขาต่อใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.8

แผนภาพวงจรภายในของ LM723 แสดงดังรูปที่ 3.9 วงจรสมมูลประกอบด้วยออปแอมป์ขยายแรงดันอ้างอิง ออปแอมป์ขยายสัญญาณผิดพลาด ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรม และทรานซิสเตอร์จำกัดกระแส เพื่อป้องกันการคั่งกระแสมากเกินไป การนำ LM723 มาต่อเป็นวงจรรักษาแรงดัน เหมือนกับการใช้ไอซีออปแอมป์ทำงาน พิกัดต่าง ๆ ของ LM723 แสดงดังตารางที่ 3.3 รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านเพิ่มได้จากภาคผนวก ค



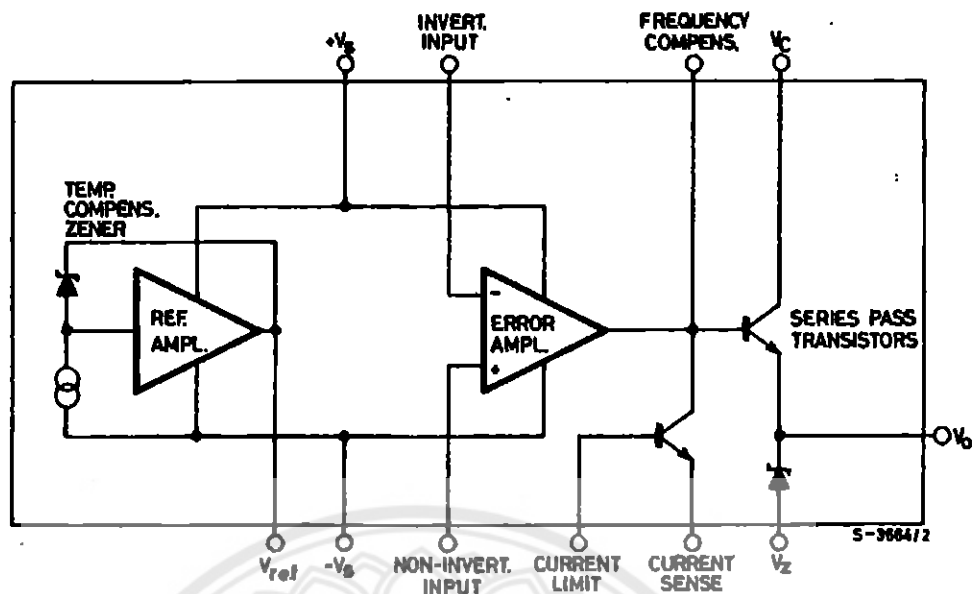
รูปที่ 3.8 รูปและขาต่าง ๆ ของ LM723

15736625

ร/ร.

๑๔๑๓๗

๒๕๕๒



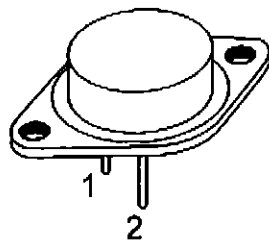
รูปที่ 3.9 แผนภาพวงจรภายในของ LM723

ตารางที่ 3.3 พิกัดต่างๆ ของ LM723

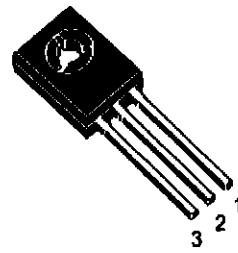
พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันด้านเข้า	V_i	40	V
แรงดันตก	ΔV_{I-O}	40	V
กระแสด้านออก	I_o	150	mA
กระแสเฉลี่ย	I_{ref}	15	mA

ข) ทรานซิสเตอร์

ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ หมายเลข Q2N3055 และ BD140 ชนิด PNP (รูปที่ 3.10) เพื่อควบคุมแรงดันที่จ่ายออกมา และเพิ่มการจ่ายกระแสให้โหลดได้เพิ่มขึ้น พิกัดต่างๆ ของ Q2N3055 และ BD140 แสดงดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ และรายละเอียดของทรานซิสเตอร์ทั้งสองสามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ง และภาคผนวก จ ตามลำดับ



TO-3



SOT-32

รูปที่ 3.10 ลักษณะของทรานซิสเตอร์ Q2N3055 (ชาย) และ BD140 (ขวา)

ตารางที่ 3.4 พิกัดต่าง ๆ ของ Q2N3055

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันคอลเลกเตอร์-เบส ($I_E=0$)	V_{CE0}	100	V
แรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ($R_{BE} \leq 100 \Omega$)	V_{CER}	70	V
แรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ($I_B=0$)	V_{CE0}	60	V
แรงดันอิมิตเตอร์-เบส ($I_C=0$)	V_{BE0}	7	V
กระแสคอลเลกเตอร์	I_C	15	A
กระแสเบส	I_B	7	A

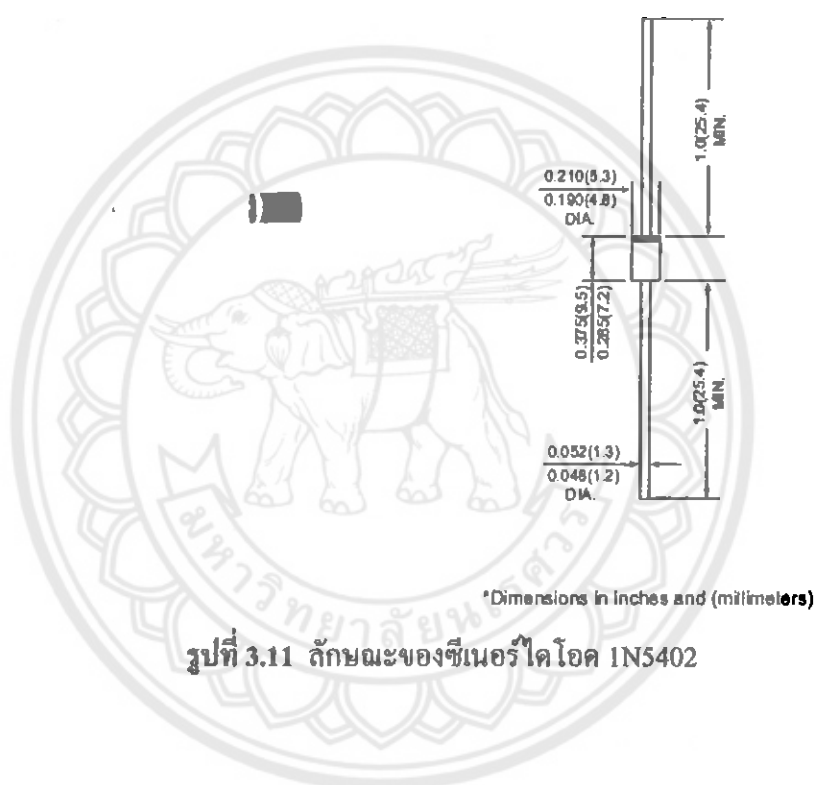
ตารางที่ 3.5 พิกัดต่าง ๆ ของ BD140

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันคอลเลกเตอร์-เบส ($I_E = 0$)	V_{CE0}	100	V
แรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ($R_{BE} \leq 100 \Omega$)	V_{CER}	70	V
แรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ($I_B = 0$)	V_{CE0}	60	V
แรงดันอิมิตเตอร์-เบส ($I_C = 0$)	V_{BE0}	7	V
กระแสคอลเลกเตอร์	I_C	15	A
กระแสเบส	I_B	7	A

ค) ซีเนอร์ไดโอด

ในวงจรนี้ใช้ซีเนอร์ไดโอด หมายเลข 1N5402 (รูปที่ 3.11) เพื่อรักษาแรงดัน และสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดจะทำให้ค่าแรงดันทลายสูง เมื่อไบอัสกลับจะสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงโดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่ พิกัดต่าง ๆ ของ 1N5402 แสดงดังตารางที่ 3.6 รายละเอียดของ 1N5402 สามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ข

DO-201AD



รูปที่ 3.11 ลักษณะของซีเนอร์ไดโอด 1N5402

ตารางที่ 3.6 พิกัดต่าง ๆ ของ 1N5402

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันย้อนกลับ	V_{RRM}	200	V
แรงดันเฉลี่ยกำลังสอง	V_{RMS}	140	V
แรงดันกระแสตรง	V_{DC}	200	V
กระแสเฉลี่ย	I_O	3	A

ง) ตัวต้านทาน

ในวงจรนี้ใช้ค่าความต้านทาน $1.8\text{ k}\Omega$, $2.2\text{ k}\Omega$, $5\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$ และ $100\text{ k}\Omega$ ขนาด 1 W และ $0.3\text{ k}\Omega$ ขนาด 5 W (รูปที่ 3.12) ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อมีแรงดันผ่านเข้ามายังตัวต้านทานแล้วแรงดันที่ออกมาจะลดลงเล็กน้อย ดังนั้นถ้าค่าความต้านทานมีค่ามาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงมาก (ทำให้แรงดันออกมาน้อย) ถ้าค่าความต้านทานมีค่าน้อย จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงได้น้อย



(ก) ตัวต้านทานชนิดคาร์บอน

(ข) ตัวต้านทานชนิดลวดพัน

รูปที่ 3.12 ลักษณะของตัวต้านทาน

จ) ตัวต้านทานปรับค่าได้

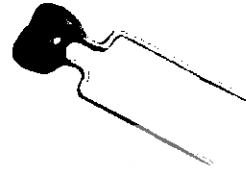
ในวงจรนี้ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR1) แบบสองชั้น (รูปที่ 3.13) ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนมายังไอซี หมายเลข LM723 เพื่อให้วงจรทำงานจนได้แรงดันด้านออกที่ต้องการ



รูปที่ 3.13 ลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้

ง) ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ในวงจรนี้ใช้ตัวเก็บประจุขนาด $2200 \mu\text{F}$ และ $100 \mu\text{F}$ 50 V ชนิดอิเล็กโทรไลต์ และขนาด 470 pF 50 V ชนิดเซรามิก ซึ่งมีขนาดเล็ก ไม่มีขั้ว ค่าความจุค่า (รูปที่ 3.14) ตัวเก็บประจุทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า คล้ายกับแบตเตอรี่ แต่จะเก็บกระแสไฟฟ้าได้น้อยกว่า และจะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



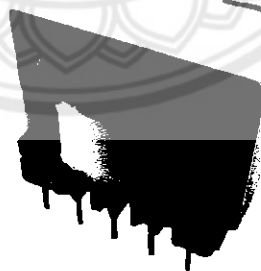
(ก) ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์

(ข) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก

รูปที่ 3.14 ลักษณะของตัวเก็บประจุ

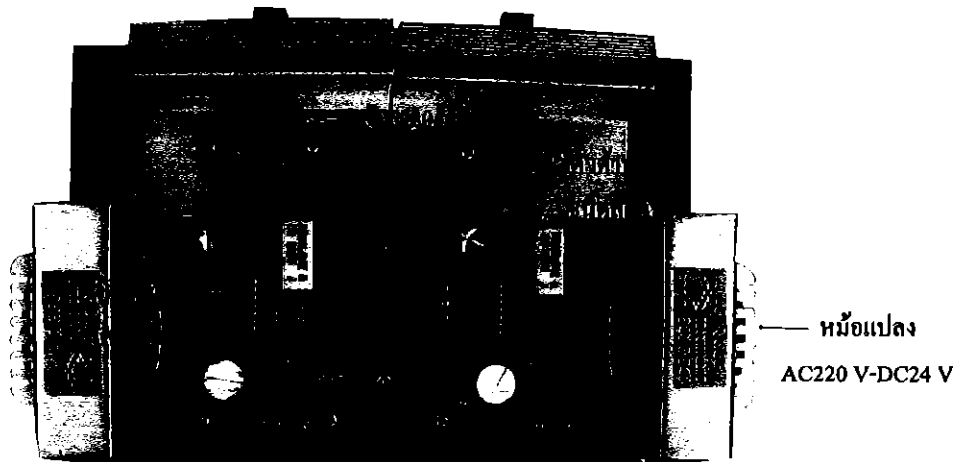
ข) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

ในวงจรนี้เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 220-24 V พิกัดกระแส 3 A (รูปที่ 3.15) ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้า 220 V ให้ลดลงเหลือ 24 V เพื่อนำไปใช้ในการปรับแรงดันที่ป้อนให้กลั้มอเตอร์ ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.15 ลักษณะของหม้อแปลง 220-24 V, 3 A

หลังจากเลือกอุปกรณ์และทำการทดสอบการทำงานของวงจรบน โปรโตบอร์ดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาประกอบบนแผงวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.17



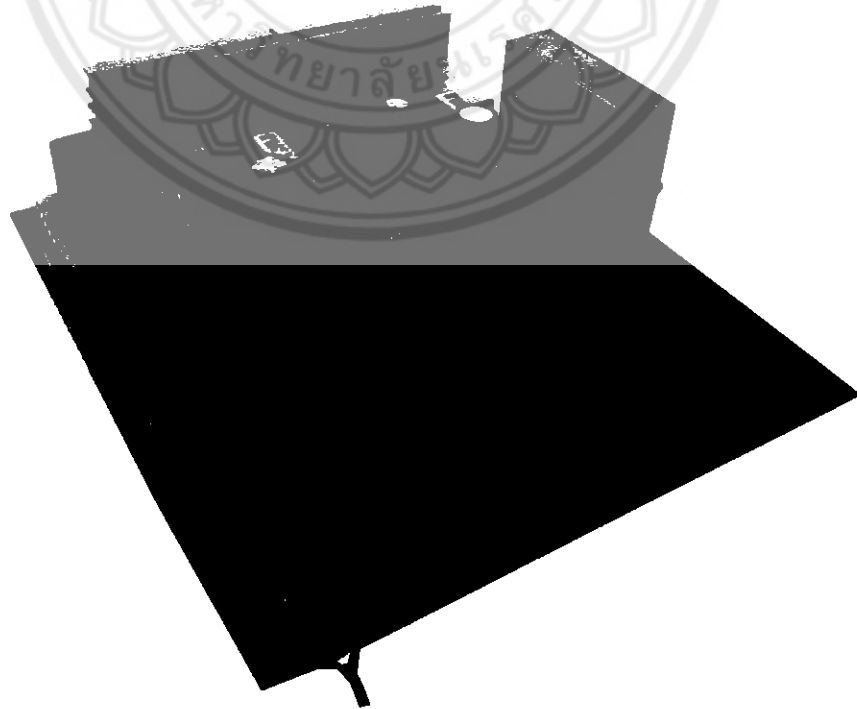
หม้อแปลง

AC220 V-DC24 V



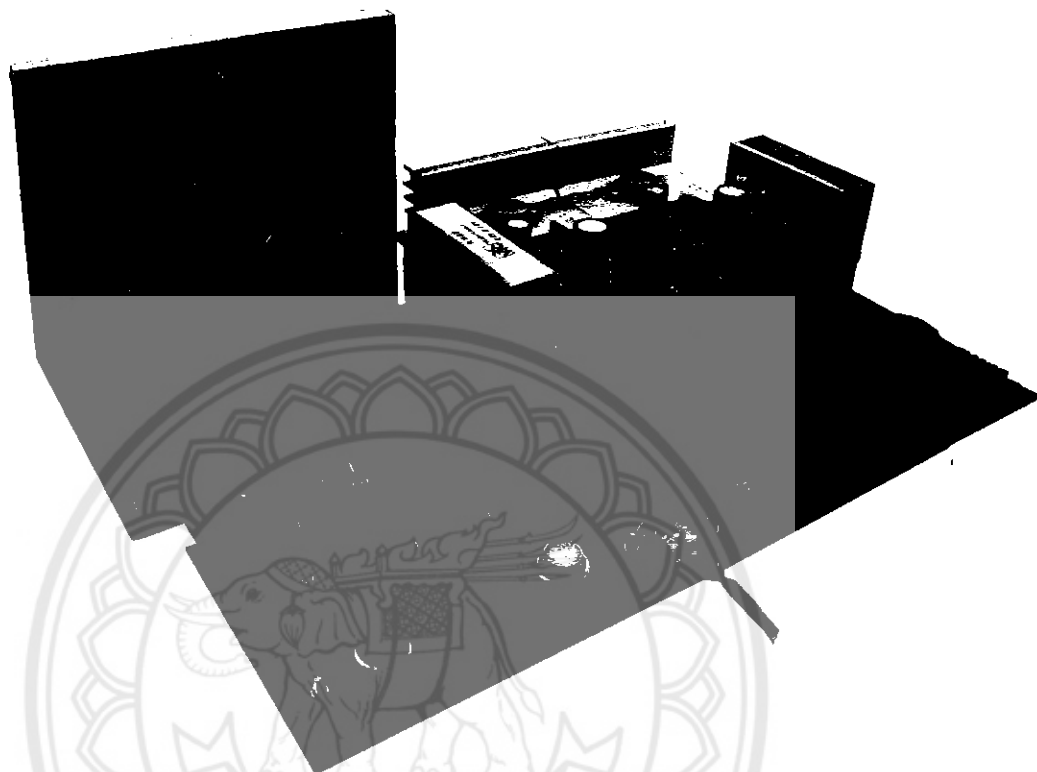
ตัวปรับค่าแรงดัน

รูป 3.16 อุปกรณ์ที่ต่อในวงจรคุมค่าแรงดัน



รูป 3.17 วงจรคุมค่าแรงดัน

ชุดวงจรควบคุมทิศการหมุนและความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงที่สร้างขึ้นใน
โครงการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดัน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาการทำงานวงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดันในบทที่ 2 และการสร้างวงจรการทดลองในบทที่ 3 บันทึกผลการทดลอง โดยการทดลองของโครงการนี้เป็นการทดลองที่ไม่มีโหลด ดังนั้นบทนี้จึงได้อธิบายถึงผลการทดลองที่เกิดขึ้น ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.1 ผลการทดลองการควบคุมทิศการหมุนมอเตอร์

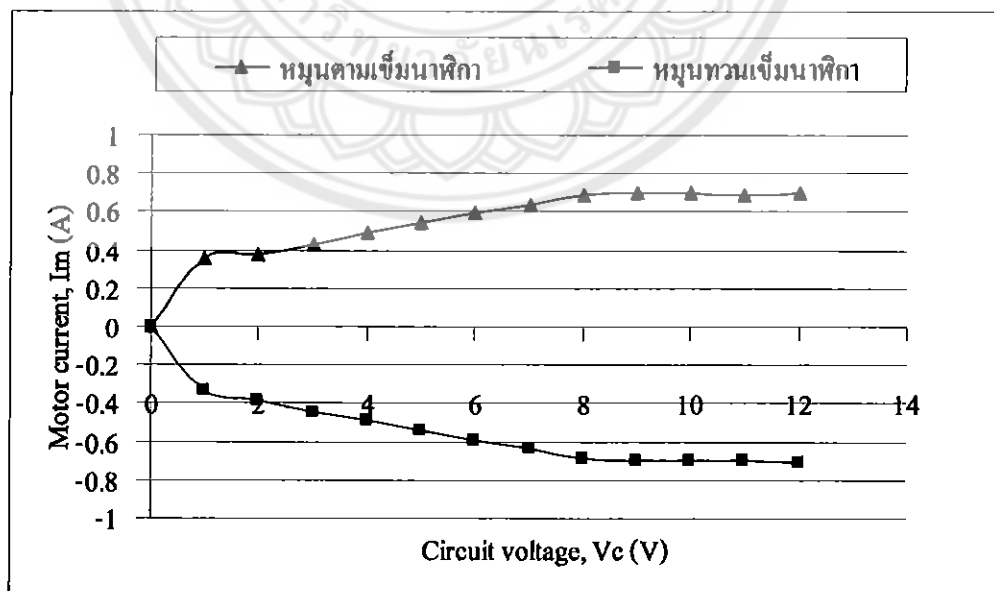
การทดลองในขั้นแรกได้ทดลองการกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้วงจรเอชบริดจ์ โดยทำการวัดค่าแรงดันเทียบกับกระแส ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อ Circuit voltage (V_c) คือแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรเอชบริดจ์ และ Motor current (I_m) คือกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ แล้วนำข้อมูลวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะหมุนตามเข็มนาฬิกา

V_c (V)	I_m (A)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	0	0	0	0	0	0
1	0.32	0.33	0.48	0.33	0.3	0.352
2	0.37	0.37	0.37	0.38	0.37	0.372
3	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.432
4	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.486
5	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.538
6	0.6	0.59	0.58	0.6	0.58	0.59
7	0.65	0.64	0.62	0.64	0.64	0.638
8	0.7	0.69	0.67	0.68	0.68	0.684
9	0.71	0.71	0.69	0.69	0.69	0.698
10	0.72	0.7	0.68	0.69	0.69	0.696
11	0.7	0.7	0.68	0.69	0.69	0.692
12	0.7	0.7	0.69	0.69	0.69	0.694

ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

Vc (V)	Im (A)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	0	0	0	0	0	0
1	-0.3	-0.36	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33
2	-0.39	-0.39	-0.38	-0.38	-0.39	-0.386
3	-0.44	-0.45	-0.44	-0.44	-0.45	-0.444
4	-0.5	-0.5	-0.49	-0.49	-0.49	-0.494
5	-0.55	-0.55	-0.54	-0.54	-0.54	-0.544
6	-0.6	-0.6	-0.59	-0.59	-0.59	-0.594
7	-0.65	-0.65	-0.62	-0.64	-0.63	-0.638
8	-0.69	-0.69	-0.67	-0.69	-0.68	-0.684
9	-0.71	-0.7	-0.69	-0.7	-0.69	-0.698
10	-0.71	-0.7	-0.69	-0.69	-0.69	-0.696
11	-0.71	-0.7	-0.7	-0.69	-0.7	-0.7
12	-0.72	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.704



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของมอเตอร์

จากรูปที่ 4.1 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้วงจรเอชบริดจ์สามารถควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงได้ทั้งทิศตามเข็มนาฬิกาและทิศทวนเข็มนาฬิกา ขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา จะให้ค่ากระแสที่วัดมีค่าเป็นค่าบวก แต่เมื่อมีการกลับทิศการหมุน (มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา) ค่ากระแสที่วัด ได้มีเป็นค่าลบเนื่องจากกระแสไหลสวนทางกับกรณีแรก จากการทดลองจะพบว่าเมื่อป้อนแรงดันให้มอเตอร์มากขึ้น กระแสของมอเตอร์มีค่าสูงขึ้นเพื่อใช้สร้างแรงบิดให้สูงขึ้น ส่งผลให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น แต่ที่ระดับแรงดันสูงกว่า 8 V กระแสมีค่าคงที่ เนื่องจากถึงขีดจำกัดในการสร้างกระแสของมอเตอร์

4.2 ผลการทดลองการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

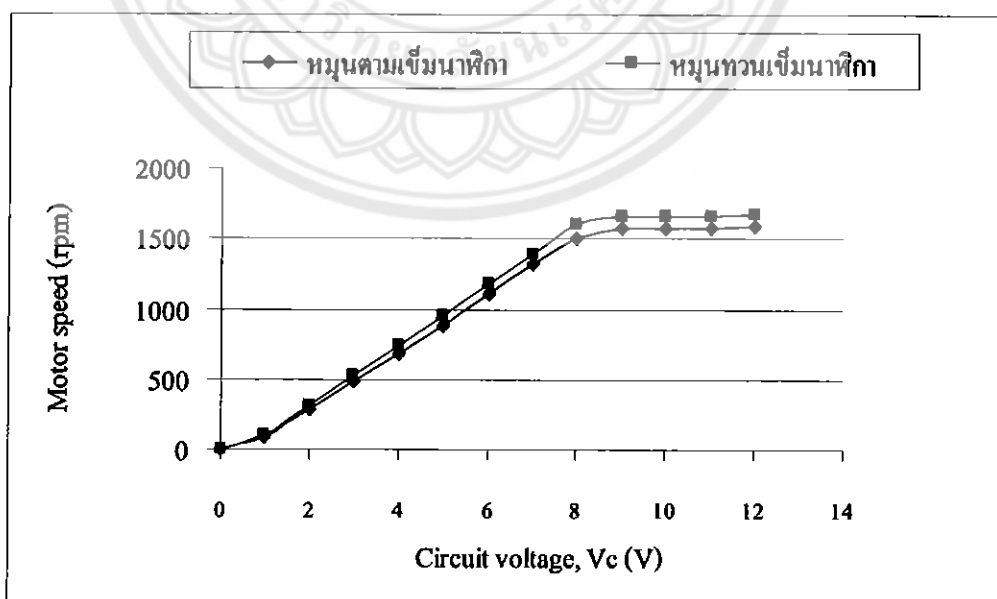
หลังจากทดลองในหัวข้อ 4.1 แล้ว ในหัวข้อนี้เป็นผลการทดลองการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรคุมค่าแรงดัน โดยทำการวัดค่าแรงดันเทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 แล้วนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกา

Vc (V)	ความเร็วรอบ (rpm)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	0	0	0	0	0	0
1	81	90	74	72	88	81
2	279	285	269	283	268	276.8
3	486	491	476	453	491	479.4
4	659	691	696	690	691	685.4
5	806	899	905	879	903	878.4
6	1113	1105	1106	1099	1131	1110.8
7	1329	1323	1290	1329	1325	1319.2
8	1522	1529	1506	1428	1532	1503.4
9	1569	1575	1572	1557	1577	1570
10	1573	1582	1557	1554	1587	1570.6
11	1555	1579	1584	1556	1590	1572.8
12	1583	1572	1583	1584	1592	1582.8

ตารางที่ 4.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในทิศทางเข็มนาฬิกา

Vc (V)	ความเร็วรอบ (rpm)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	0	0	0	0	0	0
1	108	81	107	96	95	97.4
2	313	305	311	310	308	309.4
3	521	526	521	531	514	522.6
4	728	737	749	736	740	738
5	955	950	962	961	948	955.2
6	1186	1171	1189	1184	1174	1180.8
7	1401	1395	1402	1396	1378	1394.4
8	1605	1605	1596	1606	1603	1603
9	1656	1659	1666	1651	1654	1657.2
10	1658	1665	1671	1652	1663	1661.8
11	1657	1672	1674	1661	1664	1665.6
12	1667	1672	1678	1666	1666	1669.8



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันของมอเตอร์

จากรูปที่ 4.2 การใช้วงจรคุมค่าแรงดันสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้ทั้งสองทิศทางของการหมุน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์แปรผันตรงกับแรงดันที่มอเตอร์ได้รับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วรอบที่ระดับแรงดันเดียวกันของแต่ละทิศทางของการหมุน จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีของมอเตอร์ที่เลือกมาใช้ประกอบการทดลองในโครงการนี้ จะพบว่าที่ระดับแรงดันสูงกว่า 8 V ความเร็วรอบมีค่าคงที่ เนื่องจากกระแสของมอเตอร์มีค่าคงที่ (ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น)



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการนี้ได้มีการศึกษาการใช้วงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดัน เพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง รวมทั้งสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้ โดยการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงสามารถควบคุมทิศทางได้ทั้งทิศตามเข็มนาฬิกา และทิศทวนเข็มนาฬิกา ตามหัวข้อที่ 2.1.4 จะพบว่าการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟให้มอเตอร์กระแสตรง แต่วงจรเอชบริดจ์สามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงได้ด้วยการเลือกกดสวิตช์ใดสวิตช์หนึ่ง โดยขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้มอเตอร์กระแสตรงหมุนไปทิศทางใด นอกจากนี้ยังมีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้ด้วยการจ่ายแรงดันให้กับวงจรตั้งแต่ 0-30 V ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงจะขึ้นอยู่กับค่าการจ่ายแรงดันที่มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงให้กับวงจรเอชบริดจ์ กล่าวคือเมื่อมีการจ่ายแรงดันค่าต่ำให้วงจรเอชบริดจ์ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงจะมีความเร็วรอบที่ต่ำ แต่ถ้าหากมีการจ่ายแรงดันให้วงจรเอชบริดจ์เพิ่มขึ้นความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงจะแปรผันตามแรงดันที่จ่ายให้วงจรเอชบริดจ์ อีกทั้งวงจรเอชบริดจ์และวงจรคุมค่าแรงดันสามารถนำไปใช้ร่วมกับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน แต่ทั้งนี้ก็ยังสามารถนำวงจรเอชบริดจ์มาใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) การกลับทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรเอชบริดจ์ต้องให้มอสเฟตทำงานทีละคู่ ดังอธิบายในบทที่ 2 โดยสวิตช์ 1 ตัว จะควบคุมมอสเฟต 1 คู่ ถ้าหากมีการทำงานของมอสเฟต 2 คู่พร้อมกัน หรือมีการกดสวิตช์พร้อมกันทั้ง 2 ตัว จะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเสียหายเนื่องจากเกิดการลัดวงจรขึ้น แนวทางการแก้ไข คือในการควบคุมโดยเลือกใช้สวิตช์แบบกดติดปลายนิ้ว (Push-button switch) เพื่อป้องกันการลัดวงจรอันเนื่องมาจากการทำงานพร้อมกันของมอสเฟตทั้ง 4 ตัว

- 2) เนื่องจากการทำงานของวงจรเอชบริดจ์ส่งผลให้เกิดการจ่ายแรงดันกลับชั่วให้กับมอเตอร์กระแสตรง ดังนั้นในการเลือกใช้อัตอร์กระแสตรงชนิดขดลวดกระตุ้นภายในไม่สามารถนำมาใช้งานได้กับวงจรเอชบริดจ์ แนวทางการแก้ไข คือเลือกใช้งานมอเตอร์กระแสตรงชนิดขดลวดกระตุ้นแยกหรือมอเตอร์กระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรแทน

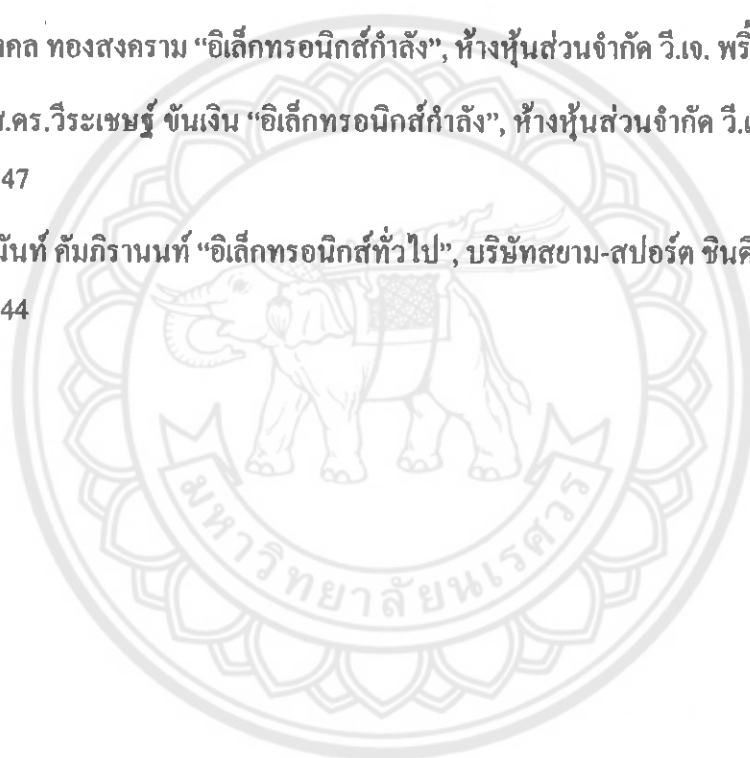
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในโครงการนี้ การควบคุมการทำงานของวงจรเป็นแบบควบคุมด้วยมือ (Manual control) แนวทางในการพัฒนาโครงการ ได้แก่ การออกแบบการควบคุมให้เป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic control) โดยอาจใช้โปรแกรมในการควบคุมเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ประยุกต์ใช้ และให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] ประกิด อ่องสร้อย “รวมวงจรทดลองสำหรับผู้มีอิเล็กทรอนิกส์ในหัวใจ”, 2539
- [2] ไชยชาญ หินเกิด “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1”, บริษัทประชาชน, กรุงเทพฯ, 2537
- [3] คร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, บริษัทเอ็น-เอชการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2535
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร์ “วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน”, บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547
- [5] มงคล ทองสงคราม “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินคิง, กรุงเทพฯ, 2543
- [6] รศ.ดร.วีระเชษฐุ์ ชันเงิน “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินคิง, กรุงเทพฯ, 2547
- [7] อนันท์ คัมภีรานนท์ “อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป”, บริษัทสยาม-สปอร์ต ซินดิเคท จำกัด, กรุงเทพฯ, 2544







IRFP460

N-CHANNEL 500V - 0.22Ω - 18.4A TO-247

PowerMesh™ II MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{Ds(on)}	I _D
IRFP460	500V	< 0.27Ω	18.4A

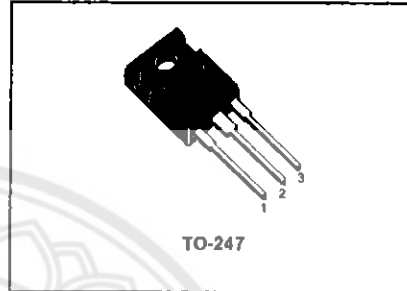
- TYPICAL R_{Ds(on)} = 0.22Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- NEW HIGH VOLTAGE BENCHMARK
- GATE CHARGE MINIMIZED

DESCRIPTION

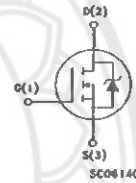
The PowerMESH™ II is the evolution of the first generation of MESH OVERLAY™. The layout refinements introduced greatly improve the Ron*area figure of merit while keeping the device at the leading edge for what concerns switching speed, gate charge and ruggedness.

APPLICATIONS

- SWITCH MODE LOW POWER SUPPLIES (SMPS)
- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- DC-AC CONVERTERS FOR WELDING EQUIPMENT AND UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES AND MOTOR DRIVES



INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	500	V
V _{DGR}	Drain-gate Voltage (R _{DS} = 20 kΩ)	500	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	±30	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	18.4	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	11.6	A
I _{DM} (e)	Drain Current (pulsed)	73.6	A
P _{TOT}	Total Dissipation at T _C = 25°C	220	W
	Derating Factor	1.75	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T _J	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(*) Pulse width limited by safe operating area

(1) I_{SD} ≤ 18.4A, di/dt ≤ 100A/μs, V_{DD} ≤ V_{DR,SS}, T_J ≤ T_{J,MAX}

IRFP460**THERMAL DATA**

R _{thj-case}	Thermal Resistance Junction-case Max	0.57	°C/W
R _{thj-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient Max	30	°C/W
R _{thc-sink}	Thermal Resistance Case-sink Typ	0.1	°C/W
T _l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose	300	°C

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I _{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repitive (pulse width limited by T _J max)	20	A
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting T _J = 25 °C, I _D = I _{AR} , V _{DD} = 50 V)	960	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TCASE = 25 °C UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)**OFF**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{(BR)DSS}	Drain-source Breakdown Voltage	I _D = 250 μA, V _{GS} = 0	500			V
I _{loss}	Zero Gate Voltage Drain Current (V _{GS} = 0)	V _{DS} = Max Rating V _{DS} = Max Rating, T _C = 125 °C			1 50	μA μA
I _{GSS}	Gate-body Leakage Current (V _{DS} = 0)	V _{GS} = ±30V			±100	nA

ON (1)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{GS} = V _{GS} , I _D = 250 μA	2	3	4	V
R _{DS(on)}	Static Drain-source On Resistance	V _{GS} = 10V, I _D = 9 A		0.22	0.27	Ω
I _{D(on)}	On State Drain Current	V _{DS} > I _{D(on)} × R _{DS(on)max} , V _{GS} = 10V	18.4			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g _{fs} (1)	Forward Transconductance	V _{DS} > I _{D(on)} × R _{DS(on)max} , I _D = 9A		18		S
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 25V, f = 1 MHz, V _{GS} = 0		2980		pF
C _{oss}	Output Capacitance			410		pF
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance			58		pF

IRFP460

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{(on)}$	Turn-on Delay Time	$V_{DD} = 250V, I_D = 10A$ $R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$ (see test circuit, Figure 3)		29		ns
t_r	Rise Time			21		ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 400V, I_D = 20A,$ $V_{GS} = 10V$		95	128	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			14.7		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			41.7		nC

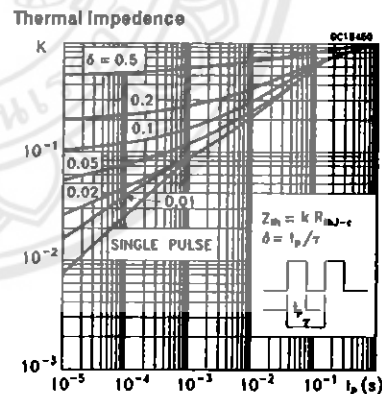
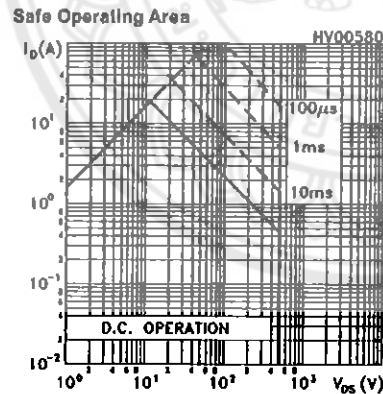
SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{(off)}$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD} = 400V, I_D = 20A,$ $R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$ (see test circuit, Figure 5)		20		ns
t_f	Fall Time			21		ns
t_c	Cross-over Time			58		ns

SOURCE DRAIN DIODE

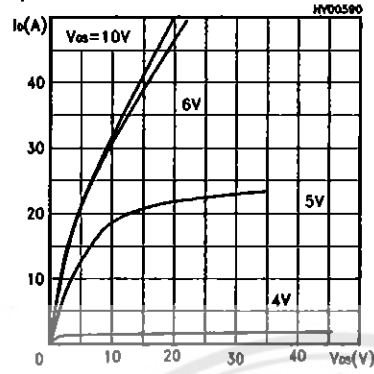
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				18.4	A
$I_{SDM(2)}$	Source-drain Current (pulsed)				73.6	A
$V_{SD(1)}$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 18.4A, V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD} = 20A, di/dt = 100A/\mu s,$ $V_{DD} = 100V, T_J = 150^\circ C$ (see test circuit, Figure 5)		480		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			5		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			21		A

Note: 1. Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %.
2. Pulse width limited by safe operating area.

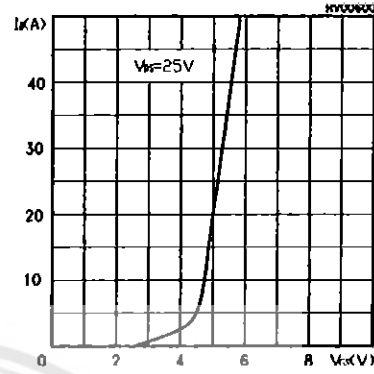


IRFP460

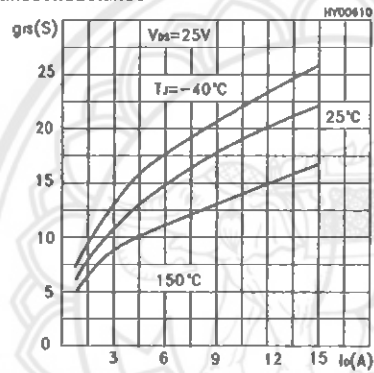
Output Characteristics



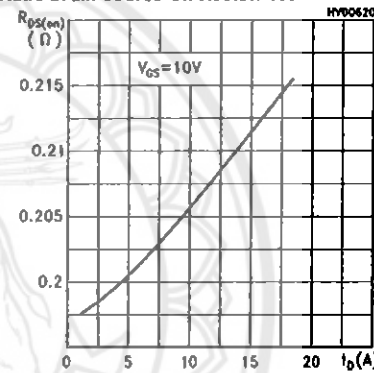
Transfer Characteristics



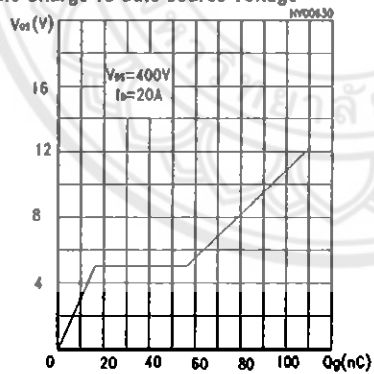
Transconductance



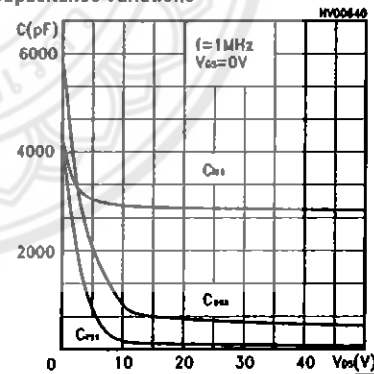
Static Drain-source On Resistance



Gate Charge vs Gate-source Voltage

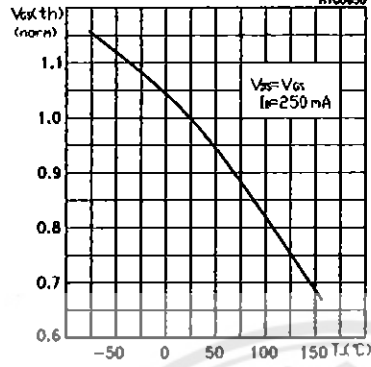


Capacitance Variations

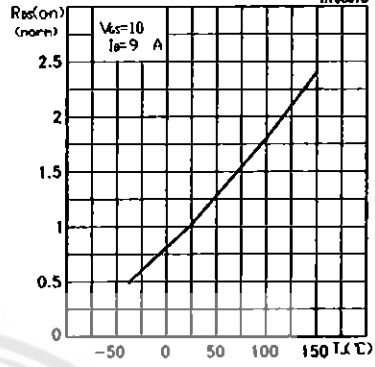


IRFP460

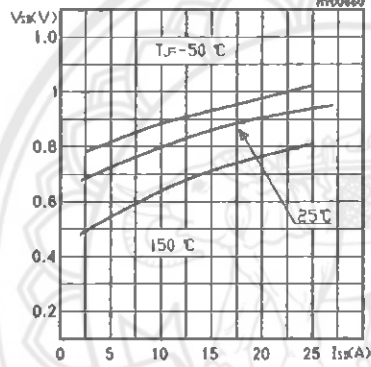
Normalized Gate Threshold Voltage vs Temp. HY00450



Normalized On Resistance vs Temperature HY00470



Source-drain Diode Forward Characteristics HY00460



IRFP460

Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

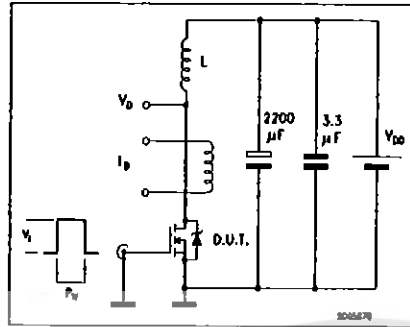


Fig. 2: Unclamped Inductive Waveform

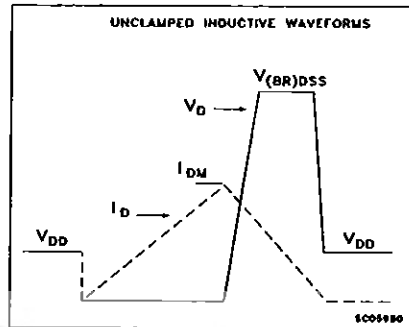


Fig. 3: Switching Times Test Circuit For Resistive Load

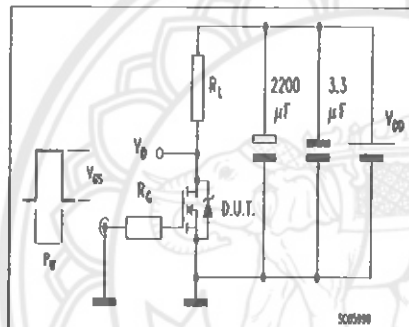


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

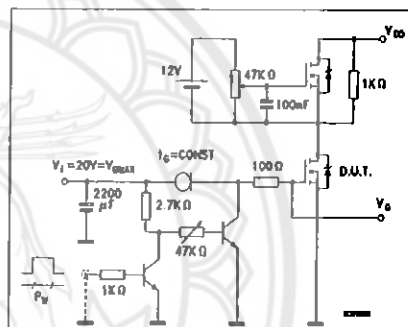
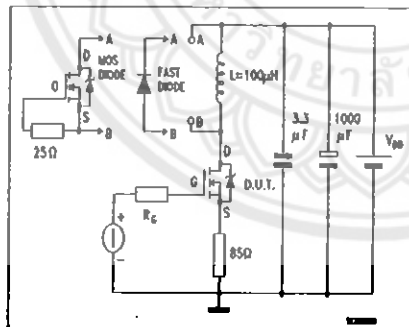


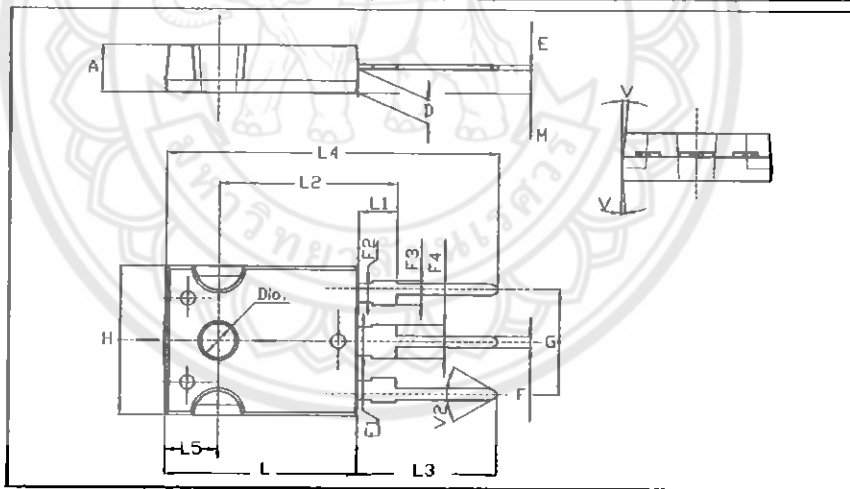
Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times




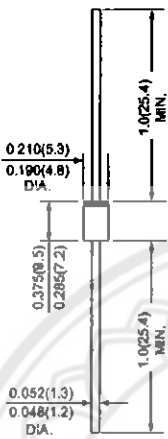
IRFP460

TO-247 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.85		5.15	0.19		0.20
D	2.20		2.60	0.08		0.10
E	0.40		0.80	0.015		0.03
F	1		1.40	0.04		0.05
F1		3			0.11	
F2		2			0.07	
F3	2		2.40	0.07		0.09
F4	3		3.40	0.11		0.13
G		10.90			0.43	
H	15.45		15.75	0.60		0.62
L	19.85		20.15	0.78		0.79
L1	3.70		4.30	0.14		0.17
L2		18.50			0.72	
L3	14.20		14.80	0.58		0.58
L4		34.60			1.36	
L5		5.50			0.21	
M	2		3	0.07		0.11
V		5°			5°	
V2		60°			60°	
Dia	3.55		3.65	0.14		0.143





		1N5400 THRU 1N5408 SILICON RECTIFIER								
		Reverse Voltage - 50 to 1000 Volts	Forward Current - 3.0 Amperes							
DO-201AD										
		FEATURES								
		<ul style="list-style-type: none"> • The plastic package carries Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0 • High surge current capability • Construction utilizes void-free molded plastic technique • 3.0A operation at $T_L=105^{\circ}\text{C}$ with no thermal runaway • Typical I_R less than 0.1uA • High temperature soldering guaranteed : 260°C / 10 seconds, 0.375" (9.5mm) lead length, 5 lbs. (2.3kg) tension 								
		MECHANICAL DATA								
		Case : JEDEC DO-201AD Molded plastic body Terminals : Plated axial leads, solderable per MIL-STD-750, Method 2026 Polarity : Color band denotes cathode end Mounting Position : Any Weight : 0.04 ounce, 1.12 grams								
*Dimensions in inches and (millimeters)										
MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS										
Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.		SYMBOLS	1N5400	1N5401	1N5402	1N5404	1N5406	1N5407	1N5408	UNITS
Maximum repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS voltage		V_{RMS}	35	70	140	280	420	660	700	Volts
Maximum DC blocking voltage		V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5mm) lead length at $T_L=105^{\circ}\text{C}$		I_{AV}					3.0			Amps
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)		I_{FSM}					200			Amps
Maximum instantaneous forward voltage at 3.0 A		V_F					1.1			Volts
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5mm) lead length at $T_L=75^{\circ}\text{C}$		$I_{R(AV)}$					30			uA
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage $T_A=25^{\circ}\text{C}$ $T_A=100^{\circ}\text{C}$		I_R					5 50			uA
Typical junction capacitance 4.0V, 1MHz		C_J					40			pF
Typical thermal resistance		$R_{\theta JA}$					30			°C / W
Operating junction and storage temperature range		T_J, T_{STG}					-65 to +175			°C

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES 1N5400 THRU 1N5408

FIG 1 - FORWARD CURRENT DERATING CURVE

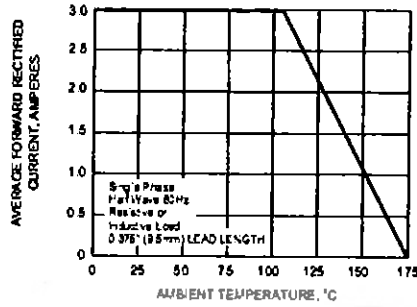


FIG 2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

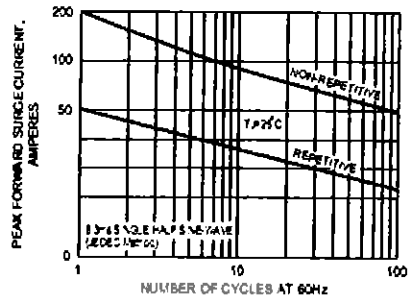


FIG 3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

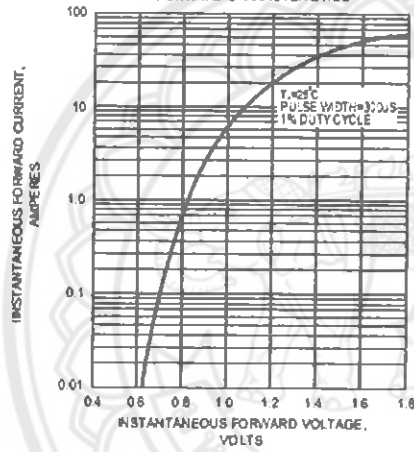


FIG 4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

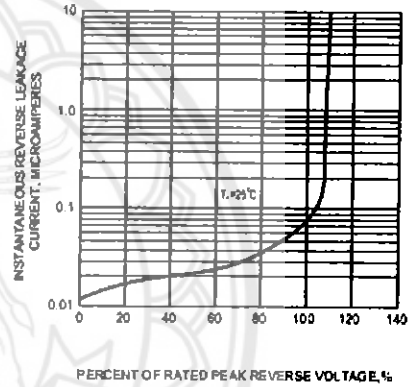


FIG 5 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

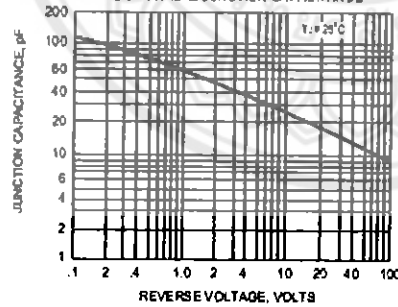
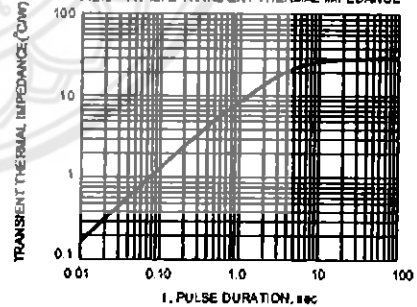


FIG 6 - TYPICAL TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE







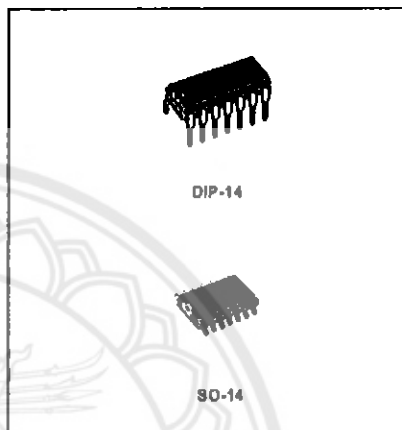
LM723

HIGH PRECISION VOLTAGE REGULATOR

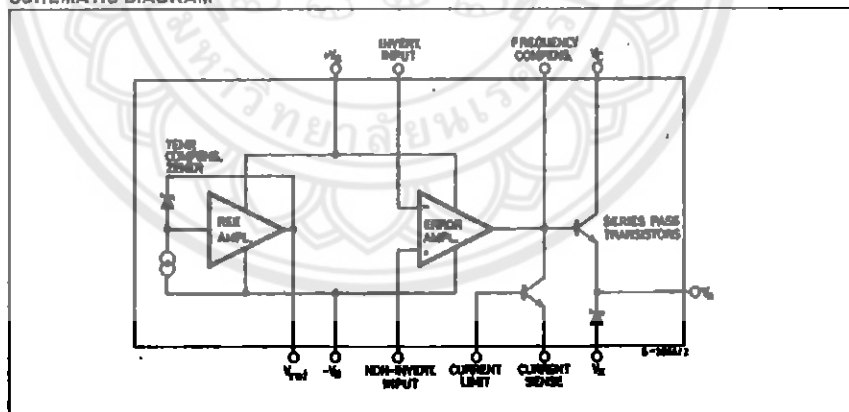
- INPUT VOLTAGE UP TO 40V
- OUTPUT VOLTAGE ADJUSTABLE FROM 2 TO 37V
- POSITIVE OR NEGATIVE SUPPLY OPERATION
- SERIES, SHUNT, SWITCHING OR FLOATING OPERATION
- OUTPUT CURRENT TO 150mA WITHOUT EXTERNAL PASS TRANSISTOR
- ADJUSTABLE CURRENT LIMITING

DESCRIPTION

The LM723 is a monolithic integrated programmable voltage regulator, assembled in 14-lead dual in-line plastic and SO-14 micro package. The circuit provides internal current limiting. When the output current exceeds 150mA an external NPN or PNP pass element may be used. Provisions are made for adjustable current limiting and remote shut-down.



SCHEMATIC DIAGRAM



September 2003

1/16

LM723

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

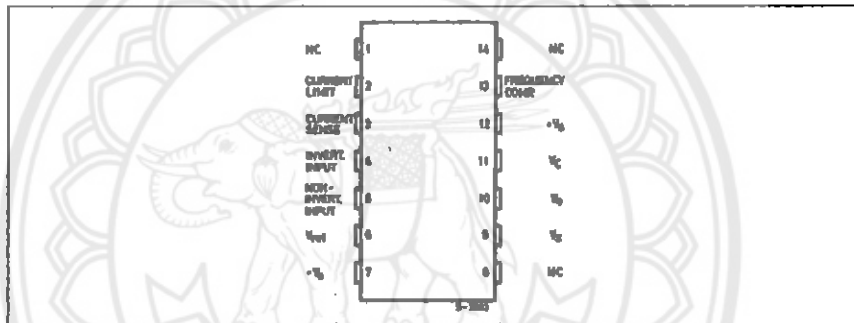
Symbol	Parameter	Value		Unit
		LM723	LM723C	
V_I	DC Input Voltage	40	40	V
ΔV_{I-O}	Dropout Voltage	40	40	V
I_O	Output Current	150	150	mA
I_{REF}	Current from V_{REF}	15	25	mA
T_{op}	Operating Temperature	-55 to 125	0 to 70	°C
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	-65 to 150	°C
T_J	Junction Temperature	150	125	°C

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

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP14	SO-14	Unit
$R_{\theta a-b}$	Thermal Resistance Junction-Ambient Max	200	160	°C/W

PIN CONNECTION (top view)

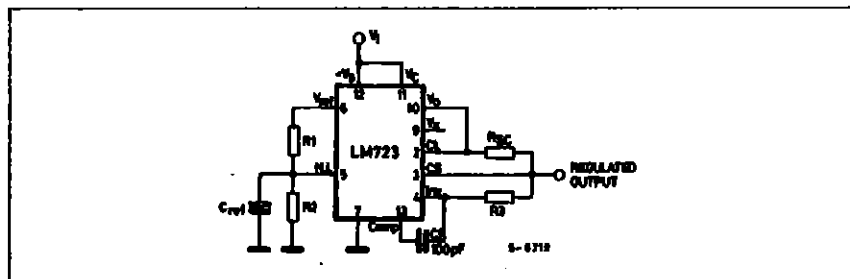


ORDERING CODES

TYPE	DIP-14	SO-14
LM723	LM723N	
LM723C	LM723CN	LM723CD

LM723

TEST CIRCUITS (pin configuration relative to the plastic package)



$V_I = 12\text{V}$; $V_O = 5\text{V}$; $I_O = 1\text{mA}$; $R_1/R_2 \leq 10\text{K}\Omega$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR LM723 (refer to the test circuits, $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$\Delta V_O/\Delta V_I$	Line Regulation	$V_I = 12$ to 15V		0.01	0.1	%
		$V_I = 12$ to 40V		0.02	0.2	
		$V_I = 12$ to 15V , $T_a = -55$ to 125°C			0.3	
$\Delta V_O/V_O$	Load Regulation	$I_O = 1$ to 50mA		0.03	0.15	%
		$I_O = 1$ to 10mA , $T_a = -55$ to 125°C			0.6	
V_{REF}	Reference Voltage	$I_{REF} = 160\mu\text{A}$	6.95	7.15	7.35	V
SVR	Supply Voltage Rejection	$f = 100\text{Hz}$ to 10KHz	$C_{REF} = 0$		74	dB
			$C_{REF} = 5\mu\text{F}$		88	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift				150	ppm/ $^\circ\text{C}$
I_{SC}	Output Current Limit	$R_{SC} = 10\Omega$, $V_O = 0\text{V}$		65		mA
V_I	Input Voltage Range		9.5		40	V
V_O	Output Voltage Range		2		37	V
$V_O - V_I$			3		38	V
I_S	Quiescent Current	$V_I = 30\text{V}$, $I_O = 0\text{mA}$		2.3	5	mA
K_{VH}	Long Term Stability			0.1		%/1000 hrs
eN	Output Noise Voltage	BW = 100Hz to 10KHz	$C_{REF} = 0$		20	μV
			$C_{REF} = 5\mu\text{F}$		2.5	

LM723

ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR LM723C (refer to the test circuits, $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$\Delta V_O/\Delta V_I$	Line Regulation	$V_I = 12 \text{ to } 15 \text{ V}$		0.01	0.1	%
		$V_I = 12 \text{ to } 40 \text{ V}$		0.1	0.5	
		$V_I = 12 \text{ to } 15 \text{ V}, T_a = 0 \text{ to } 70^{\circ}\text{C}$			0.3	
$\Delta V_O/V_O$	Load Regulation	$I_O = 1 \text{ to } 50 \text{ mA}$		0.03	0.2	%
		$I_O = 1 \text{ to } 10 \text{ mA}, T_a = 0 \text{ to } 70^{\circ}\text{C}$			0.6	
V_{REF}	Reference Voltage	$I_{REF} = 180 \mu\text{A}$	6.8	7.15	7.5	V
SVR	Supply Voltage Rejection	$f = 100 \text{ Hz to } 10\text{KHz}$	$C_{REF} = 0$	74		dB
			$C_{REF} = 5\mu\text{F}$	86		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift				150	ppm/ $^{\circ}\text{C}$
I_{SC}	Output Current Limit	$R_{SC} = 10\Omega, V_O = 0 \text{ V}$		65		mA
V_I	Input Voltage Range		9.5		40	V
V_O	Output Voltage Range		2		37	V
V_O/V_I			3		38	V
I_d	Quiescent Current	$V_I = 30\text{V}, I_O = 0 \text{ mA}$		2.3	4	mA
K_{VH}	Long Term Stability			0.1		%/1000 hrs
eN	Output Noise Voltage	$\text{BW} = 100 \text{ Hz to } 10 \text{ KHz}$	$C_{REF} = 0$	20		μV
			$C_{REF} = 5\mu\text{F}$	2.5		

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (unless otherwise specified $V_{O(NOM)} = 3.3\text{ V}$)

Figure 1 : Maximum Output Current vs Voltage Drop

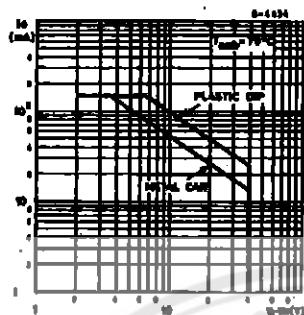


Figure 4 : Load Regulation Characteristics without Current Limiting

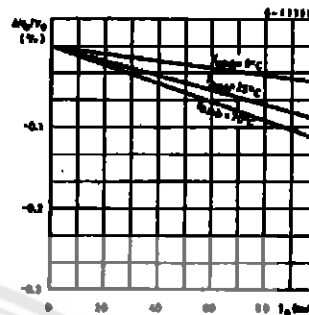


Figure 2 : Current Limiting Characteristics

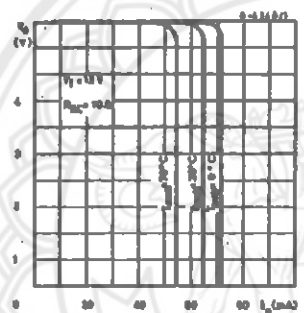


Figure 5 : Load Regulation Characteristics with Current Limiting

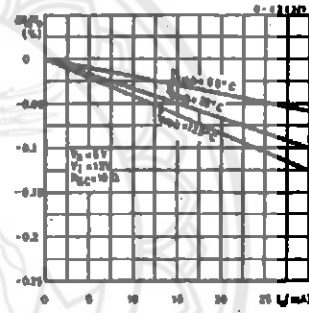


Figure 3 : Current Limiting Characteristics vs Junction Temperature

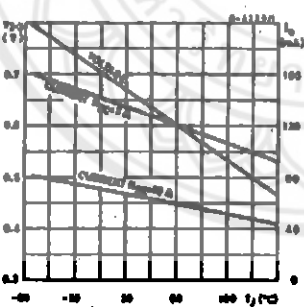
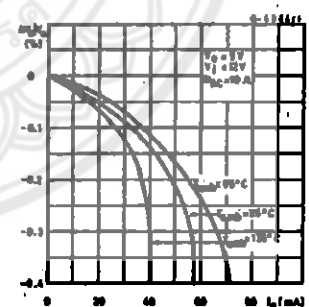


Figure 6 : Load Regulation Characteristics with Current Limiting



LM723

Figure 7 : Line Regulation vs Voltage Drop

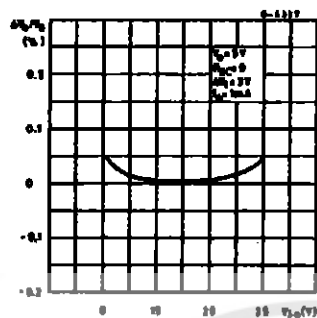


Figure 10 : Line Transient Response

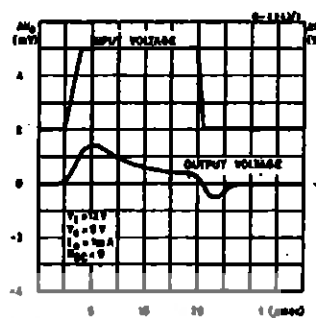


Figure 8 : Load Regulation vs Voltage Drop

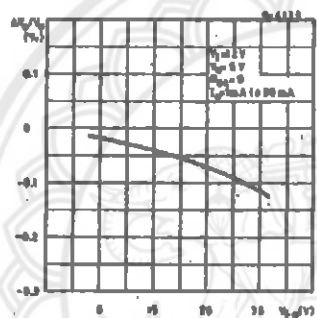


Figure 11 : Load Transient Response

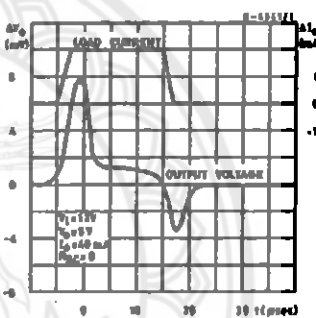


Figure 9 : Quiescent Drain Current vs Input Voltage

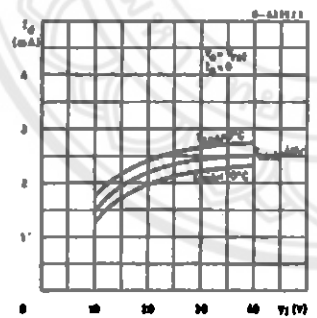


Figure 12 : Output Impedance vs Frequency

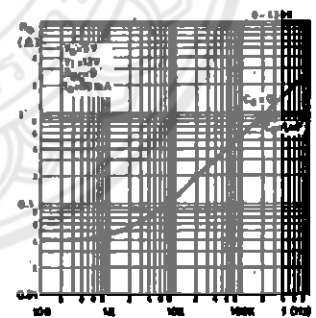


TABLE 1: Resistor Values (K Ω) for standard Output Voltages

Output Voltage	Applicable Figures	Fixed Output $\pm 5\%$		Output Adjustable $\pm 10\%$ *		
		R1	R2	R1	P1	R2
+3	13, 16, 17, 18, 21, 23	4.12	3.01	1.8	0.5	1.2
+5	13, 16, 17, 18, 21, 23	2.16	4.89	0.75	0.5	2.2
+6	13, 16, 17, 18, 21, 23	1.15	6.04	0.5	0.5	2.7
+9	14, 16, 17, 18, 21, 23	1.87	7.15	0.75	1	2.7
+12	14, 16, 17, 18, 21, 23	4.87	7.15	2	1	3
+15	14, 16, 17, 18, 21, 23	7.87	7.15	3.3	1	3
+28	14, 16, 17, 18, 21, 23	21	7.15	5.6	1	2
+45	19	3.57	48.7	2.2	10	39
+75	19	3.57	78.7	2.2	10	68
+100	19	3.57	102	2.2	10	91
+250	19	3.57	255	2.2	10	240
-6**	15	3.57	2.43	1.2	0.5	0.75
-9	15	3.48	5.38	1.2	0.5	2
-12	15	3.57	6.45	1.2	0.5	3.3
-15	15	3.65	11.5	1.2	0.5	4.3
-28	15	3.57	24.3	1.2	0.5	10
-45	20	3.57	21.2	2.2	10	33
-100	20	3.57	97.6	2.2	10	91
-250	20	3.57	249	2.2	10	240

* Replace R1/R2 divider with the circuit of fig. 24.

** V+ must be connected to a +3V or greater supply.

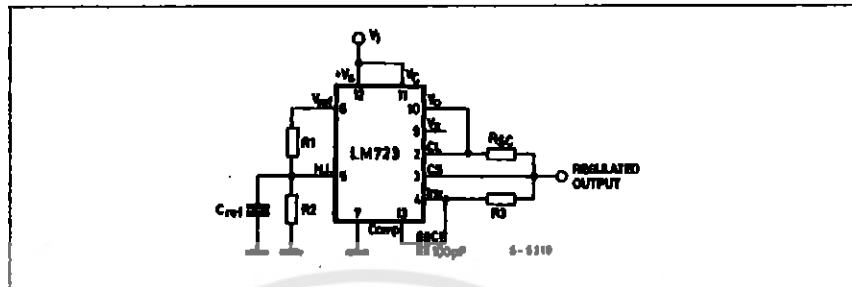
TABLE 2: Formula for Intermediate Output Voltages

Outputs from 2 to 7V Fig. 13, 16, 17, 18, 21, 23 $V_O = (V_{REF} \times R_2) / (R_1 + R_2)$	Outputs from 4 to 250V Fig. 19 $V_O = (V_{REF}/2) \times (R_2 \times R_1) / R_1; R_3 = R_4$	Current Limit $I_{LIMIT} = V_{SENSE} / R_{SC}$
Outputs from 7 to 37V Fig. 14, 18, 17, 18, 21, 23 $V_O = V_{REF} \times [(R_1 + R_2) / R_2]$	Outputs from -8 to -280V Fig. 15, 20 $V_O = (V_{REF}/2) \times (R_1 + R_2) / R_1; R_3 = R_4$	Foldback Current Limiting $I_{KNEE} = [(V_O \times R_3) / (R_{SC} \times R_4)] \times V_{SENSE} \times (R_3 + R_4) / (R_{SC} \times R_4)$ $I_{SHORTCKT} = (V_{SENSE} / R_{SC}) \times (R_3 + R_4) / R_4$

LM723

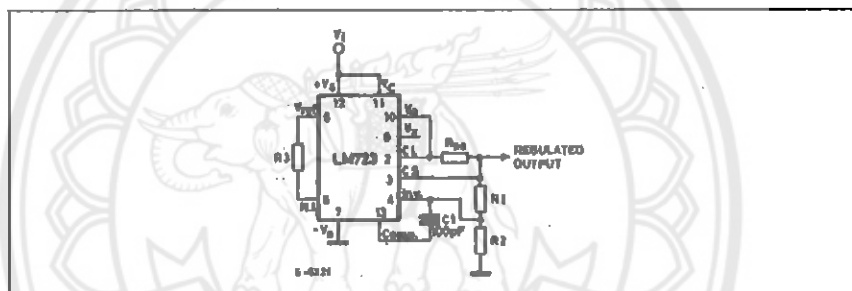
APPLICATIONS INFORMATION

Figure 13 : Basic Low Voltage Regulator ($V_O = 2$ to $7V$).



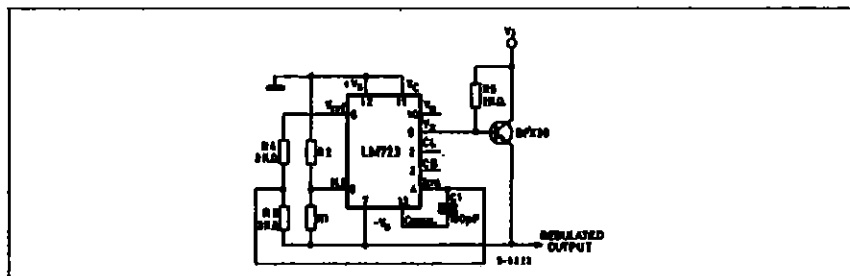
NOTE: $R_3 = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$ for minimum temperature drift.
 R_3 may be eliminated for minimum component count.
 Typical performance
 Regulated Output Voltage..... 5V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 3V$)..... 0.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_O = 50mA$)... 1.5mV

Figure 14 : Basic High Voltage Regulator ($V_O = 7$ to $37V$).



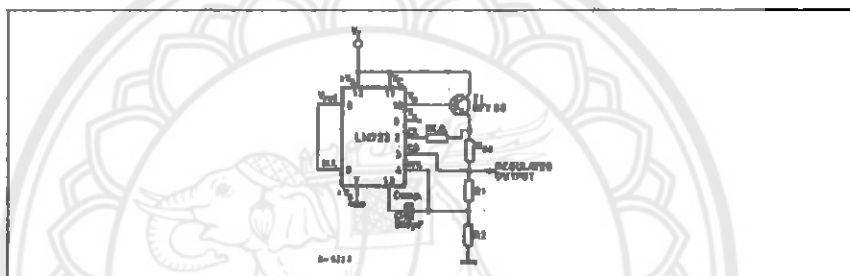
NOTE: $R_3 = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$ for minimum temperature drift.
 R_3 may be eliminated for minimum component count.
 Typical performance
 Regulated Output Voltage..... 15V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 3V$)..... 1.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_O = 50mA$)... 4.5mV

Figure 15 : Negative Voltage Regulator



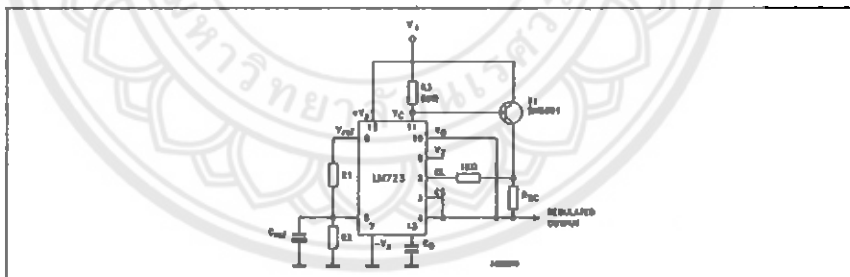
Typical performance
 Regulated Output Voltage 15V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 5V$) 1mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 100mA$) 2mV

Figure 16 : Positive Voltage Regulator (External NPN Pass Transistor)



Typical performance
 Regulated Output Voltage 15V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 5V$) 1.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 1A$) 15mV

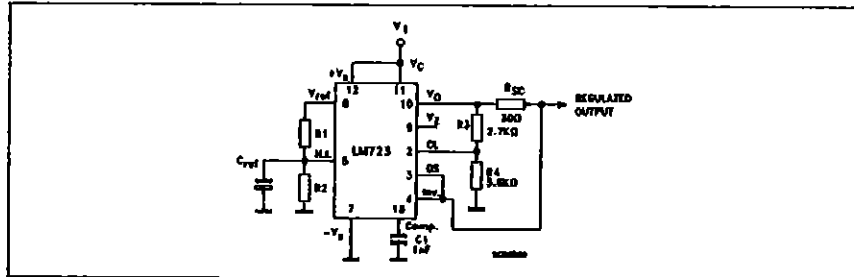
Figure 17 : Positive Voltage Regulator (External PNP Pass Transistor)



Typical performance
 Regulated Output Voltage 5V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 5V$) 0.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 1A$) 1.5mV

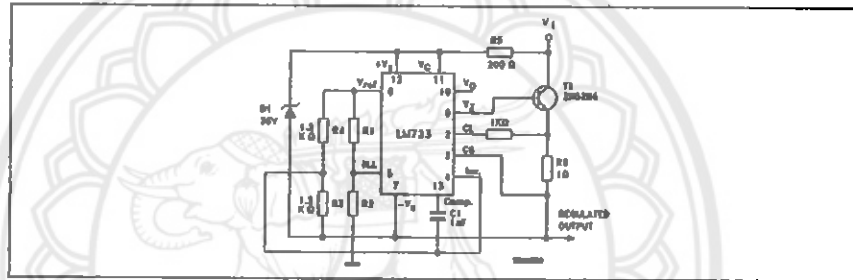
LM723

Figure 18 : Foldback current limiting



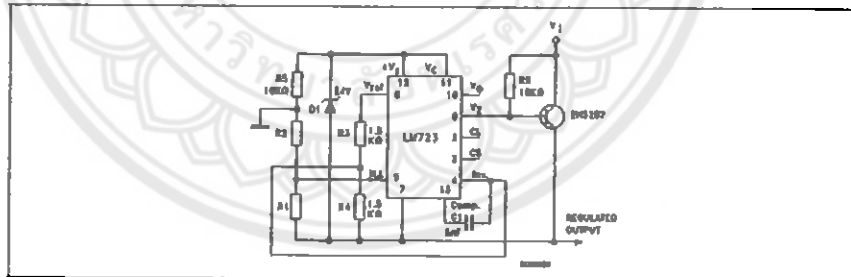
Typical performance
 Regulated Output Voltage 5V
 Line Regulation ($\Delta V_I = 3V$) 0.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_O = 10mA$) 1mV
 Current Limit Knee 20mA

Figure 19 : Positive Floating Regulator



Typical performance
 Regulated Output Voltage 100V
 Line Regulation ($\Delta V_I = 20V$) 15mV
 Load Regulation ($\Delta I_O = 50mA$) 20mV

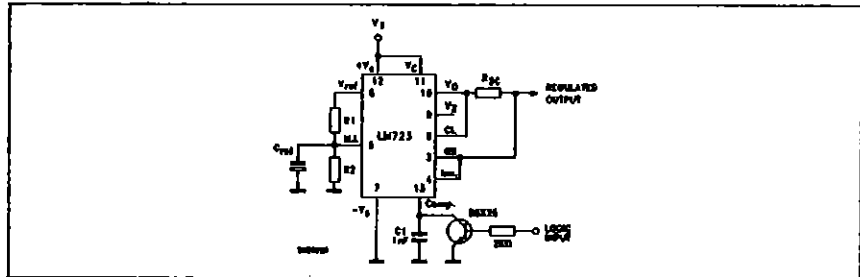
Figure 20 : Negative Floating Regulator



Typical performance
 Regulated Output Voltage -100V
 Line Regulation ($\Delta V_I = 20V$) 30mV
 Load Regulation ($\Delta I_O = 100mA$) 20mV

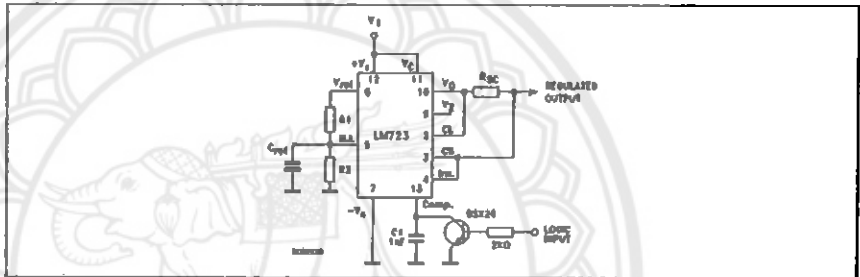
LM723

Figure 21 : Positive Switching Regulator



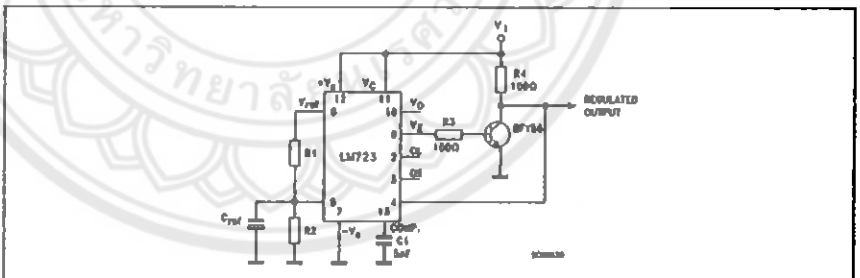
Typical performance
 Regulated Output Voltage 5V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 30V$) 10mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 2A$) 80mV

Figure 22 : Remote Shutdown Regulator with Current Limiting



Note: current limit transistor may be used for shutdown if current limiting is not required.
 Typical performance
 Regulated Output Voltage 8V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 3V$) 0.5mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 50mA$) 1.5mV

Figure 23 : Shunt Regulator



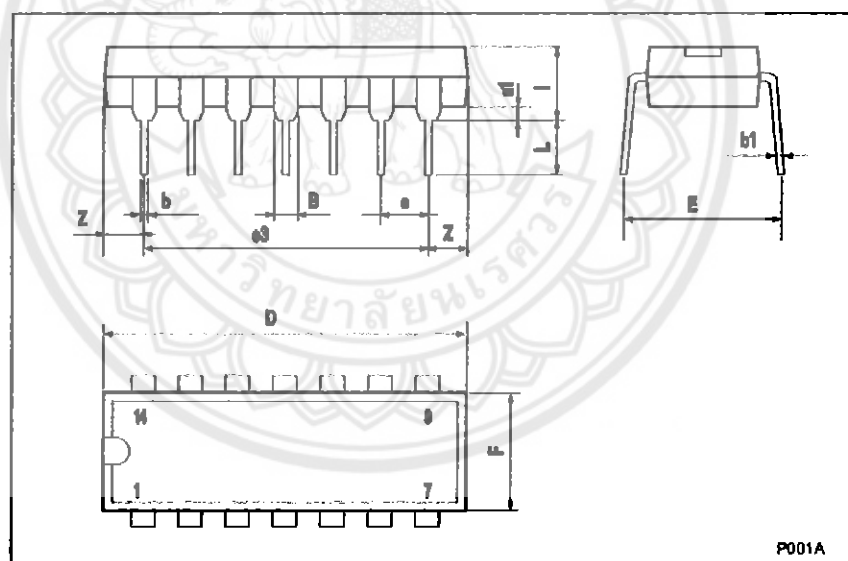
Typical performance
 Regulated Output Voltage 5V
 Line Regulation ($\Delta V_i = 10V$) 2mV
 Load Regulation ($\Delta I_o = 100mA$) 5mV



LM723

Plastic DIP-14 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100



P001A

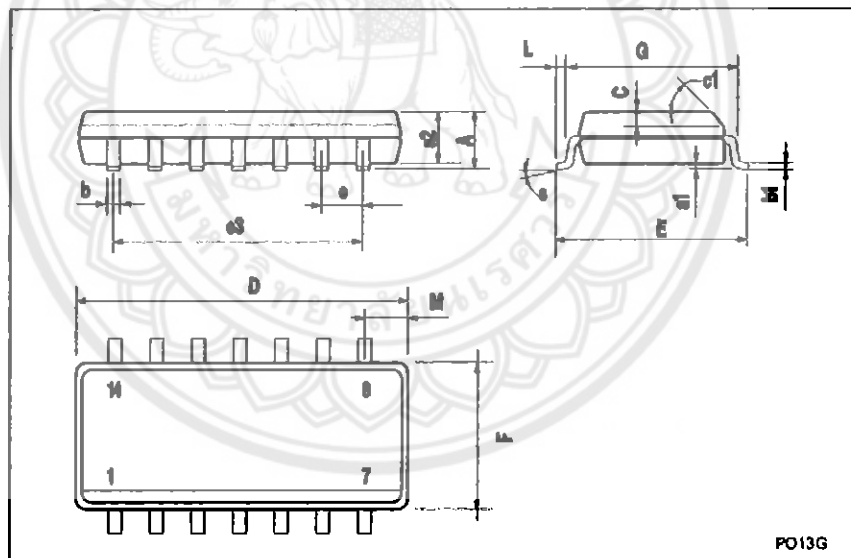
ST

13/16

LM723

SO-14 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.068
a1	0.1		0.2	0.003		0.007
a2			1.65			0.064
b	0.35		0.46	0.013		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.019	
c1	45° (typ.)					
D	8.55		8.75	0.336		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F	3.8		4.0	0.149		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.206
L	0.5		1.27	0.019		0.050
M			0.66			0.026
S	8° (max.)					



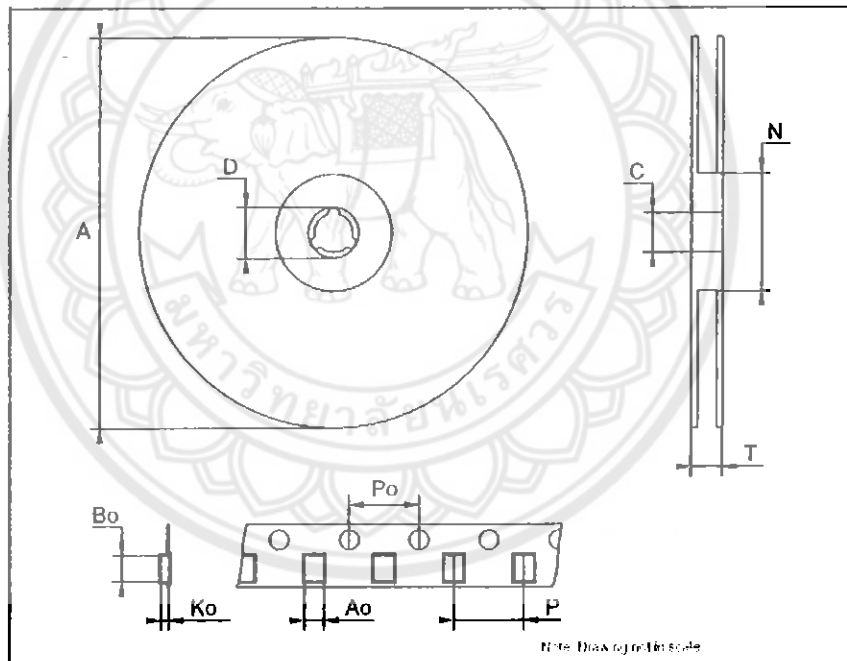
PO13G



LM723

Tape & Reel SO-14 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			330			12.992
C	12.8		13.2	0.504		0.519
D	20.2			0.795		
N	60			2.382		
T			22.4			0.882
A ₀	6.4		6.6	0.252		0.260
B ₀	9		9.2	0.354		0.362
K ₀	2.1		2.3	0.082		0.090
P ₀	3.9		4.1	0.153		0.161
P	7.9		8.1	0.311		0.319







2N3055
MJ2955

COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

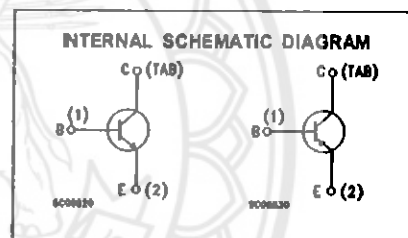
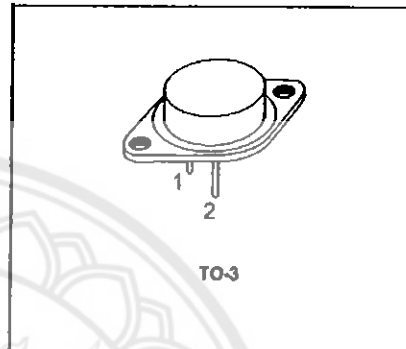
- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY NPN-PNP DEVICES

DESCRIPTION

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

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

The complementary PNP type is MJ2955.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		NPN	MJ2955	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)		100	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($R_{BE} \leq 100\Omega$)		70	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)		60	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)		7	V
I_C	Collector Current		15	A
I_B	Base Current		7	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$		115	W
T_{stg}	Storage Temperature		-65 to 200	$^\circ\text{C}$
T_J	Max. Operating Junction Temperature		200	$^\circ\text{C}$

For PNP types voltage and current values are negative.

2N3055 / MJ2955

THERMAL DATA

$R_{\theta(j-c)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
-------------------	----------------------------------	-----	-----	-----------------------------

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

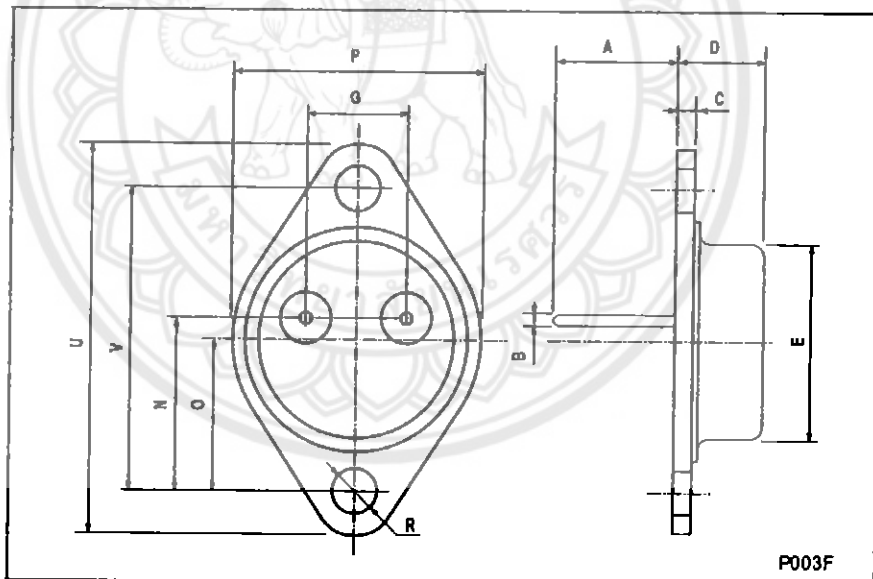
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{C_{CX}}$	Collector Cut-off Current ($V_{CE} = -1.5\text{V}$)	$V_{CE} = 100\text{V}$ $V_{CE} = 100\text{V}$ $T_J = 150^{\circ}\text{C}$			1 5	mA mA
$I_{C_{CO}}$	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 30\text{V}$			0.7	mA
$I_{E_{CO}}$	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 7\text{V}$			5	mA
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 200\text{mA}$	60			V
$V_{CE(R_{BE})}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($R_{BE} = 100\ \Omega$)	$I_C = 200\text{mA}$	70			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 4\text{A}$ $I_B = 400\text{mA}$ $I_C = 10\text{A}$ $I_B = 3.3\text{A}$			1 3	V V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 4\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$			1.8	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 4\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$ $I_C = 10\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$	20 5		70	
f_T	Transition Frequency	$I_C = 0.5\text{A}$ $V_{CE} = 10\text{V}$	3			MHz
$I_{B/2}^*$	Second Breakdown Collector Current	$V_{CE} = 40\text{V}$	2.87			A

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

2N3055 / MJ2955

TO-3 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	11.00		13.10	0.433		0.518
B	0.97		1.15	0.038		0.045
C	1.50		1.65	0.059		0.065
D	8.32		8.92	0.327		0.351
E	19.00		20.00	0.748		0.787
G	10.70		11.10	0.421		0.437
N	16.50		17.20	0.649		0.677
P	25.00		26.00	0.984		1.023
R	4.00		4.09	0.157		0.161
U	38.80		39.30	1.515		1.647
V	30.00		30.30	1.187		1.193







BD136
BD138/BD140

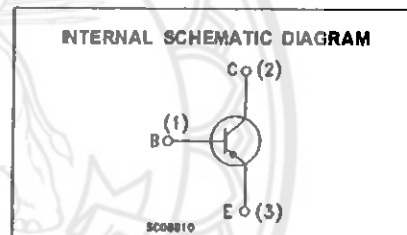
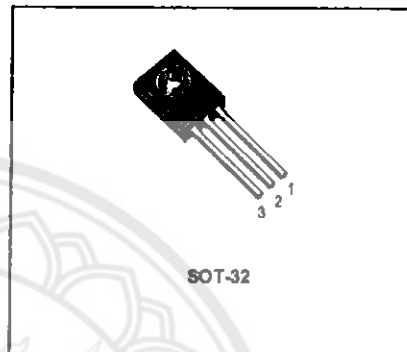
PNP SILICON TRANSISTORS

Type	Marking
BD136	BD136
BD136-10	BD136-10
BD136-16	BD136-16
BD138	BD138
BD140	BD140
BD140-10	BD140-10
BD140-16	BD140-16

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- PNP TRANSISTOR

DESCRIPTION

The BD136, BD138 and BD140 are silicon Epitaxial Planar PNP transistors mounted in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi-complementary circuits. The complementary NPN types are the BD135, BD137 and BD139.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value			Unit
		BD136	BD138	BD140	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	-45	-60	-80	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	-45	-60	-80	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)		-5		V
I_C	Collector Current		-1.5		A
I_{CV}	Collector Peak Current		-3		A
I_B	Base Current		-0.5		A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_C \leq 25^\circ\text{C}$		12.5		W
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$		1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature		-65 to 150		$^\circ\text{C}$
T_J	Max. Operating Junction Temperature		150		$^\circ\text{C}$

BD136 / BD138 / BD140

THERMAL DATA

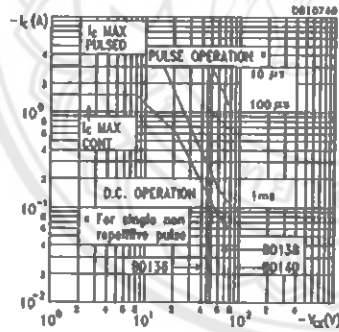
$R_{\theta j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
---------------------	----------------------------------	-----	----	-----------------------------

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

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{cso}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = -30\text{ V}$ $V_{CB} = -30\text{ V}$ $T_C = 125^{\circ}\text{C}$			-0.1 -10	μA μA
I_{eso}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = -5\text{ V}$			-10	μA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = -30\text{ mA}$ for BD136 for BD138 for BD140	-45 -60 -80			V V V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -0.5\text{ A}$ $I_B = -0.05\text{ A}$			-0.5	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = -0.5\text{ A}$ $V_{CE} = -2\text{ V}$			-1	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = -5\text{ mA}$ $V_{CE} = -2\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $V_{CE} = -2\text{ V}$ $I_C = -0.5\text{ A}$ $V_{CE} = -2\text{ V}$	25 40 25		250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	$I_C = -150\text{ mA}$ $V_{CE} = -2\text{ V}$ for BD136/BD140 group-10 for BD138/BD140 group-16	63 100		160 250	

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %

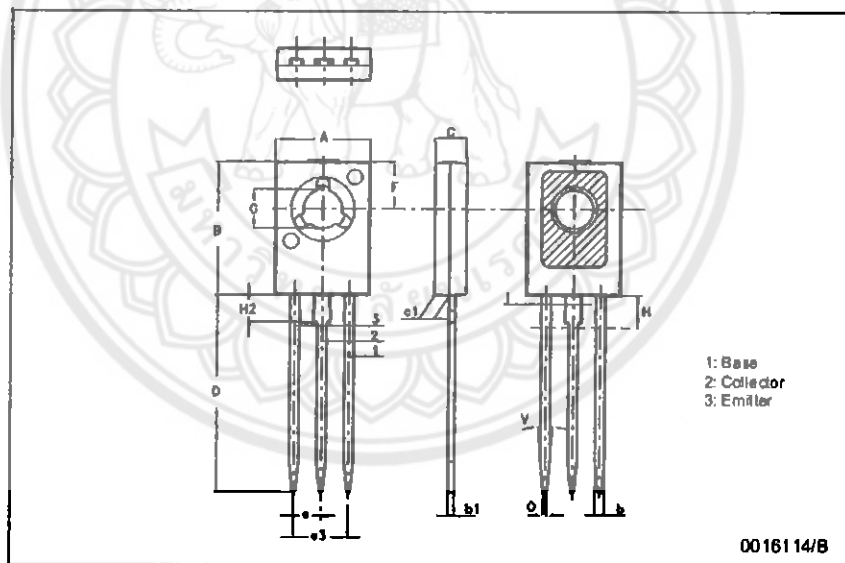
Safe Operating Areas



BD136 / BD138 / BD140

SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	7.4		7.8	0.291		0.307
B	10.5		10.8	0.413		0.425
b	0.7		0.9	0.028		0.035
b1	0.40		0.65	0.015		0.025
C	2.4		2.7	0.094		0.106
c1	1.0		1.3	0.039		0.051
D	15.4		16.0	0.606		0.630
e		2.2			0.087	
e3		4.4			0.173	
F		3.8			0.150	
G	3		3.2	0.118		0.126
H			2.94			0.100
H2		2.15			0.084	
I		1.27			0.05	
O		0.3			0.011	
V		10°			10°	



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวอรุณรัตน์ วงษา
 ภูมิลำเนา 194/2 หมู่ 7 ต. เวียง อ. เวียงป่าเป้า จ. เชียงราย 57170
 ประวัติการศึกษา
 – จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเวียงป่าเป้าวิทยาคม
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา
 วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: melon1605@hotmail.com



ชื่อ นายเอกชัย เทพสุริยะ
 ภูมิลำเนา 86 หมู่ 3 ต. เจดีย์หลวง อ. แม่สรวย จ. เชียงราย 57180
 ประวัติการศึกษา
 – จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเวียงป่าเป้าวิทยาคม
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา
 วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: suriya_ee@hotmail.com