

ปีการศึกษา 2544



ชุดจำลองโหลดสำหรับมอเตอร์

LOAD EMULATOR FOR MOTOR TEST

โดย

นาย สมบูรณ์ วิระคำ
นาย สมพงษ์ สุธรรม
นาย อธิฐาน จันทร์สีทอง
นาย สุเทพ อูปวงศิลป์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....45961
วัน, เดือน, ปี 2.6 ก.พ. 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ
อ.สุรินทร์ คำฝอย

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

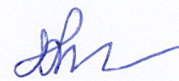
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดจำลองโหลดสำหรับทดสอบมอเตอร์

ผู้จัดทำ

- | | |
|---------------|-------------|
| 1.นาย สมบูรณ์ | วิระคำ |
| 2.นาย สมพงษ์ | สุธรรม |
| 3.นาย อธิฐาน | จันทร์สีทอง |
| 4.นาย สุเทพ | อุปวงศิลป์ |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจำลองโหลดสำหรับทดสอบมอเตอร์

นาย สมบูรณ์ วิระคำ
 นาย สมพงษ์ สุธรรม
 นาย อธิษฐาน จันทร์สีทอง
 นาย สุเทพ อุปวงศิลป์

ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ. สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึงชุดทดลองโหลดทางกลโดยใช้เครื่องจักรกระแสตรงขนาด 1.5 กิโลวัตต์, 130 โวลต์, 15 แอมป์ แทนโหลดจริงเพื่อนำไปทดสอบสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำและอินเวอร์เตอร์ โดยใช้การควบคุมแรงบิดจากกระแส อาร์มาเจอร์โดยส่งกระแสอ้างอิงมาจากคอมพิวเตอร์ผ่าน วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอะนาล็อก นำไปเปรียบเทียบกับกระแสอาร์มาเจอร์จริงที่ส่งมาจากวงจรตรวจับกระแส ผ่านวงจรควบคุมแบบพีไอคอนโทรลเลอร์ ไปควบคุมวงจรขับเคลื่อน เพื่อควบคุมการสวิตชิง ซึ่งอาศัยหลักการแบบ Unipolar PWM วงจรกำลังจะใช้ไมโคร IPM 7MBP50RA120 ที่ภายในต่อแบบ ฟูลบริดจ์ ดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยมี ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์สวิตชิง ซึ่งจากการทดสอบชุดจำลองโหลดสามารถสร้างแรงบิดโหลดได้ขนาดตั้งแต่ 1 นิวตัน-เมตร ถึง 6 นิวตัน-เมตร โดยสามารถควบคุมฟังก์ชันลักษณะของแรงบิดต่างๆได้ผ่านคอมพิวเตอร์

LOAD EMULATOR FOR MOTOR TEST

Somboon Wirakum
Sompong Sutham
Atidthan Chanseethong
Sutep Aoopawongsin

Assoc.Prof.Dr. Vijit Kinnares Advisor
Surin Khomfoi Advisor
2001

ABTRACT

This thesis describes a mechanical load emualtor using 1.5kW, 130V, 15A dc machines Torque control is obtained from armature current control which reference current is commanded from microcomputer via D/A converter. The reference current is compared with the actual armature current from a sensor. The PI controller is used for generating Unipolar PWM feeding gate control circuit. The main power circuit consits of IGBT IPM module connecting in Full bridge DC-DC converter configuration. The load emulator can provide load torque between 1 N-m and 6 N-m with controlling various required load functions via microcomputer.

III

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	I
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 เนื้อหาภายในเล่ม.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการ.....	
2.1 พูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์(Full Bridge DC-DC Converter).....	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ไอจีบีที(Insulated Gate Bipolar Transistors).....	7
2.2.1 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistors).....	8
2.2.2 คุณสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	8
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC motor).....	9
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น(Separately-excited dc motor).....	10
2.4.1 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ดีซี.....	13
2.5 การเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	15
2.6 การเบรกแบบไดนามิก(Dynamic Breaking).....	15
2.7 การออกแบบการควบคุมกระแสป้อนกลับ(PI Control).....	15
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้งาน.....	
3.1 การ์ดอินพุตเอาต์พุตเอนกประสงค์(ET-DIO Card).....	17
3.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการ์ด ET-DIO.....	17
3.1.2 การทำงานของการ์ด ET-DIO.....	17
3.1.3 คุณสมบัติของการ์ด ET- DIO.....	18
3.1.4 พอร์ตเอนกประสงค์ 8255.....	20
3.1.5 ส่วน DAC และ ADC.....	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.6 8253 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ.....	21
3.1.7 การทำงานในโหมดอินเตอร์รัพต์.....	21
3.1.8 การเลือกแอดเดรสของการ์ด.....	21
3.2 ส่วนของโปรแกรมทำงาน.....	23
บทที่ 4 วงจรที่ใช้ในโครงงาน.....	25
4.1 วงจร ฟูลบริดจ์ ดิซี-ดิซี คอนเวอร์เตอร์(Full Bridge DC-DC Converter).....	26
4.2 วงจรควบคุมแบบ พี ไอ (Proportional Plus Integral Control).....	26
4.3 วงจรหน่วงเวลา(Dead Time Circuit).....	28
4.4 วงจรจับเกทของไอจีบีที.....	29
4.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน.....	29
4.6 วงจรไดนามิกเบรก.....	31
4.7 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน.....	32
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	34
5.1 การทดลองล็อก โรเตอร์เทส(Lock Rotor Test).....	34
5.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงบิด.....	36
5.3 การทดลองการทำงานของชุดจำลองโหลดในโหมด Open Loop.....	38
5.4 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดโดยใช้อินเวอร์เตอร์.....	45
5.5 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับค่าได้ 3 เฟส.....	48
5.6 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดโดยให้ความถี่ถึงที่ 50 Hz ใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุม.....	50
บทที่ 6 วิจารณ์โครงงาน	
6.1 ด้านฮาร์ดแวร์.....	58
6.2 ด้านซอฟต์แวร์.....	58

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ตารางผลการทดลอง.....	59
โปรแกรมที่ใช้.....	64
บรรณานุกรม.....	80
คำคำชี้แจง(Data sheet)	
กิตติกรรมประกาศ	



สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างโดยรวมของการทำงาน.....	2
รูปที่ 2.1 Full Bridge DC-DC Converter.....	4
รูปที่ 2.2 PWM with bipolar and unipolar voltage switching.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของไอดีบีที.....	9
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	10
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....	11
รูปที่ 2.6 กราฟพารามิเตอร์ต่าง ๆ เทียบกับความเร็ว.....	12
รูปที่ 2.7 ทราานเฟอร์ฟังก์ชัน ดีซีมอเตอร์.....	14
รูปที่ 2.8 แสดงการป้อนกลับกระแสและความเร็ว.....	15
รูปที่ 2.9 แสดงการป้อนกลับกระแส.....	16
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรสมมูลย์ของการ์ด ET-DIO.....	19
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนอินเทอร์เฟซกับผู้ใช้.....	23
รูปที่ 3.3 แสดงฟลอชาร์ตการทำงาน.....	24
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์.....	25
รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมแบบ พีไอ (PI Control).....	26
รูปที่ 4.3 วงจรเคดไทม์.....	27
รูปที่ 4.4 วงจรขับเคลื่อนของไอดีบีที.....	28
รูปที่ 4.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน.....	29
รูปที่ 4.6 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์.....	30
รูปที่ 4.7 วงจรไดนามิกเบรก.....	31
รูปที่ 4.8 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน.....	31
รูปที่ 5.1 การต่ออุปกรณ์ในการทดสอบ Lock Rotor Test.....	34
รูปที่ 5.2 การต่ออุปกรณ์ในการทดสอบหาแรงบิดและกระแส.....	36
รูปที่ 5.3 สัญญาณสามเหลี่ยมอ้างอิง.....	38
รูปที่ 5.4 สัญญาณสามเหลี่ยมกับ บวก DC.....	39
รูปที่ 5.5 สัญญาณสามเหลี่ยมกับ ลบ DC.....	39

VII

รูปที่ 5.6 สัญญาณ Unipolar ด้านบวกDC.....	40
รูปที่ 5.7 สัญญาณ Unipolar ด้านลบDC.....	40

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.8 สัญญาณเปรียบเทียบ ของด้าน DC บวกและลบ.....	41
รูปที่ 5.9 สัญญาณแรงดันขณะ Motor Forward.....	41
รูปที่ 5.10 สัญญาณแรงดันขณะ Motor หยุดหมุน.....	4
รูปที่ 5.11 สัญญาณแรงดันขณะที่ Motor Revers.....	42
รูปที่ 5.12 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor Forward.....	43
รูปที่ 5.13 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor หยุดหมุน.....	43
รูปที่ 5.14 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor Revers.....	44
รูปที่ 5.15 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโพลโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่.....	45
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบที่ความถี่ต่าง ๆ	47
รูปที่ 5.17 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโพลโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส.....	48
รูปที่ 5.18 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโพลโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมถี่ 50 Hz.....	50
รูปที่ 5.19 กระแสอ้างอิง กับ กระแสอาร์เมเจอร์ที่แรงบิดต่าง ๆ.....	51
รูปชิ้นงานชุดจำลองโพล.....	63

VIII

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของการ์ด ET-DIO.....	18
ตารางที่ 4.1 แสดงแรงดันอ้างอิงเพื่อตั้งแรงดันเบรคย่านต่าง ๆ	32
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลอง Lock Rotor Test.....	35
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าของกระแสที่ค่าแรงบิดต่าง ๆ	37
ตารางที่ 1(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 10 Hz.....	59
ตารางที่ 2(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 20 Hz.....	59
ตารางที่ 3(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 30 Hz.....	59
ตารางที่ 4(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 40 Hz.....	60
ตารางที่ 5(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 50 Hz.....	60
ตารางที่ 6(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 60 Hz.....	60
ตารางที่ 7(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 100 V	61
ตารางที่ 8(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 120V.....	61
ตารางที่ 9(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 140V	62
ตารางที่ 10(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 160V	62
ตารางที่ 11(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 180V	62
ตารางที่ 12(ก)แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 200V	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

อุตสาหกรรมในปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่างๆมาประยุกต์ใช้อย่างมากในระบบขับเคลื่อนในโรงงานอุตสาหกรรมอุปกรณ์ที่ใช้อย่างแพร่หลายก็คือ มอเตอร์ แยกเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ก่อนการใช้งานอาจต้องการทดสอบแรงบิดของมอเตอร์ก่อนว่าสามารถใช้กับแรงบิดโหลด (Load Torque) ที่ต้องการได้หรือไม่ แต่ก่อนอาจใช้วิธีถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนัก หรือใช้คีมอเตอร์จ่ายโหลดร่วมกับวงจร Chopper แต่จะเกิดความไม่สะดวกเมื่อมอเตอร์มีขนาดพิกัดกำลังมากขึ้น ทำให้ต้องหาโหลดขนาดใหญ่ขึ้น

โครงการนี้จะเข้ามาตอบสนองความต้องการในจุดนี้ โดยการใช้มอเตอร์กระแสตรงอีกตัวหนึ่งบวกกับชุดควบคุมมอเตอร์ ทำหน้าที่เสมือนโหลดที่สามารถปรับค่าได้แรงบิดโหลด T_L ได้ด้วยการป้อนค่าผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดความสะดวกมากกว่าเดิม อีกทั้งมีการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการควบคุม และสะดวกในการติดต่อกับผู้ใช้งานในรูปแบบของการทดสอบในลักษณะต่าง ๆ

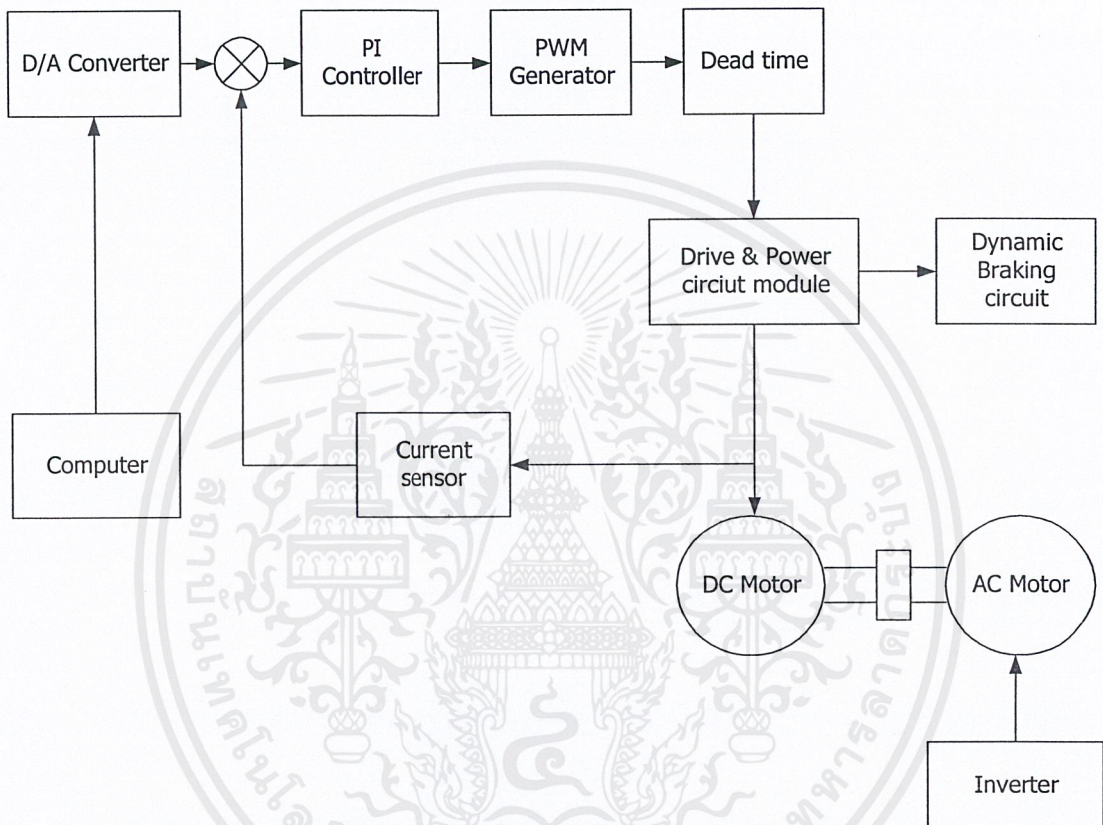
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ

1. เพื่อศึกษาการสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคิซี - คิซี ฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ ไอจีบีที (IGBT- Insulated Gate Bipolar Transistor) เป็นอุปกรณ์สวิตชิง
2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการส่งสัญญาณกระแสอ้างอิงผ่านพอร์ต
3. เพื่อศึกษาการควบคุมสัญญาณด้วย PI Control
4. เพื่อศึกษาการใช้คอมพิวเตอร์ในส่วนของการอินเตอร์เฟสระหว่างผู้ใช้งานกับส่วนควบคุมมอเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้สามารถควบคุมทิศทางของมอเตอร์ให้ไปข้างหน้า (Forward) , เบรก (Brake) ได้โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดอาเมเจอร์ ในรูปแบบของการปรับค่าดิวตีไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณพัลสบวลิวเอ็ม (PWM-Pulse Width Modulation) ที่สร้างโดยการนำกระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากไอซี เบอร์ 8038 เพื่อควบคุมแรงบิด

ของมอเตอร์ โดยใช้โมดูลซึ่งมี IGBT เป็นอุปกรณ์สวิทช์ที่มีความถี่ 10 kHz , พิกัดแรงดัน 1200 V , พิกัดกระแส 50 A



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างโดยรวมของการทำงาน

มอเตอร์ที่ใช้เป็นเสมือนโหลดจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น

(Separately –excited DC –Motor)

พิกัดกำลัง	1.5 กิโลวัตต์	พิกัดความเร็วรอบ	1800 รอบ/นาที
พิกัดกระแส	15 แอมป์	พิกัดแรงดัน	130 โวลต์

มีการควบคุมย้อนกลับโดยการตรวจจับค่าของแรงบิดในรูปของกระแสอาร์เมเจอร์เรียกว่า เคอร์เรนทเซนเซอร์ (Current sensor) เพื่อเทียบกับค่าแรงบิด- กระแสที่เซตค่าไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่ตรงกับค่าที่ต้องการ

1.4 เนื้อหาภายในเล่ม

บทที่ 1 กล่าวถึงสาเหตุว่าทำไมต้องใช้มอเตอร์กระแสตรงในการทำโครงงานชุดจำลอง โหลด, วัตถุประสงค์และขอบเขตในการทำงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในโครงงาน เริ่มจากทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรงและข้อดี, ข้อเสีย, การเบรกแบบไดนามิก, การทำงานแบบ 4 ควอดเดนซ์ โดยใช้วงจร ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์, สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มแบบยูนิโพลาร์(PWM-unipolar switch)

บทที่ 3 เป็นการประยุกต์ใช้งานการวัดจิตตอละนาลอก อินพุต/เอาต์พุต, การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง พีซี

บทที่ 4 กล่าวถึงวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงงานซึ่งจะมีวงจรเคไทม์, ชุดวงจรขับสวิทชิง, วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

บทที่ 5 ประกอบด้วยการทดลองต่าง ๆ คือ การทดสอบล๊อคโรเตอร์, การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของแรงบิดกับกระแส, การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดที่ค่าแรงบิดในรูปแบบต่าง ๆ

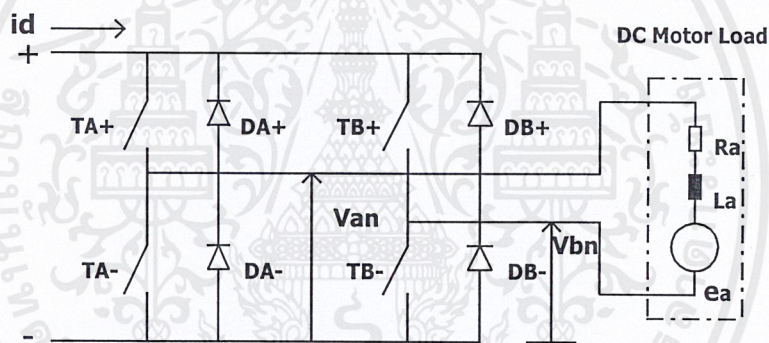
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโรงงาน

2.1 Full Bridge dc-dc converter

โดยทั่วไปแล้วมีการใช้งานแบบได้ 3 ประเภท

1. dc motor drive
2. dc to ac (sine wave) conversion in 1 ϕ Uninterruptible ac Power Supply
3. dc to ac (high intermediate frequency) conversion in switch made transformer-isolated dc power supply



รูปที่ 2.1 Full Bridge dc-dc Converter

ในวงจร Full bridge converter ทางอินพุตจะเป็นแรงดัน DC คงที่ (v_d) และค่าของเอาต์พุตจะเป็นแรงดัน DC (v_d) ที่สามารถควบคุมขนาดและทิศทางกระแสได้ (i_o) Full Bridge dc-dc converter ทำได้ทั้งหมด 4 จัตุภาคของระนาบ $i_o - v_o$ และกระแสไหลผ่าน converter ได้ทั้งสองทิศทาง

ในรูป 2.1 จะให้ได้ว่ามีไดโอดต่อขนานกับ switching มันจะทำงานแตกต่างจากการทำงานของ switching เพราะขณะที่ Switching on ไดโอด อาจจะนำหรือไม่นำกระแสก็ได้ซึ่งถูกบังคับจากกระแส i_o ถ้า switching กระแสในช่วง on state ไม่ต่างจากช่วง off

Full bridge converter ประกอบด้วย 2 กิ่ง ซึ่งแต่ละกิ่งประกอบด้วย switching และไดโอด ต่อขนานอยู่ Switching 2 ตัวของแต่ละขาจะมีการ Switch ไม่ตรงกัน ตัวหนึ่ง on อีกตัวต้อง off แต่

ในทางปฏิบัติ การ on หรือ off ไม่สามารถทำด้านนี้ทันใดได้จะต้องมีช่วงว่างของเวลาอยู่เพื่อหลีกเลี่ยงการ short circuit เรียกว่า blanking time

การทำงานถ้าพิจารณาถึง A

$$V_{AN} = V_d \quad \text{ถ้า TA + on, TA - off} \quad (1)$$

$$V_{AN} = 0 \quad \text{ถ้า TA - on, TA + off} \quad (2)$$

จะเห็นได้ว่า V_{AN} ไม่มีผลของการ switching และอิสระจากทิศทางของ I_o ถ้าแรงดันของ Output ของกิ่ง A มีผลจากความถี่ของการ Switch ซึ่งขึ้นอยู่กับคาบเวลา และถูกบังคับจาก V_d และ duty ratio ของ TA +

$$V_{AN} = \frac{V_d T_{ON} + 0 T_{OFF}}{T_s} \quad \text{TA+} \quad (3)$$

$$= V_d \frac{T_{ON}}{T_s} = V_d \quad \text{*duty ratio of TA +} \quad (4)$$

เมื่อ t_{on}, t_{off} คือช่วงเวลา on และ off ของ TA + โดยเฉพาะ และในทำนองเดียวกัน

$$V_{BN} = V_d \quad \text{*duty ratio of TB -} \quad (5)$$

และแรงดันออกของ converter $V_o = V_{AN} - V_{BN}$ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยควบคุมค่า switching dutyratio และ เป็นอิสระจากขนาดของ V_d และทิศทางของ I_o

ในการพิจารณา converter จะเห็นได้ว่าขั้วแรงดัน output เป็นขั้ว เดียว และ converter switch เป็นแบบ Pulse width modulation โดยการเปรียบเทียบแรงดันของตัว switching ที่เป็น sawtooth กับแรงดันควบคุม $V_{CONTROLL}$ ในรูปแรงดัน output ของ full bridge converter สามารถที่จะกลับขั้วได้และรูปแบบของแรงดัน switching เป็นแบบสามเหลี่ยมซึ่งใช้สำหรับ PWM converter ซึ่งสามารถอธิบายได้ 2 รูปแบบคือ

1. PWM with bipolar voltage switching
2. PWM with unipolar voltage switching

ในโครงงานนี้ใช้ PWM ชนิด unipolar PWM แบบ unipolar

จากรูปที่ 2.1 รูปคลื่นสามเหลี่ยม (V_{TRI}) จะเปรียบเทียบกับแรงดันควบคุม ($V_{CONTROL}$) เป็นบวก ($+V_{CONTROL}$) และลบ ($-V_{CONTROL}$) จากรูปที่ 1 ถ้าให้กึ่ง A รับสัญญาณควบคุมจาก $+V_{CONTROL}$ และกึ่ง B รับสัญญาณควบคุม $-V_{CONTROL}$

TA + on : ถ้า $V_{CONTROL} > V_{tri}$

TB + on : ถ้า $-V_{CONTROL} > V_{tri}$

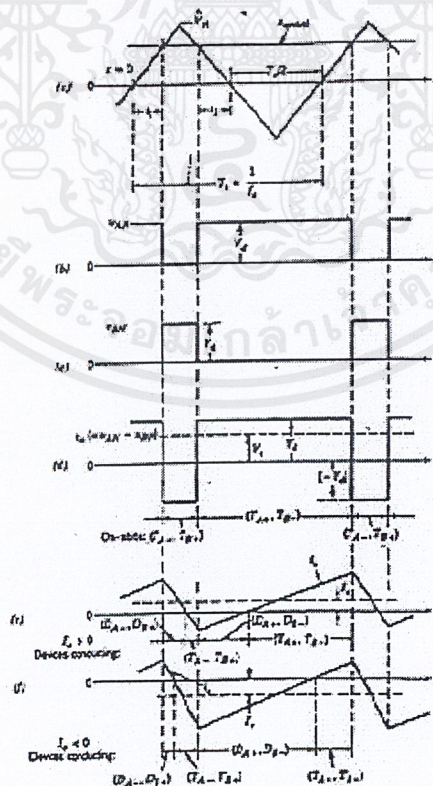
ถ้าให้ D1 เป็น Duty ratio ของ TA + และ D2 เป็น Duty ratio ของ TB + D1 ได้ว่า

$$D1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{CONTROL}}{V_{TRI}} + 1 \right) \quad (6)$$

$$D2 = 1 - D1 \quad (7)$$

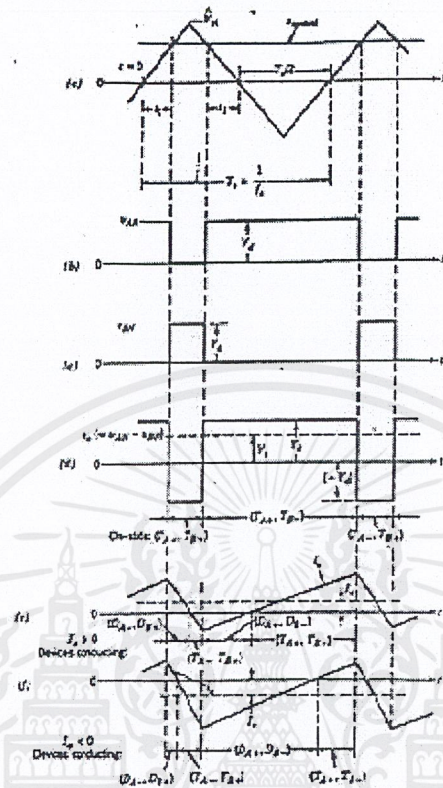
$$V_O = (2D1 - 1)V_d = \frac{V_d}{V_{TRI}} V_{CONTROL} = V_{AN} - V_{BN} \quad (8)$$

$$V_{TRI} = \hat{V}_{TRI} \frac{t}{T_S / 4} \quad 0 < t < \frac{1}{4} T_S \quad (9)$$



รูปที่ 2.1 PWM with bipolar voltage switching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 PWM with unipolar voltage switching

จากรูปที่ 2.2 ที่ $t = t_1$ $V_{TRI} = V_{CONTROL}$ จากสมการข้างบนจะได้

$$t_1 = \frac{V_{CONTROL}}{V_{TRI}} \frac{T_s}{4} \quad (10)$$

$$t_{on} = 2t_1 + \frac{T_s}{2} \quad (11)$$

แทน t_1 ในสมการ t_{on} จะได้

$$t_{on} = \frac{T_s}{2} \frac{V_{CONTROL}}{V_{TRI}} + \frac{T_s}{2} \quad (12)$$

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับไอจีบีที

2.2.1 ไอจีบีที(Insulated Gate Bipolar Transistors)

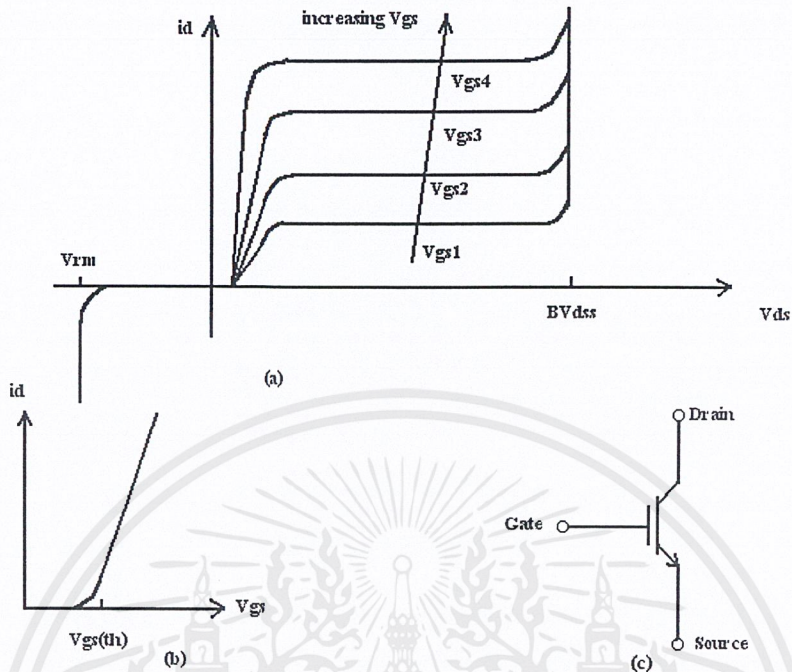
ไอจีบีที เป็นสวิตช์สารกึ่งตัวนำ ที่เกิดจากการพัฒนาเอาข้อดีของมอสเฟต ทรานซิสเตอร์ และ จีทีโอ ไว้ในตัวเดียวกัน ไอจีบีทีมีคุณลักษณะเหมือนมอสเฟตคือ มีเกตอิมพีแดนซ์สูง มีคุณสมบัติเหมือนทรานซิสเตอร์คือ มีแรงดันขั้วนำกระแสต่ำและมีพิกัดปิดกั้นแรงดันสูง และมีลักษณะที่เหมือนจีทีโอคือสามารถที่จะปิดกั้นแรงดันได้ทั้งสองด้าน ด้วยข้อดีเหล่านี้ทำให้ ไอจีบีทีได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากออกแบบการควบคุมง่าย ทนพิกัดแรงดันได้สูงและมีความถี่สวิทช์สูง

ความสามารถในการสวิทช์ของไอจีบีทีใช้เวลา turn on และ turn off ในช่วง 1 μ s สำหรับไอจีบีทีที่เป็นโมดูล ที่พิกัด 1200 โวลต์ 50 แอมป์ สัญญาณควบคุมเกตใช้แรงดันควบคุมที่ขั้วเกต (Gate)และซอส(Source) เช่นเดียวกับมอสเฟต มีคุณสมบัติแรงดันและกระแสดังรูปที่ 4

2.2.2 คุณสมบัติของกระแสและศักดาไฟฟ้า

ลักษณะของไอจีบีที ชนิด n chanel ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในทิศทาง forward จะเหมือนกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ที่ใช้ในลอจิกเซอร์กิต แตกต่างกันที่ควบคุมการทำงานด้วยแรงดัน แทนที่จะใช้กระแสเหมือนทรานซิสเตอร์คุณสมบัติของไอจีบีที ชนิด p chanel จะเหมือนกันเพียงแต่ขั้วความต่างศักย์และทิศทางกระแสกลับกัน

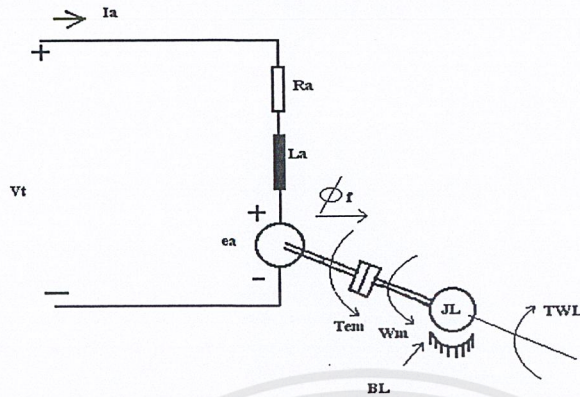
ในรูปที่ 2.3(a) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_d และ V_{GS} ลักษณะเหมือนกับของมอสเฟต ลักษณะเส้นกราฟจะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงกระแสเดรน และมีเป็นเชิงเส้นเมื่อกระแสเดรนมีค่าต่ำ เมื่อ V_{GS} ต่ำกว่าค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า $V_{GS(TH)}$ (Theshol Vol tage) ไอจีบีทีอยู่ในสภาวะที่หยุดนำกระแส ความต่างศักย์คร่อมเกตและซอร์สสูงสุดที่ยอมให้ได้ขึ้นอยู่กับค่ากระแสเดรนสูงสุดที่ยอมให้ไหลในตัวไอจีบีที



รูปที่ 2.3 แสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของไอจีบีที

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีขดลวดตัวนำเรียกว่า ขดอาร์เมเจอร์ (Armature) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าตกร่อมมอเตอร์จะเกิดกระแสไหลผ่านแปรงถ่าน ซึ่งคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด สเตเตอร์ก่อให้เกิดแรงบิดขึ้น ทำให้ส่วนของโรเตอร์หมุน โดยแปรงถ่านและซึ่งคอมมิวเตเตอร์เป็นตัวจัดทิศทางกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ เพื่อให้เกิดแรงกระทำกับขดลวดตัวนำในทิศทางที่ทำให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.1 ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มีแรงบิดขณะสตาร์ทที่สูงมากจึงเหมาะกับการยกของหรืองานประเภทขับเคลื่อน
2. ควบคุมง่ายกว่าและนุ่มนวลกว่ามอเตอร์กระแสสลับที่ทำงานแบบเดียวกัน
3. ช่วงความเร็วที่ควบคุมได้กว้าง สามารถเพิ่มความเร็วให้สูงหรือต่ำกว่าปกติได้

2.3.2 ข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

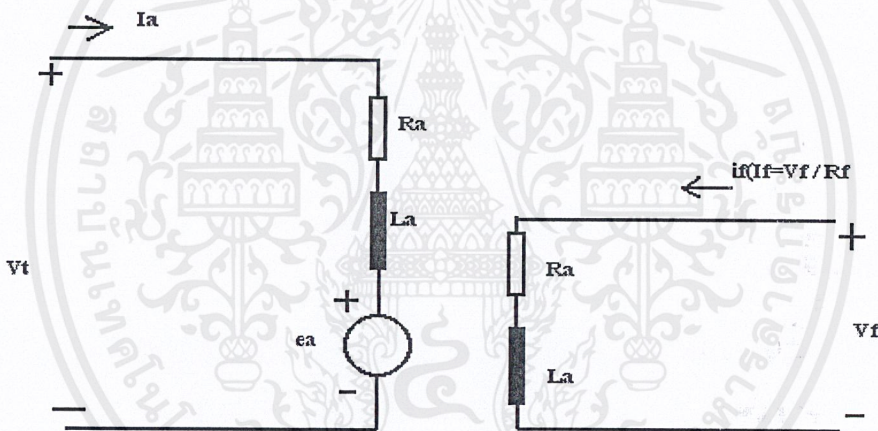
1. ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไว้ใช้งาน
2. มีวิธีการเริ่มเดินที่ยุ่งยากกว่ามอเตอร์กระแสสลับในมอเตอร์ขนาดใหญ่
3. ค่าบำรุงรักษามากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากการสึกหรอของคอมมิวเตเตอร์ที่เกิดจากอาร์ค การขัดสีกับแปรงถ่าน
4. มีราคาแพงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยก ขดลวดกระตุ้นสนาม (Separately-excited DC motor)

เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดที่แยกจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งสามารถสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_f ได้อย่างอิสระเพื่อใช้ควบคุมแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์มีวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.5

การควบคุมทำได้ 2 ส่วนคือ ควบคุมแรงบิดที่วงจรรีอาร์เมเจอร์หรือควบคุมแรงดันที่วงจรถ่านแม่เหล็กโดยทั่วไปการควบคุมแรงดันจะเป็นการเพิ่มลดแรงดันโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในวงจรที่เรียกว่า วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้ (Phase-Controlled Rectifier) หรือ วงจรชอปเปอร์ (Chopper)

จากทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้า แรงบิดขึ้นอยู่กับกระแสอาร์เมเจอร์ เพราะฉะนั้นกระแสที่ต่อเนื่องจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วต่ำ ๆ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีผลต่อการบันทึกสัญญาณ ดังนั้นเราจึงใช้อุปกรณ์สวิตชิง ที่มีความถี่ตัดสัญญาณสูง แต่ผลเสียคือสัญญาณรบกวนมากเมื่อความถี่สูงมาก ๆ และความสูญเสียจากการสับสวิตซ์ (Switching Loss)



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

สมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ

$$T_{em} = k_T \phi_f I_a \quad (13)$$

$$E_a = k_e \phi_f \omega_m \quad (14)$$

T_{em} คือ แรงบิดทางไฟฟ้า (Electromagnetic torque)

E_a คือ แรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (Armature voltage)

k_T คือ ค่าคงที่ของแรงบิด (Torque constant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- k_e คือ ค่าคงที่ของแรงดัน (Voltage constant)
 I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current)
 ω_m คือ ความเร็วเชิงมุม
 ϕ_f คือ ฟลักซ์ในขดลวดฟิลด์

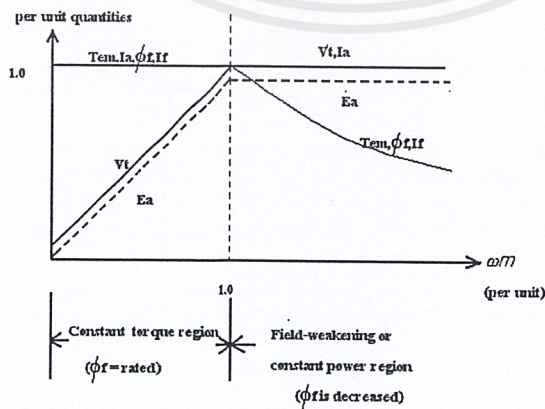
ขณะทำงานเป็นมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) จะมีค่ามากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_a) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังสมการ

$$V_t = E_a + I_a R_a + L \frac{d i_a}{d t} \quad (15)$$

จาก 3 สมการข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ ω_m ได้ดังนี้

$$\omega_m = \frac{1}{k_e \phi_f} \left(V_t - \frac{R_a}{k_T \phi_f} T_{em} \right) \quad (16)$$

จากสมการนี้ เราสามารถควบคุม V_t และ ϕ_f เพื่อให้ได้แรงบิดและค่าความเร็วที่ต้องการได้ แต่โครงงานนี้ใช้ควบคุม V_t โดยให้ ϕ_f คงที่ โดยการป้อนคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันโดยใช้หลักการ PWM ผ่านวงจรกำลังไปควบคุมมอเตอร์ ลักษณะของพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับความเร็วเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับความเร็ว

จากรูปจะเห็นว่าช่วงความเร็วจากศูนย์ถึงค่าพิกัดเรียกว่า ช่วงเร่งบิตดงที่ ช่วงนี้ V_r แปรผันตรงกับความเร็ว เมื่อต้องการให้ความเร็วสูงขึ้นต้องรักษาค่า V_r ให้คงที่ และลดค่า ϕ_r โดยการลด I_f ทำให้แรงบิตลดลงด้วย ส่วน I_a ห้ามเกินค่าพิกัดเพราะจะทำให้กระแสไหลผ่านไม่ต่อเนื่อง เพราะณั้้นค่า $E_a I_a$ จึงคงที่ เรียกว่าเป็นช่วงกำลังคงที่

2.4.1 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ดีซี

$$e_a = e_g + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (17)$$

ซึ่ง

$$e_g = K_a \phi \omega_m \quad (18)$$

ซึ่งจะได้สมการแรงบิต

$$t = T_L + B \omega_m + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (19)$$

ซึ่ง

$$t = K_a \phi i_a \quad (20)$$

e_a	=	แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์
e_g	=	แรงดัน Back EMF
R_a	=	ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature resistance)
i_a	=	กระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature current)
L_a	=	ตัวเหนี่ยวนำขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature inductance)
K_a	=	ค่าคงที่
ϕ	=	สนามไฟฟ้า
ω_m	=	ความเร็วรอบ (Motor Speed rad/s)
t	=	แรงบิต
J	=	Moment of inertia at motor and Load
B	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Viscous friction constant)
T_L	=	แรงบิตจากโหลด (torque)

เมื่อสมการที่ (17),(18),(19) และ (20) แปลงให้อยู่ในรูป Time Domain จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$E_a(s) = E_g(s) + R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) \quad (21)$$

$$E_g(s) = K_E \omega_m(s) \quad (22)$$

$$T(s) = T_L(s) + B \omega_m(s) + J s \omega_m(s) \quad (23)$$

$$T(s) = K_T I_a(s) \quad (24)$$

จากสมการที่ 21

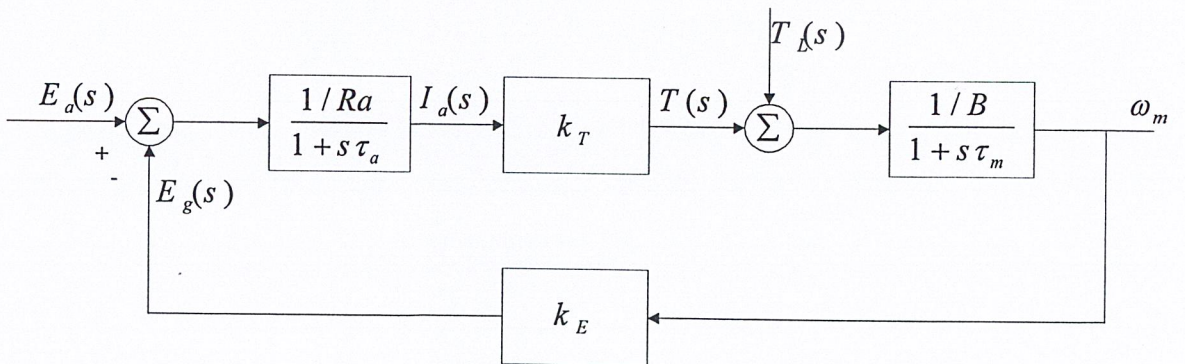
$$I_a(s) = \frac{E_a(s) - E_g(s)}{R_a + s L_a} = \frac{[E_a(s) - E_g(s)] 1 / R_a}{1 + \tau_a s} \quad (25)$$

โดยกำหนดให้ $\tau_a = \frac{L_a}{R_a}$ ค่าคงที่ทางไฟฟ้า (Electrical time constant of Amature Current)

$$\omega_m = \frac{T(s) - T_L(s)}{B + J s} = \frac{[T(s) - T_L(s)] 1 / B}{1 + \tau_m s} \quad (26)$$

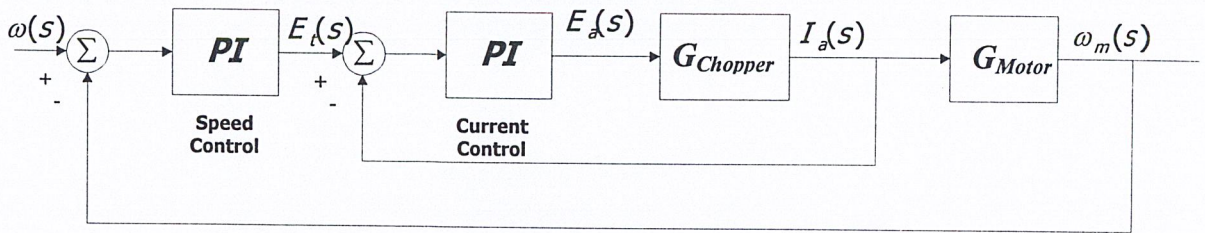
โดยกำหนดให้ $\tau_m = \frac{J}{B}$ ค่าคงที่ทางกล (Machnical time constant)

สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมทรานเฟอร์ฟังก์ชันของคิซิมอเตอร์ [21] , [25] ได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน คิซิมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการป้อนกลับกระแสและความเร็ว

2.5 การเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ทำงานโดยที่ไม่ทำให้ทั้งแหล่งจ่ายและมอเตอร์เสียหาย เนื่องจากกระแสดอนเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสูงมากขณะที่ความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นศูนย์ ($N_r=0$) ซึ่งมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นกระแสดอนเริ่มหมุน I_a จะเท่ากับ V_t / R_a ซึ่งจะมีค่าสูงมาก

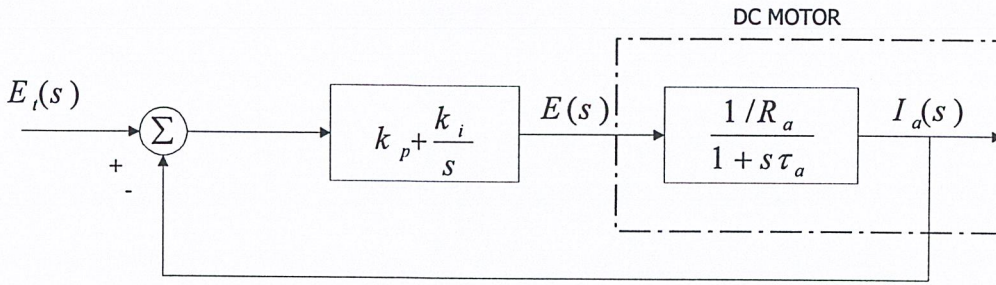
การลดกระแสเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำได้โดยการลดแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์หรือใช้ค่าความต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยที่จะรับค่าแรงบิดเริ่มต้นที่ดีต่อควบคุมให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วเป็นค่าพิกัดและถ้าใช้การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งอาจเป็นวงจรดิซิปเปอร์หรือคอนเวอร์เตอร์ที่จะสะดวกในการควบคุมกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์

2.6 การเบรกแบบไดนามิก (Dynamic Braking)

เป็นการเบรกโดยการทำให้เครื่องจักรไฟฟ้าเปลี่ยนการทำงานจากมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้หลักการของการกระจายพลังงานผ่านความต้านทานค่าหนึ่งเรียกว่า R_{break} ที่ต่อขนานกับวงจรกำลังที่ใช้ขับมอเตอร์แปลงเป็นพลังงานความร้อนสูญเสียออกภายนอก ทำให้การเบรกมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์อื่น ๆ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าสูงเกินไป

2.7 การออกแบบการควบคุมกระแสป้อนกลับ (PI Control)

เมื่อทำการหาค่าแบบป้อนกลับของกระแสอาร์เมเจอร์ของระบบจากรูปที่ 2.7 จะได้ระบบควบคุมกระแสที่ออกแบบดังรูปที่ 2.9 การหาค่าอัตราขยายตัวควบคุมสามารถคำนวณจากสมการที่ (11), (12) แสดงเงื่อนไขอัตราขยายวงรอบเปิดที่ความถี่ตัดข้าม ω_0 (Corner frequency) ของตัวควบคุม PI จะต้องน้อยกว่าความถี่ตัดข้าม [1] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการป้อนกลับกระแส

$$\left| \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \times \frac{1/R_a}{1 + s\tau_a} \right|_{s=j\omega_0} = 1 \quad (27)$$

$$\omega_{cn} = \frac{k_i}{k_p} < \omega_0 \quad (28)$$

โดยหลักการเลือกค่าความถี่ตัดขัมนั้นจะพิจารณาจากผลตอบสนองเป็นสำคัญเนื่องจากงานวิจัยการควบคุมจะเป็นลักษณะต่อเนื่อง โดยมีการควบคุมความเร็วอยู่รอบนอก และจะใช้ความถี่ตัดขัมนี้อาจประมาณ 50 rad/sec (ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ได้ผลตอบสนองชั่วคราวรวดเร็วและเพียงพอสำหรับใช้โรงงาน อุตสาหกรรมทั่วไป [1]) ส่วนการควบคุมกระแสจะเป็นวงรอบในซึ่งต้องมีผลตอบสนองที่ไวกว่า ดังนั้นเราจึงเลือกความถี่ตัดขัมนี้อาจมากกว่าแต่ก็มาอาจจะมากเกินไป เพราะอาจส่งผลกระทบต่ออัตราขยายของสัญญาณรบกวนได้ ถ้าให้เวลาขาขึ้น (Rise time) มีค่าประมาณ 2.2 ms สามารถประมาณความถี่ตัดขัมนี้อาจประมาณ 1000 rad/sec สำหรับการเลือกค่าความถี่หักมุมของตัวควบคุม PI เราจะพิจารณาเสถียรภาพเป็นหลัก โดยระบบต้องมีการเฟื่อเฟสเพียงพอ ในงานวิจัยนี้ได้ให้ค่า $\omega_{cn} = \frac{k_i}{k_p} = 250 \text{ rad/sec}$

บทที่ 3

การประยุกต์ใช้งาน

3.1 ET – DIO CARD (การ์ดอินพุตเอาต์พุตเอนกประสงค์)

3.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการ์ด ET-DIO

การ์ด ET-DIO (Digital Input/Output card) เป็นการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องพีซี เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุตให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตได้ทั้งในรูปของอะนาล็อกและดิจิทัล ทำให้มีความคล่องตัวที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน การ์ด ET-DIO มีอุปกรณ์ร่วมและจุดเด่นที่น่าสนใจของตัวมันเองดังนี้

- มีพอร์ต 8255 จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะโปรแกรมเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตตามความต้องการของผู้ใช้เองทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 บิต
- มีชิพ 8253 (Programmable Interval Timer) จำนวน 1 ตัว ทำให้สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานการ์ดเกี่ยวกับฐานเวลาต่าง ๆ ได้มากมาย
- มีชิพ ADC (Analog to Digital Converter) จำนวน 1 ตัวสามารถเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ ADC0804 (8 บิต) หรือ ADC1001 (10 บิต) สามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตในรูปอะนาล็อกได้สูงถึง 5 โวลต์
- มีชิพ DAC (Digital to Analog Converter) จำนวน 1 ตัว สามารถเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 บิต) DAC1232 (12 บิต)
- มีวงจรถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ตใช้งาน ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนตำแหน่งของพอร์ตและสามารถที่จะนำการ์ด ET-DIO นี้ต่อร่วมกับเครื่องพีซี ได้มากกว่า 1 การ์ดโดยการกำหนดตำแหน่งใช้งานที่แตกต่างกัน

3.1.2 การทำงานของการ์ด ET-DIO

รูปที่ 3.1 เป็นวงจรสมมุติของการ์ด ET-DIO เนื่องจากการ์ดนี้ติดตั้งลงบนสล็อตของเครื่องพีซี ดังนั้นส่วนแรกที่จะกล่าวถึงคือ การติดต่อกับพีซีโดยผ่านบัสข้อมูล , แอดเดรสและบัสสัญญาณควบคุมต่าง ๆ U_1 ไอซีเบอร์ 74LS245 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของบัสข้อมูล D_0-D_7 โดยได้รับการควบคุมการอินาเบิลจาก U_{4B} ไอซีเบอร์ 74LS139 ซึ่งก็ได้รับสัญญาณ XA1 จาก U_2 ไอซีเบอร์ 74LS245 โดยตัว U_2 นี้ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของสัญญาณแอดเดรส A0-A3 และสัญญาณควบคุม

IOR, IOW, RES และ AEN

สัญญาณ A2และA3 จากบัสของพีซีเมื่อผ่าน U2 จะเข้าไป U4A เพื่อถอดรหัสไบนารีให้ U5 ชิพ 8255,U6 ชิพ 8253 หรือ U10 ชิพ DAC0832 ทำงาน

ส่วนการถอดรหัสตำแหน่งของการ์ดเป็นหน้าที่ของ U3 ไอซีเบอร์ 74LS688 โดยตัว U3 เองเป็นตัวเปรียบเทียบข้อมูลขนาด 8 บิต ในวงจรจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างA4-A11 ของบัสพีซีกับข้อมูลที่กำหนดโดยคิฟสวิทช์ SW1 ถ้าหากข้อมูลทั้ง 2 แหล่งตรงกันเอาต์พุต P=Q ที่ขา 19 ของ U3 จะเป็นลอจิก “0” ไปไบนารี U4A ซึ่งจะทำให้พอร์ตต่างๆ บนการ์ด ทำงานได้

3.1.3คุณสมบัติของการ์ด ET-DIO

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของการ์ด ET – DIO

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	หน่วย
ระดับลอจิกต่ำทางอินพุต	0.5	0.8	โวลต์
ระดับลอจิกสูงทางอินพุต	2.0	5.5	โวลต์
ระดับลอจิกต่ำทางเอาต์พุต	-	0.45	โวลต์
ระดับลอจิกสูงทางเอาต์พุต	2.4	5.0	โวลต์
ความถี่อินพุต	-	2.6	เมกะเฮิร์ตซ์
แรงดันอะนาล็อกอินพุต			
VI+	0	5	โวลต์
VI -	0	5	โวลต์
แรงดันอะนาล็อกเอาต์พุต	0.1	10.67	โวลต์
แรงดันอ้างอิง/2(DAC)	-	2.50	โวลต์
แรงดันอ้างอิง/2(ADC)	0.1	2.50	โวลต์

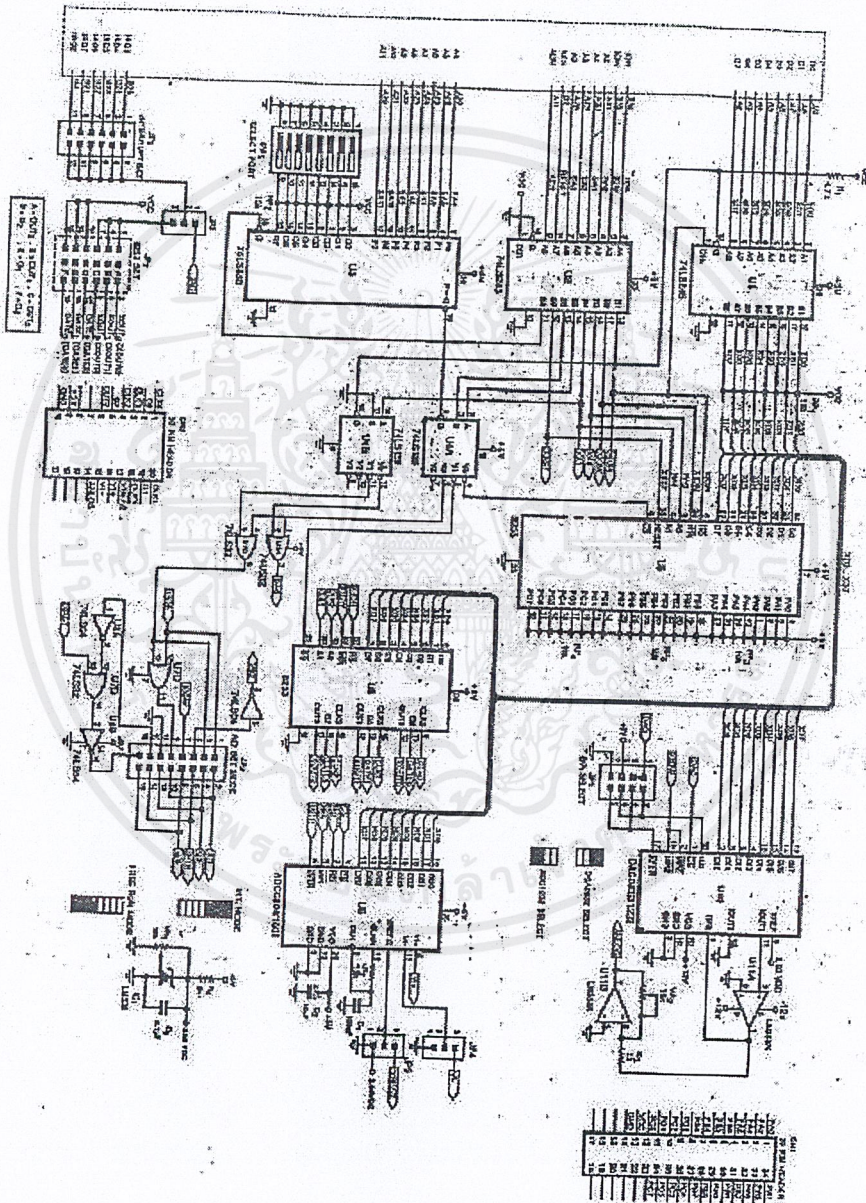
แรงดันไฟเลี้ยง : +5 โวลต์
: ± 12 โวลต์

ขนาด : 9x22 เซนติเมตร

จำนวนพอร์ตดิจิตอล : 3 พอร์ต(24บิต)

ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ : 3 ช่อง

อินพุตอะนาล็อก : 1 ช่อง
 เอาต์พุตอะนาล็อก : 1 ช่อง
 ตำแหน่งพอร์ต : เลือกได้ 8 ตำแหน่ง โดยใช้ดิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 3.1 วงจรสมบูรณ์ของการ์ด ET-DIO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 พอร์ตเอนกประสงค์ 8255

U5 เบอร์ 8255 จะทำงานได้จะต้องได้รับสัญญาณ CS จาก U4A ส่วนสัญญาณ $\overline{RD}$, $\overline{WR}$, $\overline{RESET}$ จะได้จาก U4A ส่วนสัญญาณแอดเดรส A0 และ A1 ก็จะได้จาก U2 เช่นกัน สัญญาณข้อมูล D0-D7 จะได้จาก U1 ซึ่งสัญญาณข้อมูลนี้จะได้รับการปรับปรุงให้ถูกต้องโดยบัฟเฟอร์ U1 และมีการพูลอัพด้วย RP1 $10k\Omega$ เพื่อให้สัญญาณมีความแน่นอนมากยิ่งขึ้น

ส่วนขาสัญญาณของพอร์ต ไม่ว่าจะเป็น PA0-PA7, PB0-PB7, และ PC0-PC7 จะได้รับการพูลอัพด้วยตัวต้านทาน RP3-RP5 $10k\Omega$ ทั้งหมดเพื่อให้สัญญาณมีความแน่นอนขึ้น

เมื่อต้องการใช้งานพอร์ตของ 8255 สามารถต่อสายสัญญาณได้ที่คอนเน็กเตอร์ CN1 ขนาด 34 ขา ตำแหน่งของขาระบุไว้ในวงจรแล้ว

3.1.5 ส่วน DAC และ ADC

U10 ชิพเบอร์ DAC0832 เป็นชิพที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อก ขนาด 8 บิต โดยข้อมูลดิจิทัลจะได้อาจมาจาก U1 เช่นเดียวกับ 8255 แรงดันอ้างอิงจะใช้ 2.5 โวลต์ ต่อเข้าที่ขา 8 เอาต์พุตของ U10 ออกมาที่ขา Iout1 ขาที่ 11 แล้วผ่าน U11A เป็นโอซีออปแอมป์เบอร์ LM358N เพื่อเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันจากนั้นก็เข้าไปเข้า U11B เพื่อขยายแรงดัน โดยสามารถปรับอัตราขยายแรงดันได้ที่ VR2 $10k\Omega$ ก็จะได้สัญญาณอะนาล็อกออกมาที่ขา 7 ของ U11B

ในส่วนของ DAC สามารถเลือกใช้ขนาดข้อมูลดิจิทัลเป็น 12 บิตได้แต่ต้องเปลี่ยนชิพจาก DAC0832 เป็น DAC1232 แล้วเลือกตำแหน่งจัมเปอร์ JP1 ใหม่ดังแสดงไว้ในวงจร ส่วนที่ระบายค่าหมายถึงปล่อยลอยไว้ส่วนที่เป็นช่องสี่เหลี่ยมขาวหมายถึงให้ต่อจัมเปอร์ U10 ได้รับสัญญาณอินาเบิล $\overline{CS}$ จาก U7A เบอร์ 74LS32 ซึ่งก็ได้มาจากการแอนด์ของสัญญาณถอดรหัส Y2 ไอซี U4A

สำหรับกระบวนการ ADC บนการ์ด ET-DIO จะเป็นหน้าที่ของ U9 ชิพเบอร์ ADC0804 ซึ่งเป็นชิพแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต หากต้องการเป็น 10 บิต ก็สามารถใช้ชิพเบอร์ ADC1001 แทน สัญญาณอินาเบิลให้ U9 คือสัญญาณ CS จะได้มาจากการแอนด์กันระหว่างสัญญาณ Y2 จาก U4A กับสัญญาณ Y1 จาก U4B ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานซ้ำซ้อนกันกับส่วน DAC โดยจะต้องต่อจัมเปอร์ JP2 เพื่อตั้งโหมดของ ADC ด้วย โดยตั้งอยู่ในโหมดของ FREE RUN ซึ่งทำให้สัญญาณ RD, INTR, WR และ CS สามารถต่อเข้า U9 เพื่อควบคุมการทำงานได้

แรงดันอ้างอิงของ U9 ถูกกำหนดด้วย JP2 ซึ่งเลือกได้ระหว่างค่า 2.5 โวลต์ และค่าแรงดันอ้างอิง/2 จากภายนอกส่วนแรงดัน VI ก็เลือกได้ 2 ตัวคือ VI จากภายนอกและ กราวนด์โดยเลือกที่ JP4

เอาต์พุตของ U9 ออกมาที่ขา DB0-DB7 ต่อเข้ากับบัสข้อมูล XD0-XD7 ผ่าน U1 ได้สัญญาณ D0-D7 ป้อนเข้าบัสของพีซีต่อไป

แรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ที่ใช้ในส่วน DAC และ ADC ได้มาจาก IC1 LM336 ต่อร่วมกับ R4, C3 และ VR1

3.1.6 8253 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ

เช่นเดียวกับ 8255 U6 8253 ได้รับบัสข้อมูลจาก U1 สัญญาณควบคุม XIOR, XIOW, XA0, XA1 ได้จาก U2 ส่วนสัญญาณ CS ได้จากการถอดรหัสของ U4A

สำหรับสัญญาณ CLK, GATE ได้มาจากภายนอก โดยผ่านทางคอนเน็กเตอร์ CN2 20 ขา และสัญญาณเอาต์พุต XOUT0-XOUT2 ก็ต่อเข้ากับ CN2 เช่นกัน ถ้าต้องการนำสัญญาณนี้ไปใช้ก็สามารถต่อได้จาก CN2 นี้

3.1.7 การทำงานในโหมดอินเทอร์รัพต์

การทำงานที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการทำงานในโหมด FREE RUN หรือโหมดการทำงานปกติทั้งหมด หากต้องการทำงานในโหมดอินเทอร์รัพต์ก็ต้องมีการสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพต์ป้อนกลับเข้าไปที่บัสของพีซีคือ ขา IRQ₂, IRQ₇ โดยเลือกได้จาก JP₆

ชิพที่จะทำงานกับโหมดนี้ก็คือ 8253 โดยเอาต์พุตของ 8253 จะต่อเข้ากับจัมเปอร์ JP₇ เพื่อใช้ให้เป็นสัญญาณอินเทอร์รัพต์ สัญญาณอินเทอร์รัพต์นี้ได้มาจาก 2 แหล่งคือ จาก JP₇ ซึ่งก็มาจาก 8253 กับสัญญาณ IRQ ของวงจร ADC ซึ่งมาจาก U_{8c} ไอซีเบอร์ 74LS04 โดยแหล่งกำหนดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ในส่วนนี้คือ U₉ เมื่อทำงานในโหมดอินเทอร์รัพต์ มันจะกำเนิดสัญญาณ INTR แล้วผ่าน U_{8c} เป็น IRQ ป้อนผ่าน JP₃ แล้วเข้าสู่บัสสัญญาณอินเทอร์รัพต์ต่อไป

3.1.8 การเลือกแอดเดรสของการ์ด

ตำแหน่งของพอร์ตบนการ์ดจะใช้ไอซี U₃, U₄, U₇ และดิพสวิทช์ SW₁ ต่อรวมกันเป็นวงจรถอดรหัสแอดเดรส โดย SW₁ เป็นตัวกำหนดหมายเลขแอดเดรสของพอร์ตตามต้องการของผู้ใช้ โดยในการ์ด ET-DIO จะใช้ตำแหน่งของพอร์ตทั้งหมด 12 พอร์ตคือ

XX0H = พอร์ต PA ของ 8255

XX1H = พอร์ต PB ของ 8255

XX2H = พอร์ต PC ของ 8255

XX3H = พอร์ตควบคุมของ 8255

XX4H = พอร์ตตัวนับ 0 ของ 8253
 XX5H = พอร์ตตัวนับ 1 ของ 8253
 XX6H = พอร์ตตัวนับ 2 ของ 8253
 XX7H = พอร์ตควบคุมของ 8253
 XX8H = พอร์ตควบคุมของ DAC
 XX9H = พอร์ตควบคุมของ DAC
 XXAH = พอร์ตควบคุมของ ADC
 XXBH = พอร์ตควบคุมของ ADC

ผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดเบอร์พอร์ตได้โดยการกำหนดระดับลอจิกให้กับแอดเดรสต่างๆ ตามความต้องการ ซึ่งบนการ์ด ET-DIO สามารถที่จะกำหนดลอจิกให้กับแอดเดรสใด ๆ โดยใช้ SW₁ ซึ่งหาก SW₁ “ON” SW₁ จะได้ระดับลอจิก “0” หาก “OFF” SW₁ จะได้ระดับ “1”

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการกำหนดแอดเดรสพอร์ตเป็น 300H ให้ปฏิบัติดังนี้

(1) การกำหนดระดับลอจิกให้กับแอดเดรสต่าง ๆ ให้เท่ากับ 300H คือ A₁₁ และ A₁₀ เป็น “0”, A₉ และ A₈ เป็น “1”, A₇–A₄ เป็น “0” ส่วน A₃–A₀ ถูกกำหนดให้ด้วยไอซี U₄ เบอร์ 74LS139 อีกทีหนึ่ง ดังนั้น SW₁ จึงมีหน้าที่เลือกแอดเดรสเพียงสองหลักเท่านั้น ตามตัวอย่างจะได้ข้อมูลเป็น 0011 00 00 XXXX คือ 30XH

(2) ตั้งสวิตช์เพื่อกำหนดลอจิกให้แอดเดรสตาม (1) นั่นคือ SW₁ ตำแหน่ง A₄–A₇ “ON”, ตำแหน่ง A₈ และ A₉ “OFF” และตำแหน่ง A₁₀ และ A₁₁ “ON”

เมื่อเรากำหนดแอดเดรสให้การ์ด ET-DIO แล้ว การใช้อุปกรณ์ใด ๆ บน ET-DIO CARD ต้องอ้างตำแหน่งนั้น ๆ เสมอ เช่น ถ้ากำหนดให้การ์ด ET-DIO ดำงานที่ตำแหน่ง 300H (SW₁ “ON” ที่ตำแหน่ง 1,2,3,4,7, และ 8, และ “OFF” ที่ตำแหน่ง 5 และ 6 จะมีผลทำให้แอดเดรสของพอร์ตต่างๆ เป็นดังนี้คือ

300H = พอร์ต PA ของ 8255
 301H = พอร์ต PB ของ 8255
 302H = พอร์ต PC ของ 8255
 303H = พอร์ตควบคุมของ 8255
 304H = พอร์ตตัวนับ 0 ของ 8253
 305H = พอร์ตตัวนับ 1 ของ 8253

306H = พอร์ตตัวนับ 2 ของ 8253

307H = พอร์ตควบคุมของ 8253

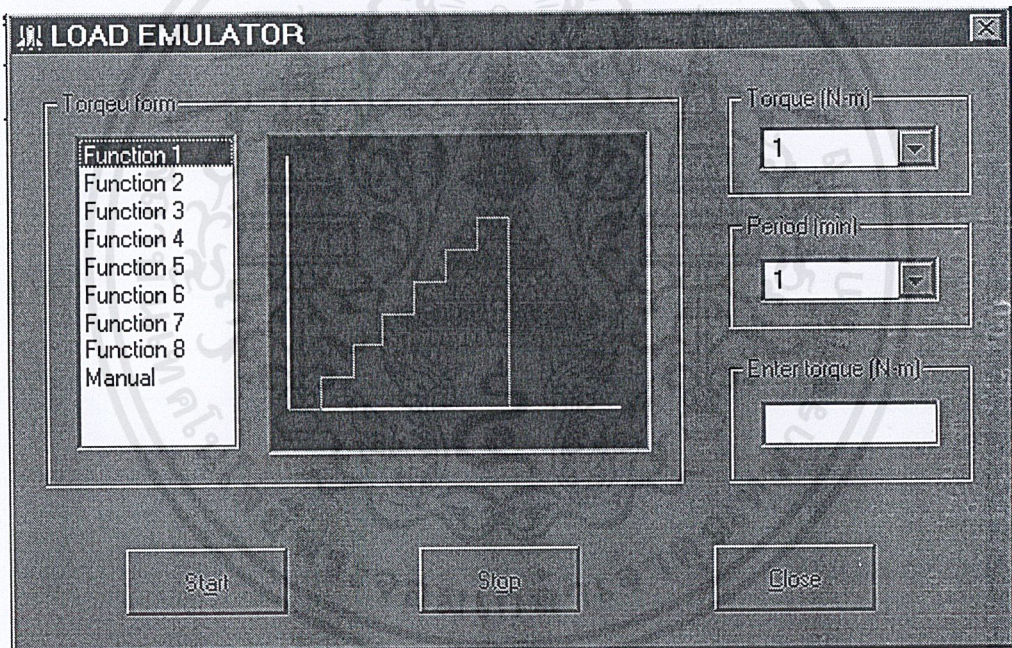
308H = พอร์ตควบคุมของ DAC

309H = พอร์ตควบคุมของ DAC

30AH = พอร์ตควบคุมของ DAC

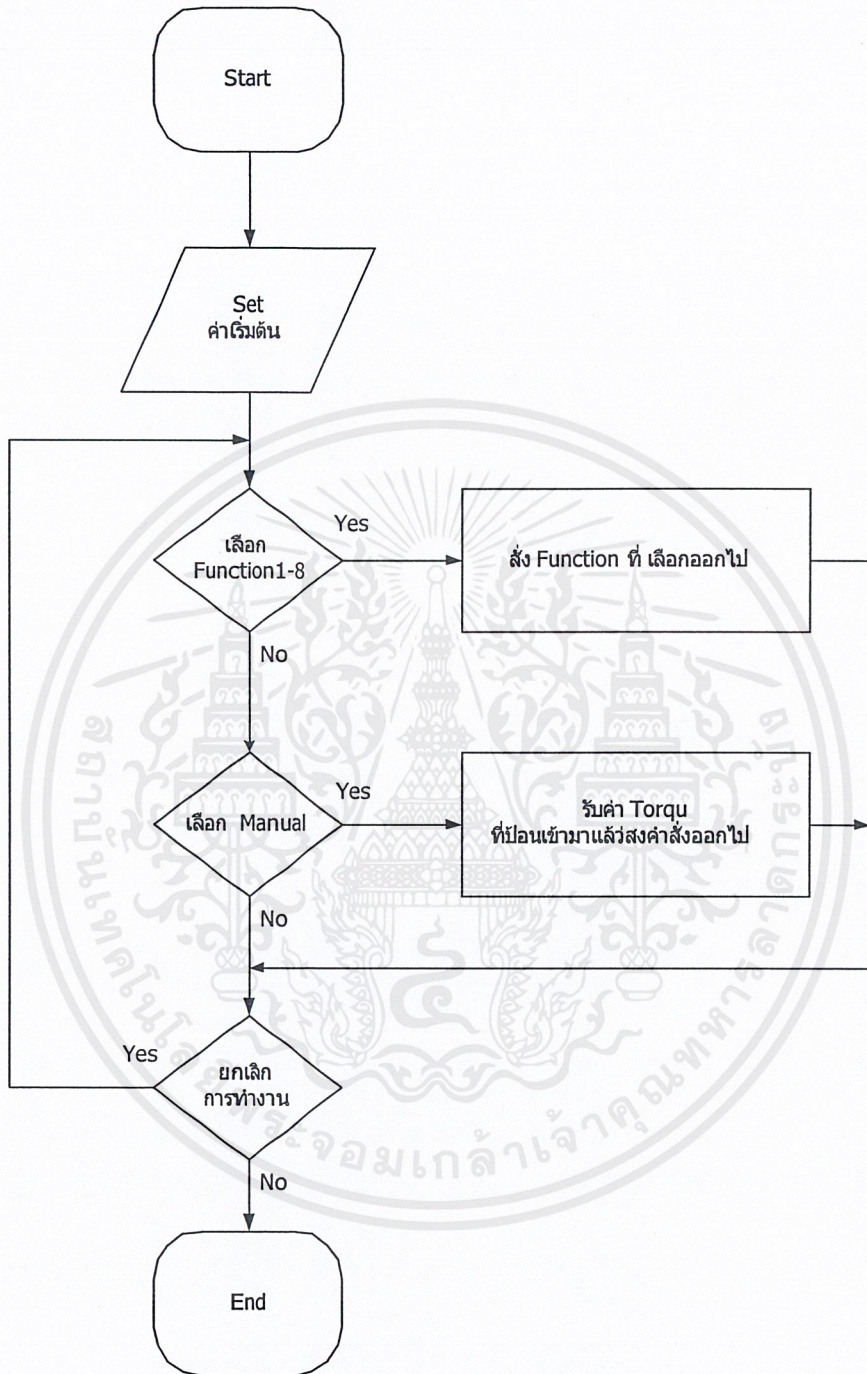
30BH = พอร์ตควบคุมของ DAC

3.2 ส่วนของโปรแกรมสั่งงาน



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนอินเทอร์เฟซกับผู้ใช้งาน

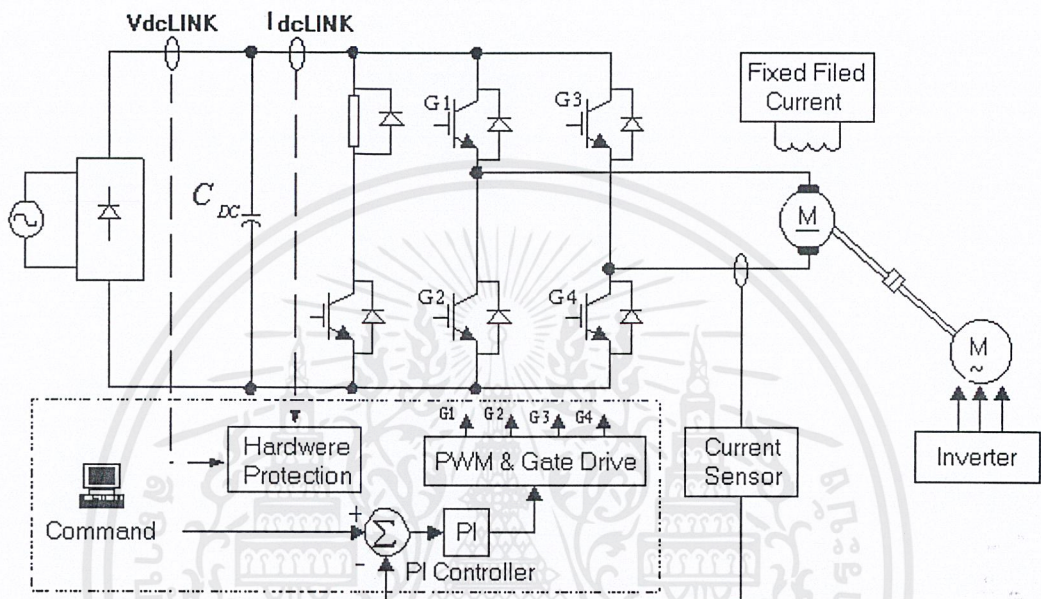
ในส่วนนี้จะใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดย Microsoft Visual basic 6.0 เป็นตัวสั่งงานจากคอมพิวเตอร์โดยการสั่งงานไปยังชุดจำลองโหนดจะทำการผ่านการ์ดอินเตอร์เฟซซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอะนาลอกก่อนนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบกับกระแสแรง โดยการส่งสัญญาณจะทำการส่งแบบขนานซึ่งมีความเร็วสูง ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมสั่งงานจะแสดงรายละเอียดในภาคผนวก



รูปที่ 3.3 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 4

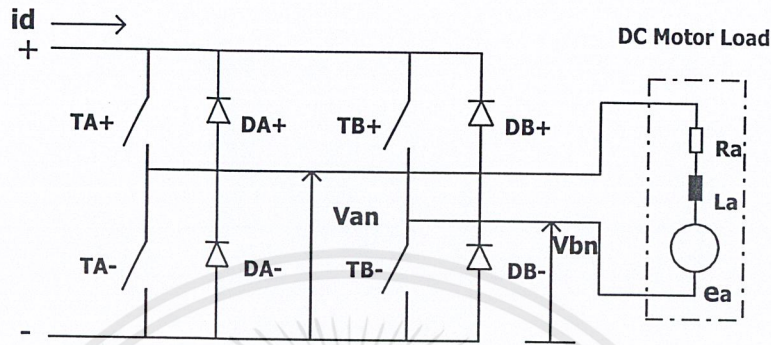
วงจรที่ใช้ในโครงการ



รูปที่ 4.1 วงจรหลักโดยรวมของชุดจำลองโหลด

การทำงานของชุดจำลองโหลดเป็นการควบคุมแรงบิดโหลดของมอเตอร์ โดยอาศัยหลัก การแรงบิดแปรผันตามกระแส I_a และกระแส I_f ซึ่งเมื่อทำการควบคุมกระแส I_f ให้คงที่แล้วทำให้ ค่าของแรงบิดแปรผันตามกระแส I_a เพียงอย่างเดียว โดยการควบคุมกระแส I_a จะใช้การควบคุม แบบ PI Controller โดยใช้ LEM เป็นตัวตรวจสอบกระแส I_a มาทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแสอ้างอิงที่สั่งจากคอมพิวเตอร์ ในส่วนของวงจรขับมอเตอร์ จะใช้ไอซีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตช์ ซึ่ง สัญญาณขับเคลื่อนจะใช้เทคนิค Unipolar PWM โดยในส่วนของวงจรขับจะมีวงจรป้องกันรวมอยู่ด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวงจรในส่วนต่างรวมถึงหลักการทำงานของวงจรต่าง ๆ

4.1 วงจร ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge DC-DC Converter)



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรที่ใช้ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

การทำงานของฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ เริ่มจากสวิตช์ TA^+ , TB^- ทำงาน กระแสอาร์เมเจอร์และแรงดันย้อนกลับจะมีทิศทางดังรูปซึ่งกำหนดให้เป็นทิศทางบวก มอเตอร์จะหมุนฟอร์เวอร์ส ต่อมาสวิตช์ TB^+ , TA^- จะทำงานแต่ความเหนี่ยวนำในมอเตอร์ทำให้กระแสยังคงไหลในทิศทางเดิมและไดโอดที่ล้อมสวิตช์ DB^+ , DA^- ฟอร์เวอร์สไบอัส ทำให้มีกระแสไหลแต่แรงดันย้อนกลับจะกลับขั้วทำให้เกิดการเบรคของ ฟอร์เวอร์สจากค่าแรงดันที่กลับขั้ว เมื่อกระแสที่จ่ายมาจากค่าความเหนี่ยวนำหมดแล้วสวิตช์ TB^+ , TA^- จะทำงานทำให้กระแสและแรงดันกลับทิศในสภาวะนี้มอเตอร์จะมีการทำงานแบบรีเวอร์ส เมื่อสวิตช์ TA^+ , TB^- จะทำงานไดโอดที่อยู่ล้อมสวิตช์ DA^+ , DB^- จะฟอร์เวอร์สไบอัสทงทิศทางกระแสแต่แรงดันจะกลับขั้วทำให้เกิดการเบรคของรีเวอร์ส

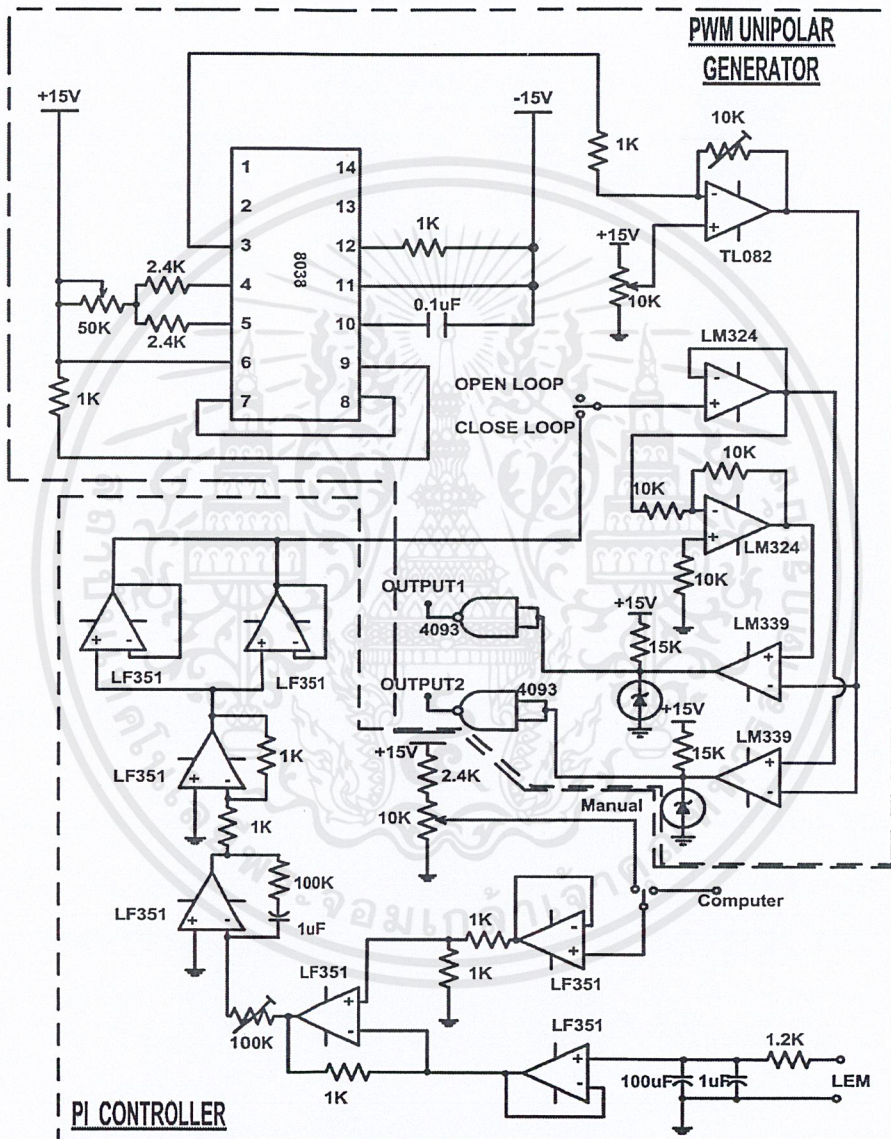
4.2 วงจรควบคุมแบบ พี ไอ (Proportional Plus Integral Control)

การทำงานของวงจร

เมื่อทำการปรับค่า K_p และ K_i ของวงจรควบคุมแบบ พี ไอ ได้แล้ว การทำงานของวงจรควบคุมแบบ พี ไอ (PI Control) คือ ถ้าทำการปรับกระแสอ้างอิง (V_{ref}) ที่ตัวความต้านทานปรับค่าได้ (R_{ref}) ไว้ที่ค่าหนึ่ง เมื่อทำการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะส่งค่ากระแสจริง (I_{act}) กลับมาในรูปของแรงดันโดยใช้ตัว Current Sensor เรียกค่านี้ว่า V_{feed} ที่วงจรควบคุมแบบพีไอ (PI Control) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ V_{ref} ที่ตั้งไว้ หากมีค่าไม่เท่ากัน วงจรควบคุมแบบ พี ไอ จะทำการสร้างสัญญาณไปตัดสัญญาณรูปฟันเลื่อย (Saw tooth) เพื่อเปลี่ยนค่าดีวตี้ไซเคิล (duty Cycle) ที่จะทำให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{feed} เท่ากันกับ V_{ref} โดยจะมีการส่งค่า V_{feed} มาเปรียบเทียบกับ V_{ref} อยู่ตลอดเวลาเพื่อจะทำให้ค่า I_{actual} มีค่าคงที่ ซึ่งก็หมายถึงแรงบิดก็มีค่าคงที่ด้วย

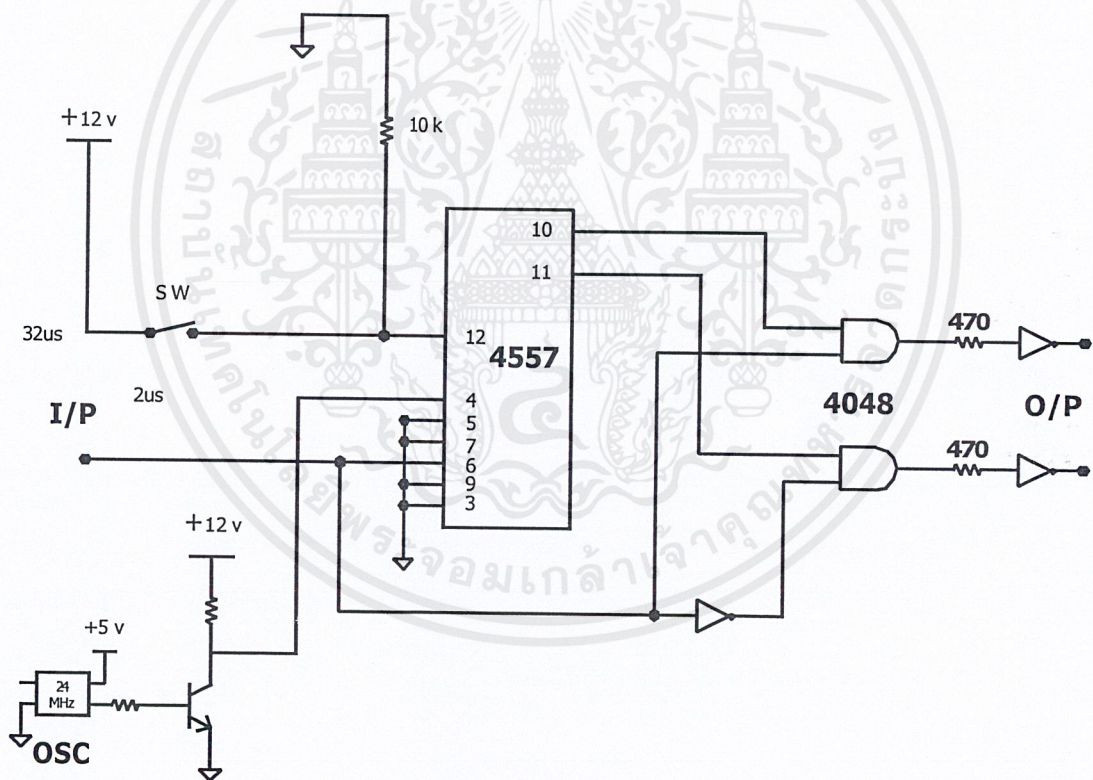


รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมแบบ พีไอ(PI Control) และ PWM

4.3 วงจรหน่วงเวลา (Dead Time Circuit)

เนื่องจากในวงจร ฟูลบริดจ์ ดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์นั้น การสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตชิง ตัวบนและตัวล่างในกึ่งเดียวกัน ไม่สามารถ ปิด – ปิดในเวลาเดียวกันได้ เพราะจะทำให้เกิดการช็อตในกึ่งเดียวกันทำให้อุปกรณ์สวิตชิงนั้นเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเดดไทม์เข้ามาช่วยในการหน่วงสัญญาณทริกเพื่อไม่ให้เกิดการช็อตในกึ่งเดียวกัน

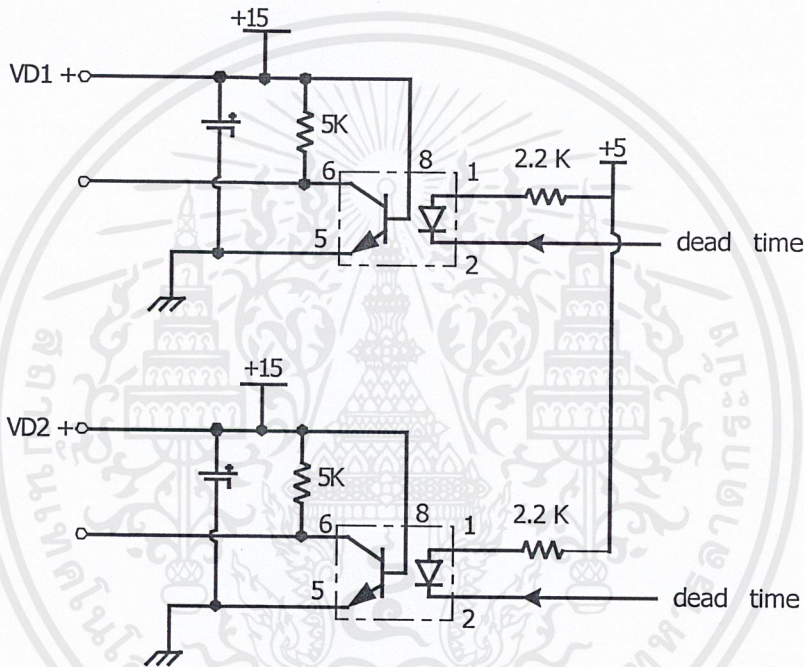
จากวงจรข้างล่างจะมีสัญญาณอินพุตจากชุด ฟิตบับลิวเอ็มจะส่งไปยัง ไอซี 4557 ทำให้เกิดสัญญาณแยกออกเป็นสองชุดที่มีการกลับเฟสกันและมีช่วงเวลาต่างกันแล้วสัญญาณจะผ่านไปยัง ไอซี 4048 ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ อินพุตกับเอาต์พุตว่ามีลักษณะเหมือนกันหรือไม่แล้วสัญญาณจะถูกส่งไปยังชุดขับเกทต่อไป



รูปที่ 4.4 วงจรเดดไทม์

4.4 วงจรขับเคลื่อนของไอจีบีที

สำหรับวงจรขับเคลื่อนจะเป็นวงจรที่โดยรับอินพุตจากสัญญาณจากเคดไทม์ แล้วผ่านอปโต เพื่อแยกระบบกราวด์ออกจากกัน และจะส่งไปยัง ไอจีบีทีแบบโมดูล ซึ่งจะเป็น ส่วนที่ทำหน้าที่ ควบคุมแรงดันไฟกระแสตรง ที่ส่งเข้ามาจาก ชุดเร็คติไฟเออร์ หรือ แรงดัน DC-LINK เพื่อนำ ไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป



รูปที่ 4.5 วงจรขับเคลื่อนของไอจีบีที

4.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน

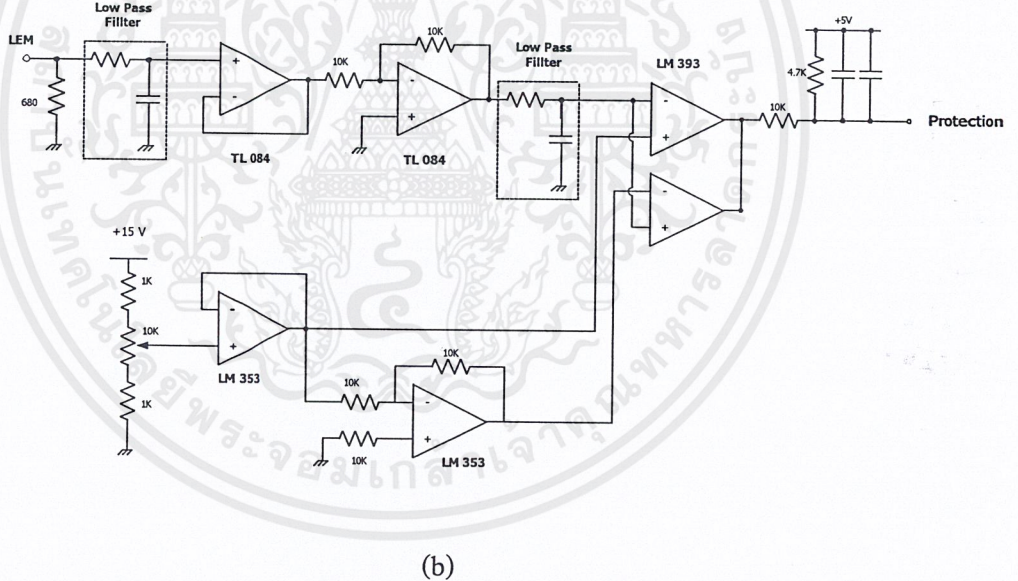
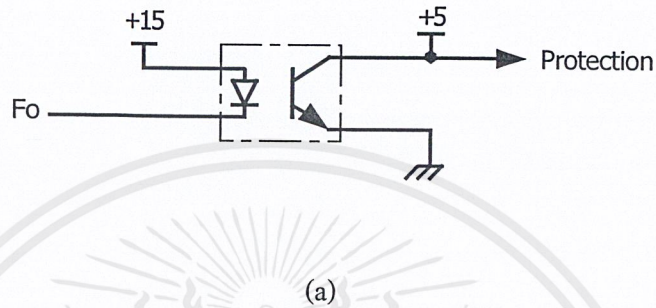
วงจรป้องกันกระแสเกินนี้มีอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน

1. จากภายใน จะมีสัญญาณมาจากไอจีบีที แบบโมดูล (INTELLGENT POWER MODULES) โดยเมื่อมีการผิดปกติส่งสัญญาณออกมาจากขา Fo ของไอจีบีทีแบบโมดูลแล้วผ่านออปโตเพื่อทำการแยกระบบกราวด์ออกจากกันแล้วส่งสัญญาณไปยัง ที่สวิตช์เพื่อให้สวิตช์ตัดการทำงานของวงจร ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหาย จะแสดงไว้ดังรูป 4.5(a)

2. จากภายนอก จะใช้ LEM เป็นตัวเซ็นเซอร์กระแสโดยปกติเอาท์พุทจะมีแรงดันประมาณ +15 โวลต์ เมื่อเกิดการผิดปกติหรือ มีกระแสเกินพิกัด ที่เรตติ้งเอาท์พุทโดยการปรับที่ ความ

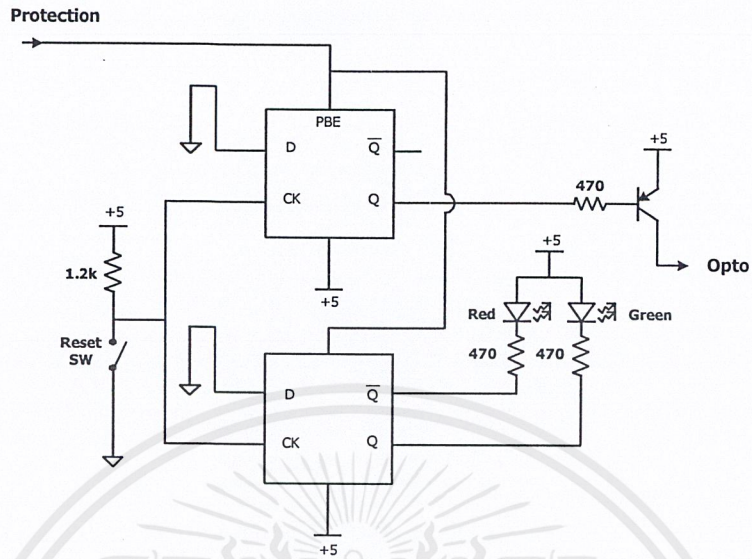
ต้านทานปรับค่าได้ จะทำให้วงจรทำงานโดยที่ เอาท์พุทจะมีแรงดัน เป็นศูนย์โวลต์ ทำให้มี

สัญญาณส่งไป ที่สวิตช์เพื่อให้สวิตช์ตัดการทำงานของวงจร ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหาย ลักษณะของวงจรป้องกันกระแสเกินจะแสดงไว้ดังรูป 4.5(b)



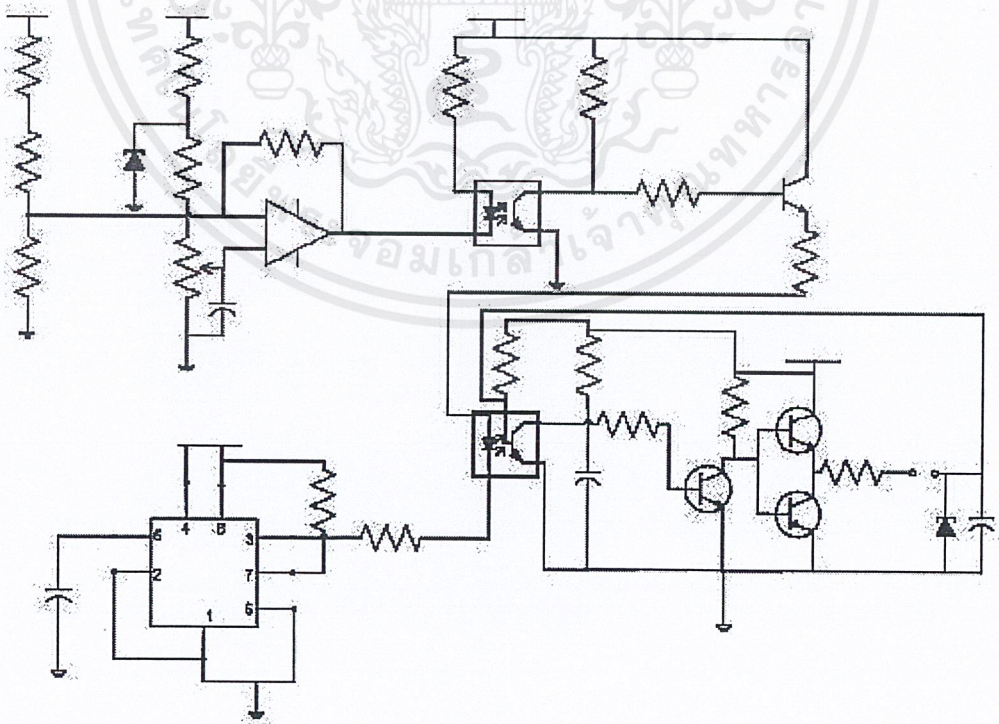
รูปที่ 4.6 วงจรป้องกันกระแสเกิน

จากรูปที่ 4.6 เป็นวงจรการทำงานโดย การใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เปิด - ปิด การจ่ายไฟให้กับ อ้อปโด +5 v ที่มีสัญญาณจากชุดวงจรเคดไทม์ ไปยัง ชุดวงจรจับגע



รูปที่ 4.7 วงจรแสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์

4.6 วงจรไดนามิกเบรค



รูปที่ 4.8 วงจรไดนามิกเบรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกให้ผู้อื่นดูหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรไดนามิกเบรก

LM393 ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่าแรงดันที่อ้างอิง เอาต์พุตเท่ากับ 0 โวลต์

ถ้าแรงดันอินพุตน้อยกว่าค่าแรงดันอ้างอิง เอาต์พุตเท่ากับ +15 โวลต์

LM311 ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่าค่าที่แรงดันอ้างอิง เอาต์พุต = -15 โวลต์ ไอจีบีทีจะไม่ทำงาน

ถ้าแรงดันอินพุตน้อยกว่าค่าแรงดันที่อ้างอิง เอาต์พุต = +15 โวลต์

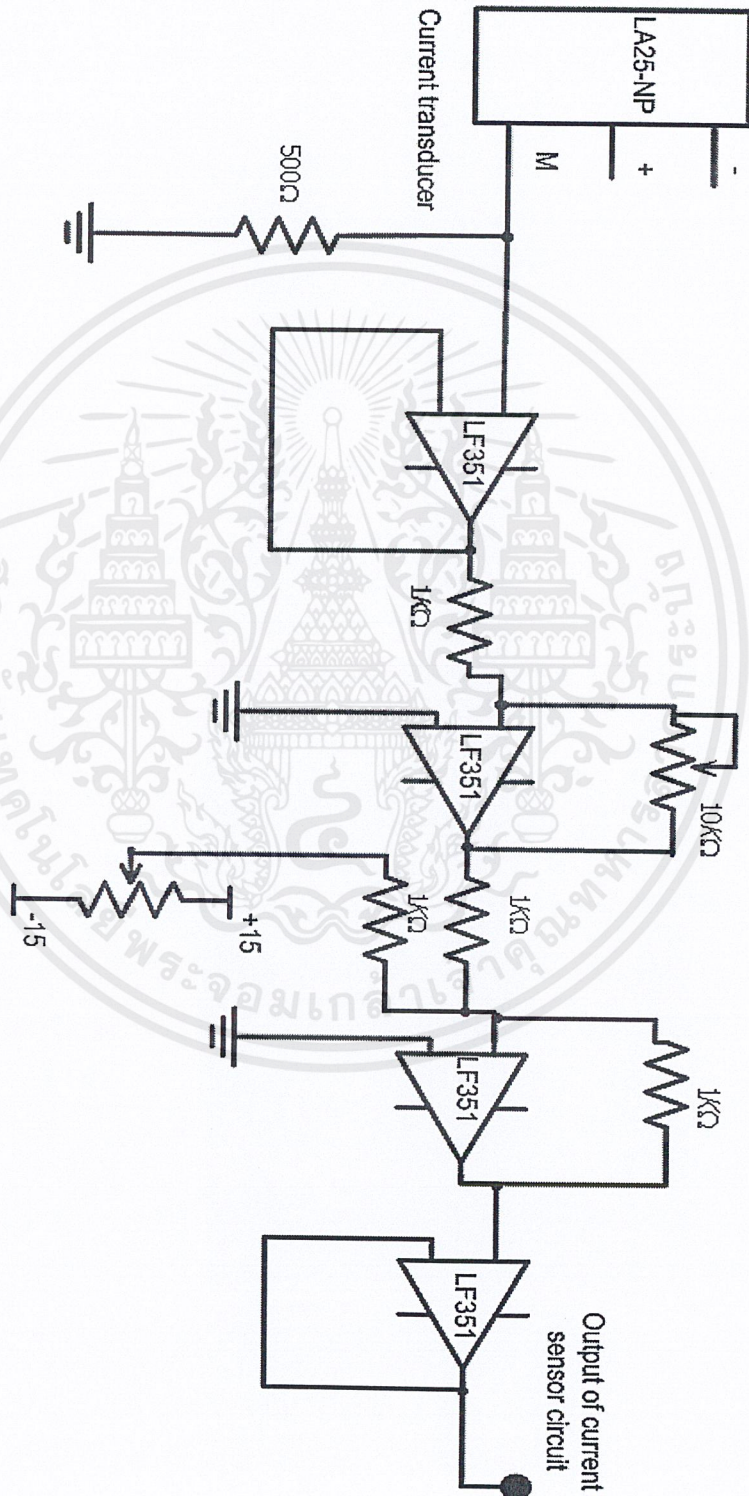
ตารางที่ 4.1 แสดงแรงดันอ้างอิงเพื่อตั้งแรงดันเบรกค่าต่าง ๆ

แรงดันที่ DC LINK (Volt)	แรงดันอ้างอิง(Volt)
200	3.014
220	3.394
240	3.772
260	4.007
280	4.39
300	4.712

4.7 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

เมื่อต้องการควบคุมแรงบิดไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมา จึงต้องมีการป้อนกลับแรงบิดในรูปของกระแสเพราะว่าแรงบิดแปรผันตรงตามกระแส โดยการใช้ตัวตรวจจับกระแสต่อกับมอเตอร์แล้วมีการแปลงกระแสให้อยู่ในรูปแรงดันก่อน เพราะต้องนำไปใช้งานในการควบคุมการทำงานของวงจร

สัญญาณกระแสจากตัวตรวจจับกระแสเข้ามาที่ LF 351 ใช้เป็นตัวแยกสัญญาณออกไม่ให้ส่งผลถึงกัน ส่วนออปแอมป์ที่เหลือเป็นตัวปรับค่าออฟเซตและขยายสัญญาณ โดยการปรับที่ความต้านทานปรับค่าได้ สำหรับตัวเก็บประจุค่าน้อย ๆ ที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อป้องกัน การรบกวนจากแหล่งจ่าย



รูป 4.8 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลอง Lock Rotor Test

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าความต้านทานภายในและหาค่าคงที่เวลาของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่นำไปใช้ในการศึกษาในการซิมูลิงค์(simulink)ในโปรแกรม PSPICE

อุปกรณ์ที่ใช้

1. DC Motor แบบ Separately Excited

พิกัดแรงดันไฟฟ้า	130	V
พิกัดกระแส	15	A
พิกัดกำลังไฟฟ้า	1.5	kW
ความเร็วรอบ	1800	RPM

2. วงจรเรียงกระแส

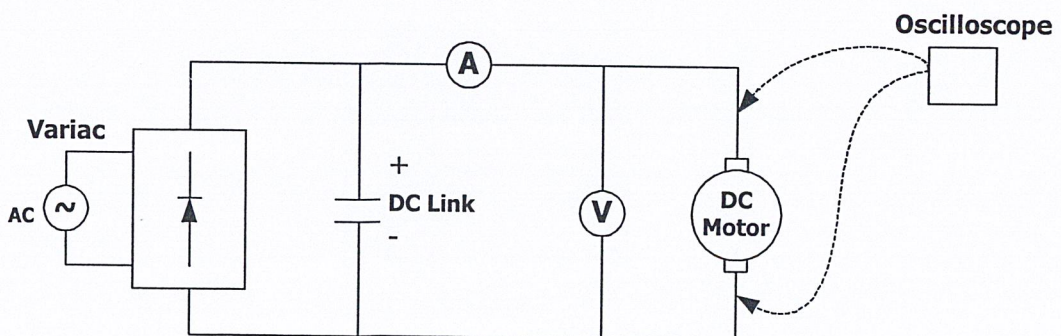
3. DC Link 1 ชุด

4. VOM 1 ตัว

5. Variac 2 ตัว

6. Digital Oscilloscope 1 ชุด

วงจรการทดลอง



รูปที่ 5.1 การต่ออุปกรณ์ในการทดลอง Lock Rotor Test

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต้องจรรยาการทดลองตามวงจรการทดลอง
2. จ่ายแรงดันให้ขดลวดฟลักซ์ที่ค่าๆหนึ่ง ซึ่งไม่ควรมากเกินไปประมาณ แรงดันไฟตรง 10 โวลต์
3. จ่ายแรงดันให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ให้มีค่าต่างๆ ที่ทำให้มอเตอร์หมุนช้า(แต่สล็อตโรเตอร์ไว้)
4. ทุกค่าของแรงดันที่เพิ่มขึ้นสำหรับอาร์เมเจอร์ทำการบันทึกค่ากระแสอาร์เมเจอร์และแรงดันย้อนกลับ
5. ทดลองมาทำการหาค่า ความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์

ผลการทดลอง

ทดสอบหาค่า R_a โดยวิธี Lock Rotor Test

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลอง Lock Rotor Test

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_a (V)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
I_a (A)	1.4	1.5	2.5	2.3	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.4
V_f (V)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2

เมื่อคำนวณค่า R_a จะได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่อง Siemens

พารามิเตอร์ที่วัดได้จากเครื่อง Siemens

$$J = 0.15 \text{ kg-m}^2$$

$$R_a = 1.429 \text{ } \Omega$$

$$L_a = 15.01 \text{ mH}$$

$$R_f = 180 \text{ } \Omega$$

5.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงบิด

จุดประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงบิดและกระแสนำไปเก็บเป็นข้อมูลเอาไว้ใช้ในการเขียนโปแกรมควบคุม

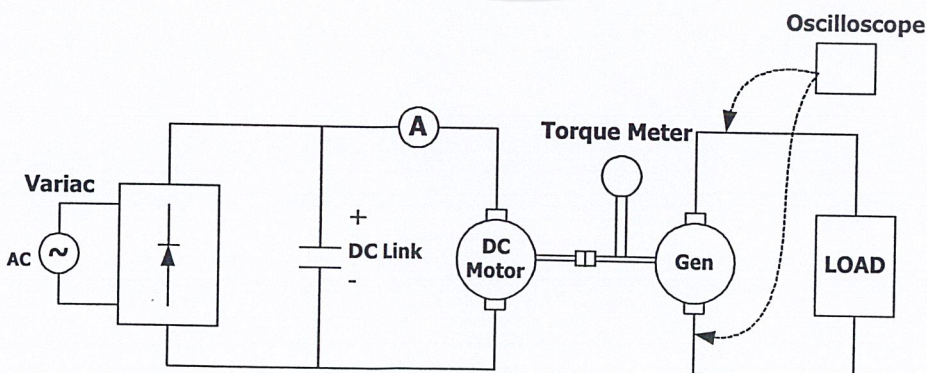
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. DC motor separately excited

พิกัดแรงดัน	130	V
พิกัดกำลังไฟฟ้า	1.5	kW
พิกัดกระแส	15	A
ความเร็วรอบ	1800	RPM

2. DC motor ที่ใช้เป็น Generator 1 ชุด
3. Torque Meter 1 ตัว
4. Multi - Meter 1 เครื่อง
5. Variac 3 ตัว
6. DC Link 1 ชุด
7. Digital Storage Oscilloscope
8. โหลดหลอดไฟ
9. สายไฟและกล่องเชื่อมต่อสาย

วงจรการทดลอง



รูปที่ 5.2 การต่ออุปกรณ์ในการทดลองหาแรงบิดและกระแส

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อยวงจรตามรูปการทดลอง
2. เพิ่มแรงดันที่ขดลวดให้ขดลวดสร้างสนาม (V_f) ของมอเตอร์ให้มีค่าๆหนึ่งอาจจะประมาณ 30V
3. เพิ่มแรงดันให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ (V_a) ค่อยๆเพิ่มจนถึงค่าพิกัด ในขณะที่ V_a ให้เพิ่ม V_f ตามไปด้วย โดยให้ V_f ถึงค่าพิกัดก่อน
4. เพิ่มแรงดันให้ขดลวดสร้างสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วคงที่ไว้ที่ค่าๆหนึ่ง
5. เพิ่มแรงบิดทีละ 0.5 นิวตัน-เมตร จาก 1 นิวตัน- เมตร จนถึง 7 นิวตัน-เมตร โดยการใช้หลอดไฟเป็นโหลด แล้วบันทึกค่ากระแสลงในตาราง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าของกระแสที่แรงบิดต่างๆ

แรงบิด (N-m)	กระแสอาร์เมเจอร์ I_a (A)
1	3.36
2	5.71
3	8.32
4	10.92
5	12.72
6	14.96

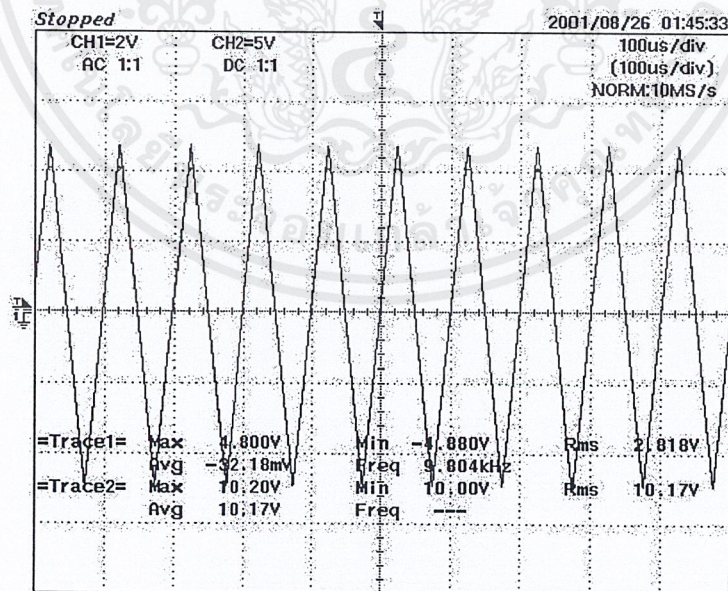
5.3 การทดลองการทำงานของชุดจำลองโหลดในโหมด Open loop

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรและการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์

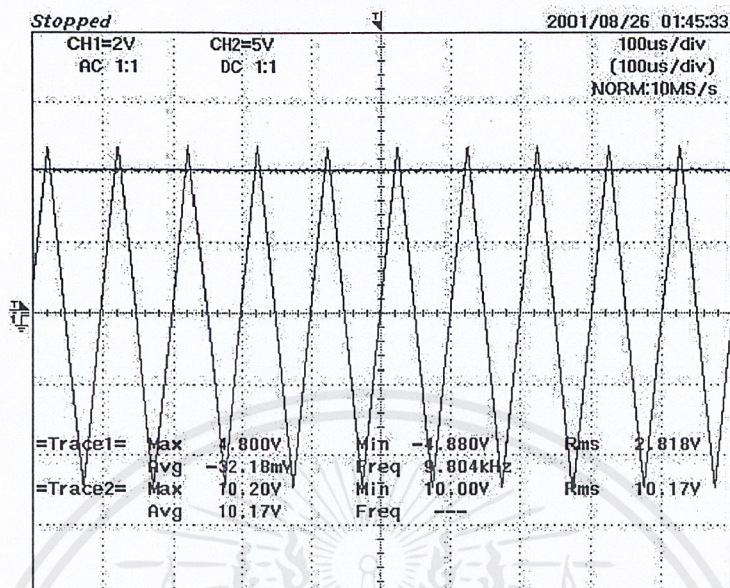
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|----------------------------|--------|
| 1. ชุดโครงงานจำลองโหลด | 1 ชุด |
| 2. DC Motor Generator | 1 ชุด |
| 3. DC Link | 3 ชุด |
| 4. VOM | 2 ตัว |
| 5. Digital Oscilloscope | |
| 6. Variac | 3 ชุด |
| 7. โหลดหลอดไฟฟ้า 100 วัตต์ | 16 ดวง |
| 8. สายไฟและกล่องต่อสาย | |

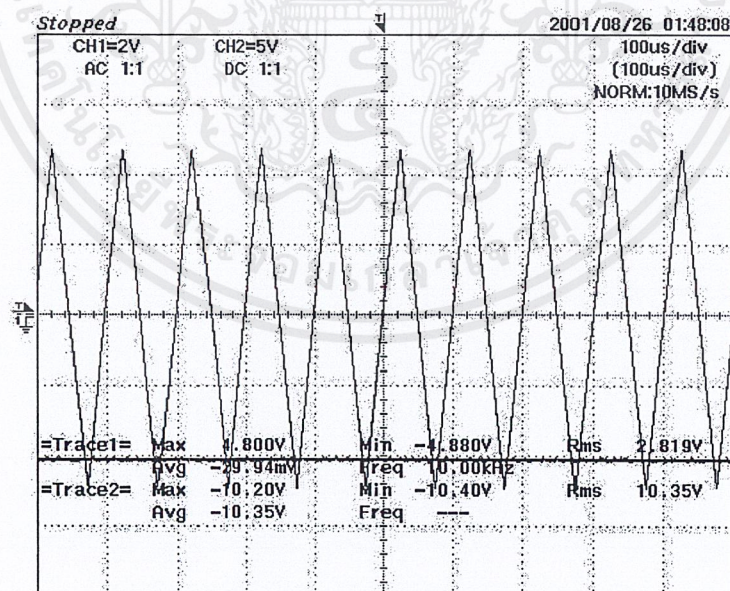
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง



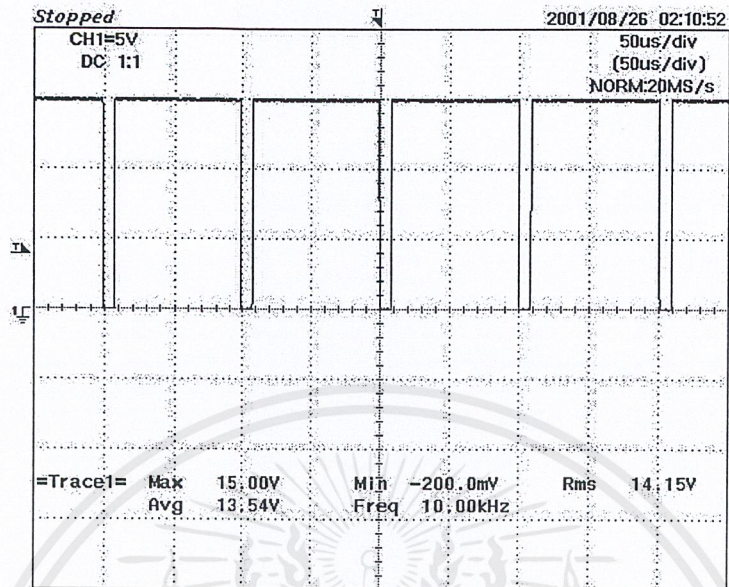
รูปที่ 5.3 สัญญาณสามเหลี่ยมอ้างอิง (CH1 = 2 V/DIV, 100 uS/DIV; CH2 = 5 V/DIV, 100 uS/DIV)



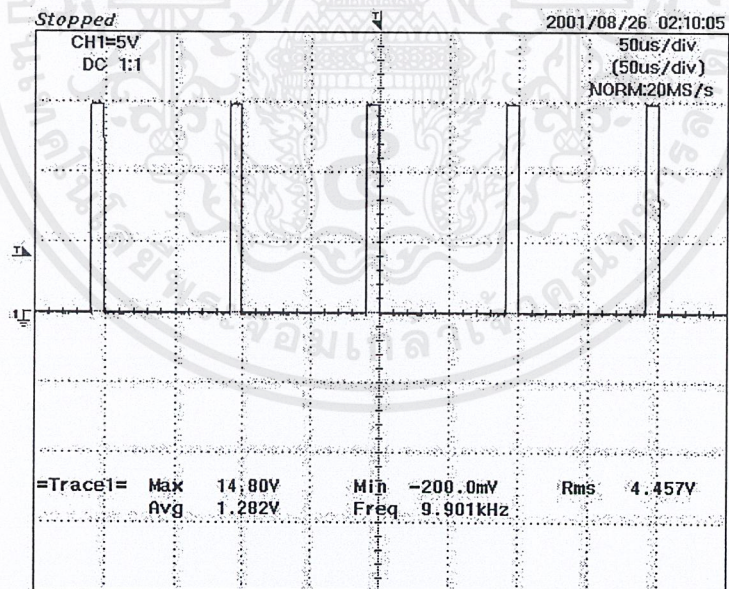
รูปที่ 5.4 สัญญาณสามเหลี่ยม กับ บวกDC(CH1 = 2 V/DIV,100 μ S/DIV;CH2 = 5 V/DIV, 100 μ S/DIV)



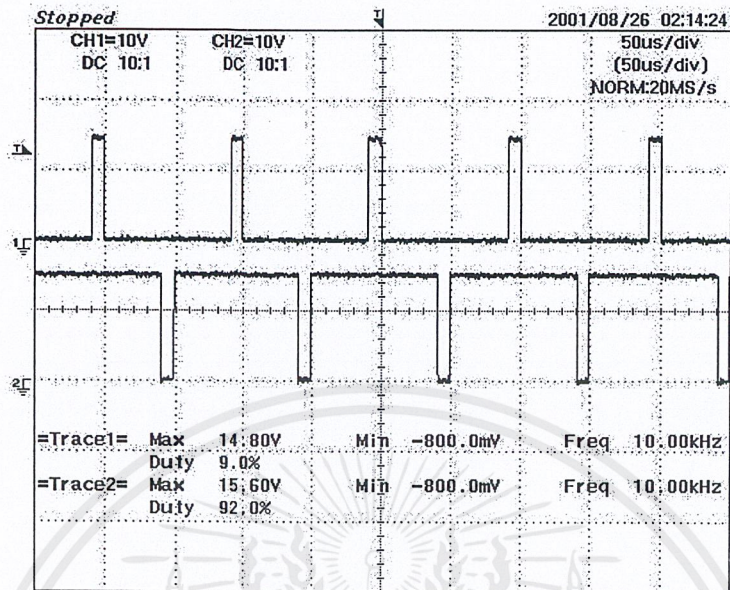
รูปที่ 5.5 สัญญาณสามเหลี่ยม กับ ลบ DC (CH1 = 2 V/DIV,100 μ S/DIV;CH2 = 5 V/DIV, 100 μ S/DIV)



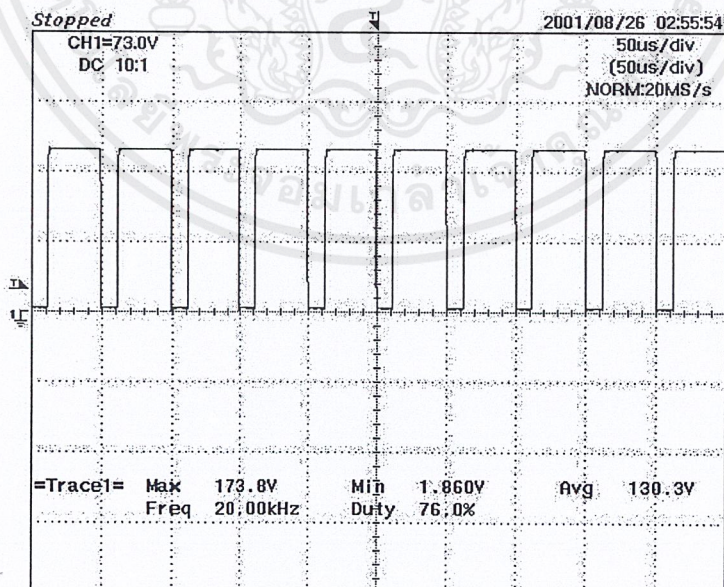
รูปที่ 5.6 สัญญาณ Unipolar ด้านบวกDC (CH1 = 5 V/DIV, 50 uS/DIV)



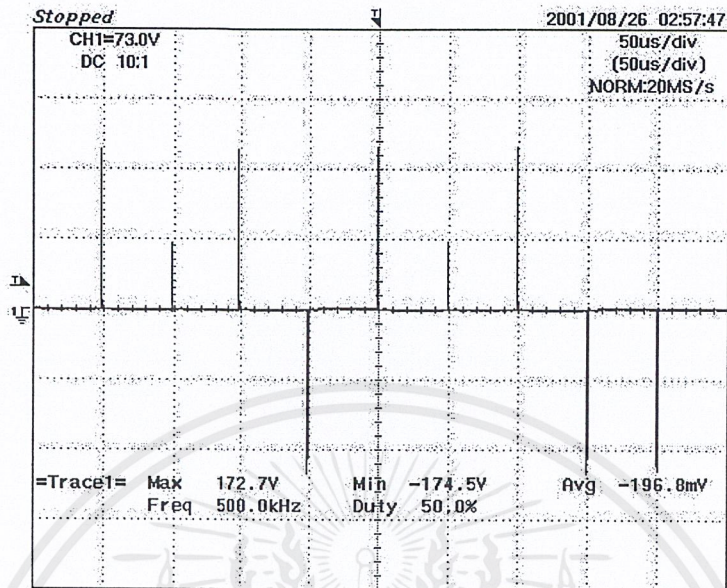
รูปที่ 5.7 สัญญาณ Unipolar ด้านลบDC (CH1 = 5 V/DIV, 50 uS/DIV)



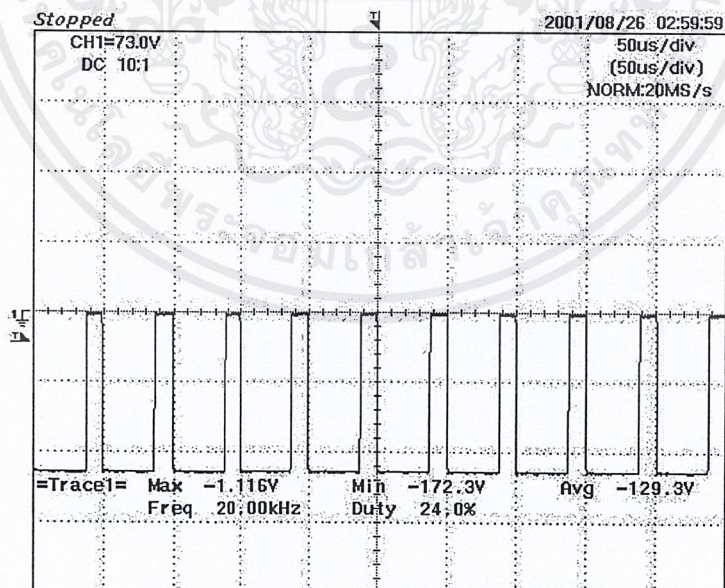
รูปที่ 5.8 สัญญาณเปรียบเทียบ ของด้าน DC บวกและลบ(CH1 = 10 V/DIV , 50 uS/DIV;
CH2 = 10 V/DIV, 50 uS/DIV)



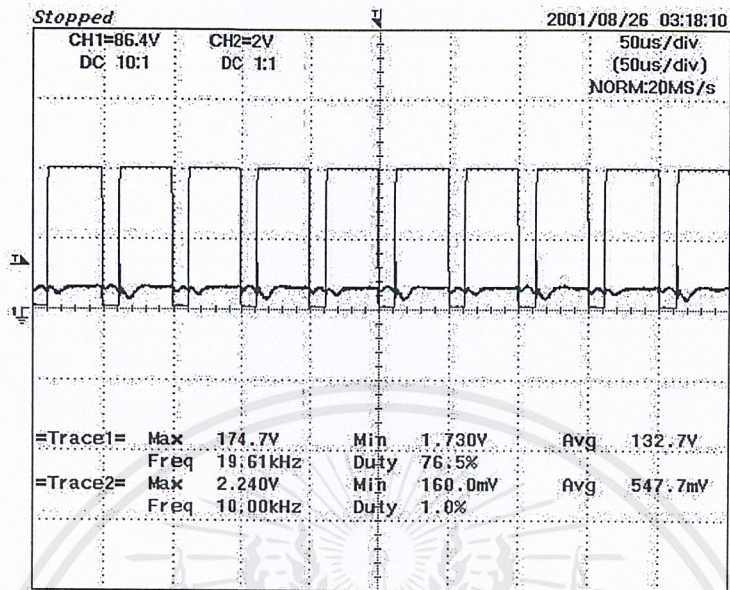
รูปที่ 5.9 สัญญาณแรงดันขณะ Motor Forward (CH1 = 73 V/DIV, 50 uS/DIV)



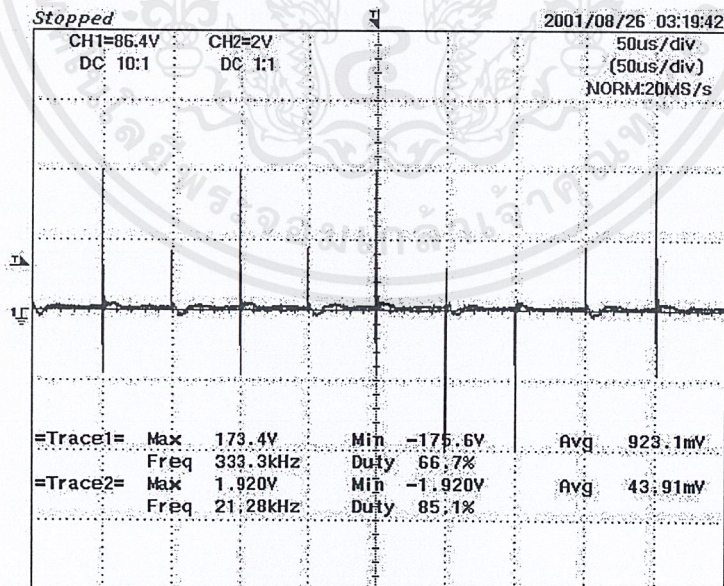
รูปที่ 5.10 สัญญาณแรงดันขณะ Motor หยุดหมุน (CH1 = 73 V/DIV, 50 uS/DIV)



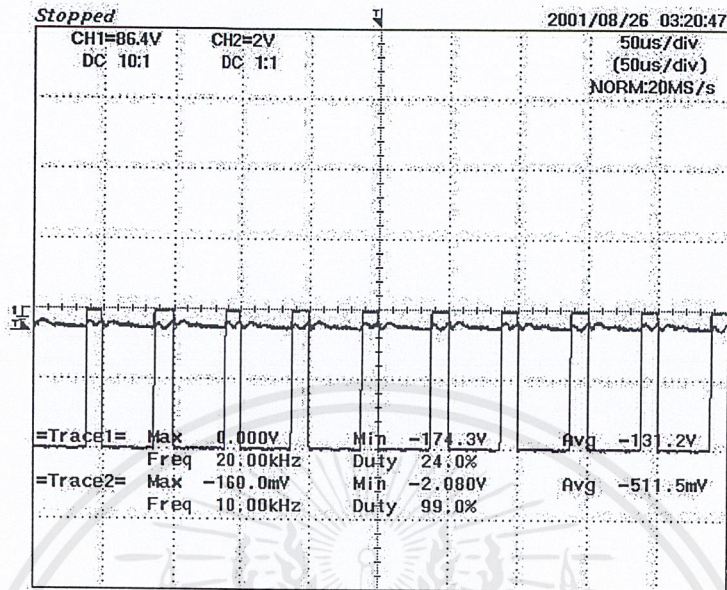
รูปที่ 5.11 สัญญาณแรงดันขณะ Motor Revers (CH1 = 73 V/DIV, 50 uS/DIV)



รูปที่ 5.12 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor Forward (CH1 = 86.4 V/DIV , 50 uS/DIV;
CH2 = 2 V/DIV, 50 uS/DIV)



รูปที่ 5.13 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor หยุดหมุน (CH1 = 86.4 V/DIV , 50 uS/DIV)



รูปที่ 5.14 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะ Motor Revers (CH1 = 86.4 V/DIV , 50 uS/DIV;
CH2 = 2 V/DIV, 50 uS/DIV)

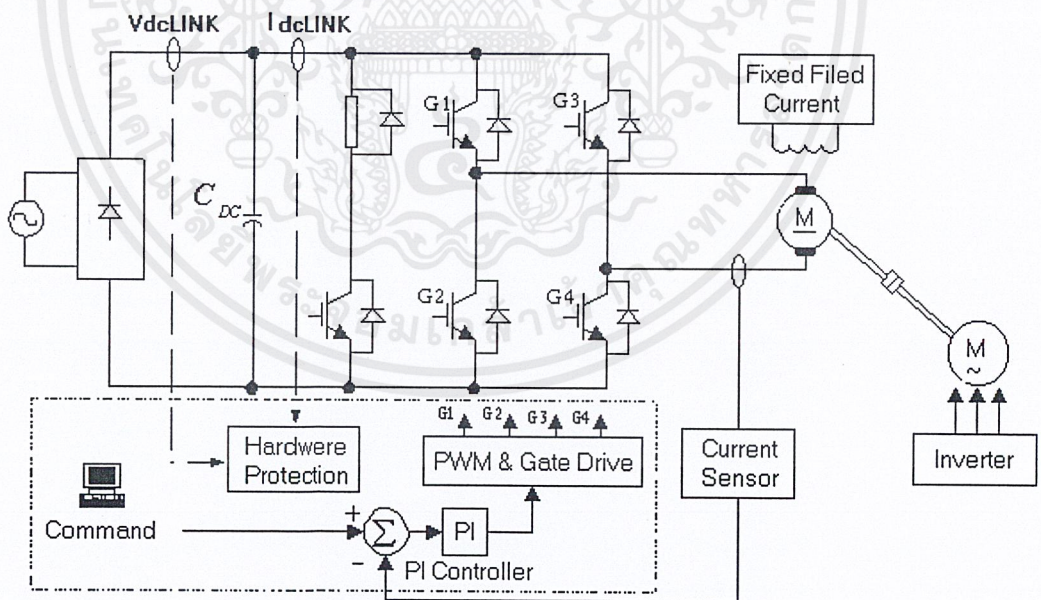
5.4 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดโดยใช้อินเวอร์เตอร์

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบว่าชุดจำลองโหลดสามารถคงค่ากระแสให้คงที่ได้
เพื่อหาค่ากระแส ความเร็วรอบ ที่ความถี่ต่างๆ โดยใช้อินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์

- | | | |
|---------------------------|---|---------|
| 1. ชุดจำลองโหลด | | |
| 2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส | 1 | ตัว |
| 3. อินเวอร์เตอร์ | 1 | เครื่อง |
| 4. Variac 1 phase | 2 | ตัว |
| 5. VOM | 2 | เครื่อง |
| 6. Digital Oscilloscope | 1 | เครื่อง |
| 7. Tachometer | 1 | เครื่อง |

วงจรการทดลอง



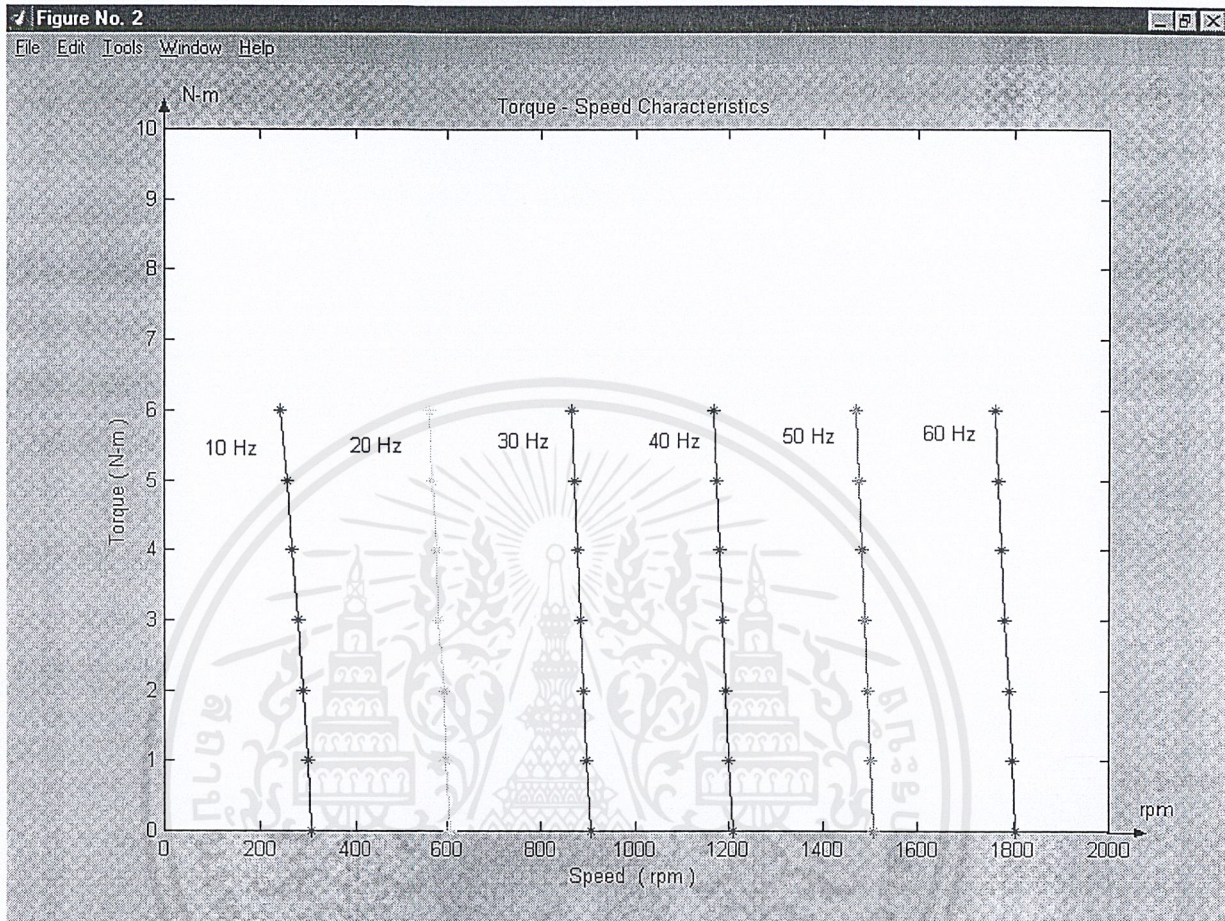
รูปที่ 5.15 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโหลดโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมอเตอร์กระแสตรงคัปปลิ่งกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ
2. ปรับกระแสอ้างอิงให้เป็นศูนย์และปรับแต่งโปรแกรมให้พร้อมทำงาน
3. ปรับแรงดันไฟฟ้าของขดลวดฟิลด์ให้ถึงพิกัด 180 Vdc
4. ปรับแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงให้ถึงพิกัด 130 Vdc
5. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆ
6. ป้อนแรงบิด 0 - 6 นิวตัน-เมตร จากโปรแกรม
7. บันทึกผล

ผลการทดลอง

ผลการทดลองสามารถดูได้ในภาคผนวก (ก) ในตารางที่ 1 (ก) – 6 (ก) โดยนำมาพอดกราฟได้ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบที่ความถี่ต่างๆ

จากรูปเป็นกราฟแสดงผลการทดลองสร้างแรงบิดโหลดให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ในการทดลองนี้จะทำการตั้งแรงบิดโหลดไว้ที่ค่า 1, 2, 3, 4, 5, 6 นิวตัน โดยมอเตอร์กระแสสลับจะถูกขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ค่าความถี่ 10, 20, 30, 40, 50, 60 Hz ตามลำดับ ผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ค่าความถี่ค่า ๆ นั้นค่าของความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่าลดลงเมื่อแรงบิดของโหลดจำลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่า จากสมการ $P = T \cdot \omega$ เมื่อมีแรงบิดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วลดลง ดังที่แสดงไว้ในกราฟ

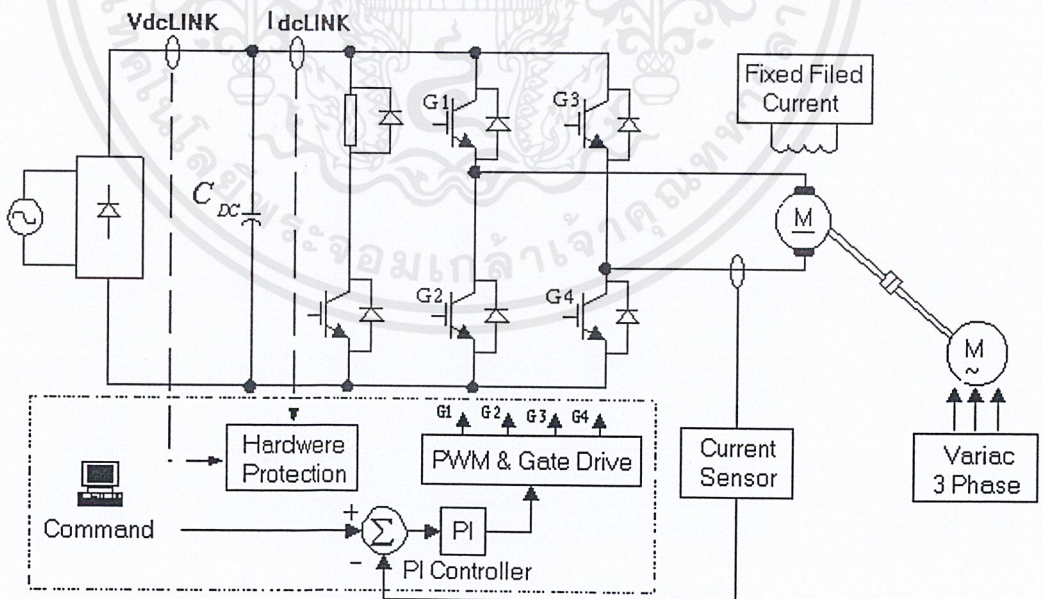
5.5 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส

- วัตถุประสงค์
1. เพื่อทดสอบว่าชุดจำลองโหลดสามารถคงค่ากระแสให้คงที่ได้
 2. เพื่อหาค่ากระแส ความเร็วรอบ ที่ค่าแรงดันต่างๆ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส ที่ความถี่คงที่ 50Hz

อุปกรณ์

- | | |
|---------------------------|-----------|
| 1. ชุดจำลองโหลด | |
| 2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส | 1 ตัว |
| 3. Variac 3 phase | 1 เครื่อง |
| 4. Variac 1 phase | 2 ตัว |
| 5. VOM | 2 เครื่อง |
| 6. Digital Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 7. Tachometer | 1 เครื่อง |

วงจรการทดลอง



รูปที่ 5.17 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมอเตอร์กระแสตรงคัปปลิงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ
2. ปรับกระแสอ้างอิงให้เป็นศูนย์และปรับแต่งโปรแกรมให้พร้อมทำงาน
3. ปรับแรงดันไฟฟ้าของขดลวดฟลักซ์ให้ถึงพิกัด 180 Vdc
4. ปรับแรงดันอามเพอร์ของมอเตอร์กระแสตรงให้ถึงพิกัด 130 Vdc
5. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการปรับแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส
6. ป้อนแรงบิด 0 - 6 นิวตัน-เมตร จากโปรแกรม
7. บันทึกผล

ผลการทดลอง

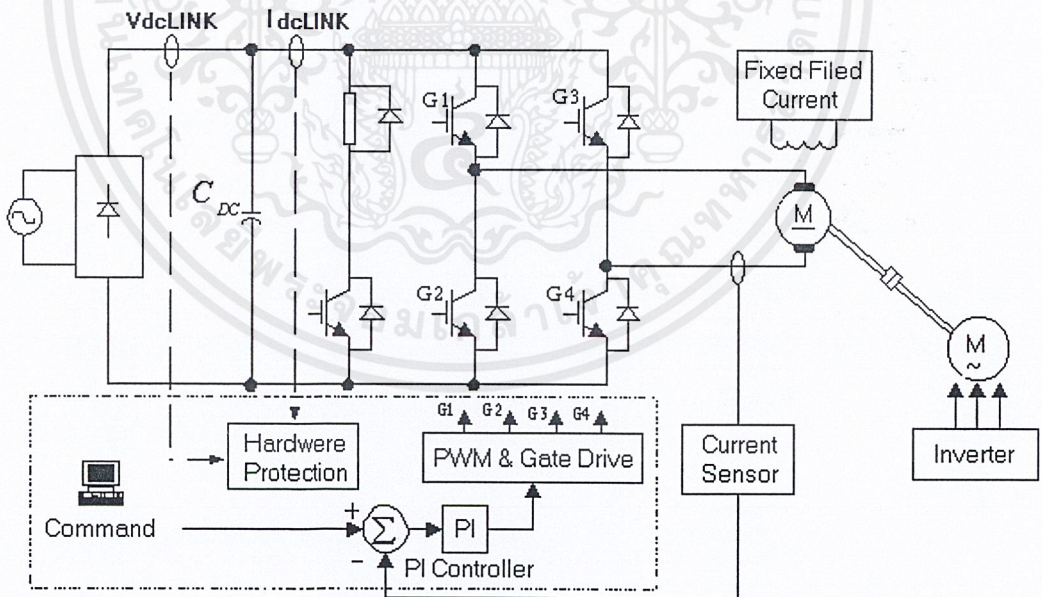
ตารางผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก (ก) ตารางที่ 7(ก) – 12(ก)

5.6 การทดสอบการทำงานของชุดจำลองโหลดที่ความถี่ 50 Hz ใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุม วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบว่าชุดจำลองโหลดสามารถจำลองแรงบิดลักษณะต่างๆได้

อุปกรณ์

- | | | |
|-------------------------|---|---------|
| 1. ชุดจำลองโหลด | | |
| 2. อินเวอร์เตอร์ | 1 | ตัว |
| 3. Variac 3 phase | 1 | เครื่อง |
| 4. Variac 1 phase | 2 | ตัว |
| 5. VOM | 2 | เครื่อง |
| 6. Digital Oscilloscope | 1 | เครื่อง |
| 7. Tachometer | 1 | เครื่อง |

วงจรการทดลอง

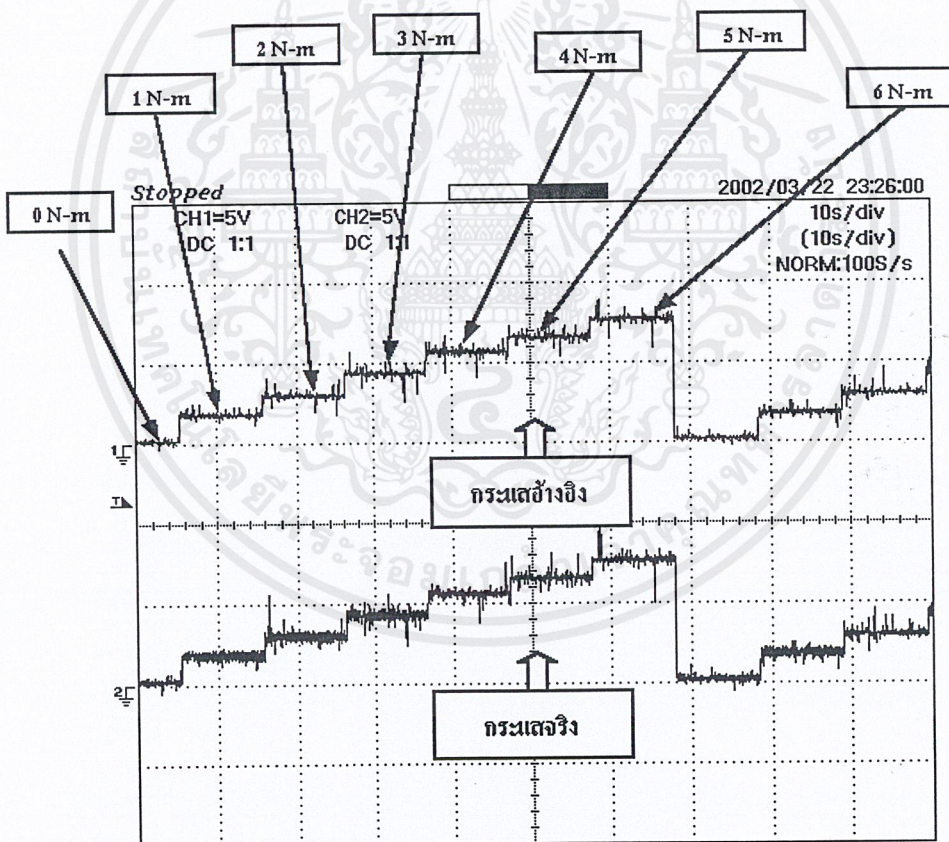


รูปที่ 5.18 แสดงการทดสอบของชุดจำลองโหลดโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่คงที่ 50 Hz

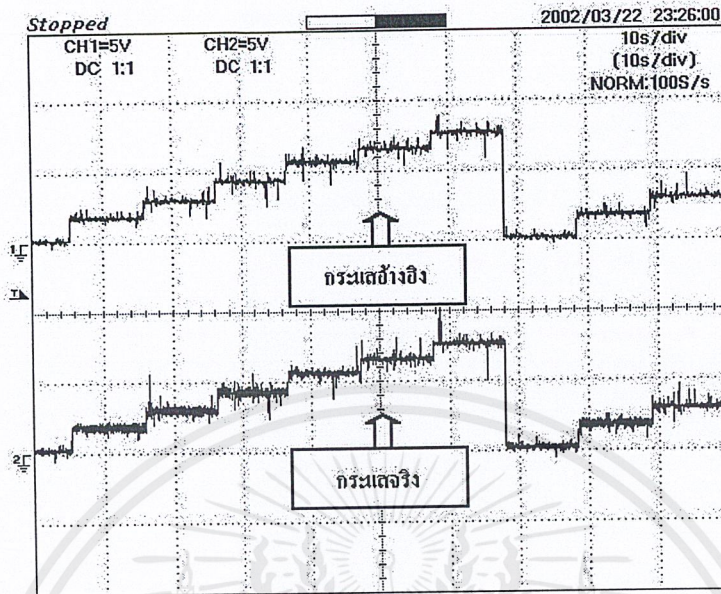
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมอเตอร์กระแสตรงคัปปลิ้งกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ
2. ปรับกระแสอ้างอิงให้เป็นศูนย์และปรับแต่งโปรแกรมให้พร้อมทำงาน
3. ปรับแรงดันไฟฟ้าของขดลวดฟิลด์ให้ถึงพิกัด 180 Vdc
4. ปรับแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงให้ถึงพิกัด 130 Vdc
5. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 50Hz
6. แรงบิด 0 - 6 นิวตัน-เมตร จากโปรแกรม

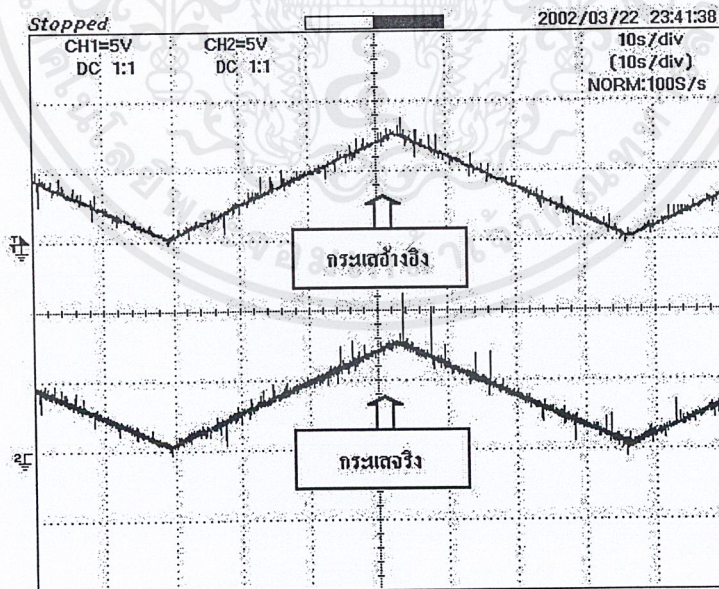
ผลการทดลอง



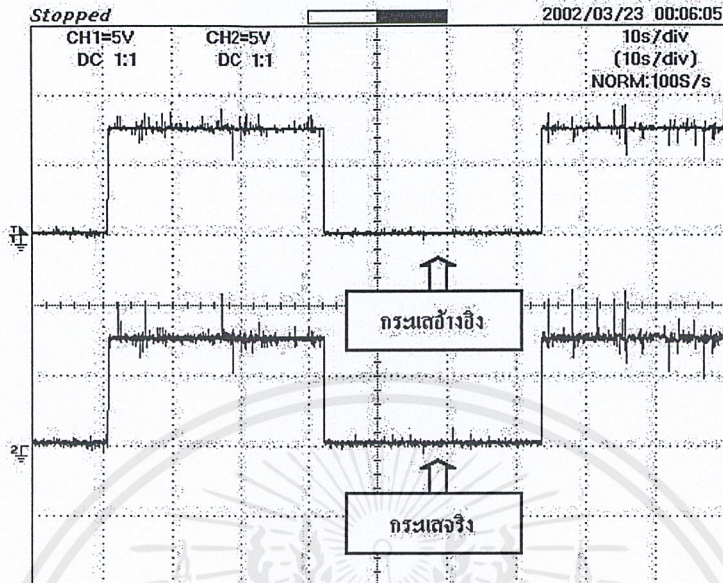
รูปที่ 5.19 คลื่นกระแสอ้างอิงกับกระแสอาเมเจอร์ตามแรงบิดต่างๆ (CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV;
CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV)



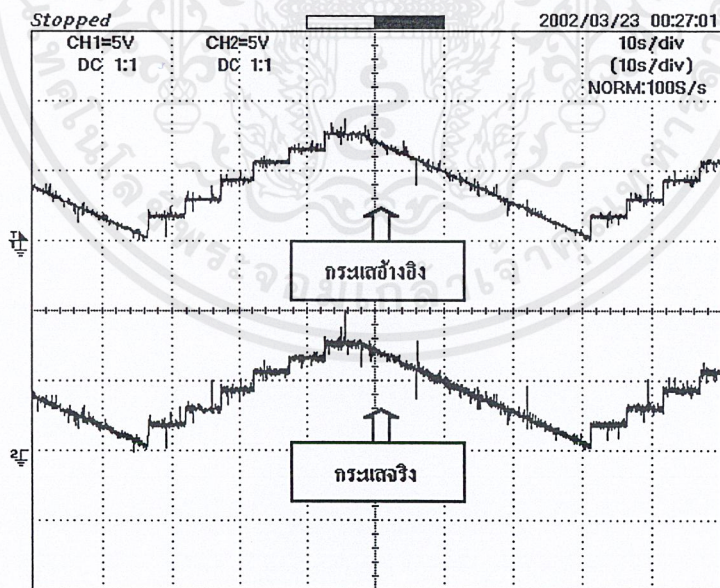
(a) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแรงดัน CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



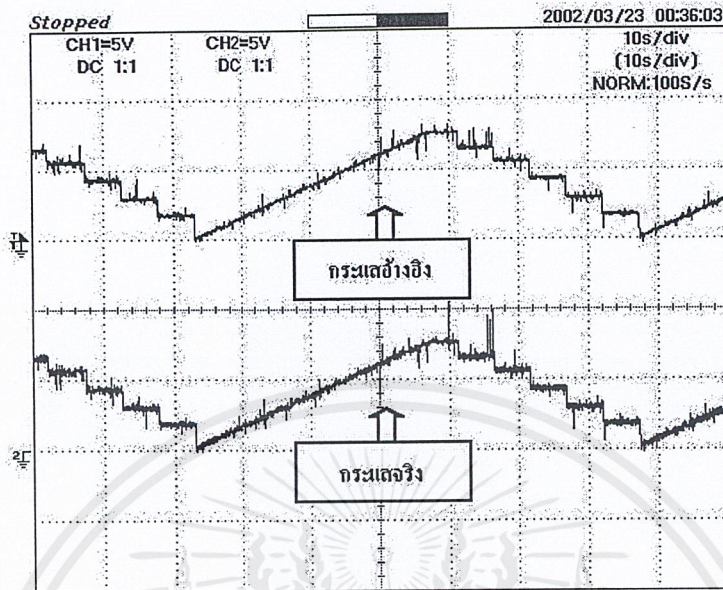
(b) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแรงดัน CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



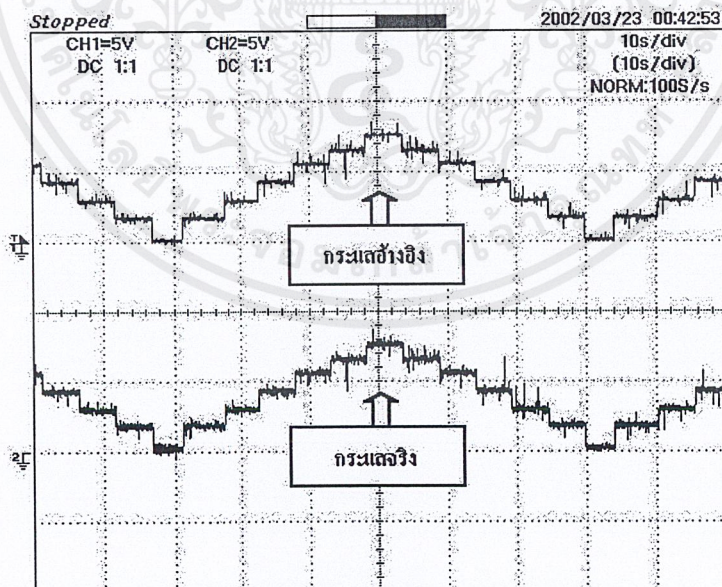
(c) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสเสถียร CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



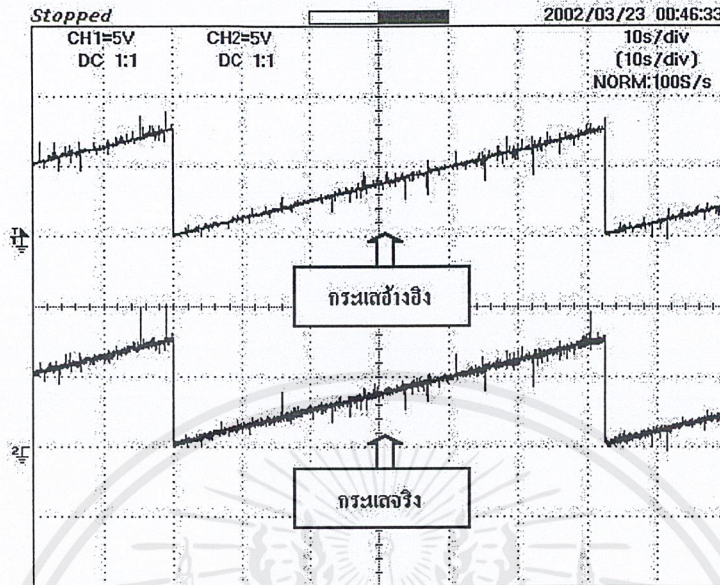
(d) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสเสถียร CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



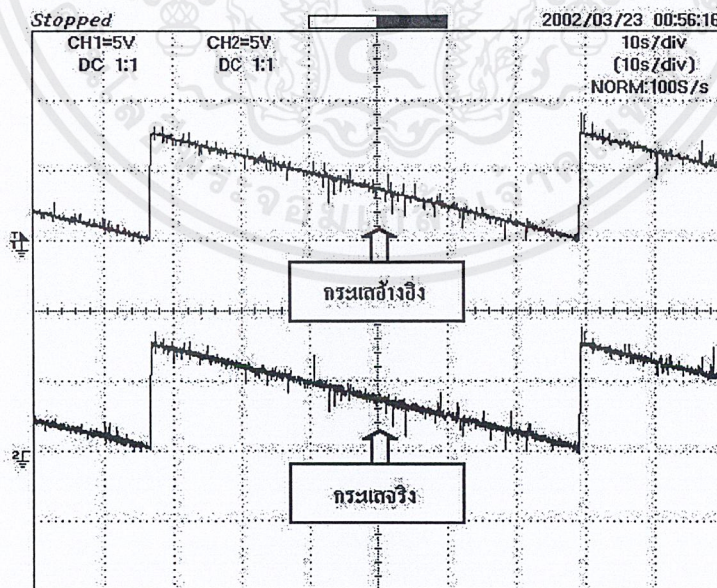
(e) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแฉจริง CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



(f) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแฉจริง CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



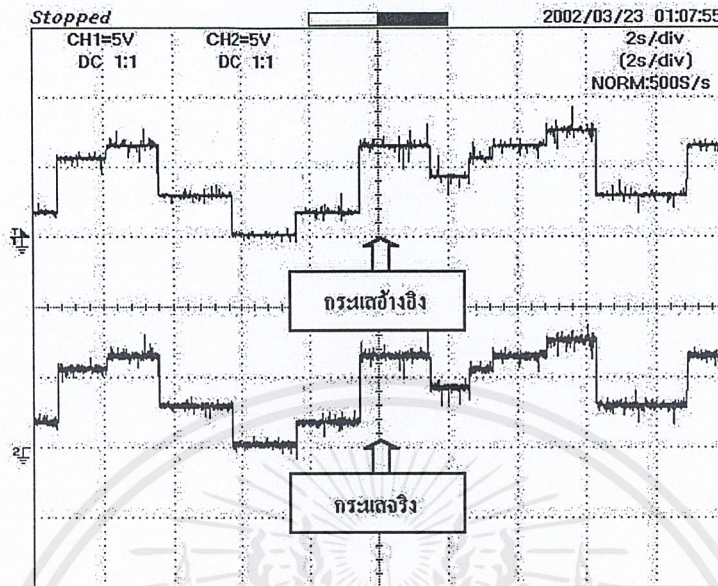
(g) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแฉกรัง CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV



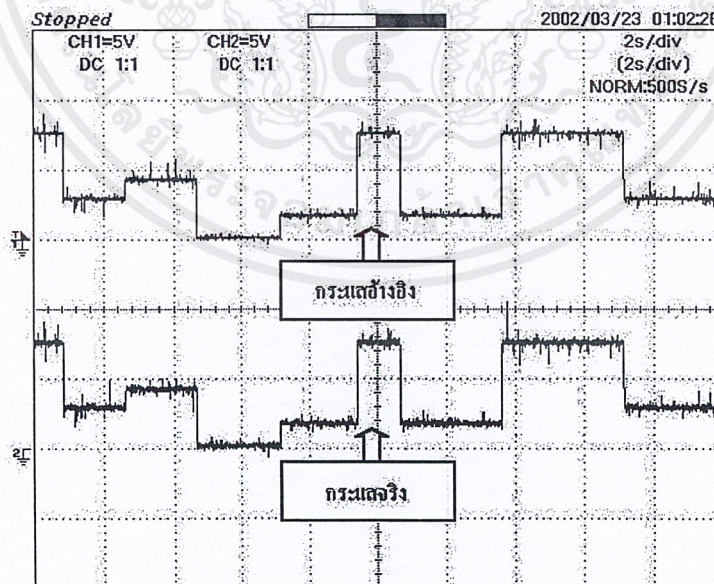
(h) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 10 S/DIV ; กระแสแฉกรัง CH2 = 5 V/DIV , 10 S/DIV

รูปที่ 5.20 (a)-(h) คลื่นกระแสอ้างอิง กับ กระแสแฉกรัง ตามฟังค์ชันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 2 S/DIV ; กระแสแฉกรัง CH2 = 5 V/DIV , 2 S/DIV



(b) กระแสอ้างอิง CH1 = 5 V/DIV , 2 S/DIV ; กระแสแฉกรัง CH2 = 5 V/DIV , 2 S/DIV

เอกสารรูปที่ 5.21 (a),(b) คลื่นกระแสอ้างอิง กับ กระแสแฉกรัง แบบกำหนดค่าเองไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์โครงการ

สรุปผลการดำเนินโครงการ

ชุดจำลองโหลดเป็นการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวสร้างแรงบิดโหลดขึ้นมา เพื่อทดสอบมอเตอร์ที่เราต้องการ โดยใช้หลักการควบคุมแบบวงปิด เพื่อที่จะรักษาระดับของแรงบิดโหลดให้คงที่ซึ่งจะเป็นการควบคุมค่ากระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในชุดการทำงานของโครงการ วงจรขับจะเป็น คอนเวอร์เตอร์ พูลบริดจ์ ดิซี - ดิซี แบบ ยูนิโพล่า การรักษาระดับแรงบิดโหลดใช้การควบคุมแบบ พีไอในการรักษาค่ากระแสอาร์เมเจอร์ อุปกรณ์สวิตชิงที่ใช้ในโครงการเป็น IGBT โมดูล ชุดป้องกันการลัดวงจรในแต่ละสาขาของอุปกรณ์สวิตชิงซึ่งใช้วงจรเดคไทม์ที่ใช้หลักการนับสัญญาณพัลส์ที่ได้จากไอซีกำเนิดสัญญาณทำให้มีค่าเที่ยงตรงสูง นอกจากนี้การป้องกันในโครงการนี้ยังมีการป้องกันกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเกินพิกัด และการป้องกันแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยหากกระแสของอาร์เมเจอร์เกินพิกัดจะทำการสั่งให้ IGBT โมดูลหยุดการทำงาน(Trip) และหากแรงดันเกินจะสลายพลังงานผ่านความต้านทาน ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า ไดนามิกเบรก จะทำให้แรงดันที่เกินลดค่าลง การสั่งงานของชุดจำลองโหลดจะผ่านทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถจะกำหนดค่าและรูปแบบของแรงบิดโหลดได้ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะนำค่าและรูปแบบของแรงบิดโหลดที่ได้รับส่งผ่านการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อสร้างสัญญาณอ้างอิงให้กับโครงการ

ในการทำโครงการได้ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของแรงบิดและกระแสของอาร์เมเจอร์ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ เพื่อที่จะนำไปเป็นค่าอ้างอิงในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม เมื่อทำการสร้างชุดจำลองโหลดเสร็จแล้ว ได้ทำการทดลองจำลองแรงบิด โดยการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นโหลดให้กับชุดจำลองโหลด เพื่อทดสอบว่าชุดจำลองโหลดสามารถที่จะสร้างแรงบิดได้ตามที่ต้องการ ผลปรากฏว่าสามารถสร้างได้ตามที่ต้องการ หลังจากนั้นเป็นการพัฒนารูปแบบของแรงบิดจนได้เป็นที่น่าพอใจคือสามารถสร้างชุดจำลองโหลดที่มีความสามารถสร้างแรงบิดโหลดได้ 1- 6 นิวตัน ในลักษณะของแรงบิดรูปแบบต่าง ๆ ตามที่กำหนดขึ้นได้

ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงการชุดจำลองโหลดได้มีปัญหาและอุปสรรคเกิดขึ้น ในบทนี้จึงได้รวบรวมปัญหาที่น่าสนใจรวมทั้งเทคนิคต่าง ๆ เอาไว้เพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อโครงการอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 ด้านฮาร์ดแวร์

- เนื่องจากโครงการจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมและมีสายนำสัญญาณควบคุมต่อออกจากการ์ดควบคุมจากเครื่องพีซีไปหาวงจรขับของโครงการ จะมีปัญหาเรื่องของการรบกวนจากภายนอกทำให้สัญญาณการควบคุมเกิดความผิดพลาด(ERROR)ในวงจร
- ในการออกแบบลายวงจรที่ใช้ในโครงการถ้าเป็นวงจรที่ซับซ้อนมากแนะนำควรใช้โปรแกรม Protel แล้วนำไปถ่ายเป็นฟิล์มเพื่อทำการกัดปรินต์ และลายวงจรที่ออกแบบไม่ควรใช้ขนาดของเส้นเล็กเกินไปเพราะมีปัญหาเมื่อทำการบัดกรีจะเกิดการขาดของลายวงจร ถ้าเป็นลายวงจรที่ไม่ยุ่งยากมากนักก็แนะนำว่าควรใช้การออกแบบด้วยมือและทำการกัดปรินต์ด้วยตัวเองจะเกิดการประหยัดกว่ามาก
- อุปกรณ์เก็บและวัดผลการทดลองเช่น VOM ,Storage Oscilloscope,Digital Multimeter ,Techo Meter มีจำนวนน้อยทำให้ไม่สะดวกในการทำงานต้องไปหาซื้อจากที่อื่นมาทำการทดลอง
- การใช้งานอุปกรณ์สวิตซ์ที่มีความถี่สูงจะต้องมีวงจรที่คอยป้องกันการลัดวงจรระหว่างกิ่ง(short branch) ซึ่งก็คือวงจร deadtime ดังนั้นก่อนทำการทดลองจะต้องทำการตรวจเช็คให้แน่ใจว่าวงจร deadtime ทำงานเป็นปกติเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวสวิตซ์ซึ่ง(IGBT)
- ในชุดเบรกโครงการนี้พยายามที่จะควบคุมแบบ hysteresis แต่ปรากฏว่ามีปัญหามากจึงแก้ไขโดยใช้แบบ comparator อย่างเดียว
- เนื่องจากโครงการจะมีการควบคุมโดยใช้ความถี่สูงในการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ และเดินสายสัญญาณในวงจรจะต้องคำนึงถึงผลของการรบกวนกันด้วย

6.2 ด้าน ซอฟต์แวร์

โปรแกรมการควบคุมการทำงาน ในการควบคุมการทำงานของชุดจำลองโหลดจะควบคุมจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยไม่โครซอฟวิซวลเบสิกเวอร์ชัน 6.0 เป็นตัวสั่งงานเพราะสะดวกในการติดต่อกับผู้ใช้งาน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์กับชุดจำลองโหลดจะทำงานผ่านการ์คินเตอร์เฟส(ET-DIO) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก โดยลักษณะการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับการ์คินเตอร์เฟสจะเป็นการส่งข้อมูลแบบขนาน เพราะมีความเร็วสูง ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมควบคุมการทำงานจะอยู่ในภาคผนวก

ภาคผนวก

(ก) ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 1(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 10 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	308.5	300	291	280	268	257	242
I inverter (A)	6.34	5.85	5.65	5.75	6.18	6.75	7.63
I real (A)	0	3.354	5.72	8.312	10.952	12.746	14.926
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 2(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 20 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	607	599	593	582	577	570	563
I inverter (A)	6.41	6.27	6.34	6.54	6.91	7.31	7.85
I real (A)	0	3.324	5.746	8.326	10.916	12.744	14.924
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 3(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 30 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	908	898	892.4	886	878.5	873.4	866.5
I inverter (A)	6.57	6.44	6.52	6.66	7.11	7.48	7.93
I real (A)	0	3.402	5.768	8.324	10.952	12.746	14.932
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 4(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 40 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1207	1198	1192	1185	1179	1174	1168
I inverter (A)	6.23	6.31	6.42	6.68	7.05	7.43	7.86
I real (A)	0	3.362	5.708	8.316	10.916	12.72	14.92
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 5(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 50 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1506	1498	1491.8	1485	1479	1474	1468
I inverter (A)	6.23	6.28	6.57	6.85	7.33	7.79	8.2
I real (A)	0	3.346	5.736	8.324	10.92	12.744	14.936
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 6(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่ความถี่ 60 Hz

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1803	1796	1789	1781.5	1775	1768.9	1762
I inverter (A)	5.68	5.9	6.25	6.67	7.26	7.64	8.15
I real (A)	0	3.39	5.746	8.436	11.042	12.866	15.086
I command (A)	0	1.771	2.927	4.326	5.613	6.566	7.619

ตารางที่ 7(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 100 V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1490.2	1459.3	1431.7	1400.2	1363.5	1330	1280.7
I inverter (A)	2.23	3.31	4.57	6.07	7.84	9.23	10.93
I real (A)	0	3.284	5.624	8.238	10.792	12.61	14.784
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

ตารางที่ 8(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 120V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1492.7	1473.5	1454.5	1434.2	1411.5	1395	1371
I inverter (A)	2.6	3.34	4.3	5.47	6.63	7.7	8.8
I real (A)	0	3.37	5.634	8.234	10.794	12.644	14.804
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

ตาราง ที่ 9(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 140 V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1493.8	1478.5	1466.2	1452.6	1436.1	1425.3	1411
I inverter (A)	3.3	3.76	4.38	5.18	6.16	6.75	7.67
I real (A)	0	3.28	5.62	8.216	10.794	12.618	14.79
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

ตารางที่ 10(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 160 V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1493.9	1483	1474.6	1464.2	1452.2	1444.3	1436
I inverter (A)	3.93	4.31	4.78	5.32	6.07	6.63	7.34
I real (A)	0	3.276	5.644	8.224	10.802	12.632	14.816
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

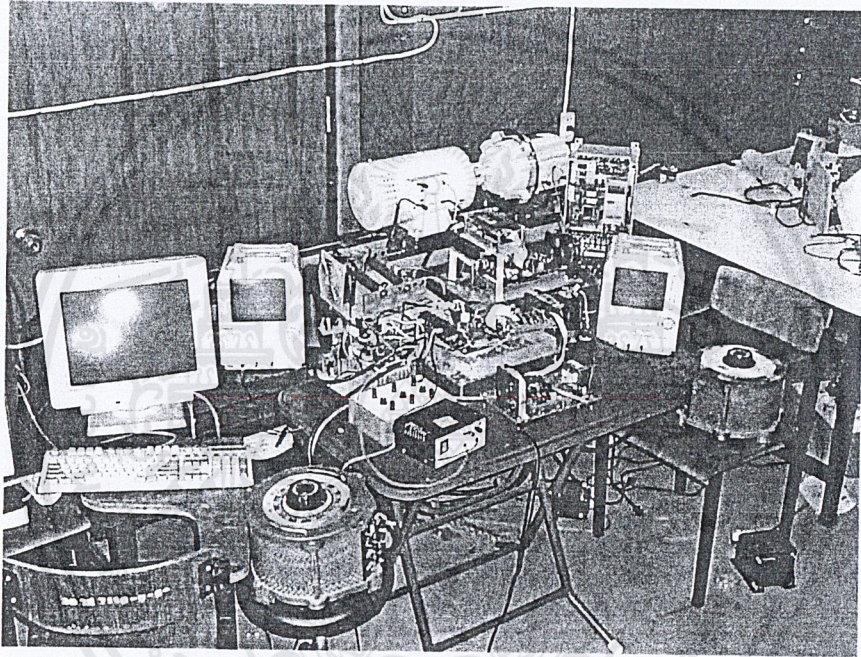
ตารางที่ 11(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 180 V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1495.7	1487	1479	1470	1462	1455.5	1449
I inverter (A)	4.97	5.2	5.32	5.69	6.31	6.7	7.23
I real (A)	0	3.27	5.63	8.36	10.794	12.624	14.782
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

ตารางที่ 12(ก) แสดงค่า กระแส ความเร็ว และ แรงบิด ที่แรงดัน 200 V

Torque (N-m)	0	1	2	3	4	5	6
Speed (rpm)	1496	1490	1483	1476	1470.4	1463.8	1458.5
I inverter (A)	6.5	6.75	6.82	6.99	7.35	7.62	7.98
I real (A)	0	3.336	5.606	8.24	10.826	12.65	15.112
I command (A)	0	1.694	2.843	4.174	5.463	6.402	7.557

(ข) รูปชิ้นงานชุดจำลองโหลด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ชุดคำสั่งที่เขียนในวิชวลเบสิก

Dim Robby As IAgentCtlCharacterEx

Dim TorqueForward(12) As Byte

Dim TorqeMax As Byte

Dim TorqueForwardMin As Byte

Dim TorqueForwardMax As Byte

Dim TorqueRamp As Byte

Dim RiseForward As Boolean

Dim Rise As Boolean

Dim Index As Byte

Dim IndexMax As Byte

Dim Step As Boolean

Dim Ramp As Boolean

Dim Forward As Boolean

Dim Period

Dim Interval As Integer

Dim Counter As Integer

Private Sub cmdClear_Click()

End Sub

Private Sub Form_Load()

OutPort 127 'Set torque command = 0

TorqueForward(0) = 127 '0.0 N-m

TorqueForward(1) = 140 '0.5 N-m

TorqueForward(2) = 149 '1.0 N-m

TorqueForward(3) = 157 '1.5 N-m

TorqueForward(4) = 165 '2.0 N-m


```

TorqueForward(5) = 174 '2.5 N-m
TorqueForward(6) = 183 '3.0 N-m
TorqueForward(7) = 192 '3.5 N-m
TorqueForward(8) = 201 '4.0 N-m
TorqueForward(9) = 205 '4.5 N-m
TorqueForward(10) = 214 '5.0 N-m
TorqueForward(11) = 222 '5.5 N-m
TorqueForward(12) = 229 '6.0 N-m
'TorqueForward(13) = 236 '6.5 N-m
'TorqueForward(14) = 241 '7.0 N-m

```

```

Robby1.Characters.Load "Robby", "Robby.acs"
Set Robby = Robby1.Characters("Robby")

```

```
Dim i As Byte
```

```
cmdStart.Enabled = False
```

```
cmdStop.Enabled = False
```

```
cmbPeriod.AddItem "0.5"
```

```
For i = 1 To 8
```

```
    lstTorque.AddItem "Function " & i
```

```
Next
```

```
lstTorque.AddItem "Manual"
```

```
For i = 1 To 10
```

```
    cmbPeriod.AddItem Str(i)
```

```
Next
```

```
cmbPeriod.ListIndex = 0
```

```
For i = 1 To 6
```

```
    cmbTorque.AddItem Str(i)
```

```
Next
```



```

cmbTorque.ListIndex = 0
txtTorque.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub lstTorque_Click()
Select Case lstTorque.ListIndex

```

```

    Case 0 'Step torque

```

```

        Picture1.Visible = True
        Picture2.Visible = False
        Picture3.Visible = False
        Picture4.Visible = False
        Picture5.Visible = False
        Picture6.Visible = False
        Picture7.Visible = False
        Picture8.Visible = False
        Picture9.Visible = False
        cmdStart.Enabled = True
        cmdStop.Enabled = True
        txtTorque.Enabled = False

```

```

    Case 1 'Square torque

```

```

        Picture1.Visible = False
        Picture2.Visible = True
        Picture3.Visible = False
        Picture4.Visible = False
        Picture5.Visible = False
        Picture6.Visible = False
        Picture7.Visible = False
        Picture8.Visible = False
        Picture9.Visible = False
        cmdStart.Enabled = True

```


cmdStop.Enabled = True

txtTorque.Enabled = False

Case 2 'Step - Ramp torque

Picture1.Visible = False

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = True

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = False

Picture6.Visible = False

Picture7.Visible = False

Picture8.Visible = False

Picture9.Visible = False

cmdStart.Enabled = True

cmdStop.Enabled = True

txtTorque.Enabled = False

Case 3 'Ramp - Step torque

Picture1.Visible = False

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = True

Picture5.Visible = False

Picture6.Visible = False

Picture7.Visible = False

Picture8.Visible = False

Picture9.Visible = False

cmdStart.Enabled = True

cmdStop.Enabled = True

txtTorque.Enabled = False

Case 4 'Step - Step torque

Picture1.Visible = False

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = False

Picture6.Visible = False

Picture7.Visible = False

Picture8.Visible = True

Picture9.Visible = False

cmdStart.Enabled = True

cmdStop.Enabled = True

txtTorque.Enabled = False

Case 5 'Ramp (forward)torque

Picture1.Visible = False

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = True

Picture6.Visible = False

Picture7.Visible = False

Picture8.Visible = False

Picture9.Visible = False

cmdStart.Enabled = True

cmdStop.Enabled = True

txtTorque.Enabled = False

Case 6 'Ramp (reverse) torque

Picture1.Visible = False

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = False


```

Picture6.Visible = False
Picture7.Visible = True
Picture8.Visible = False
Picture9.Visible = False
cmdStart.Enabled = True
cmdStop.Enabled = True
txtTorque.Enabled = False

```

Case 7 'Triangle torque

```

Picture1.Visible = False
Picture2.Visible = False
Picture3.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
Picture6.Visible = True
Picture7.Visible = False
Picture8.Visible = False
Picture9.Visible = False
cmdStart.Enabled = True
cmdStop.Enabled = True
txtTorque.Enabled = False

```

Case 8 'Manual

```

cmdStart.Enabled = False
cmdStop.Enabled = False
Picture9.Visible = True
txtTorque.Enabled = True

```

End Select

End Sub

Private Sub cmdStart_Click()

```
Period = Val(cmbPeriod.List(cmbPeriod.ListIndex))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Counter = 0

Select Case lstTorque.ListIndex

Case 0 'Step torque

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2

Index = 2

Interval = Period * 2 * 60 / IndexMax

OutPort TorqueForward(Index)

Timer1.Enabled = True

Timer1.Interval = 1000

Case 1 'Square torque

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2

Index = IndexMax

Interval = Period * 30

OutPort TorqueForward(IndexMax)

Timer2.Enabled = True

Timer2.Interval = 1000

Case 2 'Step - Ramp torque

Index = 2

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2

TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)

TorqueForwardMin = 127

TorqueRamp = TorqueForwardMax

Interval = Period * 60 / IndexMax

Step = True

Ramp = False

OutPort TorqueForward(Index)

Index = 4

Timer3.Enabled = True

Timer3.Interval = 1000

Case 3 'Ramp - Step torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2
TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)
TorqueForwardMin = 127
TorqueRamp = 127
Interval = Period * 60 / IndexMax
Ramp = True
Step = False
TorqueRamp = TorqueForwardMin + 1
OutPort TorqueForwardMin
Timer4.Enabled = True
Timer4.Interval = (Period * 30 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin +
1)) * 1000

```

Case 4 'Step - Step torque

```

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2
Interval = Period * 60 / IndexMax
TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)
TorqueRamp = TorqueForwardMax
Step = True
OutPort TorqueForward(0)
Index = 2
Rise = True
Timer5.Enabled = True
Timer5.Interval = 1000

```

Case 5 'Ramp (forward)torque

```

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2
TorqueForwardMin = 127
TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)
TorqueRamp = TorqueForwardMin
OutPort TorqueRamp
Forward = True

```


Timer6.Enabled = True

Timer6.Interval = (Period * 60 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin + 1)) * 1000

Case 6 'Ramp (reverse) torque

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2

Forward = True

TorqueForwardMin = 127

TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)

TorqueRamp = TorqueForwardMax

Timer7.Enabled = True

Timer7.Interval = (Period * 60 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin + 1)) * 1000

Case 7 'Triangle torque

IndexMax = Val(cmbTorque.List(cmbTorque.ListIndex)) * 2

TorqueForwardMin = 127

TorqueForwardMax = TorqueForward(IndexMax)

TorqueRamp = TorqueForwardMin

TorqueForwardMin = TorqueForwardMin + 1

OutPort TorqueRamp

Forward = True

Timer8.Enabled = True

Timer8.Interval = (Period * 30 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin + 2)) * 1000

Case 8

IndexMax = Val(txtTorque.Text) * 2

End Select

End Sub

Private Sub txtTorque_KeyPress(KeyAscii As Integer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

If KeyAscii = 13 Then
    If Val(txtTorque.Text) > 6 Then
        Robby.MoveTo 310, 210
        Robby.Show
        Robby.Speak "Please enter torque 1 to 6 Newton-meter"
        Robby.Hide
    Else
        If lstTorque.ListIndex = 8 Then
            OutPort TorqueForward(2 * Val(txtTorque.Text))
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Timer() 'Step Torque
    Counter = Counter + 1
    If Counter = Interval Then
        Counter = 0
        If Index < IndexMax Then Index = Index + 2 Else Index = 0
        OutPort TorqueForward(Index)
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Timer2_Timer() 'Square Torque
    Counter = Counter + 1
    If Counter = Interval Then
        Counter = 0
        Index = IndexMax - Index
        OutPort TorqueForward(Index)
    End If

```


End Sub

Private Sub Timer3_Timer() 'Step Ramp Torque

If Step Then ' Step command

Counter = Counter + 1

If Counter = Interval Then

Counter = 0

If Index <= IndexMax Then OutPort TorqueForward(Index)

If Index < IndexMax + 2 Then

Index = Index + 2

Else

Index = 2

Ramp = True

Step = False

OutPort TorqueRamp

TorqueRamp = TorqueForward(IndexMax) - 1

Timer3.Interval = (Period * 30 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin + 1)) * 1000

End If

End If

End If

If Ramp Then ' Ramp command

OutPort TorqueRamp

If TorqueRamp > TorqueForwardMin Then

TorqueRamp = TorqueRamp - 1

Else

Ramp = False

Step = True

Counter = 0

TorqueRamp = TorqueForward(IndexMax)


```

    OutPort TorqueForward(Index)
    Index = 4
    Timer3.Interval = 1000
End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub Timer4_Timer() 'Ramp Step Torque

```

```

    If Ramp Then

```

```

        OutPort TorqueRamp

```

```

        If TorqueRamp < TorqueForwardMax Then

```

```

            TorqueRamp = TorqueRamp + 1

```

```

        Else

```

```

            Ramp = False

```

```

            Step = True

```

```

            Index = IndexMax - 2

```

```

            OutPort TorqueForward(IndexMax)

```

```

            Timer4.Interval = 1000

```

```

        End If

```

```

    End If

```

```

    If Step Then

```

```

        Counter = Counter + 1

```

```

        If Counter = Interval Then

```

```

            Counter = 0

```

```

            OutPort TorqueForward(Index)

```

```

            If Index > 0 Then

```

```

                Index = Index - 2

```

```

            Else

```

```

                TorqueRamp = TorqueForwardMin

```

```

                Ramp = True

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Step = False

Timer4.Interval = (Period * 30 / (TorqueForward(IndexMax) - TorqueForwardMin +
1)) * 1000

End If

End If

End If

End Sub

```

```

Private Sub Timer5_Timer() 'Step Step torque

```

```

    OutPort TorqueForward(Index)

```

```

    Counter = Counter + 1

```

```

    If Counter = Interval Then

```

```

        Counter = 0

```

```

        If Rise Then

```

```

            If Index < IndexMax Then

```

```

                Index = Index + 2

```

```

            Else

```

```

                Index = Index - 2

```

```

                Rise = False

```

```

            End If

```

```

        Else

```

```

            If Index > 0 Then

```

```

                Index = Index - 2

```

```

            Else

```

```

                Rise = True

```

```

                Index = Index + 2

```

```

                'OutPort TorqueForward(Index)

```

```

            End If

```

```

        End If

```

```

    End If

```


End Sub

Private Sub Timer6_Timer() 'Forward Ramp Torque

OutPort TorqueRamp

If Forward Then

If TorqueRamp < TorqueForwardMax Then

TorqueRamp = TorqueRamp + 1

Else

TorqueRamp = TorqueForwardMin

End If

End If

End Sub

Private Sub Timer7_Timer() 'Reverse Ramp Torque

OutPort TorqueRamp

If Forward Then

If TorqueRamp > TorqueForwardMin Then

TorqueRamp = TorqueRamp - 1

Else

TorqueRamp = TorqueForwardMax

End If

End If

End Sub

Private Sub Timer8_Timer() 'Triangle Torque

OutPort TorqueRamp

If Rise Then

If TorqueRamp < TorqueForwardMax Then

TorqueRamp = TorqueRamp + 1

Else

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

TorqueRamp = TorqueRamp - 1
Rise = False
End If
Else
If TorqueRamp > TorqueForwardMin Then
TorqueRamp = TorqueRamp - 1
Else
Rise = True
TorqueRamp = TorqueForwardMin
End If
End If
End Sub

```

```
Private Sub cmdStop_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
Timer2.Enabled = False
Timer3.Enabled = False
Timer4.Enabled = False
Timer5.Enabled = False
Timer6.Enabled = False
Timer7.Enabled = False
Timer8.Enabled = False
OutPort 127

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```

Robby1.Characters.Unload "Robby"
OutPort 127

```

```
End Sub
```



```
Private Sub cmdClose_Click()
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32" _
```

```
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32" _
```

```
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

```
Public Sub OutPort(ByVal data As Byte)
```

```
Out 777, data
```

```
Out 776, data
```

```
End Sub
```


บรรณานุกรม

- [1]. N.Mohan , T.M.Underland , W.P. Robbins , “ Power Electronics : Converter , applications and desing ” , sencon Edition John Wiley & Sons , 1995
- [2]. National Data Acquisition Databook , National Semiconductor
- [3]. ปริญญานิพนธ์ การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแดรนต์โดยใช้ ไอจีบีที (4 Quadrant IGBT DC drive) , ชินนทร์ สิริชาญชัยกุล, ชาติรี กิจวรรณจักร์ , โชคอำนวย อัครพรพิพัฒน์ , 2542
- [4]. ปริญญานิพนธ์ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง , ชนานต์ แสนศรีแก้ว , ภูริ โสธรวิทย์ , ยุพดี วงกรวรเวช
- [5]. ปริญญานิพนธ์ ชุดจำลองโหลดสำหรับทดสอบมอเตอร์ (Load Emulator For Motor Test) , กิตติกร ศิลาสุวรรณ , เรืองยศ ภูซ้าง , สาโรช พึ่งหิรัญ , สืบศักดิ์ คุณละ , 2543

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ , อ. สุรินทร์ คำฝอยเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโปรเจกมาโดยตลอด และขอบคุณภาควิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำโปรเจกนี้ และขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโทที่คอยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดมา ขอขอบคุณที่ดีที่ให้คำปรึกษาโปรเจกและเป็นผู้สนับสนุนอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ขอขอบคุณพี่ต๋องที่ให้คำปรึกษาด้าน PI Controller ขอขอบคุณพี่เอ็ดที่ให้คำปรึกษาด้าน Protel และขอขอบคุณพี่ ป.โท ทุกคนในตึก L ที่ให้กำลังใจ

ขอบคุณเพื่อน ๆ ห้อง 3W ที่ให้กำลังใจรวมทั้งผู้ให้ความช่วยเหลือที่ไม่สามารถกล่าวได้ครบทุกคน

ขอบคุณพ่อแม่ที่ให้กำลังใจทำให้งานสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดี

7MBP50RA120

IGBT-IPM R series

1200V / 50A 7 in one-package

Features

- Temperature protection provided by directly detecting the junction temperature of the IGBTs
- Low power loss and soft switching
- Compatible with existing IPM-N series packages
- High performance and high reliability IGBT with overheating protection
- Higher reliability because of a big decrease in number of parts in built-in control circuit

Maximum ratings and characteristics

● Absolute maximum ratings(at $T_c=25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Item			Symbol	Rating		Unit
				Min.	Max.	
DC bus voltage			V _{DC}	0	900	V
DC bus voltage (surge)			V _{DC(surge)}	0	1000	V
DC bus voltage (short operating)			V _{SC}	200	800	V
Collector-Emitter voltage			V _{CES}	0	1200	V
DB Reverse voltage			V _R	-	1200	V
INV	Collector current	DC	I _C	-	50	A
		1ms	I _{CP}	-	100	A
		DC	-I _C	-	50	A
	Collector power dissipation	One transistor	P _C	-	357	W
DB	Collector current	DC	I _C	-	25	A
		1ms	I _{CP}	-	50	A
	Forward current of Diode		I _F	-	25	A
	Collector power dissipation	One transistor	P _C	-	198	W
Junction temperature			T _J	-	150	°C
Input voltage of power supply for Pre-Driver			V _{CC} *1	0	20	V
Input signal voltage			V _{in} *2	0	V _Z	V
Input signal current			I _{in}	-	1	mA
Alarm signal voltage			V _{ALM} *3	0	V _{CC}	V
Alarm signal current			I _{ALM} *4	-	15	mA
Storage temperature			T _{stg}	-40	125	°C
Operating case temperature			T _{op}	-20	100	°C
Isolating voltage (Case-Terminal)			V _{iso} *5	-	AC2.5	kV
Screw torque	Mounting (M5)			-	3.5 *6	N·m
	Terminal (M5)			-	3.5 *6	N·m

*1 Apply V_{CC} between terminal No. 3 and 1, 6 and 4, 9 and 7, 11 and 10.
*2 Apply V_{in} between terminal No. 2 and 1, 5 and 4, 8 and 7, 12,13,14,15 and 10.
*3 Apply V_{ALM} between terminal No. 16 and 10.
*4 Apply I_{ALM} to terminal No. 16.
*5 50Hz/60Hz sine wave 1 minute.
*6 Recommendable Value : 2.5 to 3.0 N·m

● Electrical characteristics of power circuit (at $T_c=T_J=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=15\text{V}$)

Item		Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
INV	Collector current at off signal input	I _{CES}	V _{CE} =1200V input terminal open		-	1.0	mA
	Collector-Emitter saturation voltage	V _{CE(sat)}	I _C =50A	-	-	2.6	V
	Forward voltage of FWD	V _F	-I _C =50A	-	-	3.0	V
DB	Collector current at off signal input	I _{CES}	V _{CE} =1200V input terminal open	-	-	1.0	mA
	Collector-Emitter saturation voltage	V _{CE(sat)}	I _C =25A	-	-	2.6	V
	Forward voltage of Diode	V _F	-I _C =25A	-	-	3.3	V

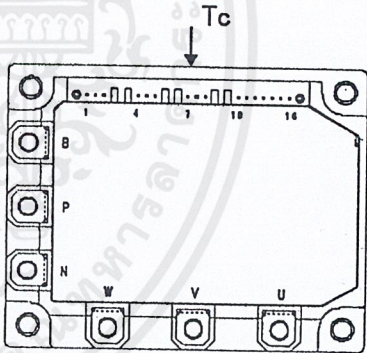
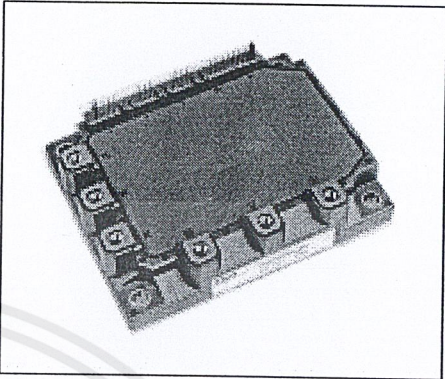


Fig.1 Measurement of case temperature

● Electrical characteristics of control circuit(at $T_c=T_j=25^{\circ}\text{C}$, $V_{cc}=15\text{V}$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Power supply current of P-line side Pre-driver(one unit)	I_{ccp}	$f_{sw}=0$ to 15kHz $T_c=-20$ to 100°C *7	3	-	18	mA
Power supply current of N-line side three Pre-driver	I_{ccn}	$f_{sw}=0$ to 15kHz $T_c=-20$ to 100°C *7	10	-	65	mA
Input signal threshold voltage (on/off)	$V_{in(th)}$	ON	1.00	1.35	1.70	V
		OFF	1.25	1.60	1.95	V
Input zener voltage	V_z	$R_{in}=20\text{k ohm}$	-	8.0	-	V
Over heating protection temperature level	T_{COH}	$V_{DC}=0\text{V}$, $I_c=0\text{A}$, Case temperature Fig.1	110	-	125	$^{\circ}\text{C}$
Hysteresis	T_{CH}		-	20	-	$^{\circ}\text{C}$
IGBT chips over heating protection temperature level	T_{JOH}	surface of IGBT chips	150	-	-	$^{\circ}\text{C}$
Hysteresis	T_{JH}		-	20	-	$^{\circ}\text{C}$
Collector current protection level	INV	I_{oc} $T_j=125^{\circ}\text{C}$	75	-	-	A
	DB	I_{oc} $T_j=125^{\circ}\text{C}$	38	-	-	A
Over current protection delay time	t_{DOC}	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ Fig.2	-	10	-	μs
Under voltage protection level	V_{UV}		11.0	-	12.5	V
Hysteresis	V_H		0.2	-	-	V
Alarm signal hold time	t_{ALM}		1.5	2	-	ms
SC protection delay time	t_{SC}	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ Fig.3	-	-	12	μs
Limiting resistor for alarm	R_{ALM}		1425	1500	1575	ohm

*7 Switching frequency of IPM

● Dynamic characteristics(at $T_c=T_j=125^{\circ}\text{C}$, $V_{cc}=15\text{V}$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Switching time (IGBT)	t_{on}	$I_C=50\text{A}$, $V_{DC}=600\text{V}$	0.3	-	-	μs
	t_{off}		-	-	3.6	μs
Switching time (FWD)	t_{rr}	$I_F=50\text{A}$, $V_{DC}=600\text{V}$	-	-	0.4	μs

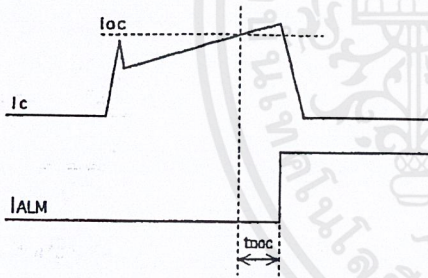


Fig.2 Definition of OC delay time

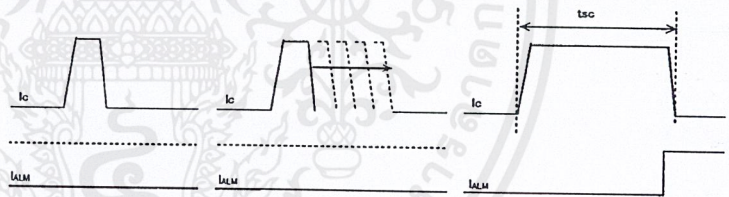


Fig.3 Definition of t_{sc}

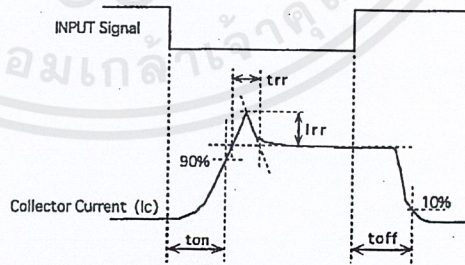


Fig.4 Definition of switching time

● Thermal characteristics($T_c=25^{\circ}\text{C}$)

Item	Symbol	Typ.	Max.	Unit
Junction to Case thermal resistance	INV IGBT	$R_{th(j-c)}$	0.35	$^{\circ}\text{C/W}$
	DB IGBT	$R_{th(j-c)}$	0.85	$^{\circ}\text{C/W}$
	IGBT	$R_{th(j-c)}$	0.63	$^{\circ}\text{C/W}$
Case to fin thermal resistance with compound	$R_{th(c-f)}$	0.05	-	$^{\circ}\text{C/W}$

● Recommendable value

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
DC bus voltage	V_{DC}	200	-	800	V
Operating power supply voltage range of Pre-driver	V_{CC}	13.5	15	16.5	V
Switching frequency of IPM	f_{sw}	1	-	20	kHz
Screw torque	Mounting (M5)	2.5	-	3.0	N·m
	Terminal (M5)	2.5	-	3.0	N·m

The diagram illustrates a 48V 100A 4-quadrant power converter. It features four identical power stages, each comprising a MOSFET pre-driver, a MOSFET, and an anti-parallel diode. The input voltages are VccU, VinU, GNDU, VccV, VinV, GNDV, VccW, VinW, GNDW, VccX, VinX, GND, VinY, VinZ, VinDB, and ALM. The output terminals are U, V, W, B, and N. A 1.5kΩ resistor is connected between ALM and the pre-driver circuit. An 'Over heating protection circuit' is also shown.

- a) Amplifier for driver
- b) Short circuit protection
- c) Undervoltage lockout circuit
- d) Over current protection
- e) IGBT chip over heating protection

Technical drawing of a mechanical part, likely a base plate or housing, showing top and side views with dimensions and labels.

Top View Dimensions:

- Overall width: 109 ± 1
- Overall height: 86 ± 1
- Top edge features:
 - Left corner: 13.8 ± 0.3
 - Top edge center: 67.4
 - Right corner: 15.24 ± 0.3
- Internal features:
 - Top edge: 3.22 ± 0.1 , 5.0 ± 0.15 , 10.18 ± 0.2 , 2.54 ± 0.1
 - Bottom edge: 0.5 , 24 , 26 , 26
- Labels: B, P, N, W, V, U
- Feature: $4-\phi 5.5$

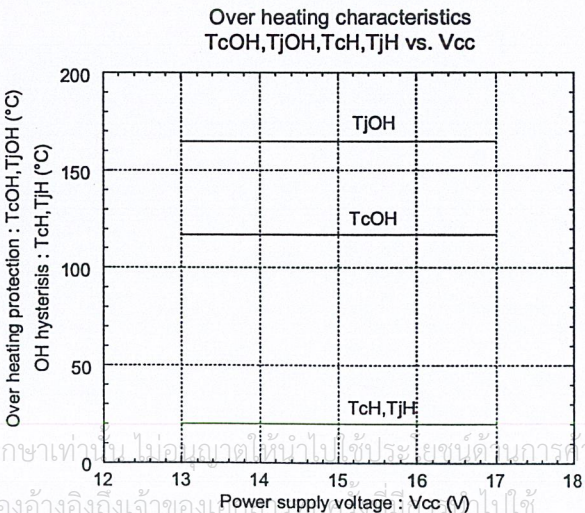
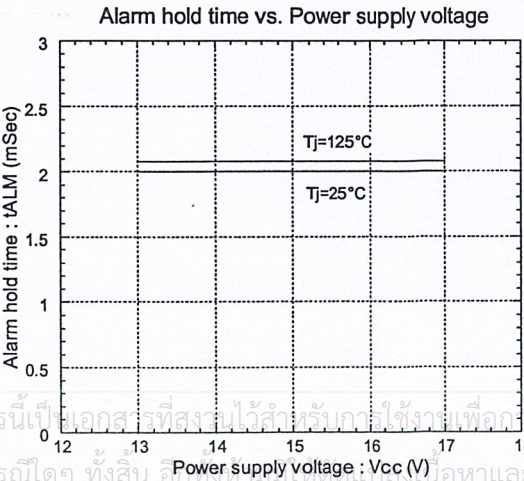
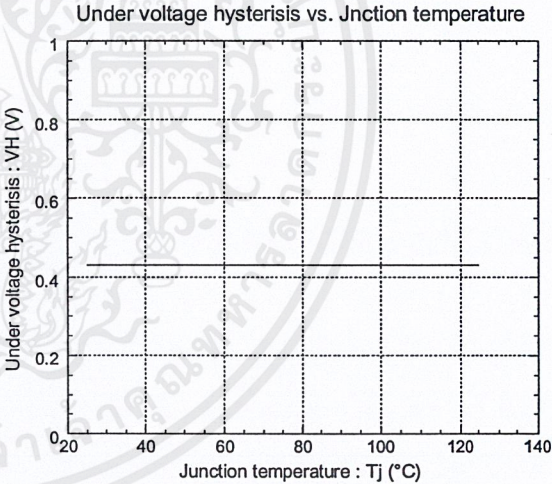
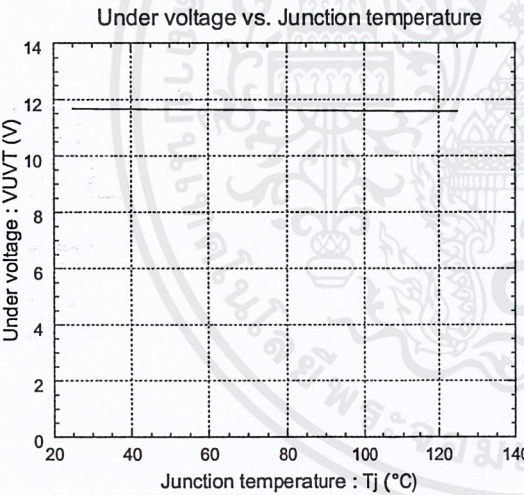
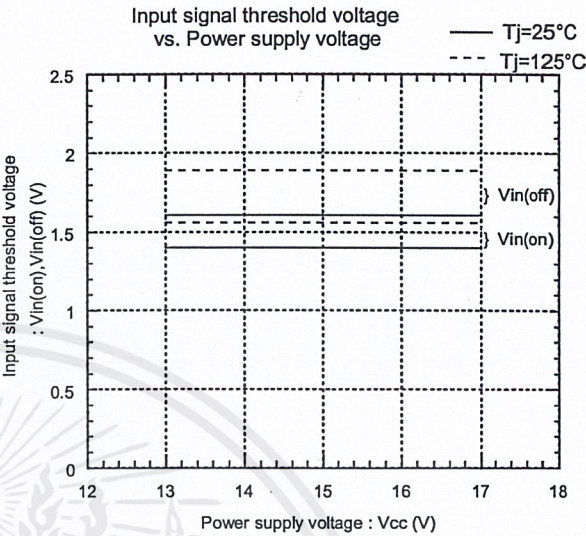
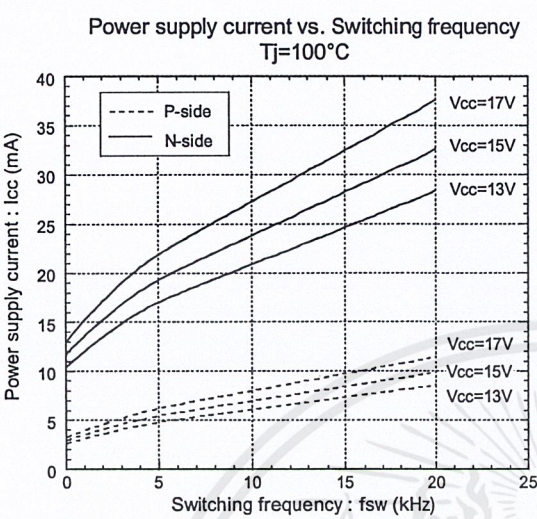
Side View Dimensions:

- Overall height: 31
- Top edge features:
 - Left corner: 22.4 ± 0.3
 - Top edge center: 16 ± 0.64
 - Right corner: 22.4 ± 0.3
- Internal features:
 - Top edge: 8 ± 0.3 , 12.5 , 17
 - Bottom edge: 8 ± 0.3 , 17
- Labels: 6-M5, 2- $\phi 2.5$

Mass : 440g

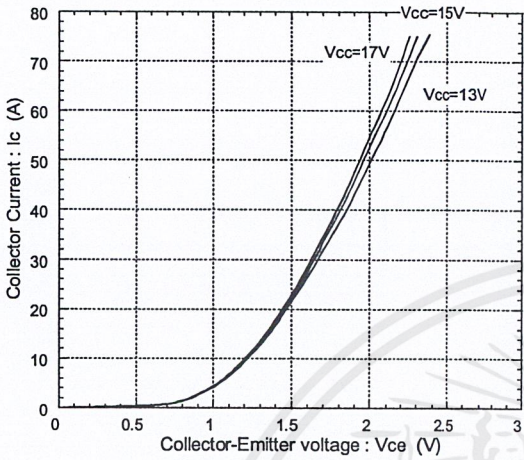
■ Characteristics (Representative)

● Control Circuit

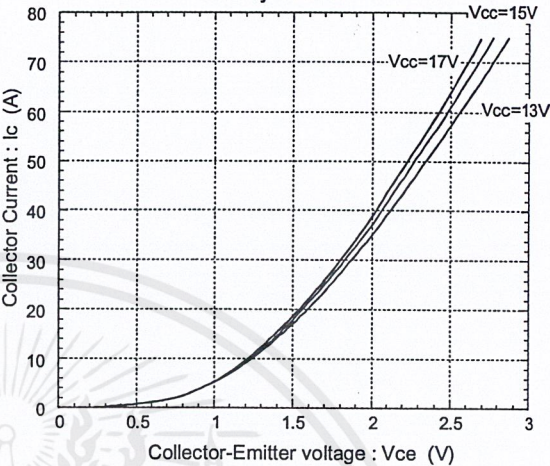


● Inverter

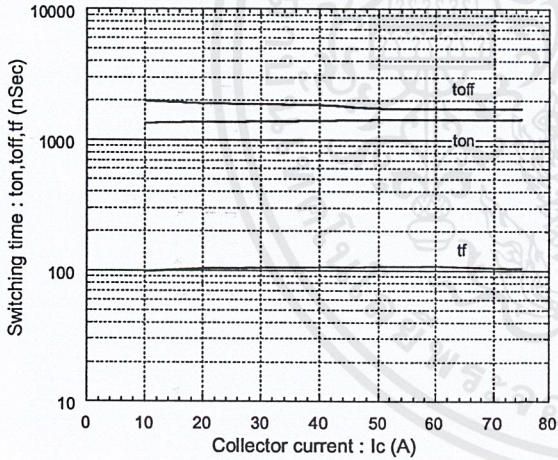
Collector current vs. Collector-Emitter voltage
 $T_j=25^{\circ}\text{C}$



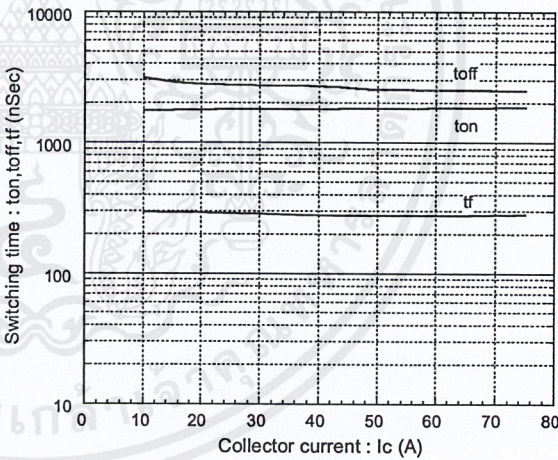
Collector current vs. Collector-Emitter voltage
 $T_j=125^{\circ}\text{C}$



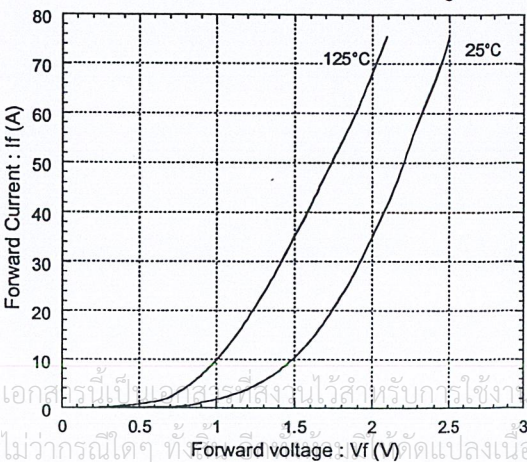
Switching time vs. Collector current
 $E_{dc}=600\text{V}, V_{cc}=15\text{V}, T_j=25^{\circ}\text{C}$



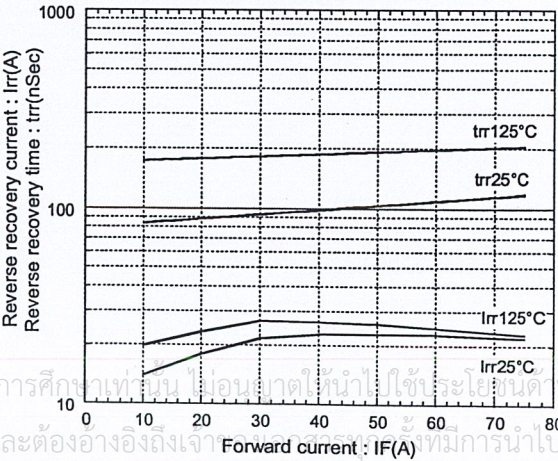
Switching time vs. Collector current
 $E_{dc}=600\text{V}, V_{cc}=15\text{V}, T_j=125^{\circ}\text{C}$



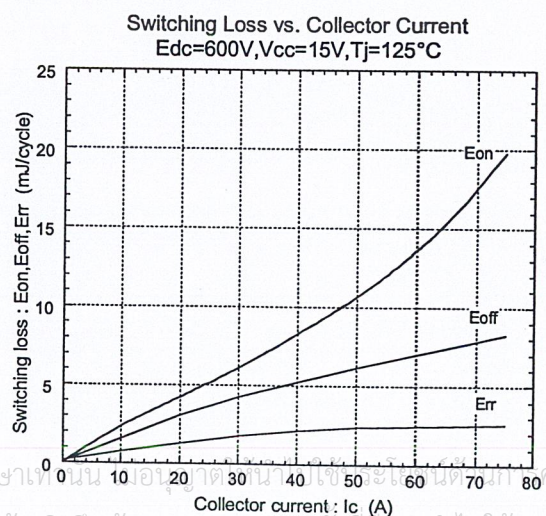
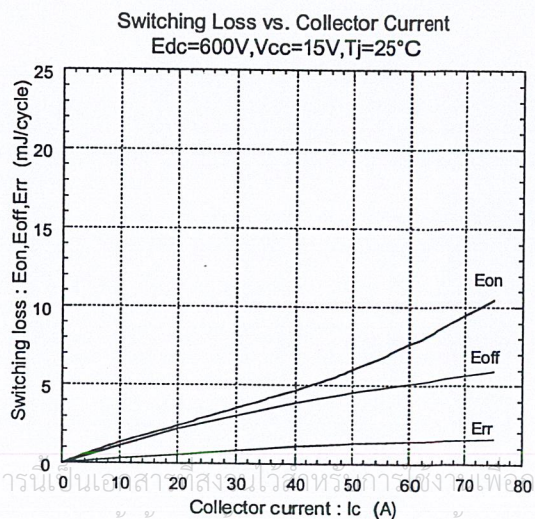
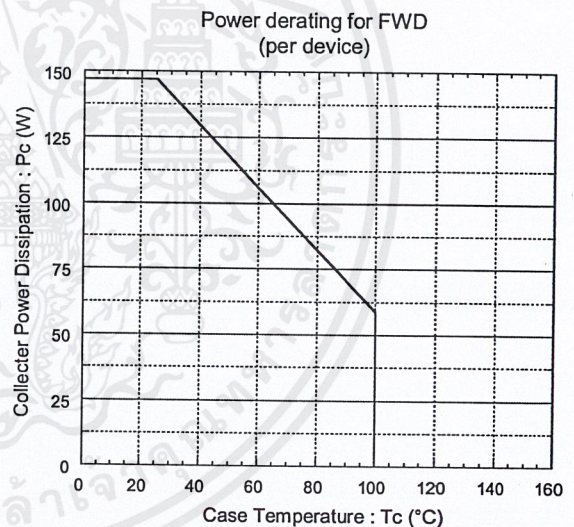
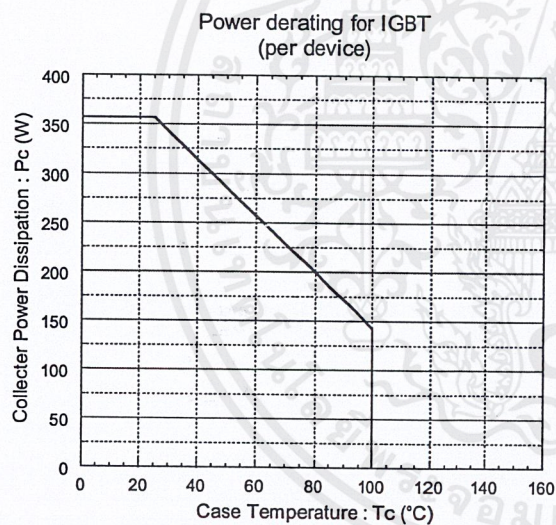
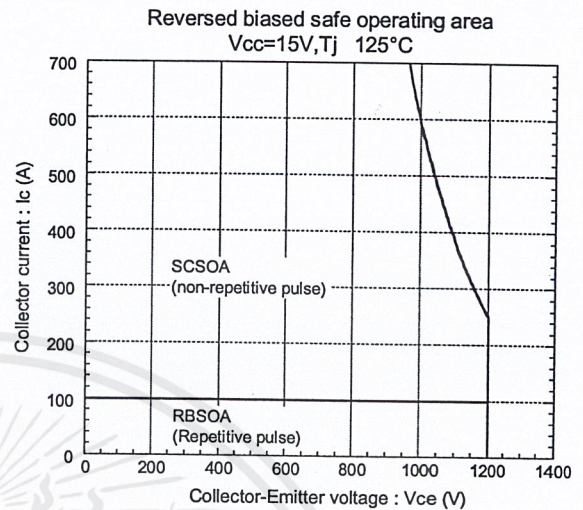
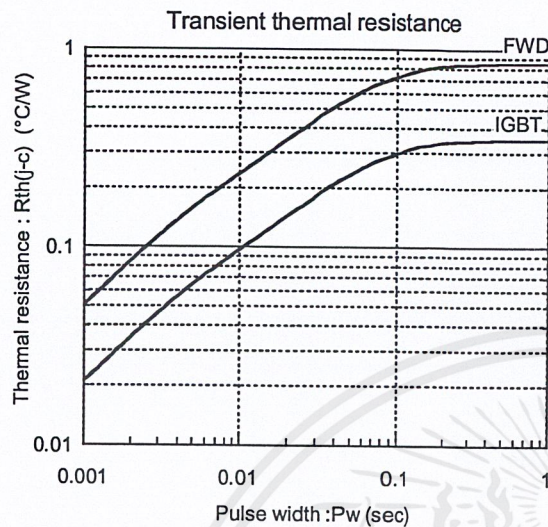
Forward current vs. Forward voltage

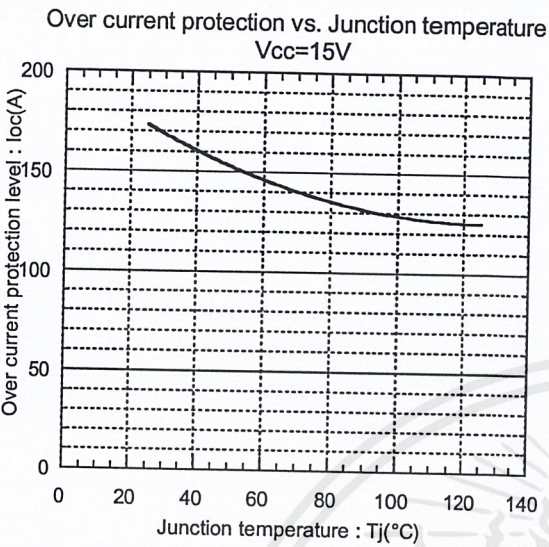


Reverse recovery characteristics
 t_{rr}, I_{rr} vs. I_F

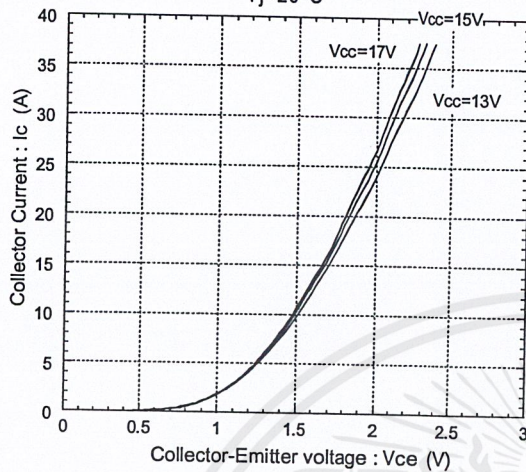
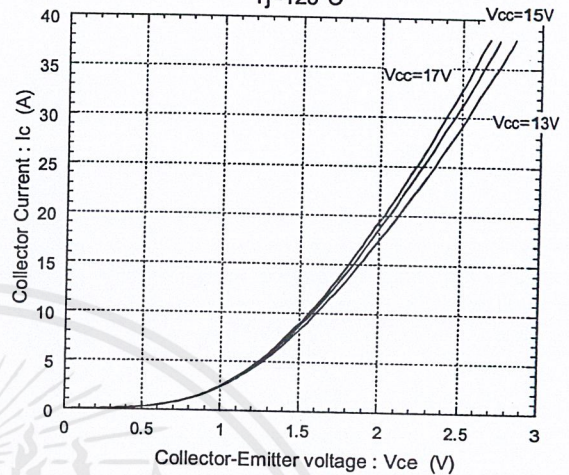


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารผู้ที่มีอำนาจไปใช้

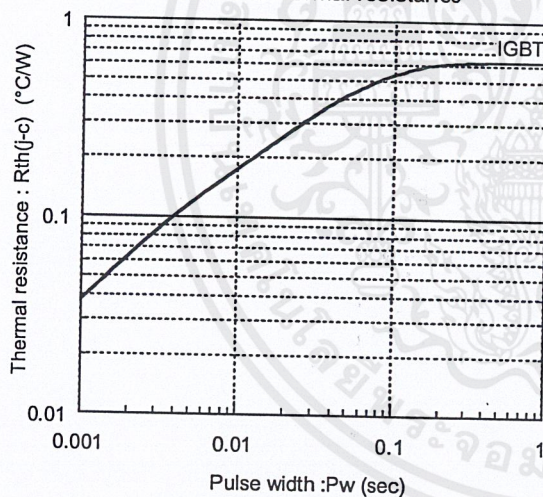
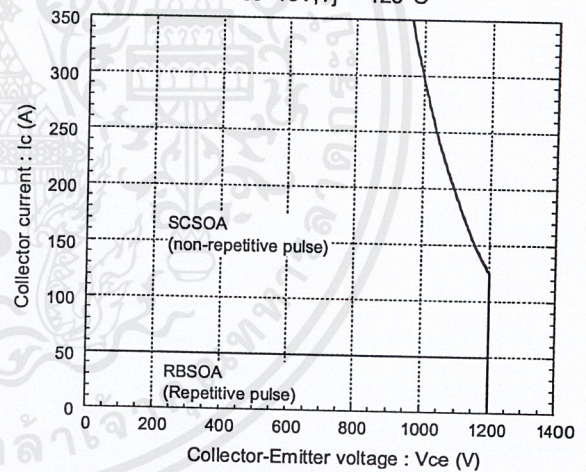
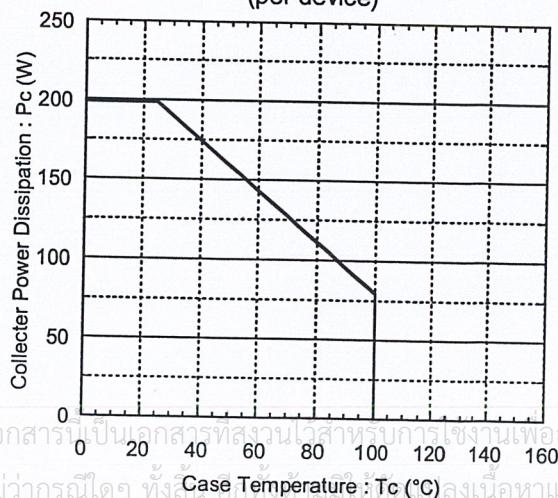
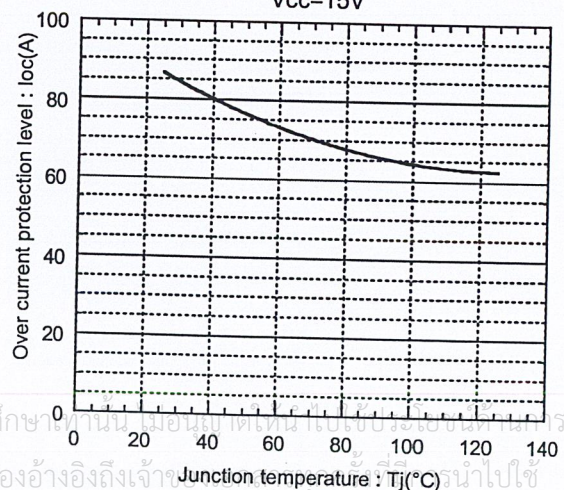




● Brake

Collector current vs. Collector-Emitter voltage
 $T_J = 25^\circ\text{C}$ Collector current vs. Collector-Emitter voltage
 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 

Transient thermal resistance

Reversed biased safe operating area
 $V_{CC}=15V, T_J = 125^\circ\text{C}$ Power derating for IGBT
(per device)Over current protection vs. Junction temperature
 $V_{CC}=15V$ 

LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

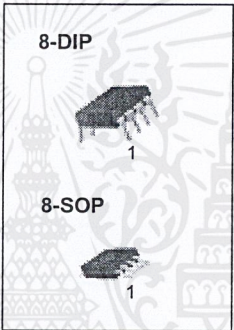
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μSec To Hours
- Turn Off Time Less Than $2\mu\text{Sec}$

Applications

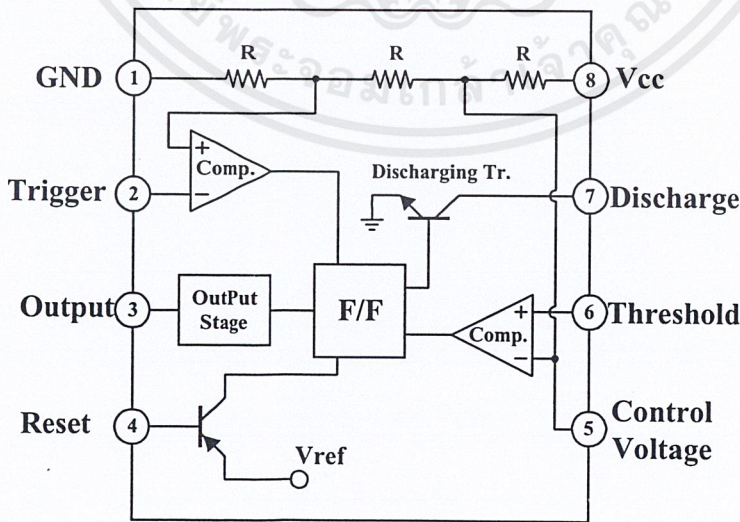
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor.



Internal Block Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	PD	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	- 65 ~ + 150	°C



Electrical Characteristics

(TA = 25°C, VCC = 5 ~ 15V, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	VCC		4.5	-	16	V
Supply Current *1(low stable)	ICC	VCC = 5V, RL = ∞	-	3	6	mA
		VCC = 15V, RL = ∞	-	7.5	15	mA
Timing Error *2 (Monostable) Initial Accuracy Drift with Temperature Drift with Supply Voltage	ACCUR Δt/ΔT Δt/ΔVCC	RA = 1KΩ to100KΩ C = 0.1μF	-	1.0 50 0.1	3.0 - 0.5	% ppm/°C %/V
Timing Error *2(astable) Initial Accuracy Drift with Temperature Drift with Supply Voltage	ACCUR Δt/ΔT Δt/ΔVCC	RA = 1KΩ to 100KΩ C = 0.1μF	-	2.25 150 0.3	- - -	% ppm/°C %/V
Control Voltage	VC	VCC = 15V	9.0	10.0	11.0	V
		VCC = 5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	VTH	VCC = 15V	-	10.0	-	V
		VCC = 5V	-	3.33	-	V
Threshold Current *3	ITH	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	VTR	VCC = 5V	1.1	1.67	2.2	V
		VCC = 15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	ITR	VTR = 0V	-	0.01	2.0	μA
Reset Voltage	VRST	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	IRST	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	VOL	VCC = 15V ISINK = 10mA ISINK = 50mA	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		VCC = 5V ISINK = 5mA	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	VOH	VCC = 15V ISOURCE = 200mA ISOURCE = 100mA	12.75	12.5 13.3	- -	V V
		VCC = 5V ISOURCE = 100mA	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output	tR	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output	tF	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	ILKG	-	-	20	100	nA

Notes:

1. Supply current when output is high is typically 1mA less at VCC = 5V
2. Tested at VCC = 5.0V and VCC = 15V
3. This will determine maximum value of RA + RB for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation the max. total R = 6.7MΩ

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (Vth)(PIN 6)	Trigger Voltage (Vtr)(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	High	Low	ON
$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	High	-	-
$V_{th} < V_{cc} / 3$	$V_{th} < V_{cc} / 3$	High	High	OFF

When low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when high signal is applied to the reset terminal, timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

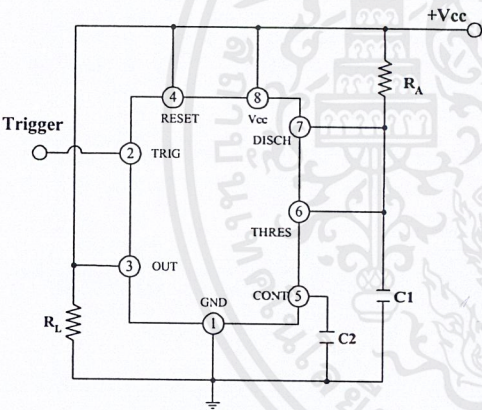


Figure 1. Monoatable Circuit

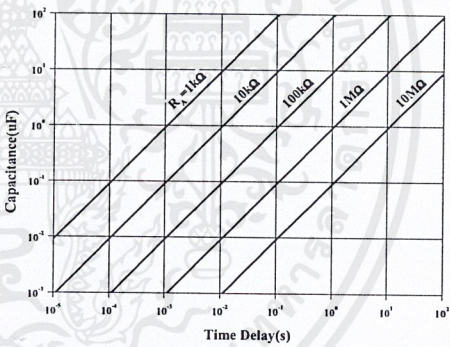


Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay(td)

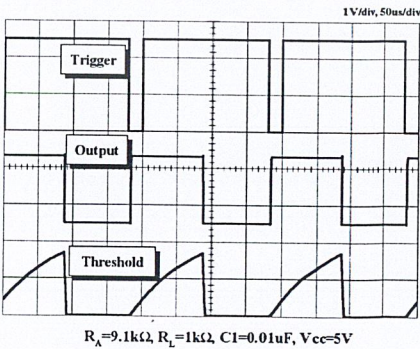


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below $V_{CC}/3$.

When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below $V_{CC}/3$ while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor $C1$ and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor $C1$, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t = R_A * C$ and reaches $2V_{CC}/3$ at $t_d = 1.1R_A * C$. Hence, capacitor $C1$ is charged through resistor R_A . The greater the time constant $R_A C$, the longer it takes for the V_{C1} to reach $2V_{CC}/3$. In other words, the time constant $R_A C$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor $C1$ reaches $2V_{CC}/3$, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr on. At this time, $C1$ begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on R_A and C . Figure 3 shows the general waveforms during monostable operation.

It must be noted that, for normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of $V_{CC}/3$ before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below $V_{CC}/3$. Figure 4 shows such timer output abnormality.

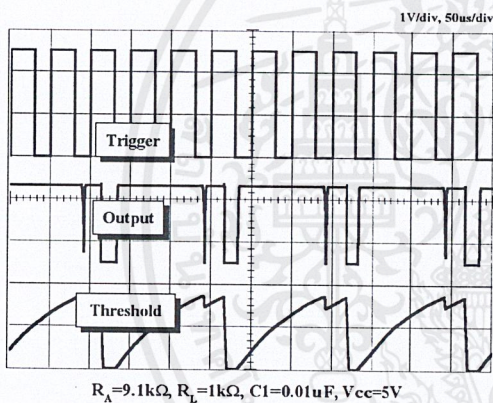


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

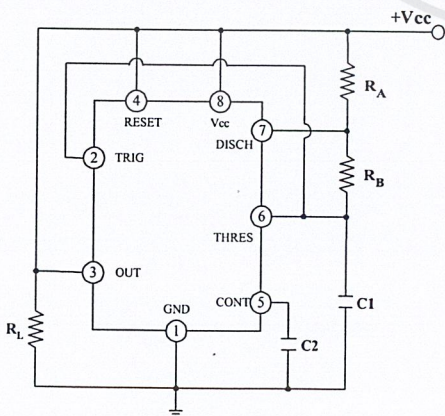


Figure 5. Astable Circuit

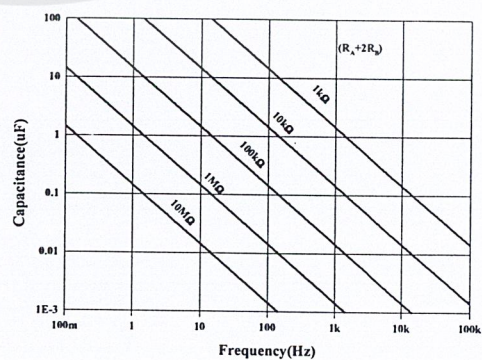


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

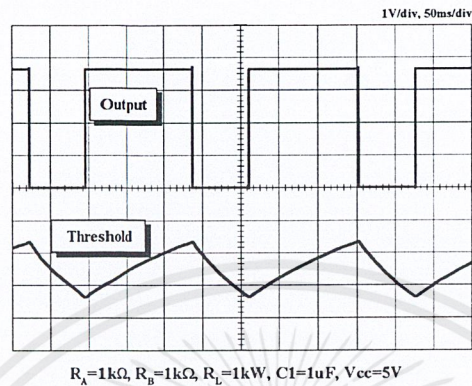
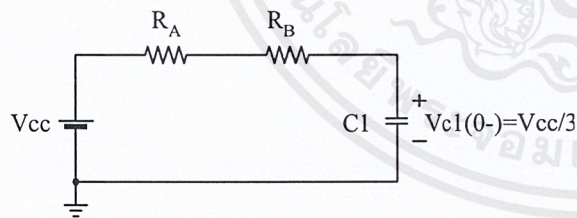


Figure 7. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor R_B to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging Tr turns off and the V_{C1} increases by exponential function with the time constant $(R_A+R_B)*C$. When the V_{C1} , or the threshold voltage, reaches $2V_{cc}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging Tr and the $C1$ discharges through the discharging channel formed by R_B and the discharging Tr . When the V_{C1} falls below $V_{cc}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging Tr turns off and the V_{C1} rises again. In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the V_{C1} to rise from $V_{cc}/3$ to $2V_{cc}/3$, and the section where the timer output is low is the time it takes for the V_{C1} to drop from $2V_{cc}/3$ to $V_{cc}/3$. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor $C1$ is as follows:



$$C_1 \frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{V_{cc} - V(0-)}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

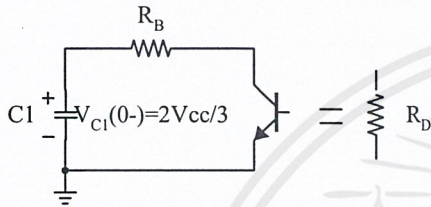
$$V_{C1}(t) = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{\left(-\frac{t}{(R_A + R_B)C_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Since the duration of the timer output high state(t_H) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $2V_{cc}/3$,

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A + R_B)C_1} \right)} \right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A + R_B) \ln 2 = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1 when timer output is low as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A + R_B} V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state (t_L) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $V_{CC}/3$,

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t_L}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B + R_D) \ln 2 = 0.693(R_B + R_D)C_1 \quad (9)$$

Since R_D is normally $R_B \gg R_D$ although related to the size of discharging Tr ,
 $t_L = 0.693R_B C_1$ (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with ' $T = t_H + t_L = 0.693(R_A + R_B)C_1 + 0.693R_B C_1 = 0.693(R_A + 2R_B)C_1$ ' because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency, } f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

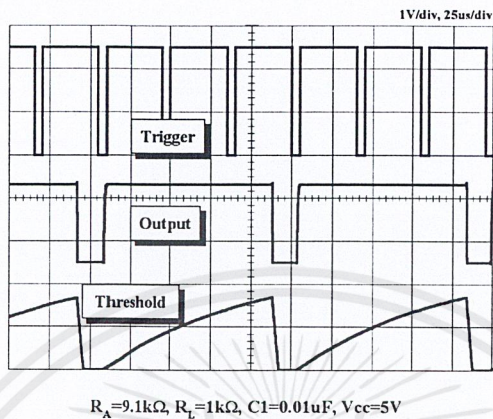


Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation

4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9. illustrates the pulse width modulation circuit. When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows an example of pulse width modulation waveform.

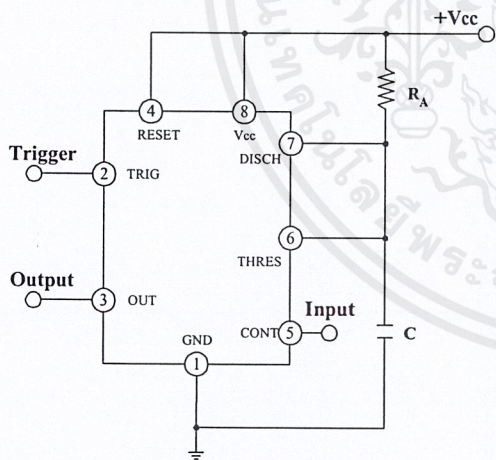


Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation

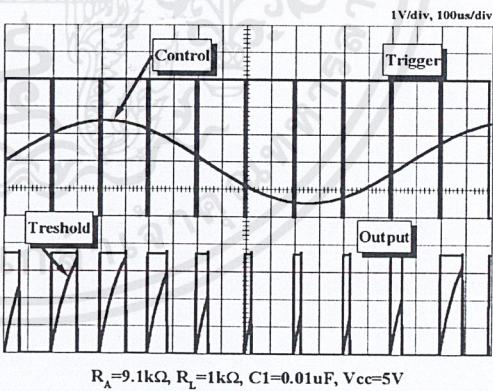


Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation

5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator. In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal. Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.

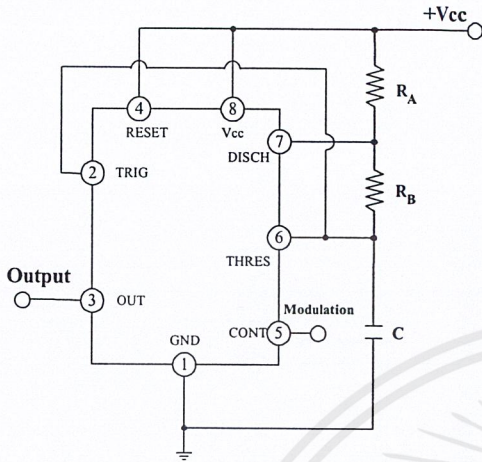


Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation

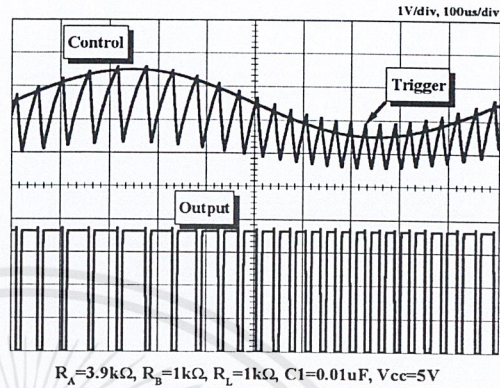


Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

6. Linear Ramp

When the pull-up resistor R_A in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the V_{C1} increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

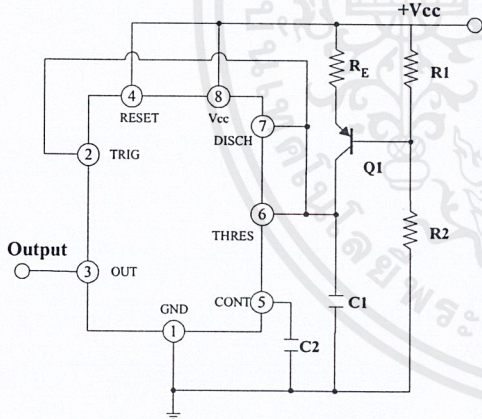


Figure 13. Circuit for Linear Ramp

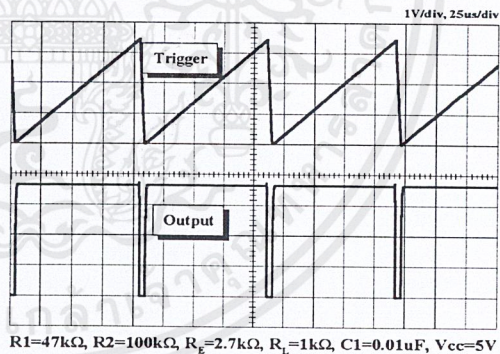


Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor $Q1$ and resistor $R1$, $R2$, and R_E .

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \quad (12)$$

Here, V_E is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (13)$$

For example, if $V_{CC}=15V$, $R_E=20k\Omega$, $R_1=5k\Omega$, $R_2=10k\Omega$, and $V_{BE}=0.7V$,

$$V_E = 0.7V + 10V = 10.7V$$

$$I_C = (15 - 10.7) / 20k = 0.215mA$$

When the trigger is started in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing to capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.

Hence, the V_C is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \quad (14)$$

Here the V_{p-p} is the peak-to-peak voltage.

If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the V_C comes out as follows:

$$V = Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S = I/C \quad (17)$$

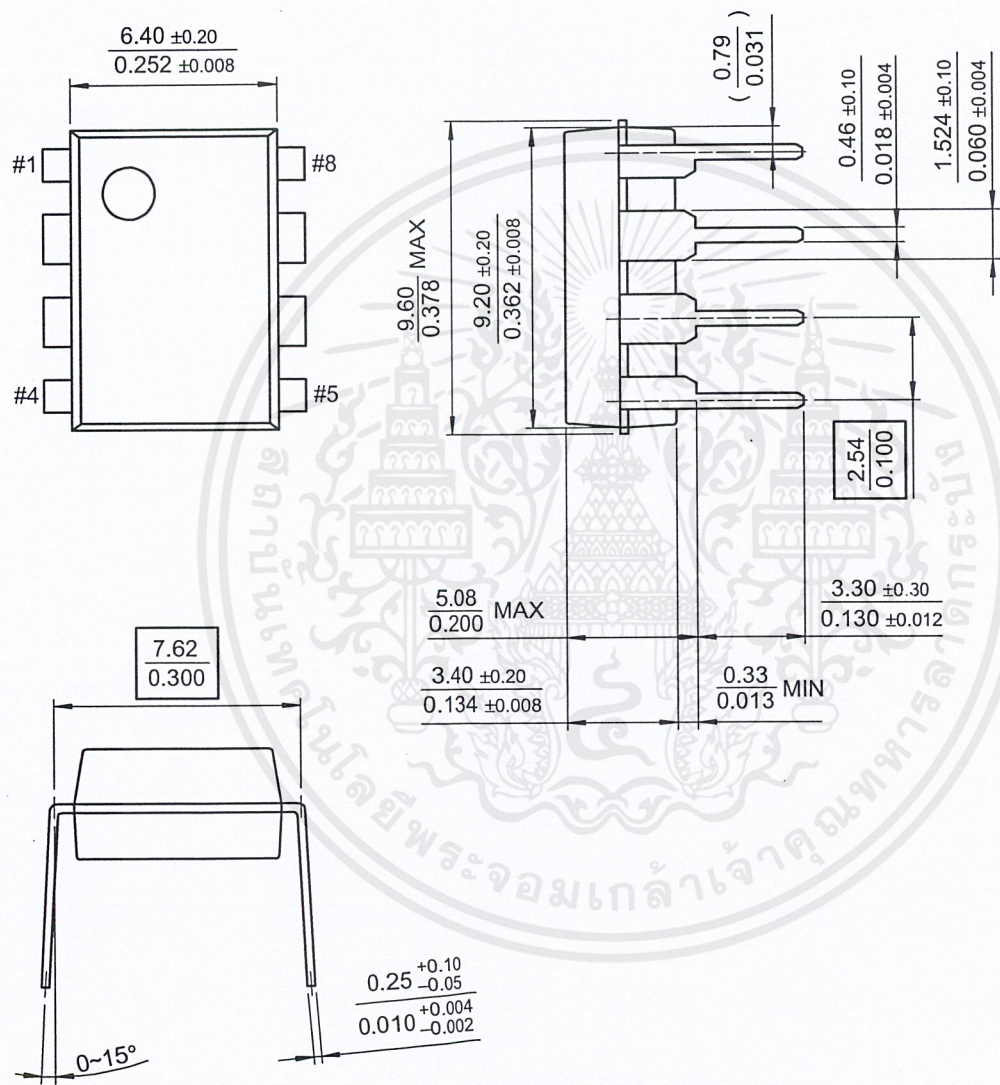
In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.

If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is 0.02uF, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is $S = 0.215\text{mA}/0.02\mu\text{F} = 9.77\text{V/ms}$.

Mechanical Dimensions

Package

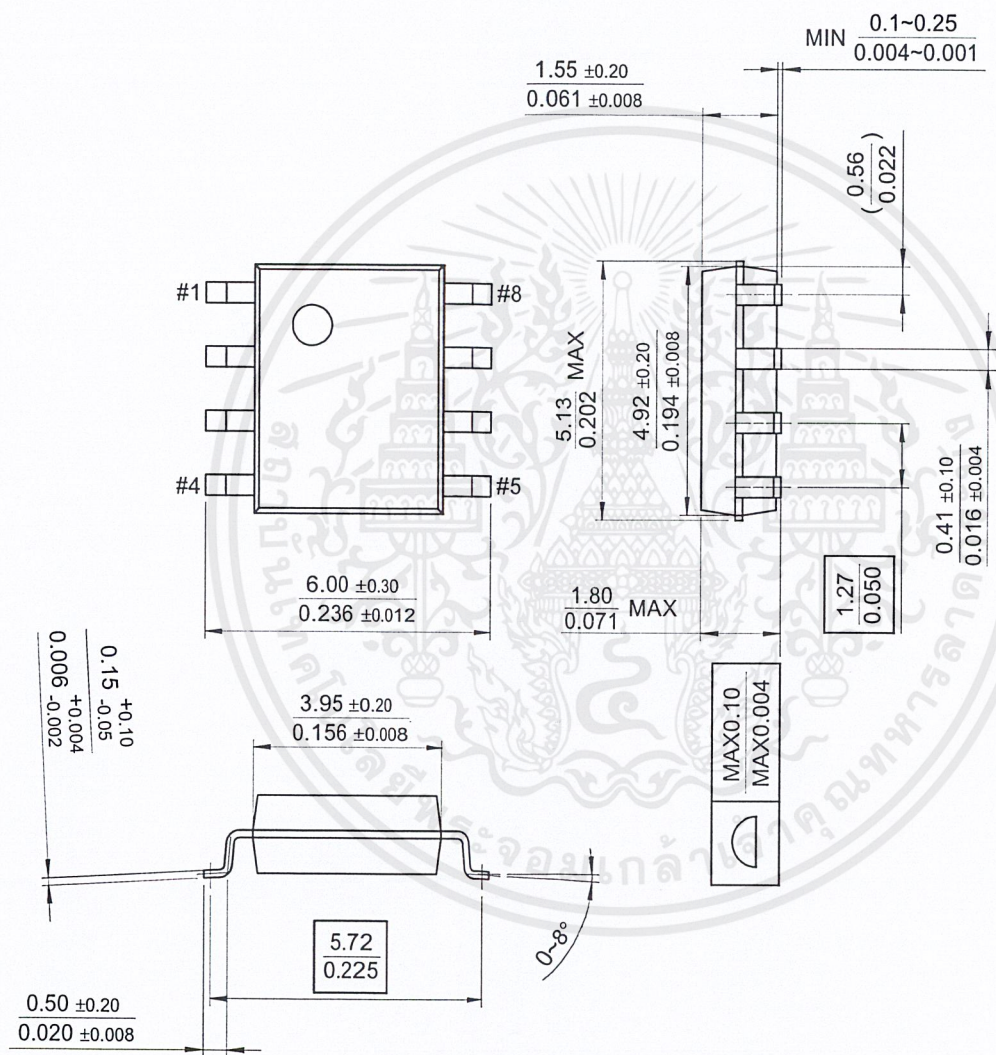
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM555CN	8-DIP	0 ~ +70°C
LM555CM	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
NE555N	8-DIP	0 ~ +70°C
NE555D	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
SA555	8-DIP	-40 ~ +85°C
SA555D	8-SOP	





DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1.

Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2.

A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



Order this document by LF347/D

LF347, B LF351 LF353

JFET Input Operational Amplifiers

These low cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art analog technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The JFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar devices.

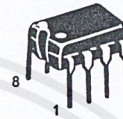
- Input Offset Voltage of 5.0 mV Max (LF347B)
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage: $16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate: $13 \text{ V}/\mu\text{s}$
- Low Supply Current: 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance: $10^{12} \Omega$
- High Common Mode and Supply Voltage Rejection Ratios: 100 dB

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+18 -18	V
Differential Input Voltage	V_{ID}	± 30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 15	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t_{SC}	Continuous	
Power Dissipation at $T_A = +25^\circ\text{C}$ Derate above $T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D $1/\theta_{JA}$	900 10	mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	°C
Operating Junction Temperature Range	T_J	115	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

- NOTES: 1. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is limited to the negative power supply.
2. Any amplifier output can be shorted to ground indefinitely. However, if more than one amplifier output is shorted simultaneously, maximum junction temperature rating may be exceeded.

FAMILY OF JFET OPERATIONAL AMPLIFIERS

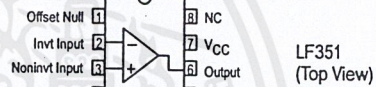


N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

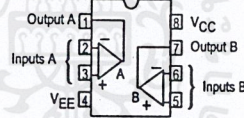


D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



LF351
(Top View)

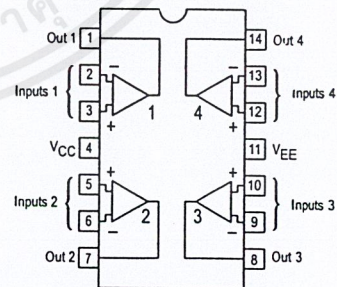


LF353
(Top View)



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Function	Operating Temperature Range	Package
LF351D LF351N	Single Single	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ\text{C}$	SO-8 Plastic DIP
LF353D LF353N	Dual Dual		SO-8 Plastic DIP
LF347BN LF347N	Quad Quad		Plastic DIP Plastic DIP

LF347, B LF351 LF353

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LF347B			LF347, LF351, LF353			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10$ k, $V_{CM} = 0$) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	V_{IO}	— —	1.0 —	5.0 8.0	— —	5.0 —	10 13	mV
Avg. Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $R_S \leq 10$ k, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	10	—	—	10	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$, Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	I_{IC}	— —	25 —	100 4.0	— —	25 —	100 4.0	pA nA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$, Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	I_{IB}	— —	50 —	200 8.0	— —	50 —	200 8.0	pA nA
Input Resistance	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 11	$+15$ -12	—	± 11	$+15$ -12	—	V
Large-Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10$ V, $R_L = 2.0$ k) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	A_{VOL}	50 25	100 —	— —	25 15	100 —	— —	V/mV
Output Voltage Swing ($R_L = 10$ k)	V_O	± 12	± 14	—	± 12	± 14	—	V
Common Mode Rejection ($R_S \leq 10$ k)	CMR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Voltage Rejection ($R_S \leq 10$ k)	PSRR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Current LF347 LF351 LF353	I_D	— — —	7.2 — —	11 — —	— — —	7.2 1.8 3.6	11 3.4 6.5	mA
Short Circuit Current	I_{SC}	—	25	—	—	25	—	mA
Slew Rate ($A_V = +1$)	SR	—	13	—	—	13	—	V/ μs
Gain-Bandwidth Product	BWp	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz
Equivalent Input Noise Voltage ($R_S = 100$ Ω , $f = 1000$ Hz)	e_n	—	24	—	—	24	—	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ($f = 1000$ Hz)	i_n	—	0.01	—	—	0.01	—	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Channel Separation (LF347, LF353) 1.0 Hz $\leq f \leq 20$ kHz (Input Referred)	—	—	-120	—	—	-120	—	dB

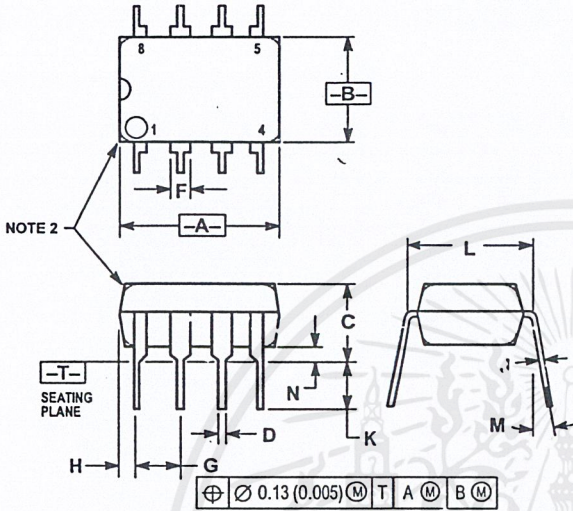
For Typical Characteristic Performance Curves, refer to MC34001, 34002, 34004 data sheet.

NOTE: 3. Input bias currents of JFET input op amps approximately double for every 10°C rise in junction temperature. To maintain junction temperatures as close to ambient as is possible, pulse techniques are utilized during test.

LF347, B LF351 LF353

OUTLINE DIMENSIONS

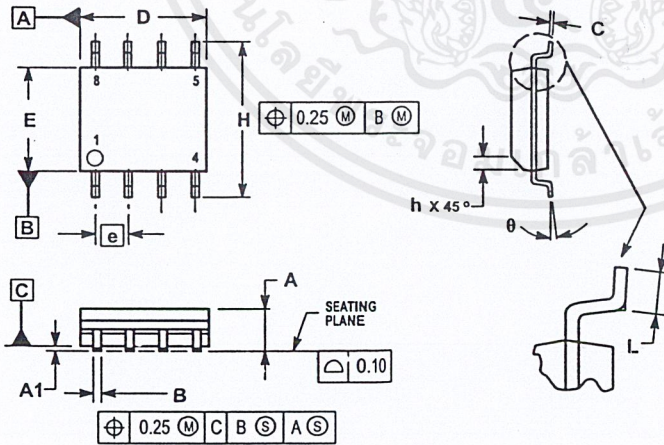
N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 626-05 ISSUE K



- NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
 2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
 3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
E	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	10°		10°	
N	0.76	1.01	0.030	0.040

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751-05 (SO-8) ISSUE R



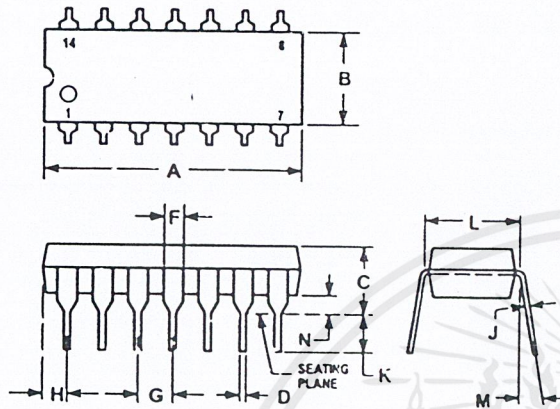
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
 5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.49
C	0.18	0.25
D	4.80	5.00
E	3.80	4.00
e	1.27 BSC	
H	5.80	6.20
h	0.25	0.50
L	0.40	1.25
θ	0° 7°	

LF347, B LF351 LF353

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646-06
ISSUE L



NOTES:

- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
- ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
E	0.040	0.070	1.02	1.78
F	0.100 BSC		2.54 BSC	
G	0.052	0.095	1.32	2.41
H	0.008	0.015	0.20	0.38
J	0.115	0.135	2.92	3.43
K	0.000 BSC		7.62 BSC	
L	0°	10°	0°	10°
M	0.015	0.039	0.39	1.01
N	0.015	0.039	0.39	1.01

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney's fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and M are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution,
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd., Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center
3-14-2 Tatsumi-Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

MOTOROLA

สารที่แจ้งงานได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้า

LF347/D

