

ไดนามิเตอร์

DYNAMOMETER



นายเสรี อวยพร
นายสุรชัย ภูมรินทร์

พ.ศ. ๒๕๔๑
๕๐๒๒

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 50221
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2545

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๕๔๗/๒๕๕๐

DYNAMOMETER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

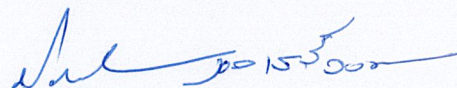
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ไคนาโมมิเตอร์
DYNAMOMETER
นักศึกษาผู้จัดทำ นายเสรี อวยพร รหัสประจำตัว 43015495
นายสุรชัย ภูรินทร์ รหัสประจำตัว 43015492
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. ประภาพร อุดคคิมาพันธุ์	
ผศ. ไสว พงศ์สวัสดิ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546
สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ. ประติวัติ จุฑเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ไดนาโมมิเตอร์	
	DYNAMOMETER	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายเสรี	อวยพร
	นายสุรชัย	ภูรินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ประภาส	อุคคกิม่าพันธุ์
	ผศ. ไสว	พงษ์สวัสดิ์
ปีการศึกษา	2545	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องไดนาโมมิเตอร์ เพื่อใช้ในการวัดค่าความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ที่จะทำการทดสอบ ซึ่งตัวไดนาโมมิเตอร์นี้ได้อาศัยหลักการของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ร่วมกับวงจรควบคุมกระแส (Current Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมการเบรกที่ค่าความเร็วต่างๆ ซึ่งการควบคุมความเร็วในสภาวะการเบรกจะใช้ IGBT เป็นตัวตัดต่อพลังงานที่ป้อนให้กับวงจร Buck Converter เพื่อการควบคุมระดับของการเบรก และจะนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร Buck Converter จะถูกนำมาคำนวณค่าของแรงบิด(Torque) ในส่วนของการแสดงผลจะใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงค่าแรงบิด ความเร็วรอบ และกำลังงานของมอเตอร์ที่ต้องการทราบ บนจอมอนิเตอร์ และควบคุมการทำงาน โปรแกรมที่ใช้เขียนควบคุม คือ โปรแกรม Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Dynamometer	
Authors	Mr. Seree	Uayporn
	Mr. Surachai	Poommarin
Thesis Advisor	Asst. Prof. Prapart	Ukakimaparn
	Asst. Prof. Sawai	Pongswatd
Year	2002	

ABSTRACT

The thesis describes the design , experiment and invention for the Dynamometer which used to take measurement, the speed and torque of the motor. The Dynamometer based on the basic of DC Machine and Current Regulator for control DC Generator's breaking vary speed value. About speed Control in breaking state , we used IGBT as switch in Buck Converter circuit to control breaking level and used the output circuit in the Buck Converter to calculate Torque. In display part , we use the computer that connect with Microcontroller MCS-51 . Program show the value of Torque, Speed and Power from testing motor on monitor and control Dynamometer for a moment time. The control program is written by Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ หากไม่ได้ความอนุเคราะห์อย่างดี จาก ผศ. ไสว พงศ์สวัสดิ์ และ ผศ. ประภาส อุคคกิมพันธ์ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ และเอาใจใส่ เป็นอย่างดี รวมไปถึงหาอุปกรณ์บางอย่างที่ไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดอีกด้วย

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสโตร์ทุกท่าน พี่ตุ๋ พี่จ๊อบ ที่คอยสนับสนุน และให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ รวมถึงให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอบคุณพี่ปริญญาโท ที่คอยให้คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้สามารถ ดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ทำงานในห้องโครงการต่างๆ ห้องที่คอยให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจ เป็นอย่างดี โดยเฉพาะ นายชินพระรัตน์ งานนาเพียง ที่คอยให้การช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาที่ดี เสมอมา ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชาววิศวกรรมกรวัดคุม ที่คอยให้การช่วยเหลือแนะนำ ให้ยืม อุปกรณ์ต่างๆ คอยให้กำลังใจ โดยเฉพาะกิจกรรมต่างๆ ที่ช่วยให้สมองผ่อนคลาย ทำให้มีกำลังใจที่จะทำงานให้สำเร็จลุล่วงให้จงได้

ขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเฉพาะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมกรวัดคุม ที่ให้โอกาสในการเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี จนสำเร็จลุล่วงลงได้ และขุดเกล้าให้เป็นวิศวกรในอนาคตที่มีคุณภาพ และมีคุณค่าทั้งในสังคมและ ประเทศชาติ

และที่จะขาดเสียไม่ได้ในชีวิตนี้ ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่มีพระคุณอย่างล้นพ้น ที่ คอยช่วยเหลือและให้โอกาส สนับสนุน ในทุกสิ่งทุกอย่างที่สามารถทำได้ แม้จะยากลำบากเพียงใด พวกเรารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของท่านในทุกๆ ด้านยิ่งนัก

การให้ความรู้ประโยชน์ต่างๆ อันพึงจะได้รับจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ เราขอมอบให้แก่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์.....	3
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	3
2.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	8
2.4 การควบคุมมอเตอร์.....	11
2.5 ควอแดรนต์การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	16
2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	18
2.7 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS232.....	20
2.8 คอนโทรล MsComm.....	23
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง.....	29
3.1 วงจร Pluse width Modulation.....	29
3.2 วงจรขับเกด.....	34
3.3 วงจร Buck Converter.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

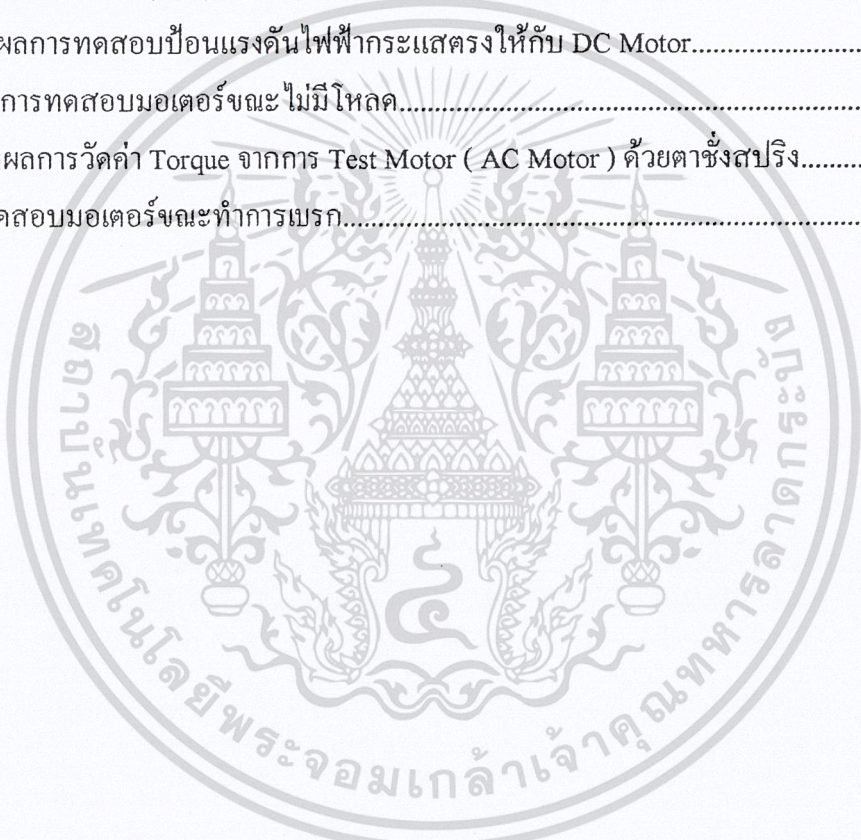
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของบอร์ด CP-SPI/RD2	35
3.5 โปรแกรมควบคุม.....	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	49
4.1 มอเตอร์ที่ทดสอบ.....	49
4.2 การทดลองวงจรควบคุม.....	49
4.3 การทดสอบมอเตอร์.....	50
4.4 ผลการทดลอง.....	55
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	60
5.1 สรุปผลปริญญาานิพนธ์.....	60
5.2 วิจารณ์ปริญญาานิพนธ์.....	60
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	60
5.4 ประสพการณ์ที่ได้รับ.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการควบคุมบิต.....	38
3.2 แสดงโครงสร้างของ Control Word.....	42
3.3 แสดงหน้าที่ของ Control Code สำหรับสั่งงาน ADC.....	43
4.1 แสดงการทดสอบมอเตอร์.....	50
4.2 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จาก Tachogenerater กับแรงดันที่จะนำมาเป็น Process Value (PV.).....	54
4.3 แสดงผลการทดสอบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ DC Motor.....	55
4.4 ตารางการทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด.....	56
4.5 แสดงผลการวัดค่า Torque จากการ Test Motor (AC Motor) ด้วยตาชั่งสปริง.....	57
4.6 การทดสอบมอเตอร์ขณะทำการเบรก.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน.....2
2.1	โครงสร้างทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....4
2.2	กราฟความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....5
2.3	แสดงทิศทางของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ.....6
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสในอาร์เมเจอร์.....9
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสในอาร์เมเจอร์.....10
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด.....11
2.7	กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง.....12
2.8	กฎมือขวาของเฟรมมิ่ง.....12
2.9	การทำงานในโหมดมอเตอร์.....13
2.10	การทำงานในโหมดเจนเนอเรทีฟ.....14
2.11	การทำงานในโหมดไดนามิก.....15
2.12	การหยุดมอเตอร์ด้วยวิธีไดนามิกเบรกกิ้ง.....15
2.13	การทำงานในโหมดปลั๊กกิ้ง(Plugging).....16
2.14	ทิศทางของกระแสและแรงดันของการทำงานในโหมดแบบปลั๊กกิ้ง.....16
2.15	ทิศทางของกระแสและแรงดันในการทำงานในทั้ง 4 ควอดแรนต์.....17
2.16	ทิศทางการหมุนและแรงบิดของมอเตอร์ในกสรทำงานทั้ง 4 ควอดแรนต์.....18
2.17	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น.....19
2.18	แสดงการจัดขาของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232.....21
2.19	แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ลักษณะต่างๆ.....22
3.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงาน.....29
3.2	วงจร Pulse width Modulation.....29
3.3	แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC TL494.....30
3.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_T , C_T ในการกำหนดความถี่.....31
3.5	แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494.....32
3.6	แสดงการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL 494.....33
3.7	แสดงการต่อวงจร TL 494.....33
3.8	แสดงรูปการต่อวงจรขับเคลื่อน.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แสดงวงจร Buck Converter.....	34
3.10 แสดงลักษณะการ Device Address.....	36
3.11 โครงสร้างการทำงานของ ADS 7841.....	36
3.12 แสดง Diagram ของวงจรสลับสัญญาณอินพุตของ ADS 7841.....	37
3.13 ไคอะแกรมแสดง 24 Clock ต่อการแปลงกลับ.....	38
3.14 Timing Diagram ของ 16 Clock per Conversion.....	38
3.15 อัตราการแปลงกลับสูงสุดในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับ ADS 7841.....	39
3.16 สัญญาณเข้าพุตท์ของ ADS7841.....	39
3.17 แสดงโครงสร้างของ ADS7841.....	40
3.18 แสดงขั้วต่อของ ADS7841.....	40
3.19 แสดงโครงสร้างภายในของ LTC1661.....	40
3.20 แสดงตำแหน่งขาสัญญาณของ LTC1661.....	41
3.21 แสดง Timing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ CS,SCK,DIN.....	42
3.22 แสดงให้เห็นถึงขั้วต่อใช้งานของ LTC1661.....	44
3.23 แสดงบอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0&CP-SPI/RD2 V2.0.....	45
3.24 แสดงขั้วต่อใช้งานต่างๆของอุปกรณ์บนบอร์ด CP-SPI/RD2 V2.0.....	45
3.25 หน้าจอที่ 1.....	46
3.26 หน้าจอที่ 2.....	47
3.27 หน้าจอที่ 3.....	48
4.1 บล็อกไคอะแกรมการทำงานของไดนาโมมิเตอร์โดยรวม.....	49
4.2 แสดงวงจร Pulse Width Modulation.....	49
4.3 แสดงรูปวงจรจับเกต.....	50
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับความเร็วรอบ (RPM).....	51
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} กับ V_{in}	52
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} กับความเร็วรอบ (RPM).....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน การที่เราจะนำมอเตอร์มาประยุกต์ใช้งานต่างๆ นั้น เราจะต้องคำนึงถึงค่า คุณสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นๆ เช่น กำลังไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ เพื่อให้เหมาะสมกับงาน

ไดนาโมมิเตอร์จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดและทดสอบที่สามารถสร้างแรงบิดทางกลหรือสร้างความเร็วรอบได้ตามการควบคุมกำลังงานที่ตัวไดนาโมมิเตอร์ จึงทำให้ไดนาโมมิเตอร์สามารถนำไปใช้ทดสอบมอเตอร์ได้

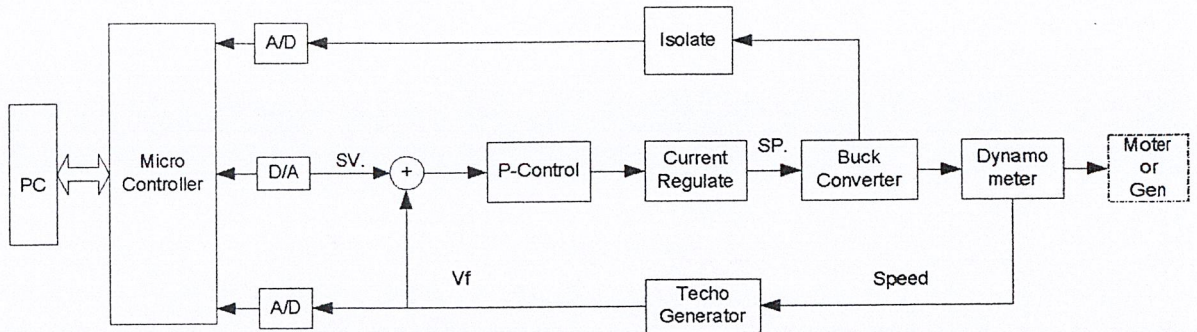
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องมือที่สามารถวัดคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าได้
2. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
3. สามารถแสดง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยแสดงผลออกมาทางจอคอมพิวเตอร์ ของคอมพิวเตอร์
4. แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกมาในรูปแบบกราฟ
5. เพื่อเป็นข้อมูลแก่ผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เรานำหลักการของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมาออกแบบ และสร้างไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจร และใช้เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะส่งการและนำผลค่าคุณลักษณะต่างๆของตัวมอเตอร์ที่นำมาวัดแสดงผลออกมาที่จอคอมพิวเตอร์ ในลักษณะของกราฟเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับค่าความเร็วรอบ โดยเราทำการใช้วงจรเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC – DC Converter) ในการปรับค่าศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ต้องการวัดค่าคุณลักษณะต่างๆ และใช้วงจรสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ในการปรับคาบการทำงาน (duty cycle) เพื่อที่จะใช้ในการเบรก (break) และใช้วงจรขับ ไอจีบีที (IGBT) ซึ่งแผนผังการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงการทำงานของโครงการ

ป้อนความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบมอเตอร์ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการทดสอบความเร็วรอบที่ค่าต่างๆ เราจะได้แรงบิด กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบขณะนั้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาต่างๆ โดยเริ่มจากศึกษาการทำงานของ วงจร Pulse Width Modulation (PWM) การเบรกของมอเตอร์และการเขียน โปรแกรมเพื่อที่จะใช้ควบคุมแสดงผลทางคอมพิวเตอร์โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) เป็นตัวที่ใช้แสดงค่าต่างๆ ไปควบคุมวงจรและรับค่าต่างๆ จากวงจรเพื่อนำมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ ทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทฤษฎีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

ในโครงงานนี้ตัวไดนาโมมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดค่าคุณลักษณะของมอเตอร์ โดยมีลักษณะเป็นตัวจำลองโหลด กล่าวคือ ตัวไดนาโมมิเตอร์จะสร้างโหลดให้มอเตอร์และวัดคุณลักษณะ ได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบ กำลังงาน ของมอเตอร์ตัวที่ทำการศึกษาออกมา ไดนาโมมิเตอร์จะสร้างโหลดได้โดยจะทำ การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการเบรก โดยจะให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดย โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะมีลักษณะที่เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุก ประการ เพราะฉะนั้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถต่อให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้

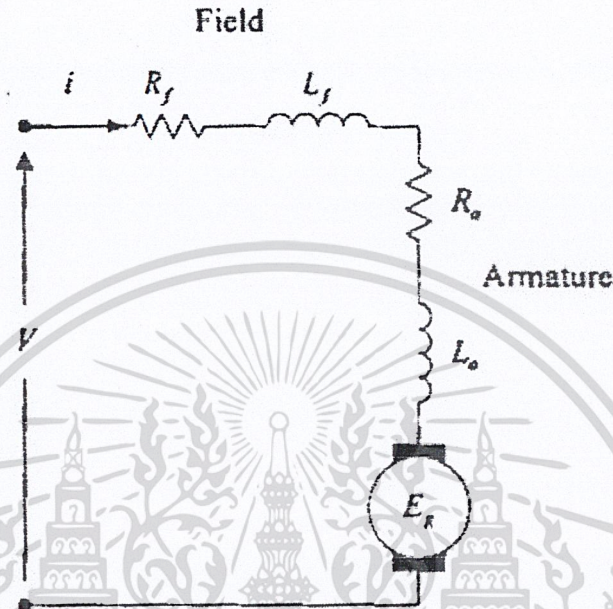
ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีสนามแม่เหล็ก 2 ชุด คือ ชุดอาร์เมเจอร์ (Armature) และ ชุดฟิลด์(Field)ซึ่งชุดแม่เหล็กของชุดอาร์เมเจอร์จะเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดที่ ตัวโรเตอร์(Rotor)ส่วนสนามแม่เหล็กของชุดฟิลด์อาจจะเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแม่เหล็กถาวร ก็ได้

2.2.1 หลักการของมอเตอร์

กำหนดให้กระแสไหลเข้าในตัวนำอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ (N) ให้มีทิศทางของ กระแสไหลเข้าสู่ขั้วเหนือ ส่วนขั้วใต้ (S) ให้กระแสไหลออก เมื่อใส่ไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้น ทำให้ เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้ว และเมื่อทำการป้อนกระแสให้ไหลผ่านในตัวอาร์เมเจอร์ก็จะทำให้เกิด แรงขึ้นในตัวนำนั้น ทิศทางของแรงจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง พบว่าแรงที่เกิดขึ้นที่ขั้ว ภายใต้วแม่เหล็กทุกๆ ขั้วที่สลับกันไปนั้น จะมีทิศทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยที่แต่ละแรงจะอยู่ในแนว สัมผัสกับเส้นรอบวงของตัวอาร์เมเจอร์ นั่นคือ ภายใต้วแม่เหล็กจะเกิดแรงขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้น เมื่อมีหลายขั้วก็จะเกิดหลายแรง และทุกๆแรงก็ต่างรวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมา ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หมายความว่า ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series motor)

ทดลองครั้งนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม มาทำหน้าที่เป็นตัวไดนาโมมิเตอร์ โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมที่มีขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์ต่อแบบอนุกรมกัน และ ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายเพียงชุดเดียว ตามรูป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

สมการทางไฟฟ้าในสถานะชั่วขณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมมีค่าเท่ากับ

$$V = R_f i + L_f \frac{di}{dt} + R_a i + L_a \frac{di}{dt} + E_g \quad (1)$$

พิจารณาสมการในสถานะคงที่ $\frac{di}{dt} = 0$

$$V = R_f i + R_a i + E_g$$

$$V = (R_f + R_a) i + E_g \quad (2)$$

จากสมการแทน $E_g = K_v \omega$ เนื่องจาก $i = I_f$

$$V = (R_f + R_a) i + K_v \omega \quad (3)$$

ดังนั้นความเร็วเชิงมุมและความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมีค่าเท่ากับ

$$\omega = \frac{V - (R_f + R_a) i}{K_v} \quad (4)$$

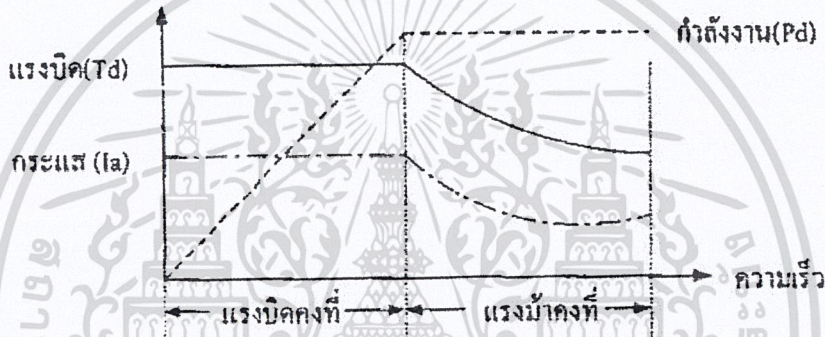
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{60}{2\pi} \left(\frac{V - (R_f + R_a)I}{KvI} \right) \quad (5)$$

จากสมการที่ 4 และ 5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ เปลี่ยนแปลงตามค่าต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (V)
2. กระแสในตัวมอเตอร์ (I)

ในทางปฏิบัติการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม จะใช้การควบคุมค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และการควบคุมแรงบิด จะใช้การควบคุมค่ากระแสในตัวมอเตอร์ ซึ่งจะมีการแบ่งเป็นช่วงของการควบคุมได้ตามรูปกราฟ

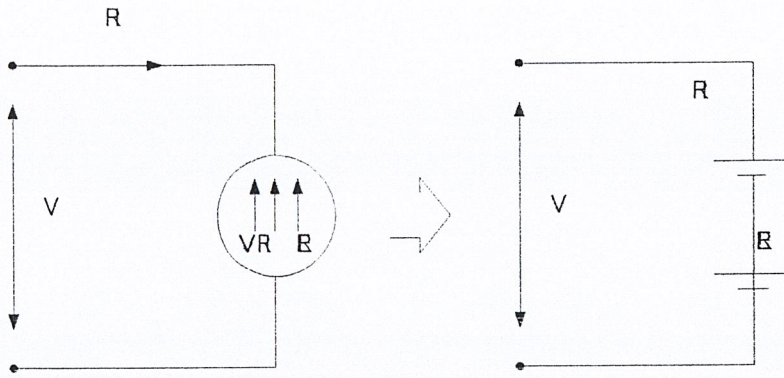


รูปที่ 2.2 กราฟความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

2.2.3 แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back e.m.f.)

ในมอเตอร์นี้เมื่ออาร์เมเจอร์หมุน จะทำให้ตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งเป็นไปตามกฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction) จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นพบว่าเมื่อใช้กฎมือขวาของเฟรมมิ่งจะมีทิศทางสวนกับแรงเคลื่อน ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Applied voltage) จึงเรียกแรงเคลื่อนนี้ว่า Back e.m.f. ใช้ตัวย่อว่า E_b ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

จาก $E = \frac{\phi Z S \times P}{60 \times a}$ โวลต์

ดังนั้น $E_b = \frac{\phi Z S \times P}{60 \times a}$ โวลต์

จะเห็นว่า $K = 60 \times \frac{P}{a}$

$$E_b = k\phi S$$

เมื่อให้ Φ มีค่าคงที่

E_b มีค่าผันแปรตาม S

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับนั้นขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์ ถ้าหากความเร็วรอบสูงแรงดันไฟฟ้าต้านกลับก็จะมาก ดังนั้น กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (I_a) จะมีค่าน้อย ถ้าความเร็วรอบต่ำแรงดันไฟฟ้าต้านกลับก็จะน้อย I_a ก็จะมาก ดังนั้น แรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นก็จะสูงกว่าเมื่อมีความเร็วรอบสูง

2.2.3 แรงบิด (Torque)

หมายถึง การหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรงที่กระทำรอบแกน สามารถวัดได้จาก ผลคูณของแรงกับรัศมี ณ จุดที่แรงไปกระทำ

กำหนดให้

$r =$ รัศมีของล้อ (เมตร)

$F =$ แรงกระทำ (นิวตัน)

$S =$ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

T (torque) = $F \times r$ นิวตัน - เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ทำได้ใน 1 รอบ จากแรงกระทำนี้

$$W = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$W = F \times 2\pi r \quad \text{จุดสี่} \quad (6)$$

งานที่ทำได้อต่อวินาที

$$\frac{W}{t} = P = F \times 2\pi r S \quad (7)$$

จาก $T = F \times r$

$$F = \frac{T}{r}$$

แทนค่า $F = \frac{T}{r}$ ในสมการที่ (7)

จะได้ $P = T \times 2\pi r$ จุดสี่/วินาที (8)

ให้ $T_m = T =$ แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

ให้ $P_m = P =$ กำลังที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

แทนค่าลงในสมการที่ (8)

$$P_m = T_m \times 2\pi S \quad (9)$$

และจากกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นกำลังงานกลในอาร์เมเจอร์ คือ

$$P_a = E_b I_a \quad (10)$$

(9) = (10) จะได้ว่า $P_m = T_m \times 2\pi S = E_b I_a \quad (11)$

แต่ $E_b = \frac{\phi Z S \times P}{a} = k_c \phi S$

แทนค่า E_b ในสมการที่ (11)

$$T_m \times 2\pi S = T_m = k_c \frac{\phi I_a}{2\pi} = 0.159 K_c \phi I_a$$

$$T = \frac{\phi Z S \times P}{2\pi S a} \times I_a$$

$$T_m = k_c \frac{\phi I_a}{2\pi} = 0.159 K_c \phi I_a \quad N-m$$

เมื่อ $K_c = \frac{ZP}{a} =$ ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของมอเตอร์

$$T_m = T \text{ แปรผันตาม } \phi \text{ และ } I_a$$

a) กรณี Series Motor

$$T \propto \phi I_a$$

แต่ $\phi \propto I_a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $T \propto \phi I_a$

b) กรณี Shunt Motor

$$T \propto \phi I_a$$

แต่ ϕ คงที่ ดังนั้น $T \propto I_a$

จากสมการที่ (9)

$$P_m = T_m \times 2\pi S$$

$$T_m = \frac{P_m}{2\pi S}$$

จาก $P_m = E_b I_a$

$$T_m = \frac{E_b I_a}{2\pi S} = 0.159 \frac{E_b}{S} I_a \quad N\text{-m}$$

แรงบิดที่แกนเพลลา (Shaft Torque : T_{Sh}) คือ แรงบิดที่นำไปใช้งานจริง

$$T_{Sh} = T - T_L$$

เมื่อ T_m = แรงบิดที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์

T_{Sh} = คือแรงบิดที่เกิดขึ้นที่แกนเพลลา

T_L = Lost Torque (สูญเสียเนื่องจากแรง Iron และ Friction loss)

กำลังแรงม้าที่ได้จากการหมุนของมอเตอร์ คือ B.H.P ซึ่งกำลังม้าได้จากการ Break Motor

$$B.P, H = \frac{T_{Sh} \times 2\pi S}{735.5}$$

$$T_{Sh} = \frac{735.5 \times B.H.P}{2\pi S}$$

เมื่อ S = รอบ/วินาที

$T_L = (0.159 \times \text{Iron and Friction loss})/s$ = ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของมอเตอร์

$$T_m = T \text{ แปรผันตาม } \phi \text{ และ } I_a$$

2.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Characteristics of DC motor)

เส้นโค้งคุณลักษณะของมอเตอร์ (characteristic curve) เส้นโค้งนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆดังต่อไปนี้

1. แรงบิดและกระแสที่ตัวอาร์เมเจอร์ (T/I_a characteristic) ซึ่งเราเรียกว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical characteristic)

2. ความเร็วและกระแสในอาร์เมเจอร์ (N/I_a characteristic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเร็วและแรงบิด (N / T_a characteristic) ค่าคุณลักษณะทางกล(Mechanical characteristic) นี้สามารถหาได้จากคุณลักษณะของมอเตอร์ ที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนี้ คือ

$$T_a \sim \phi I_a$$

และ
$$N \sim \frac{E_b}{\phi}$$

ในมอเตอร์แบบ Series motor มีค่าคุณลักษณะดังต่างๆดังนี้

2.3.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้า หรือ คุณลักษณะของแรงบิดกระแสในอาร์เมเจอร์ (T_a/I_a characteristic or electrical characteristic)

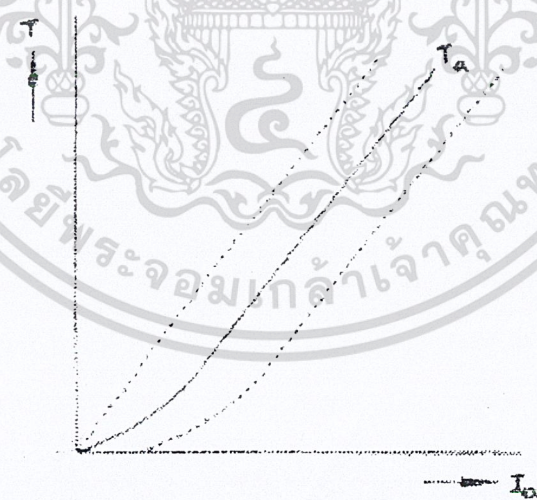
จะเห็นได้ว่า $T_a \sim \phi I_a$ ในกรณีเช่นนี้ขดลวดฟิลด์มีกระแสไหลผ่านซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ และ $\phi \sim I_a$ จนกระทั่งถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว (Magnetic saturation) ดังนั้นก่อนที่จะถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวได้ จะได้

$$T_a \sim \phi I_a$$

เพราะฉะนั้น

$$T_a \sim (I_a)^2$$

เมื่อโหลดน้อยๆค่าของ I_a และ ϕ ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้า I_a เพิ่มขึ้น T_a ก็จะเพิ่มขึ้นเท่ากับค่ากระแส I_a ยกกำลังสอง ดังนั้น เส้นโค้ง $T_a I_a$ จึงเป็นพาราโบลา(Parabola)ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสในอาร์เมเจอร์

แต่หลังจากที่ถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวแล้ว ϕ เกือบจะไม่ขึ้นอยู่กับการไหลของ I_a ดังนั้นค่า $T_a \sim I_a$ เพียงอย่างเดียว คุณลักษณะจึงเป็นเส้นตรง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

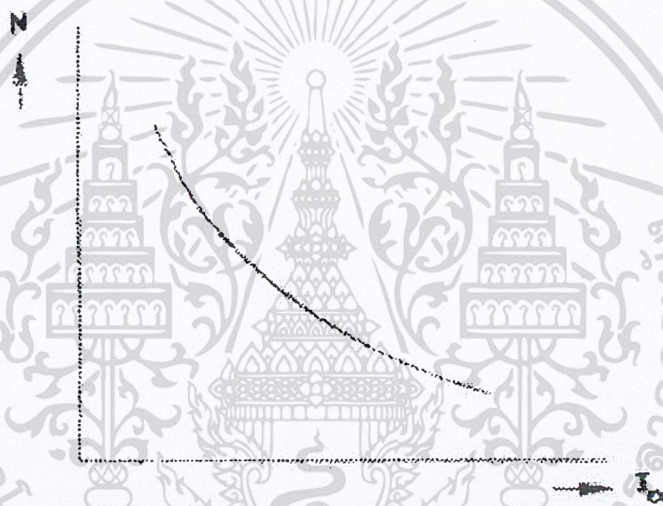
แรงบิดที่เกิดขึ้นที่แกนเพลลา (T_{Sh}) จะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ (T_a) ซึ่งขึ้นอยู่กับ การสูญเสียปลิกซ์ย่อย ดังแสดงด้วยเส้นประ

2.3.2 คุณลักษณะของความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ (N / I_a characteristic)

การเปลี่ยนแปลงของความเร็ว สามารถหาได้จากสมการดังนี้คือ

$$N \sim \frac{E_b}{\phi}$$

การเปลี่ยนแปลงค่าของ E_b ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโพล ซึ่งจะทำให้กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงและเมื่อ I_a เพิ่มขึ้น ϕ ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นค่าความเร็วรอบจึงแปรผกผันกับกระแสที่โพลในอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.5



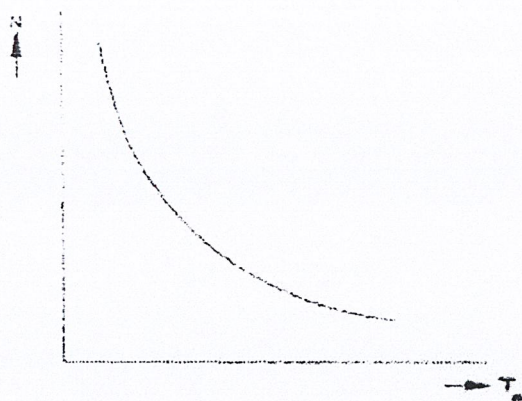
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสในอาร์เมเจอร์

เมื่อมอเตอร์มีโพลตมกๆ I_a ก็จะมีปริมาณมากด้วย ดังนั้นความเร็วรอบมอเตอร์จึงต่ำ แต่เมื่อมีโพลตมค่าน้อย I_a ก็จะมีค่าตมน้อยลงตาม หากความเร็วของมอเตอร์สูงมากอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ ดังนั้น Series มอเตอร์จึงไม่สามารถเริ่มเดินเมื่อปราศจากโพลตได้

2.3.3 คุณลักษณะทางกลหรือคุณลักษณะของความเร็วกับแรงบิด (N / T_a characteristic)

ความเร็วรอบกับแรงบิดสามารถหาได้ตมสมการที่กล่าวมาแล้ว ความเร็วสูงแต่แรงบิดจะมีค่าต่ำความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบและแรงบิด แสดงตมรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

2.4 การควบคุมมอเตอร์

ในการควบคุมมอเตอร์เราทำการควบคุมความเร็ว โดยการหยุดหรือเบรกมอเตอร์ (Breaking) ดังนั้นเราจึงต้องทำความเข้าใจกับศัพท์ต่างๆ ต่อไปนี้

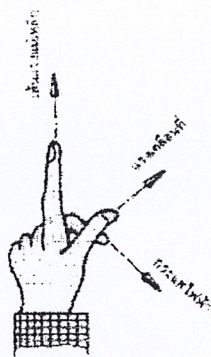
2.4.1 พิสัยความเร็วรอบ (Speed Range)

เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราความเร็วสูงสุดต่ออัตราความเร็วต่ำสุด พิสัยของอัตราความเร็วสามารถกำหนดที่ภาระต่างๆ ของมอเตอร์ คือ แรงบิด (Torque) ที่ไม่มีภาระหรือมีภาระเต็มที่ (no load or full load) ข้อจำกัดของพิสัยอัตราความเร็วอาจขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์การควบคุม หรืออาจขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ที่ระบายความร้อน ให้ตัวมันเองเย็นตัวลงที่อัตราเร็วต่ำ หรือขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะไม่เหวี่ยงออกมาเป็นชิ้นๆ ที่อัตราเร็วสูง

2.4.2 กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง (Fleming's left hand rule)

ใช้สำหรับการหาทิศทางเคลื่อนที่ของตัวนำ ในสนามแม่เหล็ก กรณีของมอเตอร์ใช้ใน การหา ทิศทาง การหมุนของอาร์เมเจอร์ โดยเฉพาะถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าตัวนำในสนามแม่เหล็ก จะทำให้มีแรงระหว่างสนามแม่เหล็กกับตัวนำนั้น ทิศทางของแรงหาได้โดยการใช้หัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือซ้ายทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.7 ให้นิ้วชี้ชี้ในทิศทางของ สนามแม่เหล็กจากเหนือไปได้ นิ้วกลางชี้ในทิศทางของกระแส ไฟฟ้าในลวดตัวนำ นิ้วหัวแม่มือ จะบอกทิศทางของแรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

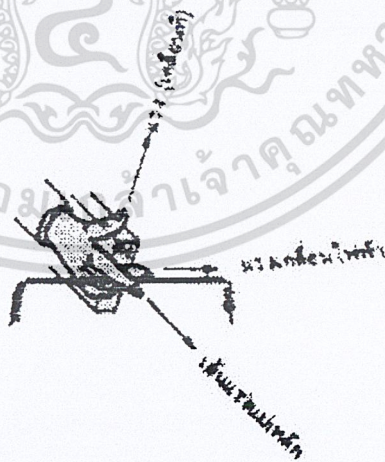


รูปที่ 2.7 กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง

2.4.3 กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง (Fleming's right hand rule)

ใช้สำหรับการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำใน สนามแม่เหล็กกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้การหาทิศทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำของอาร์เมเจอร์ โดยเฉพาะ

ให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือขวา วางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.8 กำหนดให้นิ้วหัวแม่มือ แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก (แรงเคลื่อนที่: Motion) นิ้วชี้แทนทิศทางของเส้นแรงในสนามแม่เหล็ก (flux) นิ้วกลางแทนทิศทางของแรงดันไฟฟ้า (Induced e.m.f)



รูปที่ 2.8 กฎมือขวาของเฟรมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

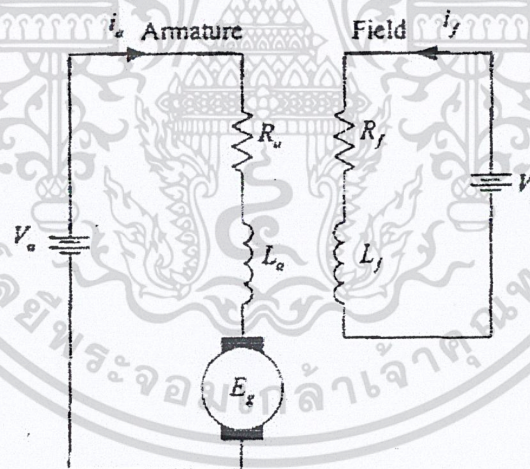
2.4.4 โหมดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นโหมดต่างๆได้ดังต่อไปนี้

- 1) โหมดมอเตอร์ (Motoring)
- 2) โหมดเจนรีเจนเนอเรทีฟ
- 3) โหมดไดนามิกเบรก (Dynamic Breaking)
- 4) โหมดปลั๊กกิ้ง (Plugging)

1. การทำงานในโหมดมอเตอร์ (Motoring)

การทำงานในโหมดมอเตอร์โหมดนี้ ทิศทางกระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในมอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกล ซึ่งในโหมดนี้ค่าแรงดันต้านกลับจะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์

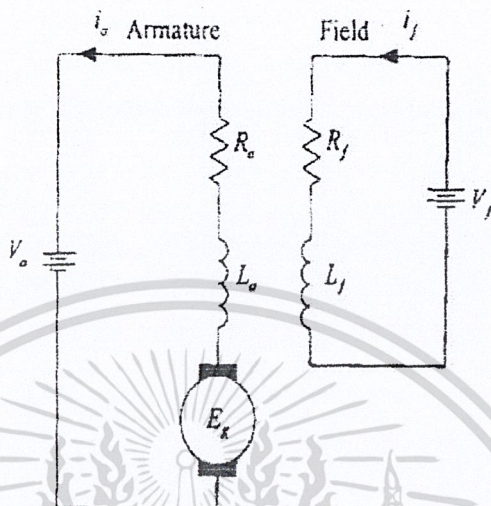


รูปที่ 2.9 การทำงานในโหมดมอเตอร์

2. การทำงานในโหมดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative)

การทำงานในโหมดนี้จะอาศัยหลักการป้อนค่าบวก คือ ทำให้พลังงานจลน์ของมอเตอร์ที่กำลังวิ่งอยู่ให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยการเพิ่มค่าฟิลด์ให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เอกสารแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งค่ากระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์กลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการคืนค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานจลน์ของมอเตอร์ที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ต่อจากนั้นมอเตอร์ก็จะช้าหรือหยุดหมุนลงเพราะว่าค่ากระแสไหลออกจากตัวมอเตอร์ เนื่องจากค่าแรงดันต้านกลับที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ มีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่อาร์มเจอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนว่ามอเตอร์ทำงานเป็นอาร์มเจอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 2.10

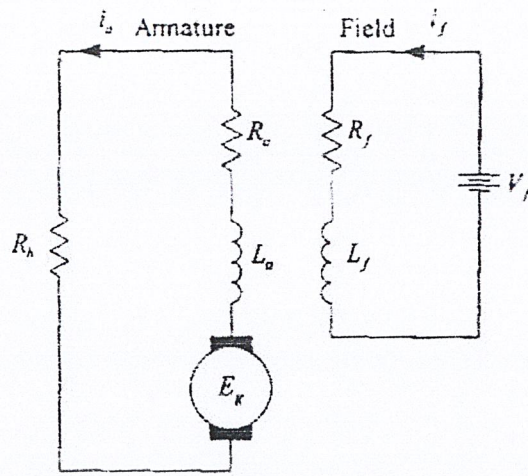


รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมดรีเจนเนอเรทีฟ

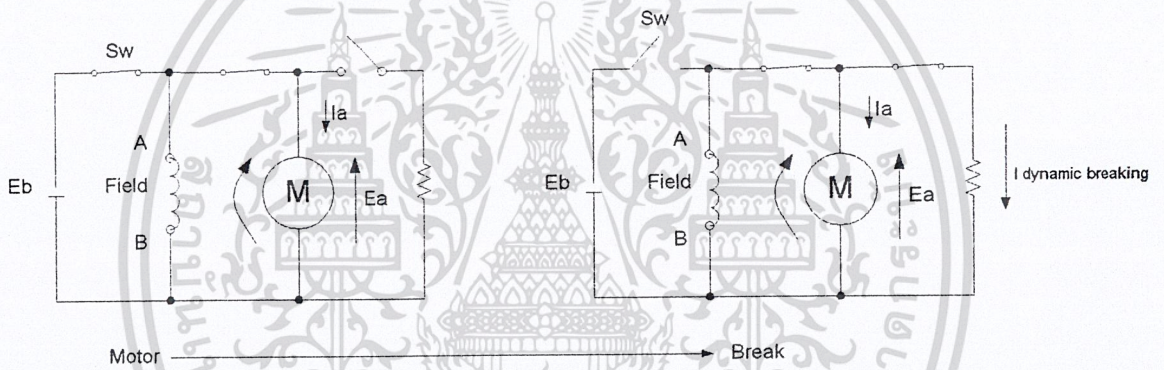
3) การทำงานในโหมดไดนามิกเบรก (Dynamic Braking)

เมื่อขับให้มอเตอร์หมุนทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ที่เรียกว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ และจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังนั้นการทำงานให้มอเตอร์มีการหยุดหรือเบรกมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการทำให้ค่าแรงดันต้านกลับที่เกิดขึ้นนี้หมดไป ด้วยการทำให้พลังงานจลน์ในมอเตอร์กลายเป็นความร้อนที่ตัวของมอเตอร์เอง หรือในตัวความต้านทานภายนอกแล้วกระจายหายไป ซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจากวิธีลัดกึ่งตรงที่เมื่อเราต้องการเบรกมอเตอร์ เราต้องหาหนทางให้มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นเกิดการไหลผ่านเข้าไปใน ตัวต้านทานภายนอก แล้วทำการวนลูปจนครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ ก็จะทำให้มีความร้อน เกิดขึ้นและกระจายหายไปวิธีนี้ จะเห็นได้ง่าย ถ้าเป็นมอเตอร์ดีซีเมื่อต้องการเบรกมอเตอร์ก็ให้ยกสวิต วงจรอาร์มเจอร์ให้เปิดออกและปิดสวิตตัวต้านทานภายนอกลง แต่เรายังคงค้างสวิตในวงจรฟิลด์เอาไว้ตามเดิม มอเตอร์จะยังคงหมุนต่อไปด้วยความเฉื่อยจึงทำให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วจะจ่ายกระแสผ่านตัวต้านทานภายนอก โดยมีทิศทางของกระแสกลับเป็นกระแสเดิม โดยกฎมือซ้ายของ Fleming จะทำให้เราเห็นว่าแรงหมุนที่เกิดขึ้นใหม่ในตัวมอเตอร์จะมีทิศทางกลับการหมุนมอเตอร์ และจะมีความร้อนเกิดขึ้นแล้วกระจายหายไป ทำให้มอเตอร์หยุดลงได้อย่างรวดเร็ว แล้วจากนั้นก็ยกสวิตใหญ่ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การทำงานในโหมดไดนามิกเบรก



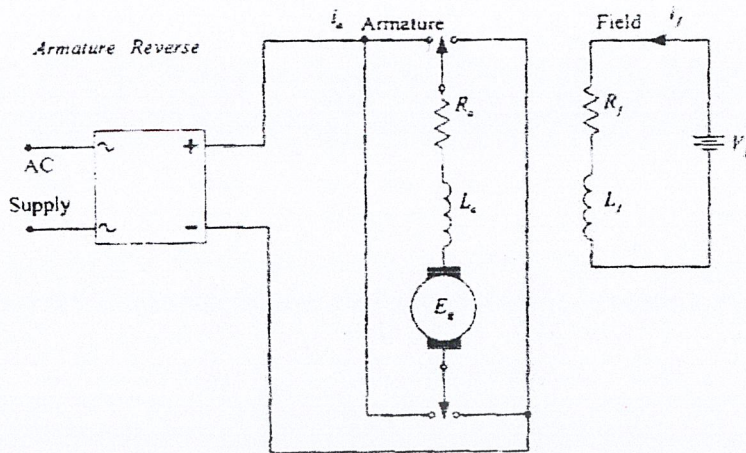
รูปที่ 2.12 หยุดมอเตอร์ดีซีด้วยวิธีไดนามิกเบรกกึ่ง

โหมดการทำงานแบบไดนามิกเบรกกึ่งจะนำเอาตัวต้านทาน (Braking Resistance : R_b) มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เพื่อทำให้แรงดันหรือค่าพลังงานที่ตัวมอเตอร์หมดไป โดยการส่งไปให้เกิดการสูญเสียที่ตัวต้านทาน R_b

4) การทำงานในโหมดปลั๊กกิ้ง (Plugging)

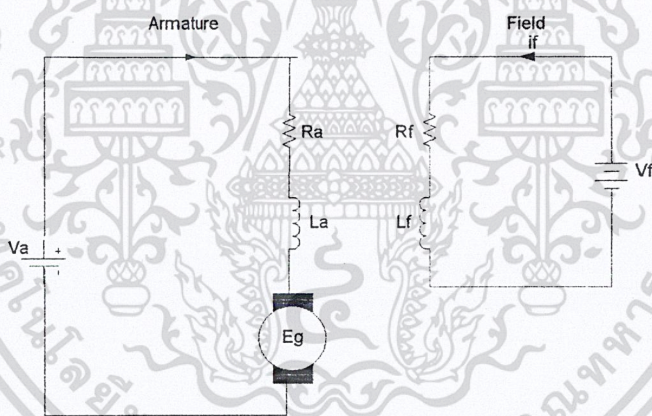
การทำงานในโหมดนี้จะเป็นการเบรก โดยการกลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์หมุน ซึ่งทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ไหลย้อนกลับทิศทางและมอเตอร์เกิดแรงบิดในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อที่จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางอย่างทันทีทันใด จึงทำให้มอเตอร์ถูกเบรก ตามรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมดปลั๊กกิ้งโดยการกลับขั้วแรงดันที่อาร์เมเจอร์

ผลของการเบรกแบบปลั๊กกิ้งมีผลทำให้กระแสไหลกลับทิศทาง ค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์และค่าแรงดันต้านกลับจะมีทิศทางเดียวกันตามรูปที่ 2.14

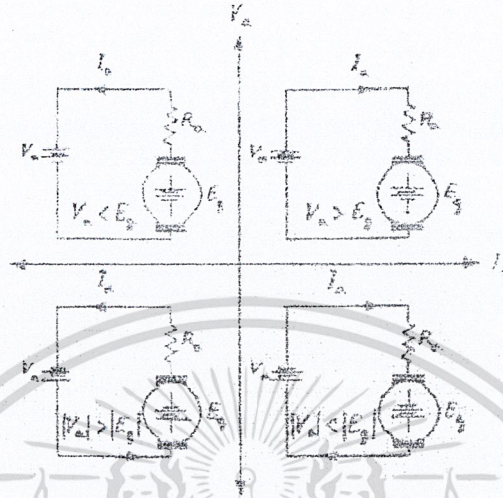


รูปที่ 2.14 ทิศทางของกระแสและแรงดันของการทำงานแบบปลั๊กกิ้ง

2.5 ควอแดรนที่การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์เป็นเครื่องจักรกลที่รับพลังงานไฟฟ้าเข้าไป แล้วทำการเปลี่ยนพลังงานออกมาใน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปของความเร็วรอบและแรงบิด ส่วนเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่รับพลังงานกลเข้าไป
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรกลที่มีคุณสมบัติที่สามารถเป็นได้ทั้งมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ตามรูปแบบของพลังงานที่ได้รับการกระจายออกมา สามารถแบ่งออกเป็นควอแดรนต์การทำงานได้ 4 ควอแดรนต์ตามรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ทิศทางของกระแสและแรงดันในการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนต์

ควอแดรนต์ที่ 1

ค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ V_a มีค่ามากกว่าแรงดันต้านกลับ E_b มีผลให้การไหลของพลังงานจาก แหล่งจ่าย V_a เข้าไปที่ตัวมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงบิดและความเร็วที่ตัวมอเตอร์

ควอแดรนต์ที่ 2

ค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ V_a มีค่าน้อยกว่าแรงดันต้านกลับ E_b ทำให้มีการไหลของพลังงานไฟฟ้าออกจากตัวมอเตอร์ย้อนกลับไปที่แหล่งจ่าย ทำให้เกิดแรงบิดและความเร็วที่ตัวมอเตอร์ V_a ทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นมีค่าตรงกันข้ามกับควอแดรนต์ที่ 1

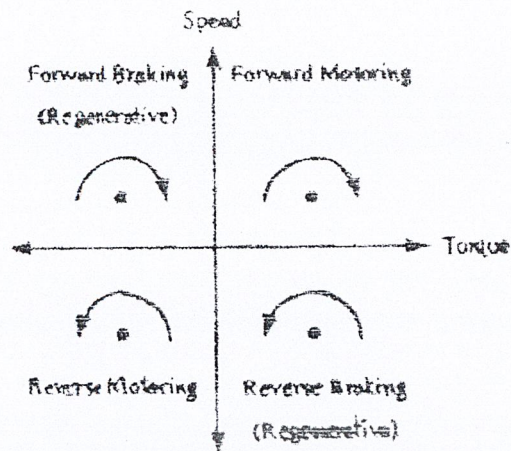
ควอแดรนต์ที่ 3

ค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ V_a มีค่ามากกว่าแรงดันต้านกลับ E_b เหมือนกับควอแดรนต์ที่ 1 แต่มี ศักย์ ตรงกันข้าม จึงทำให้ทิศทางการหมุนและแรงบิดมอเตอร์ตรงกันข้ามกับควอแดรนต์ที่ 1

ควอแดรนต์ที่ 4

ขนาดของแรงดัน V_a มีค่าน้อยกว่าขนาดของแรงดันต้านกลับ E_b ทำให้พลังงานจากตัว มอเตอร์เกิดการไหลย้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนต์ จึงทำให้เกิดแรงบิดได้ทั้ง บวกและลบ ทิศทาง การหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนต์ นี้ทำให้มอเตอร์สามารถแสดง คุณสมบัติได้ตามรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ทิศทางการหมุนและแรงบิดของมอเตอร์ในการทำงานทั้ง 4 ควอดแรนท์

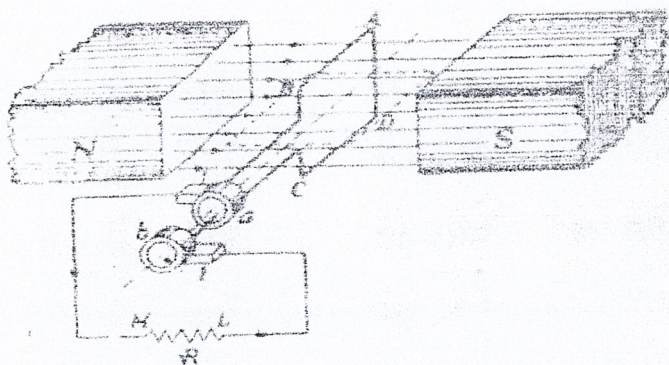
2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพื้นฐานแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยทำการหมุนของกลุ่มขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ผ่านไปในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องกำเนิดจึงเป็นพลังงานกลที่ต้องการเพื่อที่จะนำไปใช้ในการหมุนขดลวดตัวนำ โดยเอาที่พูดของเครื่องกำเนิดจะเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

2.6.1 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ สนามแม่เหล็ก ขดลวดตัวนำ คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน โดยปลายขดลวดตัวนำต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อเกิดการหมุนในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำของขดลวด และจะเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อต่อผ่านซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

1) สนามแม่เหล็ก จากรูปที่ 2.17 สนามแม่เหล็ก จะประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ในลักษณะครบวงจร โดยเส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กผ่านช่องว่างระหว่างขั้วของแม่เหล็กเข้าสู่ขั้วใต้ จากนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านเนื้อในแม่เหล็กกลับไปยังขั้วเหนือตามเดิม

2) ขดลวดตัวนำตั้งอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก เพราะฉะนั้นขดลวดดังกล่าวจึงอยู่ในสนามแม่เหล็ก ถ้าขดลวดไม่ได้เคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กก็ไม่ส่งผลใดๆ ต่อขดลวด แต่ถ้าวงจรขดลวดเคลื่อนที่หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวด โดยการเคลื่อนที่ของวงจรขดลวดในแต่ละรอบ ขนาดและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็น รูปคลื่นไซน์ 1 Cycle พอดี เพราะฉะนั้นในขณะที่วงขดลวดเคลื่อนที่ ก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าสลับที่ปลายทั้ง 2 ข้างของขดลวด แต่แรงดันไฟฟ้าสลับจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงที่คอมมิวเตเตอร์

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่รองรับสายทั้งหมดของอาร์เมเจอร์และมีหน้าที่หลัก คือ การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นบนขดลวดให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงคอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยแท่งทองแดงหลายๆแท่งรวมกันแต่ละแท่งเรียกว่าซี่ทองแดงและระหว่างซี่ทองแดงจะคั่นด้วยฉนวน โดยทั่วไปใช้แผ่นไมก้า

4) แปรงถ่าน (Brush) ทำด้วยแท่งคาร์บอน ปกติวางสัมผัสอยู่กับหน้าสัมผัสของซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์เพื่อนำกระแสออกไปจ่ายโหลด หรือเพื่อที่จะนำกลับเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต้องนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวด(ตัวนำ) ไปใช้งานด้วยการต่อผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 สมการแรงดันไฟฟ้า

- ให้ Φ = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยขั้ว (Flux / pole in weber, Wb)
 Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดของอาร์เมเจอร์ (Total number of armature conductor)
 60 = จำนวนสล้อท * จำนวนตัวนำต่อสล้อท
 N = ความเร็วของอาร์เมเจอร์ (Armature rotation in revolutions / minute, r.p.m.)
 P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (No. of poles)
 A = จำนวนทางผ่านขนานอาร์เมเจอร์ (No. of parallel paths in armature)
 E_g = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

$$\begin{aligned} \text{แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นต่อตัวนำ} &= \frac{d\phi}{dt} \quad \text{V.} \\ &= \frac{\phi PN}{60} \quad \text{V} \end{aligned}$$

สมการทั่วไปของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น คือ

$$E_g = \frac{(\phi ZN)}{60} \times \frac{P}{a} \quad \text{V.}$$

เมื่อ $A=2$ เมื่อเป็นแบบเวฟ (Wave)

P =ค่าโพล เมื่อเป็นแบบแลป (Lap)

2.7 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบ 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminal : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูล ที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

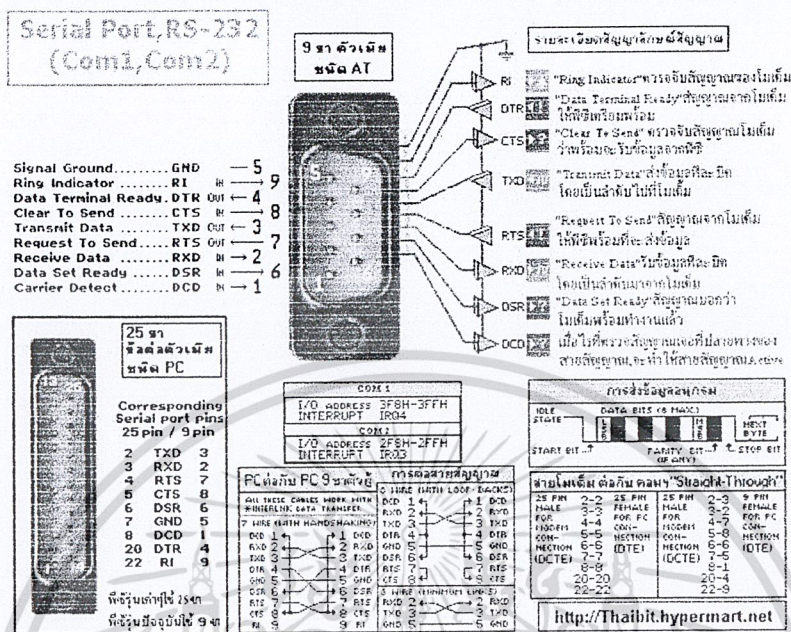
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัด คือ คอนเนกเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเนกเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเนกเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 คอนเนกเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเนกเตอร์แบบ RS-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้

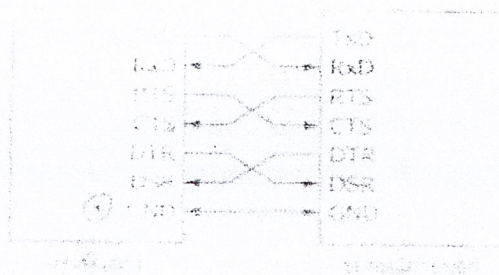
ผังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.18 แสดงการจัดขาของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

คอนเนกเตอร์ DB-9	คอนเนกเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier : DCD	Input
2	3	Received Data : R × D	Input
3	2	Transmitted Data : TXD	Output
4	20	Data Terminal Ready : DTR	Output
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	Input
7	4	Request To Send : RTS	Output
8	5	Clear To Send : CTS	Input
9	22	Ring Indicator : RI	Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การเชื่อมต่อสายสัญญาณของคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem



(ข) การเชื่อมต่อสายสัญญาณของคอมพิวเตอร์แบบ RS-232C

รูปที่ 2.19 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกดังแสดงในรูปที่ 2.18 ลูกศรในรูปแสดงถึง ทิศทางข้อมูล ในรูปที่ 2.21 เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem หรือการเชื่อมต่อโดยไม่ผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็คเต็มรูปแบบ ส่วนรูปที่ 2.22 เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับต่อข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นสายกราวด์ สำหรับหน้าที่รายละเอียดการทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 ดังนี้

- Data Carrier detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานขาปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งาน โดยปกติขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- Received Data : RD หรือ R x D ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังตัวคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์
- Transmitted Data : TD หรือ Tx D ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป
- Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้

อุปกรณ์ ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อกับ โดยขา DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าหากใช้การไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อ 3 เส้นจะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเอง เข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วย ในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

- Signal Ground : GND ขากราวน้ของระบบ
- Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับข้อมูลจากภายนอก ซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถ เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณมาจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณ ได้ ข้อมูลที่ขา Tx D จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อเชื่อมต่อกับ โมเด็มและมีโปรแกรมการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

2.8 คอนโทรล MSComm

สำหรับการใช้งานโปรแกรม Visual Basic จะใช้การคอนโทรลตัว MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าหากโปรแกรมที่ใช้งานต้องการให้ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้คอนโทรล MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมในแต่ละพอร์ต แอแดปเตอร์ของพอร์ตอนุกรมและแอแดปเตอร์ของการเกิดอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

2.8.1 ComPort

ใช้ในรูปแบบการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดต่อยู่ (COM1, COM2, COM3, COM4)

รูปแบบการใช้งาน คือ

```
object.ComPort [=value]
```

โดยที่ Value เป็นค่าพอร์ตอนุกรม ชนิดของข้อมูลเป็น Integral ค่า Value สามารถกำหนดได้ในช่วง 1-16 (ค่าเริ่มต้นกำหนดที่ 1) เมื่อมีการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ต โดยใช้คุณสมบัติเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PortOpen แต่ว่าหากพอร์ตนั้นไม่มีอยู่ในระบบ MSComm จะสร้างสัญญาณแสดงข้อผิดพลาด error 68 ขึ้นมาซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ตัวนี้ไม่ได้อยู่ในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนใช้คำสั่ง OpenPort

2.8.2 Setting

ใช้ในรูปแบบการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอด, พาริตี, จำนวนข้อมูลของบิต, จำนวนข้อมูลปิดท้าย

รูปแบบการใช้งาน

object.Setting [=value]

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็นแบบ String มีรูปแบบเป็นแบบ "BBBB, P, D,S" โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอด, P เป็นค่าพาริตี, D เป็นจำนวนของบิตข้อมูล และ S เป็นจำนวนของบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่านี้ถูกกำหนดเป็น "9600, N, 8, 1"

ค่าอัตราบอดมาตรฐานที่ใช้กับ MSComm มีดังนี้

- 110 บิตต่อวินาที
- 300 บิตต่อวินาที
- 600 บิตต่อวินาที
- 1200 บิตต่อวินาที
- 2400 บิตต่อวินาที
- 9600 บิตต่อวินาที (ค่าปกติ)
- 14400 บิตต่อวินาที
- 19200 บิตต่อวินาที
- 28800 บิตต่อวินาที
- 38400 บิตต่อวินาที (สงวน)
- 56000 บิตต่อวินาที (สงวน)
- 128000 บิตต่อวินาที (สงวน)
- 256000 บิตต่อวินาที (สงวน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่ามาตรฐานในการกำหนดค่าพาริตีมีดังนี้

สัญลักษณ์	รายละเอียด
E	พาริตีคู่ (Even)
M	ลอจิก "1" (Mark)
N	ไม่ใช้ (ค่าปกติ)
O	พาริตีคี่ (Odd)
S	ลอจิก "0" (Space)

ค่าที่ใช้ในการกำหนดจำนวนบิตมี 5 ค่า คือ 4, 5, 6, 7 และ 8 (เป็นค่าปกติ)

2.8.3 PortOpen

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม

รูปแบบการใช้งาน

```
object.PortOpen [=valucl]
```

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็นแบบบูลีน คือ True และ False โดย True หมายถึงการเปิดพอร์ตอนุกรมและ False หมายถึงการปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูลและบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล MSCComm จะปิดพอร์ตอนุกรมอัตโนมัติเมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนจะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ CommPort นั้น ได้ทำการปิดพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือไม่

2.8.4 Input

อ่านค่าและลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ของภากรับ

รูปแบบการใช้งาน

```
object.Input
```

คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของอักขรที่จะอ่านโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่า InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติ Input ทำการอ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

คุณสมบัติ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า

InputMode ถูกกำหนดเป็น ComInputModeText คุณสมบัตินี้ Input จะส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้อความชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode กำหนดเป็น ComInputModeBinary คุณสมบัติ Input จะถูกส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของไบนารีและชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant

2.8.5 InBufferCount

ส่งจำนวนของตัวอักษรที่อยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object.InBufferCount[=value]
```

คำสั่ง InBufferCount จะแสดงค่าของตัวอักษร ซึ่งรับมาจากภายนอกและยังเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านค่าออกไปได้ สำหรับการเคลียร์บัฟเฟอร์ภาครับทำได้ โดยกำหนดให้ InBufferCount มีค่าเป็น 0

2.8.6 InBufferSize

กำหนดและคืนค่าขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับในหน่วยเป็นไบต์

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

คำสั่ง InBufferSize ใช้เพื่อกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับ โดยค่าเริ่มต้นถูกกำหนดไว้ที่ 1,024 ไบต์

2.8.7 InputLen

กำหนดและคืนค่าจำนวนตัวอักษรที่อ่านจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object.InputLen[=value]
```

ค่าเริ่มต้นของคุณสมบัติ InputLen มีค่าเท่ากับ "0" การกำหนดค่าเท่ากับ "0" จะให้คำสั่ง Input ของ MScComm อ่านค่าข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับทั้งหมด

ถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับมากเท่ากับจำนวน InputLen คำสั่ง Input จะส่งค่าว่าง ("") ออกมา ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลในบัฟเฟอร์ภาครับโดยใช้คุณสมบัติ InBufferCount โดยกำหนดให้มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับก่อน แล้วจึงค่อยอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

คุณสมบัตินี้ใช้กับอ่านข้อมูลจากเครื่องมือ หรือเครื่องจักรที่มีการกำหนดค่าความยาวของข้อมูลเอาไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.8 InputMode

กำหนดค่าและคตินชนิดของข้อมูลที่ได้รับคำสั่ง Input

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object. InputMode[=value]
```

คุณสมบัติ InputMode ใช้กำหนดค่าว่าข้อมูลชนิดไหนที่รับเข้ามาผ่านคำสั่ง Input โดยข้อมูลจะเลือกได้ 2 ประเภท คือ

ComInputModeText สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อความตัวอักษรมาตรฐาน ANSI โดยจะต้องกำหนดค่าเป็น "0" และค่าเริ่มต้นของการรับข้อมูลเป็นค่านี้

ComInputModeBinary สำหรับข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งจะเก็บในรูปแบบ ไบนารีรวมกันอยู่เป็นไบต์ข้อมูล

2.8.9 Output

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัพเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object. Output[=value]
```

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัพเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูล ไบนารีก็ได้โดยการส่งข้อมูลแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูล ไบนารีจะต้องกำหนดชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte

2.8.10 OutBufferCount

คินค่าจำนวนข้อมูลตัวอักษรที่เก็บอยู่ในบัพเฟอร์ภาคส่ง และใช้คำสั่งนี้เพื่อเคลียร์บัพเฟอร์ของ ภาคส่งได้ด้วย

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object. OutBufferCount[=value]
```

ผู้ใช้งานสามารถเคลียร์บัพเฟอร์ภาคส่งได้โดยการกำหนดค่า OutBufferCount เท่ากับ "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.11 OutBufferSize

กำหนดและคืนค่าบัฟเฟอร์ภาคส่ง ชนิดของตัวแปรเป็นไบต์
รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

```
object. OutBufferSize[=value]
```

คุณสมบัติ OutBufferSize ใช้สำหรับการกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาคส่ง โดยค่าปกติที่ใช้
งาน จะมีค่า 512 ไบต์

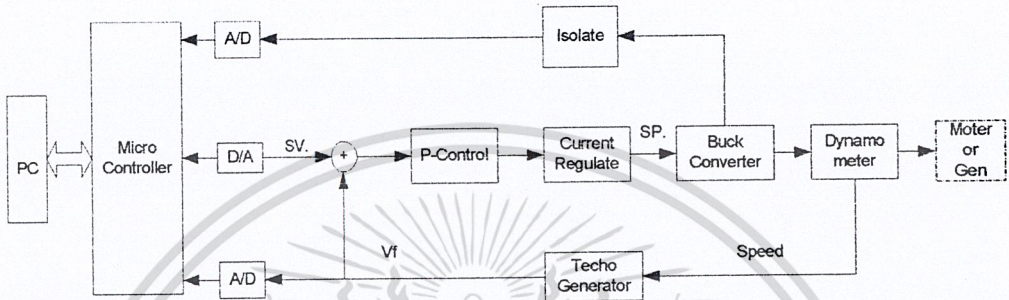


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

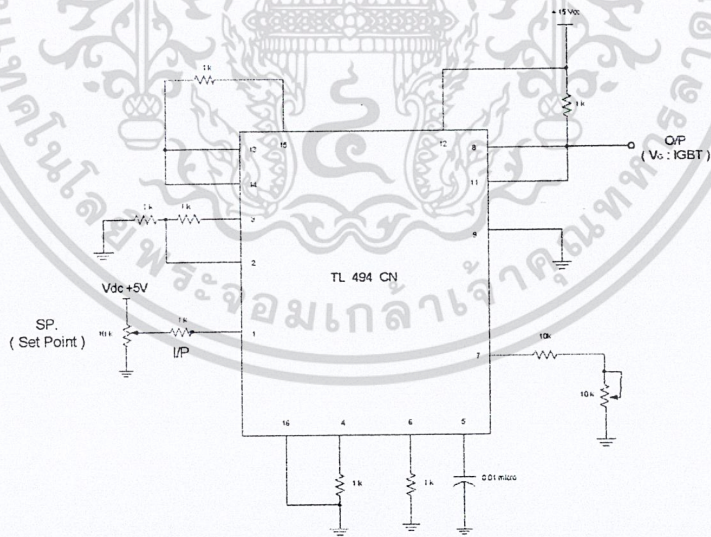
การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคิดและการสร้างวงจรควบคุมต่างๆ ที่ใช้ในไดนาโมมิเตอร์ โดยมีรูป Block Diagram การทำงานของระบบดังรูปนี้



รูปที่ 3.1 แสดง Block Diagram การทำงาน

3.1 วงจร Pulse Width Modulation



รูปที่ 3.2 วงจร Pulse Width Modulation

วงจร Pulse Width Modulation เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งจะใช้ควบคุมค่า Duty cycle โดยการปรับ Duty diagram ให้เหมาะสมกับการใช้งานในสถานะต่างๆ ได้ เอกสารที่ผู้ต้องการ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ IC เบอร์ TL494 ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และใช้ในค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงานของ Converter โดยจะสร้างสัญญาณ PWM ขึ้นมาควบคุมความถี่ให้คงที่ โดยที่ภายในจะสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (Saw Tooth) ขึ้นมาภายในตัว IC โดยที่ความถี่ขึ้นอยู่กับความต้านทานและ ตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 5 และ 6 ของ IC จากสมการ

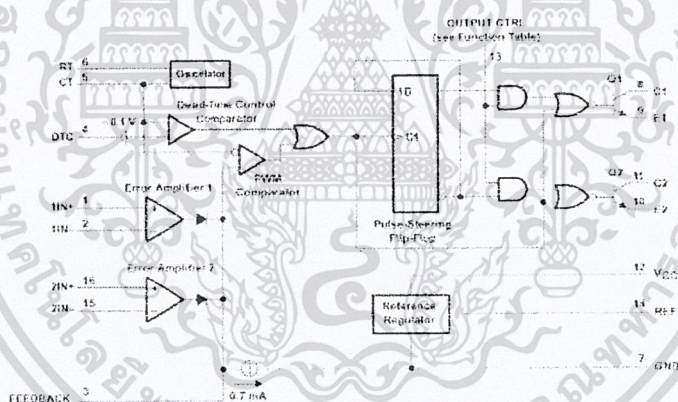
$$f_{osb} = \frac{1.1}{(R_T \times C_T)}$$

โดยที่ f_{osb} คือ ความถี่ที่ TL 494 สร้างขึ้น

R_T คือ ค่าความต้านทานที่ใช้กำหนดความถี่

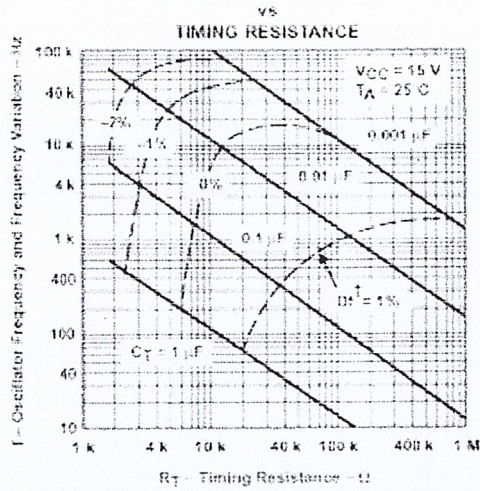
C_T คือ ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กำหนดความถี่

ในที่นี้เลือกใช้ค่า $R_T = 1 \text{ k}\Omega$ และ $C_T = 0.01 \mu\text{F}$ ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ TL 494 สร้างขึ้นมา มีค่าเท่ากับ 110 kHz แต่ในวงจรเลือกการทำงานของ TL 494 ในโหมดพวงหุนด ทำให้ได้ความถี่เพียงครึ่งหนึ่งของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 55 Hz



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดค่าความถี่

3.1.1 การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของ ไอซี จะ ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขาซอร์ส กับ แรงดันที่ได้จากวงจรเออเรอร์ (Error Amp) ทั้งสองตัวที่ PWM Comparator ส่วนนอร์เกต (Nor Gate) ที่ ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ flip-flop อยู่ในสถานะ Low เท่านั้น ซึ่ง C_k จะเป็น Low ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่า แรงดันที่มาจากวงจรรขยายของ เออเรอร์ทั้ง 2 ตัว นั่นคือ ค่าแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของวงจร คอนเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของ ไอซีจะลดลง ในทางกลับกันหาก แรงดันป้อนกลับมีค่าลดลง ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ ไอซีก็จะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ ของไอซีนีสามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุด หรือมีค่าเท่ากับศูนย์ ก็ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงปรังดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วนวงจรรขยายของเออเรอร์ ทั้ง 2 ตัวจะมีช่วงอินพุตคอมมอนโหมดตั้งแต่ -0.3 ถึง $V_{cc} - 2$ โวลต์ และสามารถตรวจจับแรงดัน หรือกระแสที่เอาต์พุตของ วงจรคอนเวอร์เตอร์ได้ วงจรรขยายเออเรอร์ทั้ง 2 ตัว จะให้เอาต์พุตใน ลักษณะให้สถานะ High (Active Hig) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparatorการต่อกันในลักษณะนี้วงจรรขยายเออเรอร์ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของ ไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

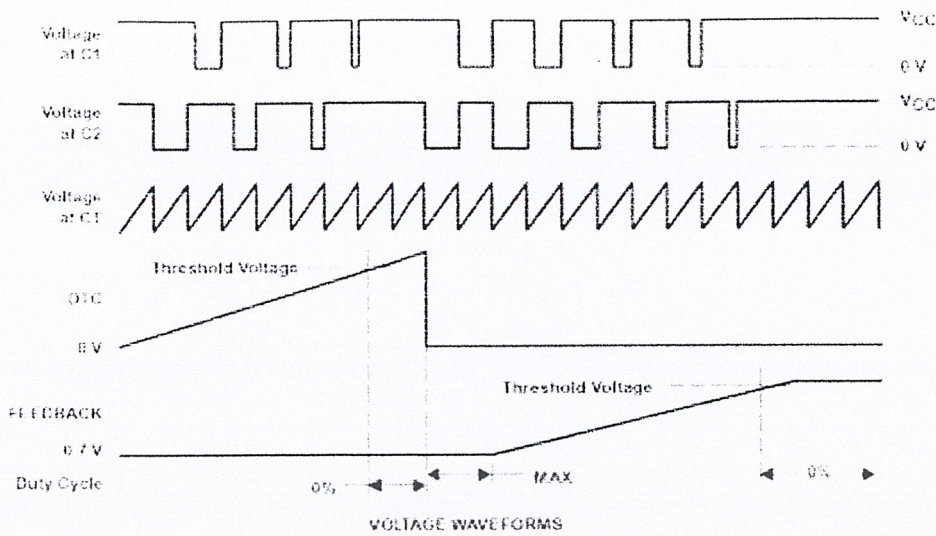


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL 494

3.1.2 การกำหนดค่าเดดไทม์ (T)

TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเดดไทม์ T ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ ที่ขา 4 ของไอซี หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเดดไทม์สูงสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 % ของค่าคาบเวลาทำงานเนื่องจากมีแรงดัน offset = 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลา t_{on} สูงสุดของคอนเวอเตอร์ที่ได้จากไอซี จะเท่ากับ 48 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวน์

ในการทดลองครั้งนี้จะต่อขา 4 ลงกราวน์ ซึ่งจะเป็นการตั้งค่าเดดไทม์ไว้ต่ำสุดที่ 4% ของค่าคาบเวลาการทำงาน

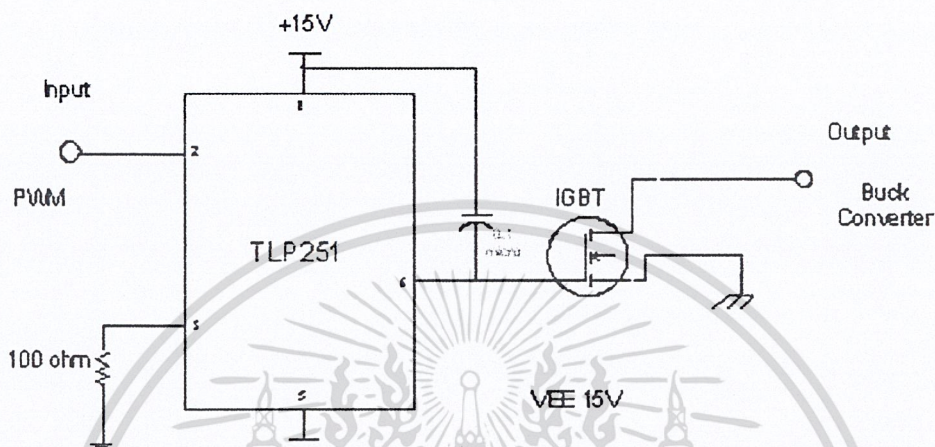
3.1.3 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาท์พุทของไอซี

เอาท์พุทที่ Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงาน โดยเราสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (output control) โดยขณะที่ C_k ดิสชาร์จ เอาท์พุทของค่า Dead Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะเป็น High และหยุดการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High โดยการต่อเข้ากับขา 14 (+ 5 V_{ref}) Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ flip-flop เพื่อใช้ขับคอนเวอเตอร์แบบพุกพุด ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของ ค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น Low โดยการต่อลงกราวน์ (ขกเล็ก flip-flop) Q_1 และ Q_2 จะสามารถทำงานได้พร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 แล Q_2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าหากต้องการให้มีค่านำกระแสมากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่แจ้งให้ทราบก่อน หรือมีการนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่แจ้งให้ทราบก่อน จะถือว่าผิดกฎหมาย

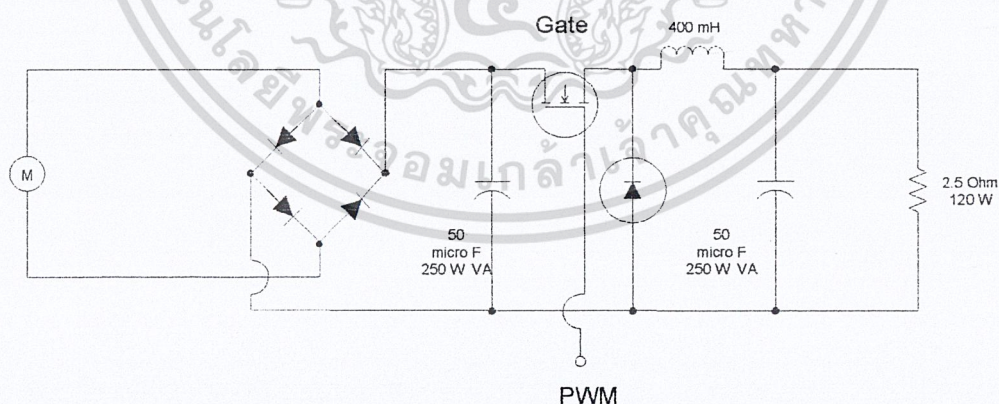
3.2 วงจรขับเกต (Gate Circuit)

เป็นวงจรเพิ่มแรงดันของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้แรงดันคงที่และเพียงพอที่จะใช้ขับอุปกรณ์ สวิตซ์ ซึ่ง โดยวงจรนี้จะมีการแยกกราวด์ออกเป็นอิสระจากส่วนอื่นเพื่อป้องกันการเสียหายอันเนื่องจากการลัดวงจร



รูปที่ 3.8 แสดงรูปการต่อวงจรขับเกต

3.3 วงจร Buck Converter



รูปที่ 3.9 แสดงวงจร Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Buck Converter มีหน้าที่เป็นตัวรับกำลังงานเมื่อทำการเบรกมอเตอร์พลังงานจะถูกถ่ายเทมายังตัวต้านทาน ในรูปของพลังงานความร้อน เราสามารถนำค่านี้ไปคิดค่าพลังงานที่สูญเสียของมอเตอร์ได้

ถวิคซ์จะควบคุมการตัดต่อโดยวงจร Pulse Width Modulation ซึ่งจะทำให้การปรับ Duty Cycle ทำให้อัตราการเบรกมีค่าเท่ากับ t_{on} ถ้ามี Duty Cycle (%) สูงการเบรกก็มาก ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ช้าลง ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้น ถ้ามี Duty Cycle (%) ต่ำ การเบรกก็น้อย ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น

3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของบอร์ด CP-SPI/RD2

บอร์ด CP-SPI/RD2 V. 2.0 จะใช้ CPU เบอร์ P89C51RD2 เป็น CPU ประจำบอร์ด ส่วนการ download โปรแกรมเข้าตัวบอร์ดนั้นบอร์ด CP-SPI/RD2 จะใช้โปรแกรม P89C51RD2

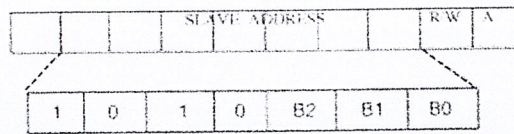
บอร์ด CP-SP/S8252 V2.0 & CP-SPI/RD2 จะมีอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับ CP-SPI/RD2 V 1.0 ทุกประการแต่เพิ่มเติมอุปกรณ์บางตัวเข้าไป ดังนี้

1. RS422/ 485
2. RTC (DS1307)
3. I²C (EEPROM 24XX)
4. ADC (ADS7841)
5. DAC (LTC1661)
6. LCD แบบ 1 Character
7. EXP2 (NC6B595)
8. ET-SDP8

Device Addressing

Control byte จะเป็น Byte แรกต่อบิต Start Control Byte จะประกอบด้วย Control Code 4 bit จะอยู่บนบิตที่ 7 - 4 ใน 24C16 มีค่าเป็น 1010 และต่อมาอีก 3 Bit จะเป็น (B2, B1, B0X เป็นบิตที่ใช้เลือก Blank ของหน่วยความจำ บิตที่ 0 เป็นบิต R/W มีหน้าที่กำหนดเงื่อนไข ว่าเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก 24C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

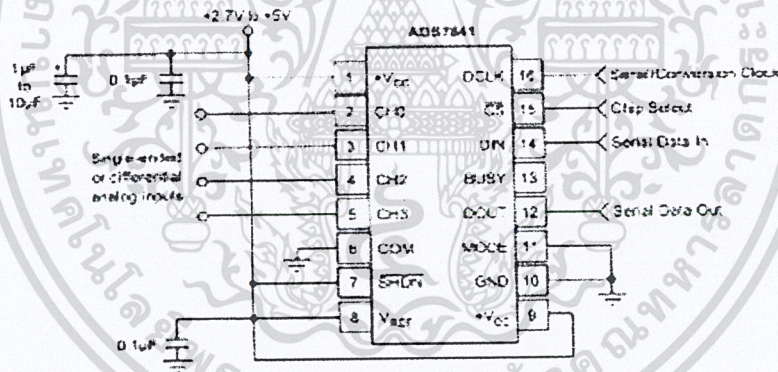


รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการ Device Address

ADS7841

ADS7841 เป็นตัวที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) โดยใช้วิธีการแบบ Successive Approximation Resister (SAR) โดยลักษณะโครงสร้างจะอยู่บนพื้นฐานของ Capacitive Redistribution ซึ่งได้รวมวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sampling/Hold) ไว้ภายใน

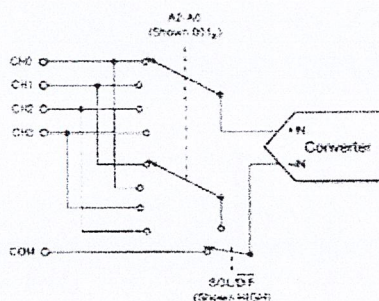
โครงสร้างการทำงานแสดงดังรูป 3.11 โดย ADS7841 ต้องการแรงดันอ้างอิงและสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สามารถทำงานได้โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวในช่วง 2.7V - 5.25V โดยแรงดันอ้างอิงที่จะต่อภายนอกจะอยู่ในช่วง 100 mV ถึง +Vcc โดยค่าของแรงดันอ้างอิงจะเป็นตัวกำหนดช่วงของแรงดันอินพุตของ ADS7841 โดยตรง ค่ากระแสเฉลี่ยของแรงดันอ้างอิงขึ้นอยู่กับอัตราการแปลงสัญญาณของ ADS7841



รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างการทำงานของ ADS7841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุต (ANALOG INPUT)



รูปที่ 3.12 แสดง Diagram ของวงจรสลัปลสัญญาณอินพุตของ ADS7841

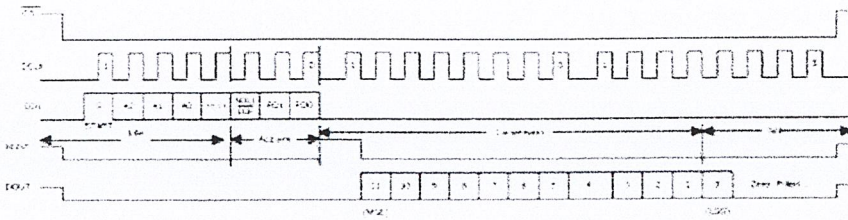
แรงดันอ้างอิง (REFERENCE INPUT)

แรงดันอ้างอิงที่ป้อนให้กับตัว ADS7841 จะเป็นตัวกำหนดระดับแรงดันอินพุตสูงสุดทั้ง 4 ช่องสัญญาณ โดยระดับแรงดันอินพุตสามารถกำหนดได้อยู่ในช่วง 100 mV ถึง +Vcc สัญญาณอินพุต คือระดับความแตกต่างของแรงดันที่ขา +IN และ -IN แสดงในรูปที่ 3.12 เช่น กำหนดให้ ADC ทำงานในโหมด Single-Ended โดยกำหนดให้แรงดันอ้างอิงอยู่ที่ 1.25V และขาสัญญาณ COM ของ ADC ถูก ต่อลงกราวด์ ดังนั้นสัญญาณอินพุต (CHO-CH3) จะสามารถถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้เฉพาะ แรงดันในช่วง 0V ถึง 1.25 V แต่ถ้าสัญญาณ COM ถูกป้อนด้วยแรงดัน 0.5 V จะทำให้แรงดันอินพุตของแต่ละช่องสัญญาณอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5V ถึง 1.75V

การเชื่อมสัญญาณดิจิทัล (DIGITAL INTERFACE)

รูปที่ 3.13 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณดิจิทัลของ ADS7841 โดยไดอะแกรมนี้สมมติให้ AC เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ DSP โดยการเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยแต่ละการเชื่อมต่อ สื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC จะต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 8 คาบ โดยที่การแปลงสัญญาณ 1 ครั้งจะต้องใช้ 3 การสื่อสาร ดังนั้นหมายความว่าต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 24 คาบ ให้กับ ขาสัญญาณ DCLK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ไตอะแกรมแสดง 24 Clock ต่อการแปลงกลับ

ไบนารีควบคุม (Control Byte)

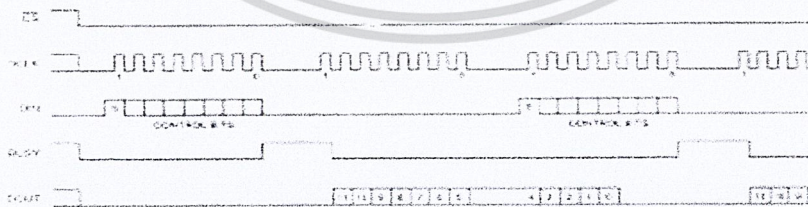
ตารางด้านล่าง แสดงการควบคุมบิต โดยบิตแรกคือบิต 'S' จะเป็นลอจิก 1 เพื่อแสดงถึงจุดเริ่มต้นของไบนารีควบคุมซึ่ง ADS7841 จะไม่สนใจสัญญาณที่ขา DIN จนกระทั่งมันสามารถตรวจสอบบิตเริ่มต้นได้ และสามบิตต่อมา (A2, A1, A0) เป็นบิตที่ใช้เลือกสัญญาณ

ตารางที่ 3.1 แสดงการควบคุมบิต

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
S	A2	A1	A0	MODE	SGL/DIF	PD1	PDO

16 - Clock per Conservation

บิตควบคุมการเปลี่ยนแปลงครั้งที่ n+1 จะซ้ด้นทับการแปลงครั้งที่ n เพื่อให้เกิดการแปลงสัญญาณทุกๆ 16 คาบ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งรูปนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมระหว่างตัวประมวลผลกับ ADC ซึ่งวิธีการนี้สามารถแปลงสัญญาณได้ภายใน 1.6 ms

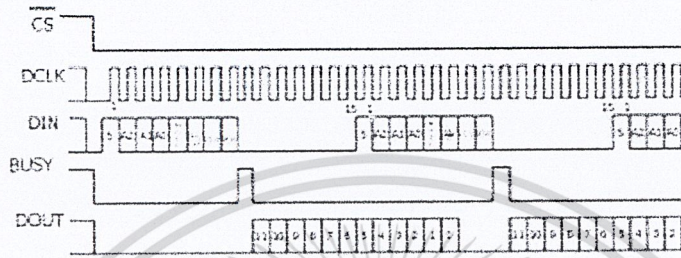


รูปที่ 3.14 Timing Diagram ของ 16 Clock per Conversion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 - Clock per Conservation

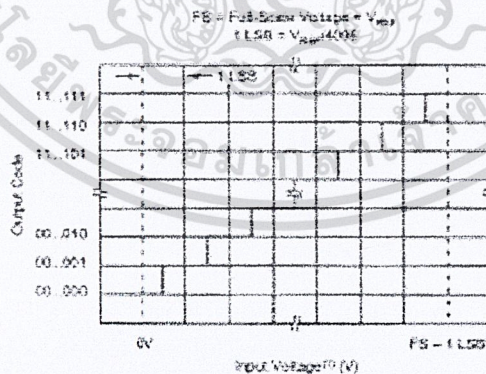
รูปที่ 3.22 แสดงวิธีการที่เร็วที่สุดในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับ ADS7841 ซึ่งวิธีการนี้จะไม่สามารถทำงานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไม่สามารถสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมด้วย 15-Clock ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ถูกออกแบบไว้ให้สามารถใช้งานกับ Gate Array (FPGA) หรือวงจรรวมที่ถูกรวบรวมขึ้นมาจากงานเฉพาะงาน (ASICs) ซึ่งวิธีการนี้สามารถเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณได้สูงสุด



รูปที่ 3.15 อัตราการแปลงกลับสูงสุดในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับ ADS7841

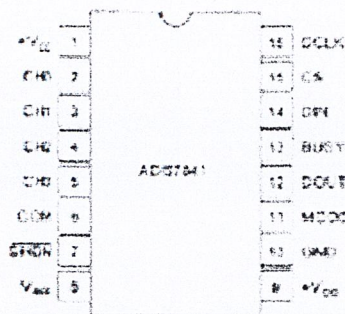
แบบข้อมูล (Data Format)

สัญญาณเอาต์พุตของ ADS7841 แบบ ไบนารีที่แสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงถึงค่าของเอาต์พุตที่ได้เมื่อค่าของแรงดันที่ระดับต่างๆ โดยไม่รวมถึงผลที่เกิดจาก offset และค่าความผิดพลาดจากอัตราขยาย



รูปที่ 3.16 สัญญาณเอาต์พุตของ ADS7841

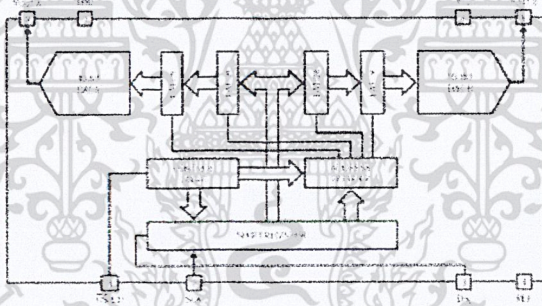
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงโครงสร้างของ ADS7841



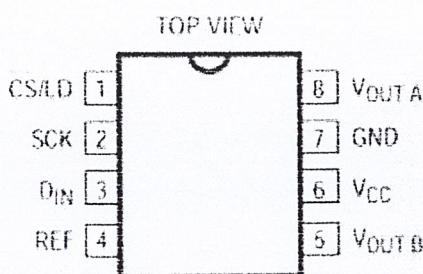
รูปที่ 3.18 แสดงขั้วต่อของ ADS7841



รูปที่ 3.19 แสดงโครงสร้างภายใน LTC1661

ไอซี DAC เบอร์ LTC1661 จัดเป็นไอซีจำพวก Chips Support ของบริษัท "Linear Technology" สามารถสร้างสัญญาณ Analog ซึ่งมีค่าความละเอียดสูงสุด 10 บิต (1024 ระดับ) ได้พร้อมกัน 2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงตำแหน่งขาสัญญาณของ LTC1661

- CS/LD เป็นสัญญาณ Chips Select จะทำงานที่สถานะลอจิกศูนย์มีหน้าที่สำหรับใช้เขียนค่า "Control Word" ให้กับ DAC โดยเมื่อสัญญาณ CS นี้มีสถานะเป็นศูนย์ DAC ก็จะพร้อมรับข้อมูลจากขา DIN ตามการควบคุมของสัญญาณ SCK แต่เมื่อสัญญาณ CS นี้มีสถานะเป็นลอจิกหนึ่ง DAC จะไม่สนใจสถานะของสัญญาณ SCK และ DIN เลย

- SCK เป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock Input) ใช้สำหรับทำหน้าที่ควบคุมการเลื่อนบิตข้อมูล (DIN) ของ "Control Word" ให้กับรีจิสเตอร์ของ DAC โดยทำงานที่ช่องขอบขาขึ้น

- DIN เป็นสัญญาณข้อมูล (Data Input) ใช้สำหรับบอกให้ DAC รับรู้คำสั่ง โดยปกติแล้วข้อมูลที่ จะส่งให้กับ DAC จะมีขนาด 16 บิต (1-Word) โดยสัญญาณข้อมูล (DIN) นี้จะถูกเลื่อนให้กับรีจิสเตอร์ ของ DAC ครั้งละ 1 บิต ตามการควบคุมของสัญญาณนาฬิกา(SCK) โดยค่าของข้อมูลจะถูกเลื่อนเข้าไปยัง รีจิสเตอร์ของ DAC ในช่วงขอบขาขึ้นของนาฬิกา ดังนั้นจะต้องทำการจัดเตรียมสถานะของสัญญาณข้อมูล (DIN) นี้เตรียมไว้ในช่วงที่สัญญาณนาฬิกามีสถานะเป็น "0" เท่านั้น เมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนสถานะจาก "0" เป็น "1" (ขอบขาขึ้น) ค่าของบิตข้อมูล (DIN) ก็จะถูกเลื่อนไปยังรีจิสเตอร์ของ DAC ตามสถานะของสัญญาณข้อมูลที่ เป็นอยู่ในขณะสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" พอดี

- REF เป็นขาสัญญาณแรงดันอ้างอิง ใช้สำหรับเปรียบเทียบการสร้างสัญญาณ Analog Output โดยต้องกำหนดค่าของแรงดันให้ขาสัญญาณ REF นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0V ถึง VCC

- V_{OUTA} V_{OUTB} เป็นขาสัญญาณ Analog Output ของไอซี DAC โดยขนาดของสัญญาณ Output จะแปรผันกับค่าของข้อมูลดิจิทัลของแรงดันอ้างอิงที่ป้อนกับขา REF ดังนี้

$$0 \leq V_{OUTA}, V_{OUTB} \leq V_{REF} (1023/1024)$$

- VCC เป็นขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับตัวไอซี มีค่าระหว่าง $2.7V \leq VCC \leq 5.5V$

- GND เป็นขา GND ของระบบ

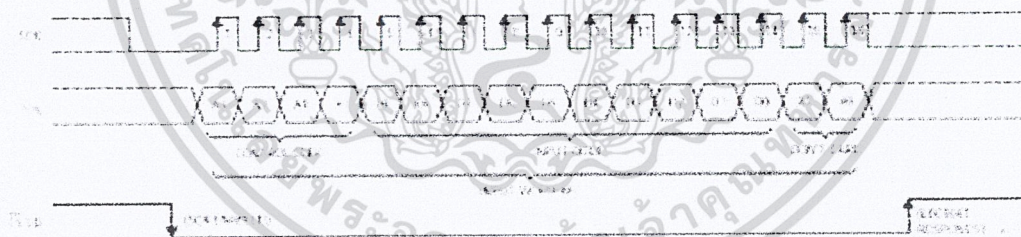
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรหัส "Control Word" ของ DAC นั้นจะมีขนาด 16 บิต ประกอบด้วยค่า "Control Code" (A3..A0) จำนวน 4 บิต ตามด้วยค่าข้อมูล (D9..D0) ส่วนที่เหลืออีก 2 บิต สุดท้ายนั้นจะไม่มี ความหมาย ต่อการทำงานของ DAC อาจมีค่าเป็น "1" หรือ "0" ก็ได้ แต่จำเป็นต้องมี 2 บิต นี้ไว้ เพื่อให้จำนวนบิตข้อมูลครบ 16 บิตพอดี โดยโครงสร้างของ Control Word มีดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของ Control Word

ตำแหน่ง	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ชื่อบิต	A3	A2	A1	A0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X1	X0
หน้าที่	Control Code				Input Code (Data)											ไม่สนใจ

- Control Code มีขนาด 4 บิต (A3..A0) ใช้สำหรับกำหนดหน้าที่การทำงานของ DAC
- Input Code มีขนาด 10 บิต (D9-D0) ใช้สำหรับกำหนดระดับของสัญญาณ AnalogOutput ของ DAC มีค่าระหว่าง 000H - 3FFH(0-1023 ระดับ) โดยที่ระดับสัญญาณ Analog Output นั้นจะมีค่าสัมพันธ์กับ Input Code นี้คือ $V_{out} = (Input\ Code \div 1024) \times V_{REF}$
- X1 และ X0 เป็นบิตข้อมูล จำนวน 2 บิต ซึ่งไม่มีความหมายใดๆ ต่อการทำงานของ DAC แต่ต้องกำหนดเพื่อให้จำนวนบิตข้อมูลของ Control Word ครบสมบูรณ์



รูปที่ 3.21 แสดง Timing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ CS, SCK และ DIN

โดยการส่ง "Control Word" ให้กับ DAC นั้นจะต้องเริ่มต้นด้วยการจัดให้สัญญาณ CS ให้มีค่าเป็น "1" ส่วน SCK ให้มีค่าเป็น "0" รอไว้ก่อน จากนั้นจึงกำหนดให้ CS มีค่าเป็น "0" เพื่อเริ่มต้น การส่งข้อมูลให้กับDACแล้วจึงกำหนดค่าสถานะของDIN ด้วยค่าControl Word บิตนัยสำคัญสูงสุด (A3) ก่อนเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนสถานะของ SCK จาก "0" เป็น "1" เพื่อเลื่อนบิต

ข้อมูลจาก DIN (A3) ให้กับ DIN แล้วจึงทำการเปลี่ยนสถานะของ SCK จาก "1" เป็น "0" เพื่อ ทำการจัดเตรียมบิตข้อมูลถัดไป (A2) ให้กับขา DIN โดยจะวนทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนครบ 16 บิต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงทำให้ CS มีค่ากลับมาเป็น "0" และ ทำการเลื่อนบิตข้อมูลให้กับ DAC ในช่วงขอบขาขึ้นของ สัญญาณ SCK ("0" เป็น "1")

ตารางที่ 3.3 แสดงหน้าที่ของ Control Code สำหรับตั้งงาน DAC

Control Code	Input Register Status	DAC Register Status	Power Down Status	รายละเอียดการทำงานพอสังเขป (Comment)
0-0-0-0	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยนแปลงการทำงานใดๆ ของ DAC
0-0-0-1	Load DAC-A	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	โหลดค่า Data (D0..D9) ให้รีจิสเตอร์ DAC-A
0-0-1-0	Load DAC-B	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	โหลดค่า Data (D0..D9) ให้รีจิสเตอร์ DAC-B
0-0-1-1		สงวนไว้		-
0-1-0-0		สงวนไว้		-
0-1-0-1		สงวนไว้		-
0-1-1-0		สงวนไว้		-
0-1-1-1		สงวนไว้		-
1-0-0-0	ไม่เปลี่ยน	สร้างสัญญาณ (Update Output)	เริ่มทำงาน (Wake)	DAC ออกจาก Sleep Mode และสร้าง $V_{OUT-A,B}$ ด้วยค่าเดิมในรีจิสเตอร์ DAC-A,B
1-0-0-1	Load DAC-A	สร้างสัญญาณ Output Analog	เริ่มทำงาน (Wake)	DAC ออกจาก Sleep Mode โหลดค่า Data ให้DAC-A สร้าง $V_{OUT-A,B}$ ด้วยค่าเดิมในรีจิสเตอร์ DAC-A,B
1-0-1-0	Load DAC-B	สร้างสัญญาณ Output Analog	เริ่มทำงาน (Wake)	DAC ออกจาก Sleep Mode โหลดค่า Data ให้DAC-B สร้าง $V_{OUT-A,B}$ ด้วยค่าเดิมในรีจิสเตอร์ DAC-A,B
1-0-1-1		สงวนไว้		-
1-1-0-0		สงวนไว้		
1-1-0-1	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	เริ่มทำงาน (Wake)	DAC ออกจาก Sleep Mode และสร้าง $V_{OUT-A,B}$ ด้วยค่าเดิมในรีจิสเตอร์ DAC-A,B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-1-1-0	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	หยุดทำงาน (Sleep)	DAC หยุดการทำงาน (Sleep) ค่า DAC-A และ DAC-B ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วน V_{OUT} เป็น High Impedance
1-1-1-1	Load DAC-A และ DAC-B	สร้างสัญญาณ (Update Output)	เริ่มทำงาน (Wake)	Update DAC-A,B ด้วยค่า Data (D0..D9) และสร้าง $V_{OUT-A,B}$ ด้วยค่าในรีจิสเตอร์ DAC ใหม่

จะเห็นได้ว่า DAC นั้นจะมีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมดด้วยกันคือ Wake Mode และ Sleep Mode ซึ่งตามปกติส่วนมากแล้วเราจะใช้งาน DAC กันใน Wake Mode

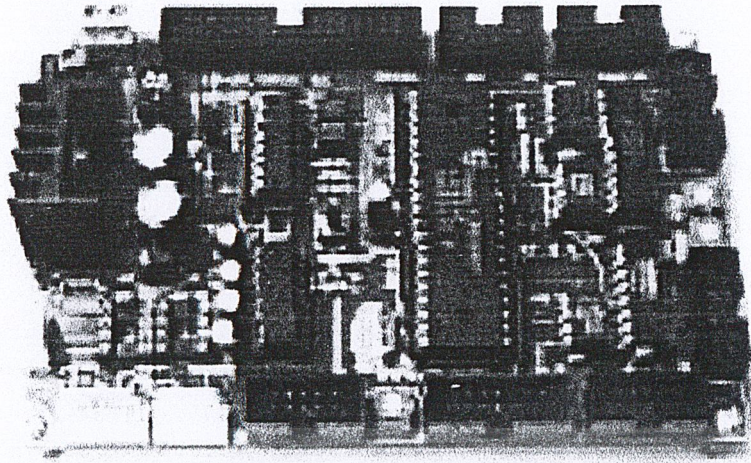
- Wake Mode เป็นการทำงานปกติ ส่วนของสัญญาณ Analog Output ยังคงมีค่าตามที่กำหนดไว้

- Sleep Mode เป็นโหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ DAC ต้องการพลังงานน้อยมาก คือประมาณ $1 \mu A$ สำหรับการเก็บรักษาค่าของข้อมูลใน DAC Register ไว้ ส่วนค่าของสัญญาณ Analog Output 2 ช่อง จะมีสถานะเป็น "High Impedance" ซึ่งเราสามารถตั้งให้ DAC เข้าสู่การทำงานในโหมดนี้ได้โดยการส่ง Control Word ที่มีรหัส Control Code เป็น "1-1-1-0" แต่เมื่อต้องการให้ DAC กลับมาทำงานปกติใหม่อีกครั้งหนึ่ง สามารถทำได้โดยการส่ง Control Word ที่มีรหัส Control Code เป็น "1-0-0-0" ซึ่งสัญญาณ Analog Output ทั้ง 2 ช่องของ DAC จะกลับมามีค่าเหมือนกับก่อนเข้าทำงานใน Sleep Mode ทุกประการ

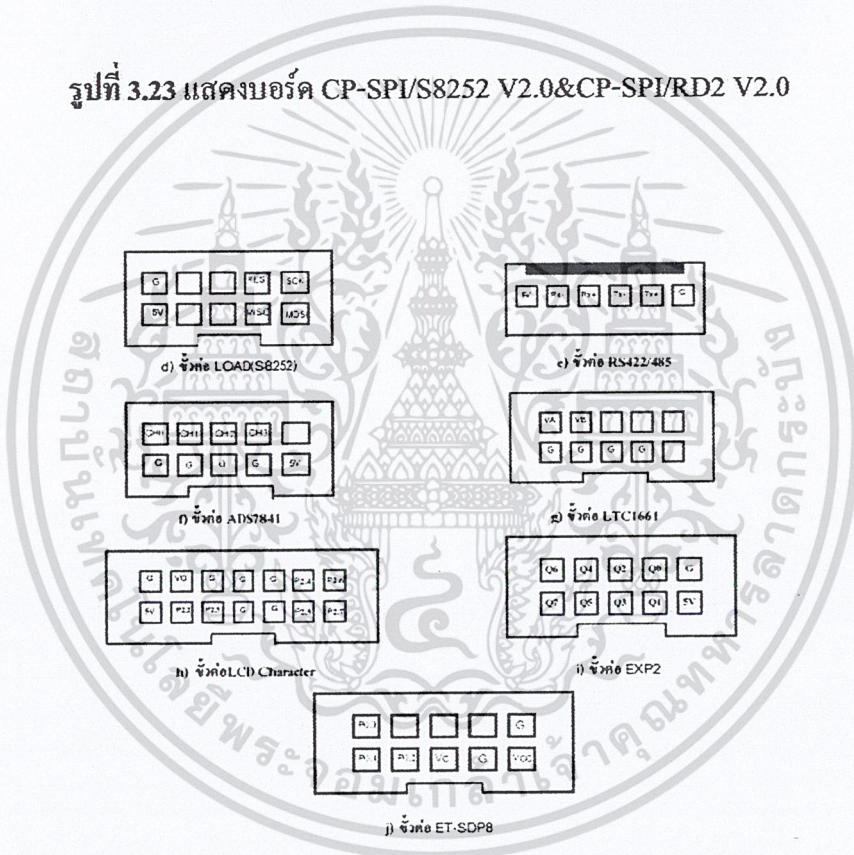


รูปที่ 3.22 แสดงให้เห็นถึงขั้วต่อการใช้งานของ LTC1661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงบอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0&CP-SPI/RD2 V2.0

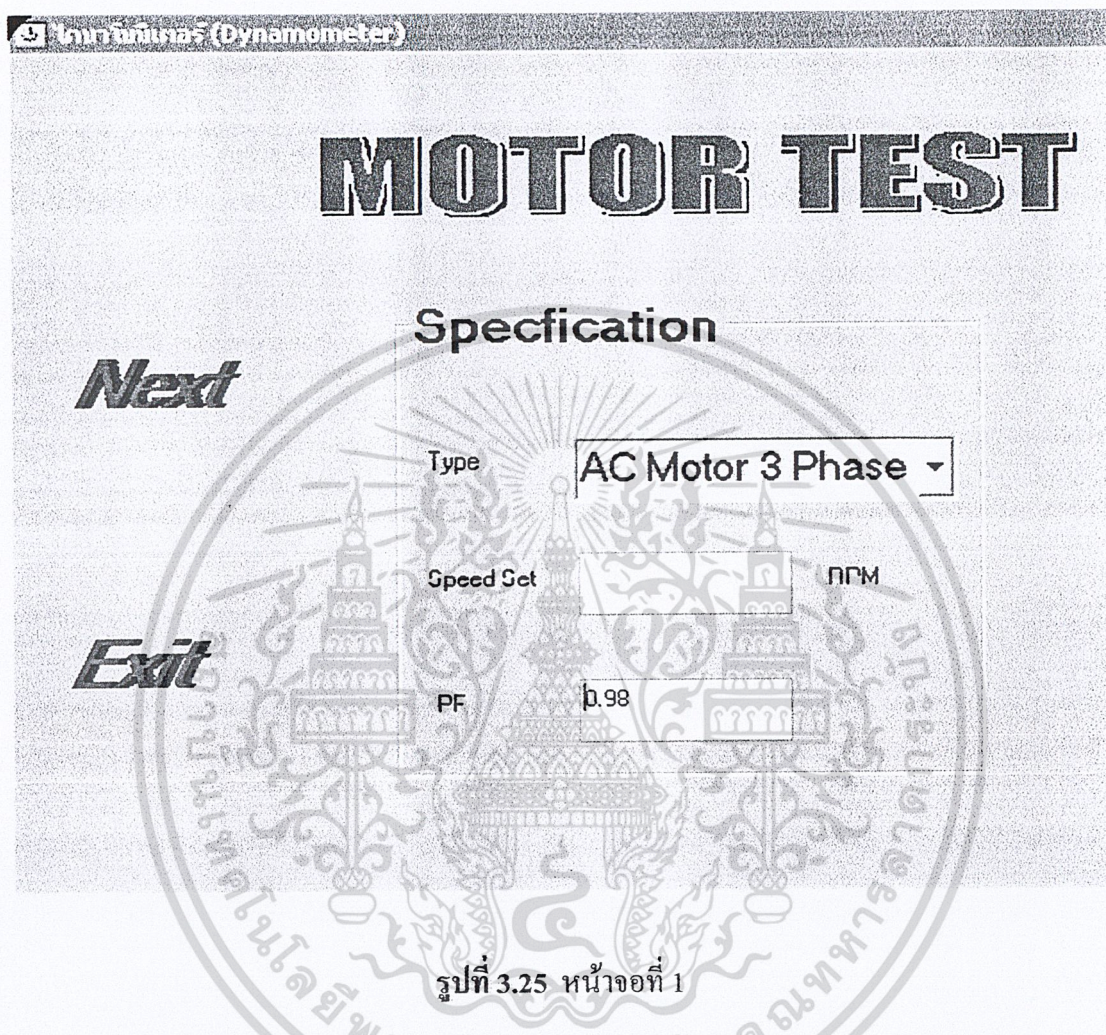


รูปที่ 3.24 แสดงหัวต่อใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ บนบอร์ด CP-SPI/RD2 V2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมโครงงานชนิดนี้เขียนขึ้นมาจากโปรแกรม Visual Basic โดยมีรายละเอียดและหน้าต่างโปรแกรมดังนี้



Type เป็นช่องที่ใช้ในการเลือกชนิดของมอเตอร์ที่นำมาทดสอบ

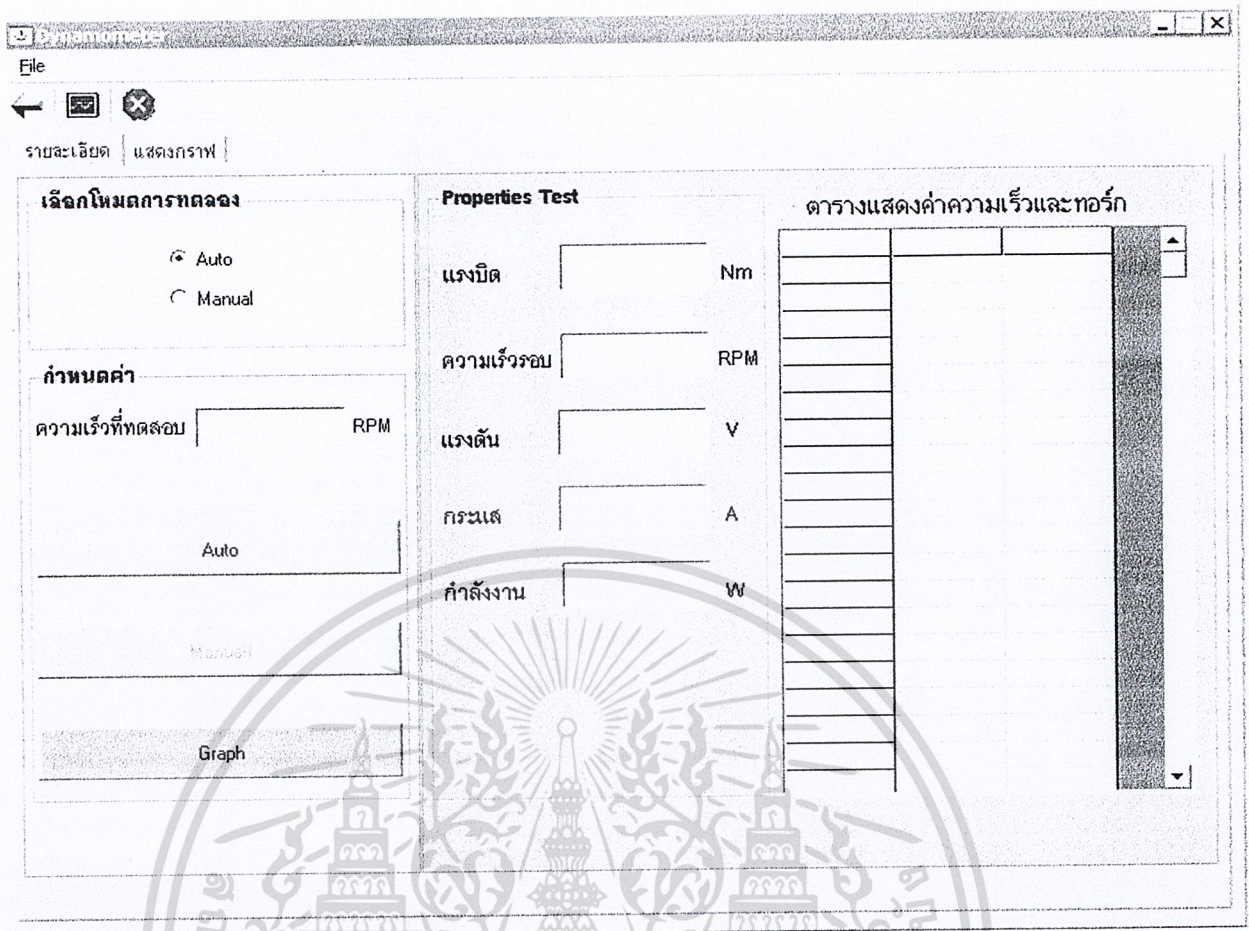
Speed Set เป็นช่องสำหรับป้อนค่าความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบ

PF เป็นช่องสำหรับป้อนค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในกรณีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ปุ่ม Next เมื่อเราทำการป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆของมอเตอร์จนครบจากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อเข้าสู่ หน้าจอที่ 2

ปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจาก โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 หน้าจอที่ 2

โหมดการทดลอง มีให้เลือก 2 โหมด คือ

- โหมด Auto จะเป็นการทดสอบแบบอัตโนมัติโดยเราจะทำการเซ็ทให้มอเตอร์วิ่งที่ความเร็วรอบสูงสุด คือที่ 1500 รอบและทำเบรกตั้งแต่ค่าที่ความเร็วรอบสูงสุด โดยจะเพิ่มการเบรกจนค่าความเร็วรอบเป็นศูนย์โดยค่าหากทำการเบรกมากขึ้นเท่าไรค่าความเร็วรอบก็จะยิ่งลดลง ในทางกลับกันค่าแรงบิดจะเพิ่มมากขึ้น
- โหมด Manual โหมดนี้ใช้สำหรับทำการทดสอบค่าความเร็วรอบตามค่าที่เราต้องการที่ค่านั้นค่าเดียว

ปุ่ม Auto กดเมื่อต้องการทำการทดสอบในโหมด Auto

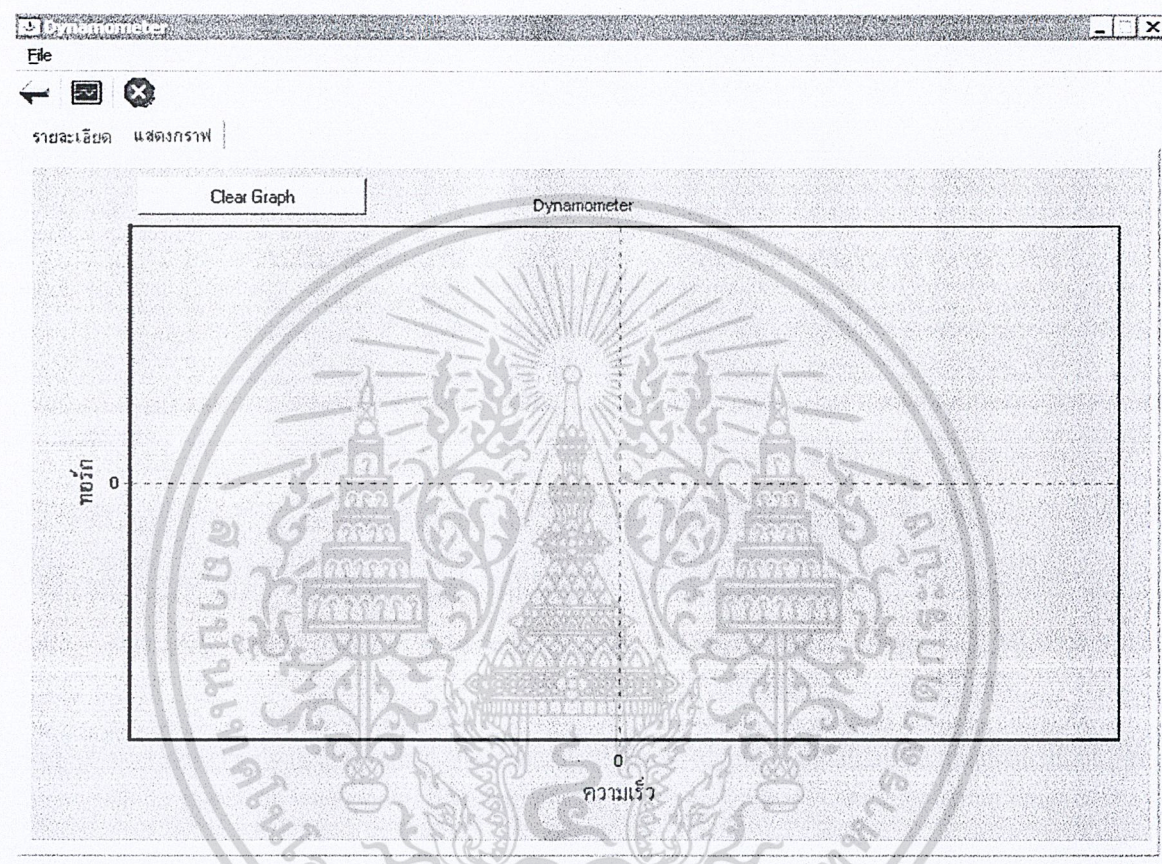
ปุ่ม Manual กดเมื่อต้องการทดสอบในโหมด Manual โดยต้องทำการป้อนค่าความเร็วทดสอบในช่อง “ความเร็วที่ต้องการทดสอบ”

ปุ่ม Graph กดเมื่อเราต้องการแสดงกราฟ โดยจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties Test เป็นการแสดงค่าคุณลักษณะต่างๆที่ได้จากการทดลองโดยจะมีค่า แรงบิด กระแส แรงดัน ความเร็วรอบและกำลังงาน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างรวดเร็วที่ความเร็วรอบต่างๆ

ตารางแสดงค่าความเร็วและทอร์ก ตารางในส่วนนี้ใช้สำหรับเก็บค่าความเร็วและทอร์กใช้ในกรณีที่เราต้องการดูข้อมูลอย่างละเอียดซึ่งค่าจากตารางนี้จะนำไปพล็อตกราฟ



รูปที่ 3.27 หน้าจอที่ 3

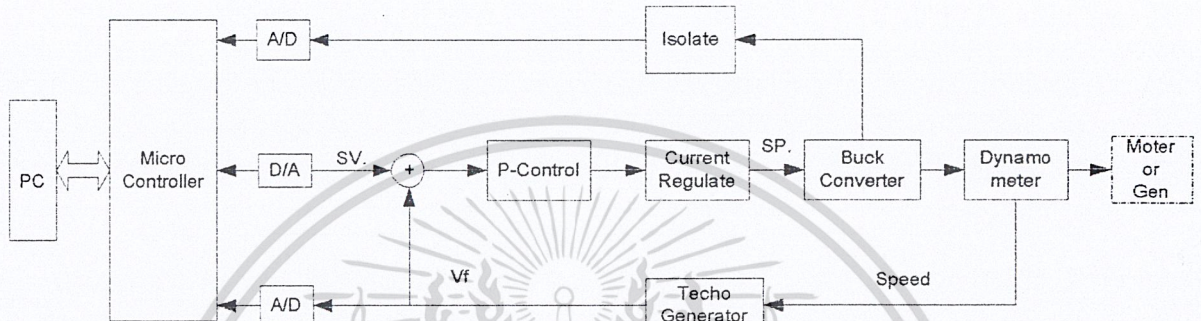
หน้าจอที่ 3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วรอบกับค่าแรงบิดปุ่ม **Clear Graph** ใช้เมื่อต้องการให้ทำการพล็อตกราฟใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองไดนาโมมิเตอร์ การทดลองและเปรียบเทียบที่ได้จากคอมพิวเตอร์ในโปรแกรมกับค่าที่ได้จริง และการทดลองการควบคุมความเร็วโดยการเบรก



รูปที่ 4.1 บล็อกการทำงานของไดนาโมมิเตอร์โดยรวม

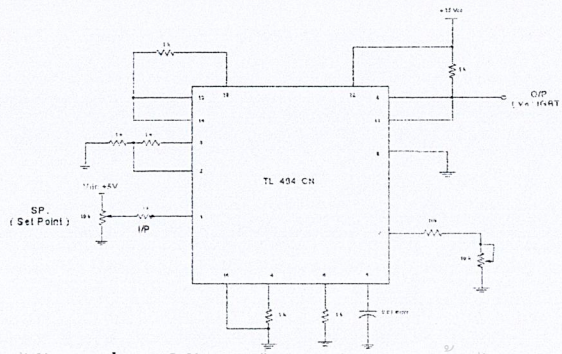
4.1 มอเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

ในโครงการนี้มอเตอร์ที่ใช้ทดสอบคือ Induction Motor 3 เฟส 4 โพล 1/2 แรงม้า 1400 RPM ในการทดสอบเพื่อนำมาวัดค่าคุณลักษณะ ดังรูปที่ 4.1 (รูปบล็อกเป็นเส้นประ) โคนการควบคุมความเร็วรอบจะใช้ Inverter Speed control ปรับค่าความเร็วรอบตามต้องการ

4.2 การทดลองวงจรควบคุม

4.2.1 วงจร Pulse width Modulation

ในวงจร Pulse width Modulation ใช้ IC เบอร์ TL494 เป็นตัวสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อไปทริกให้วงจรขับเคลื่อนทำงาน รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงสัญญาณพัลส์จากวงจร PWM



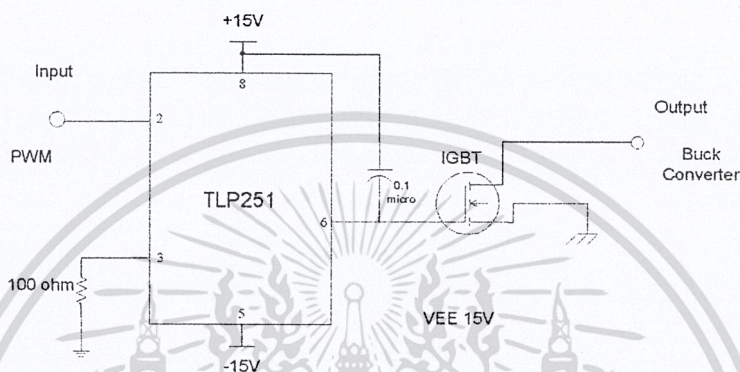
รูปที่ 4.2 แสดงวงจร Pulse Width Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่วนหนึ่งสำหรับใช้คนเดียวหรือใช้ร่วมกันกับเพื่อนในกลุ่มเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วงจรขับเคลื่อน

ในวงจรขับเคลื่อนจะใช้ IC เบอร์ 6N139 จะใช้ Transistor เบอร์ 2N3053 เพื่อใช้ในการเพิ่มแรงดันของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อให้แรงดันคงที่เพียงพอที่จะขับ IGBT โดยมีการแยกกราวด์ของสัญญาณเพื่อป้องกันการเสียหาย

Gate circuit



รูปที่ 4.3 แสดงรูปวงจรถูกขับเคลื่อน

4.3 การทดสอบมอเตอร์

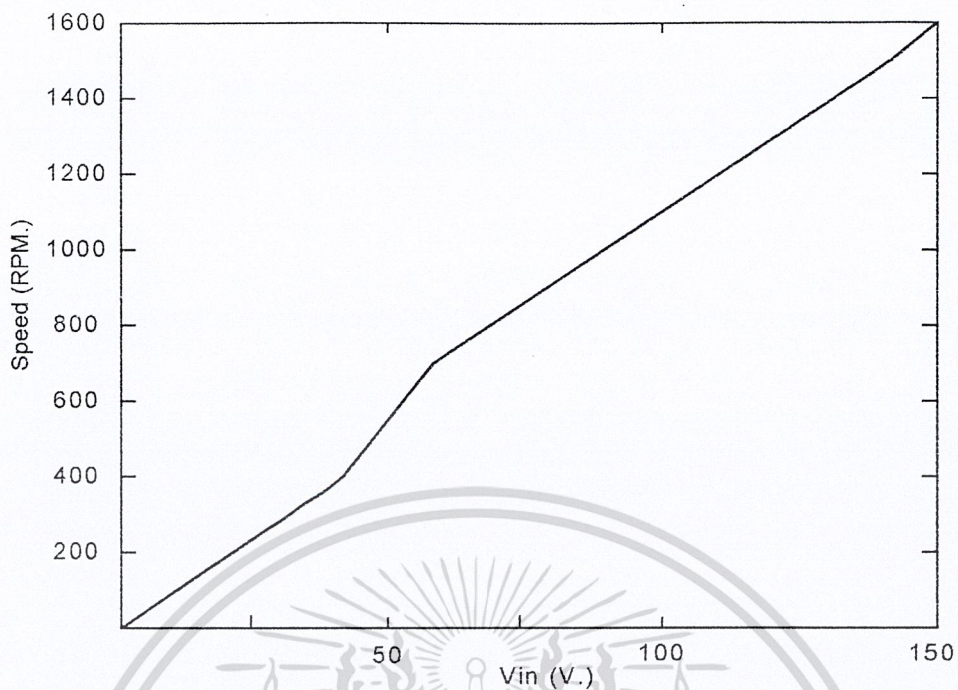
การทดสอบมอเตอร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ๆของมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบมอเตอร์

V_{in}	I (mA)	V_{out} (Vdc)	RPM	P (mWatt)
0	0	0	0	0
20.06	58.5	16.94	184.5	1120.925
40.5	117	37	340	4715.1
60	192.3	56.2	672.7	1156.46
80	204.1	75.5	864.8	16392.8
100	213.6	95.4	1063.49	213981.36
120	222.9	115.4	1255.61	26770.3
140	230.5	134.90	1447.72	32270
149.5	239.9	144.1	1565	35416.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

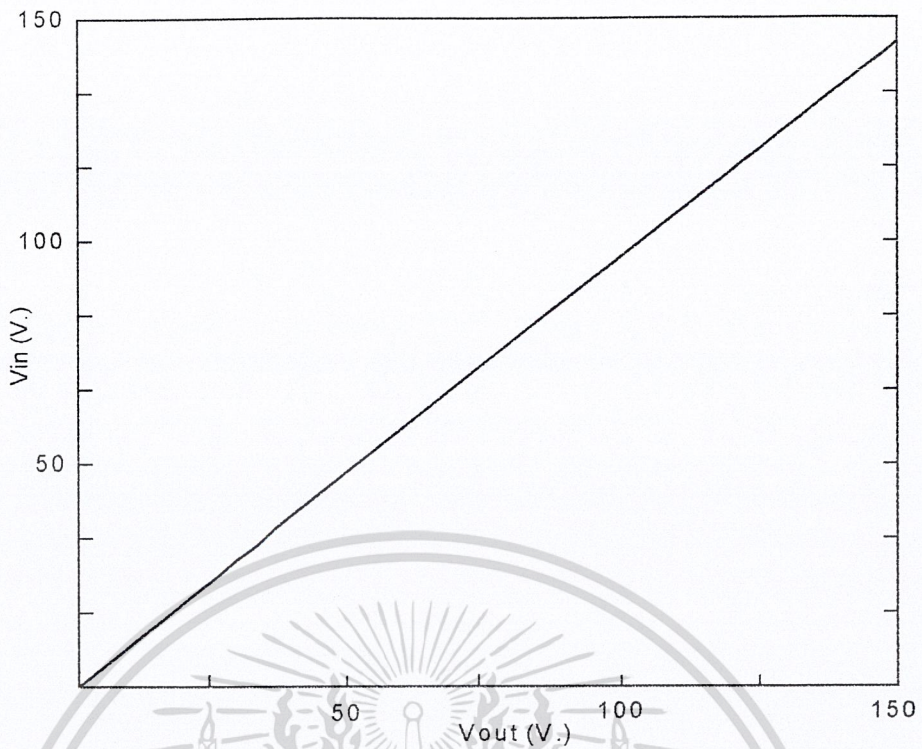
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับความเร็วรอบ (RPM)

$$K_1 = (149.5-0) / (1565.0-0) = 0.0955 \text{ V / RPM}$$

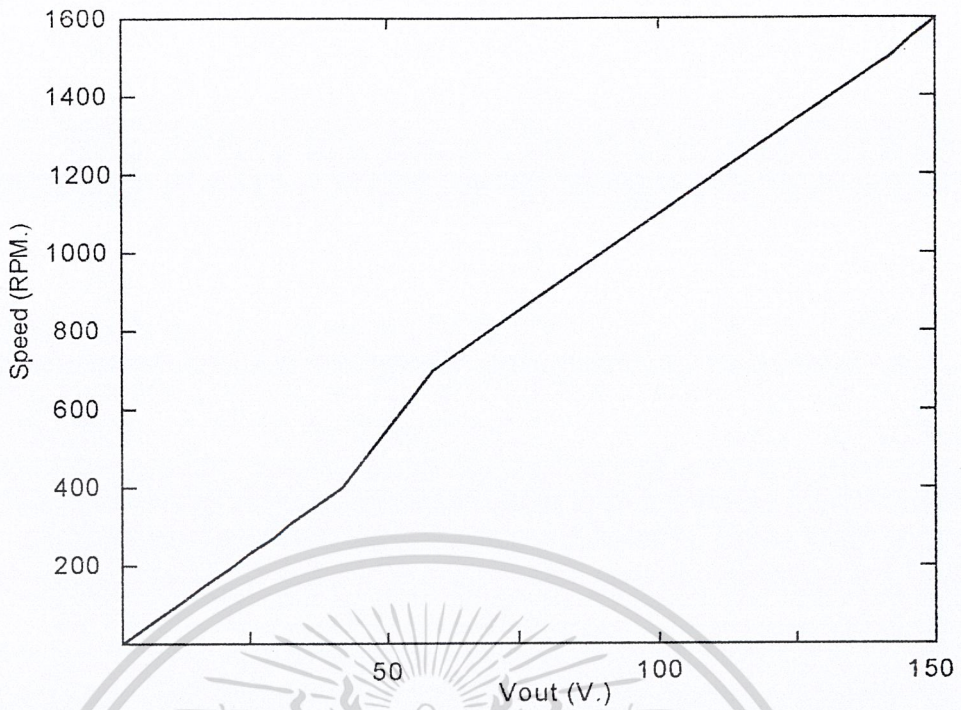
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} กับ V_{in}

$$K_2 = (144.1 - 0) / (149.5 - 0) = 0.964$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} กับความเร็วรอบ (RPM)

$$K_3 = (1.441 - 0) / (1565.5 - 0) = 0.0921 \text{ V / RPM}$$

K_1 = อัตราส่วนระหว่าง V_{in} กับความเร็วรอบ (RPM)

K_2 = อัตราส่วนระหว่าง V_{out} กับ V_{in}

K_3 = อัตราส่วนระหว่าง V_{out} กับความเร็วรอบ (RPM)

V_{in} = แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

V_{out} = แรงดันที่ได้มาจาก Tachogenerator

จากอัตราส่วนของ K_1 , K_2 , K_3 เราจะใช้คำนวณค่าเพื่อหา V_{in} และความเร็วรอบเนื่องจากเราได้ค่า V_{out} มาเพียงค่าเดียว จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบเบื้องต้น เพื่อเป็นค่าพื้นฐานในการออกแบบวงจรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ได้จาก Tachogenerator กับแรงดันที่จะนำมาเป็น Process Value (PV.)

แรงดันที่ได้จาก Tachogenerator	Process Value (PV.)
20.2	0.908
30.3	1.19
40.3	1.477
50.1	1.756
60.1	2.038
70.3	2.332
79.8	2.606
90.3	2.90
99.9	3.18
110.4	3.46
120.3	3.75
130.3	40.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 การทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

1. เราจะปรับความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้ววัดค่าความเร็วรอบด้วย Tachometer เพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วรอบที่ scale บนกล่องควบคุมและค่าความเร็วรอบในโปรแกรม
2. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าในโปรแกรม

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ DC Motor

V-supply (V)	V-tacho Gen (V)	N (RPM)
4.44	2.3	326
47.2	45.6	516
69.2	67.6	766
90	88.1	999
136.2	132.6	1496
179.8	178.6	2002
222.7	221.7	2495
267	265.5	3007
311	308.9	3494
354	355	4004
399	396	4493

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางการทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

ความเร็วรอบ (RPM.)			แรงดันไฟฟ้า (V.)	
Tachometer	Scale	Program	Meter	Program
300	360	302	37	34
453	480	456.85	40.0	45.35
606	620	610.8	53.5	57.1
750	750	758.154	66.3	68.4
904	900	905.5	79.8	79.6
1049	1035	1059.44	92.8	91.3
1204	1195	1213.43	106.4	102.3
1047	1040	1059.44	92.8	91.4
900	900	912.149	79.3	80.04
748	750	751.43	65.8	67.8
598	600	604.15	52.9	56.58
451	470	450.18	39.7	44.86
302	360	302.86	26.6	33.64

4.4.2 การทดสอบมอเตอร์ขณะทำการเบรกของมอเตอร์

1. ทำการปรับมอเตอร์ขณะยังไม่ทำการเบรกมาที่ค่าหนึ่ง ซึ่งในที่นี้ใช้ 900 rpm.
2. ทำการวัดค่าความเร็วรอบและแรงดันขณะที่ยังไม่ทำการเบรก
3. เริ่มเบรกมอเตอร์ ณ ความเร็วต่างๆ
4. วัดค่าความเร็วรอบจาก Tachometer เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ Scale บน ก่อ่งควบคุมและโปรแกรม
5. วัดค่าแรงดันไฟฟ้า และแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน
6. นำมาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่า Toque จากการ Test Motor (AC MOTOR) ด้วยตราชั่งสปริง

N (RPM)	Torque (N-m)
516	0.7725
766	1.1159
955	1.2875

ตารางที่ 4.6 การทดสอบมอเตอร์ขณะทำการเบรก

ความเร็วรอบ (RPM.)		แรงดันไฟฟ้า (V.)		กระแส (A.)		กำลังไฟฟ้า (W.)		แรงบิด (N-m)		แรง ดันตก คร่อม R (V)
Tacho meter	โปร แกรม	ค่า นวน	โปร แกรม	ค่า นวน	โปร แกรม	ค่า นวน	โปร แกรม	ค่า นวน	โปร แกรม	
787	724.677	62.9	65.705	0.962	0.933	60.56	61.303	0.807	0.845	2.792
645.8	584.075	48.3	55.059	1.376	1.225	66.456	67.447	1.154	1.143	3.99
467.6	396.604	31.9	40.784	1.514	1.312	48.290	53.508	1.270	1.231	4.39
324.1	235.916	19.55	28.549	1.735	1.4857	33.910	42.415	1.455	1.407	5.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการทดลองการทำงานของโปรแกรม

ต่อไปจะเป็นตัวอย่างการสั่งงานและการดูค่าคุณสมบัติต่างๆบนหน้าจอเมื่อทำการทดสอบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

The screenshot shows a software window titled 'Properties Test' with several sections:

- Section 1 (เลือกโหมดการทดลอง):** Radio buttons for 'Auto' (selected) and 'Manual'.
- Section 2 (กำหนดค่า):** A text box for 'ความเร็วที่ทดสอบ' (Test speed) set to '1500' RPM, with 'Auto' and 'Graph' options below it.
- Section 3 (Properties Test):** Real-time monitoring values:
 - แรงบิด (Torque): 893 Nm
 - ความเร็วรอบ (Speed): 775.294 RPM
 - แรงดัน (Voltage): 75.816 V
 - กระแส (Current): 1.294 A
 - กำลังงาน (Power): 98.106 W
- Section 4 (ตารางแสดงค่าความเร็วและทอร์ก):** A table with 3 columns: ลำดับที่ (Order), ความเร็ว [%] (Speed [%]), and ทอร์ก [%] (Torque [%]). It contains 64 rows of data.

หมายเลขที่ 1 ให้เราเข้าไปคลิกเลือกโหมดการทดลองว่าจะเลือกแบบใด โดยข้อแตกต่างระหว่างทั้งสองโหมดนี้ได้อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้อันแล้ว โดยได้ยกตัวอย่างทดลองในโหมด Auto

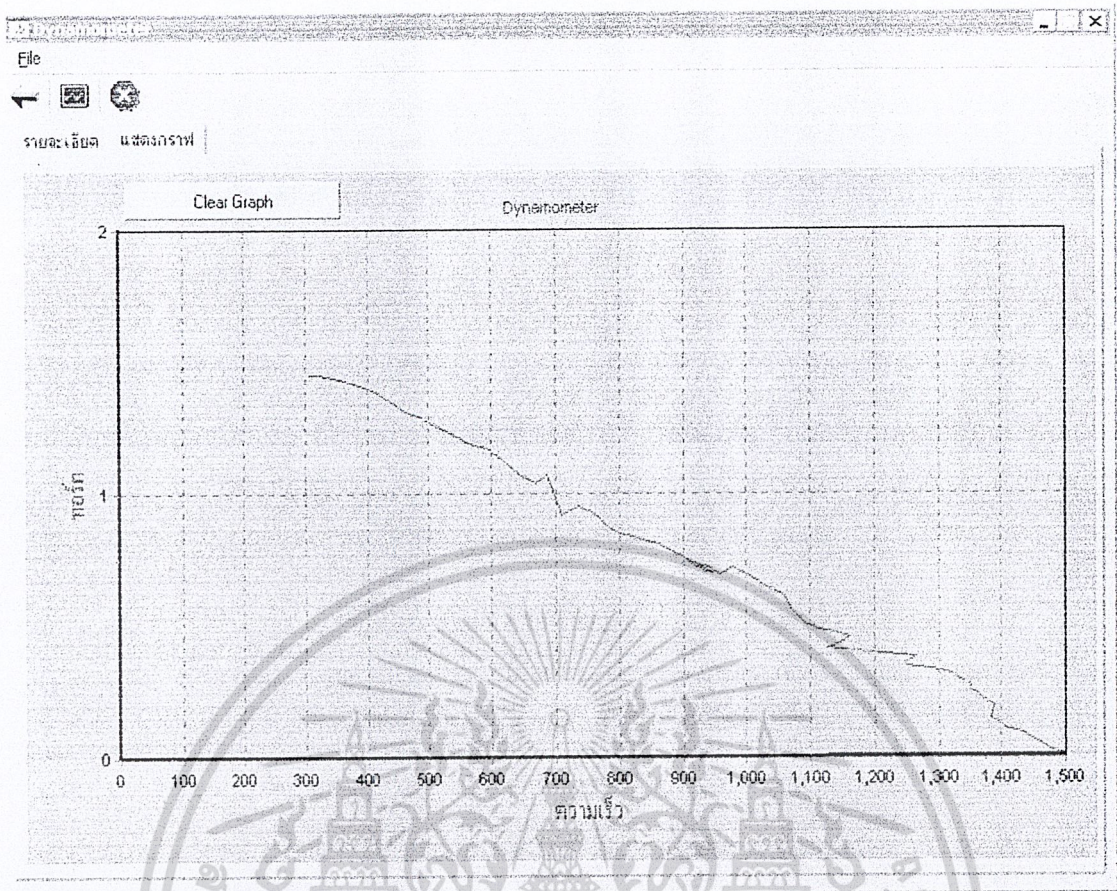
หมายเลขที่ 2 คลิกปุ่ม Auto เพื่อสั่งงานให้ทำการเบรก(สังเกตที่ตัวมอเตอร์จะหมุนช้าลง)

หมายเลขที่ 3 ในหัวข้อ properties test เป็นค่าคุณสมบัติต่างๆเมื่อเราทำการเบรกโดยค่าที่ได้จะแสดงเป็น Real time เปลี่ยนแปลงไปตามค่าที่ความเร็วรอบต่างๆ

หมายเลขที่ 4 เป็นตารางแสดงค่าความเร็วรอบและทอร์กโดยตารางนี้จะใช้เก็บค่าทอร์กที่ความเร็วรอบต่างๆโดยจะทำการสุ่มค่ามาทั้งหมด 64 ค่าในการทดสอบแต่ละครั้ง

หมายเลขที่ 5 คลิกปุ่ม "แสดงกราฟ" เมื่อเราต้องการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปเป็นตัวอย่างกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด โดยเราสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อทำการเซ็ทค่าให้มอเตอร์วิ่งที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ จากนั้นเมื่อเราทำการเบรก ณ ที่ความเร็วรอบต่างๆจะเห็นได้ว่า หากทำการเบรกเพิ่มมากขึ้นเท่าไรจะทำให้เกิดค่าแรงบิดที่แกนเพิ่มขึ้นเนื่องจากขณะที่ทำการเบรก มอเตอร์จะกินกระแสไฟฟ้ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลปริญญานิพนธ์

ในโครงการนี้ใช้ ไอซี TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งใช้งานง่าย สามารถปรับความถี่และ Duty cycle เพื่อใช้เป็นสัญญาณมาตรฐานไปควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งไปควบคุมการตัดต่อ เพื่อใช้ในการเบรกมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการ เนื่องจากการนำสัญญาณที่ได้จาก Tachogenerater ไปเป็นสัญญาณป้อนกลับ ไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วรอบที่เราต้องการ ซึ่งในสถานะที่มอเตอร์เบรกนั้น จะได้ค่าพารามิเตอร์ออกมา ซึ่งทำให้เราทราบค่ากำลังงานและแรงบิดเพื่อใช้ในการควบคุมการป้อนกลับ

5.2 วิจารณ์ปริญญานิพนธ์

ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีปัญหาในการติดต่อยู่พอสมควร รวมถึงค่าที่จะติดต่อส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น มีสัญญาณรบกวนอยู่ ทำให้เกิดค่าผิดพลาดได้

อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง จะมีปัญหาบ่อยเนื่องจากตัดต่อวงจรที่มีค่ากระแสไหลผ่านสูง จึงต้องเลือกอุปกรณ์สวิตซ์ที่มีความทนทานสูงๆ

5.3 แนวทางการพัฒนา

เพิ่มพิกัดของมอเตอร์ให้สูงกว่านี้ พร้อมกับเพิ่มพิกัดของอุปกรณ์ให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถทดสอบมอเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นได้อีก

ในส่วนของการแสดงผลทำตัวแสดงผลให้เป็นแบบดิจิทัลแทนแบบเข็มได้ก็จะดี

5.4 ประสพการณ์ที่ได้รับ

หลังจากที่ได้ทำโครงการนี้ สิ่งที่ได้รับคือ การเรียนรู้การทำงานของวงจรต่างๆ ดีขึ้น การเรียนรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และการควบคุมมอเตอร์ รวมไปถึงการวางแผนงาน การสร้างความรับผิดชอบ การแบ่งงานที่เหมาะสม การทำงานร่วมกับผู้อื่นช่วยเหลือซึ่งกันและกัน รวมไปถึงสร้างเสริมความอดทน อดกลั้นต่อแรงกดดันต่างๆ สามารถนำประสพการณ์ต่างๆ เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เพื่อที่จะสามารถ ดำเนินชีวิตอย่างมีความสุข และประสพความสำเร็จในชีวิตสืบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ไชยชาญ หินเกิด. เครื่องกลไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุดมศึกษา , 2539
2. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ:บริษัท ทีพี พรินท์ จำกัด , 2537
3. ไมตรี วรวิมลจรยากุล. เครื่องกลไฟฟ้าเบื้องต้น เล่ม 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. :ศูนย์การพิมพ์พลชัย
4. กฤษฎา ใจเย็น , อรรถพล บุญยะโกศา และ ชัยวัฒน์ ลิ่มพนจิตรวีไล . เรียนรู้ปฏิบัติการ เชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม. กรุงเทพฯ:บริษัทอินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด
5. เอกสารประกอบการศึกษาวิชา **Electric Drive**. ภาควิชาการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



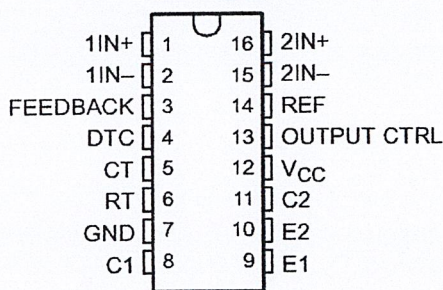
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

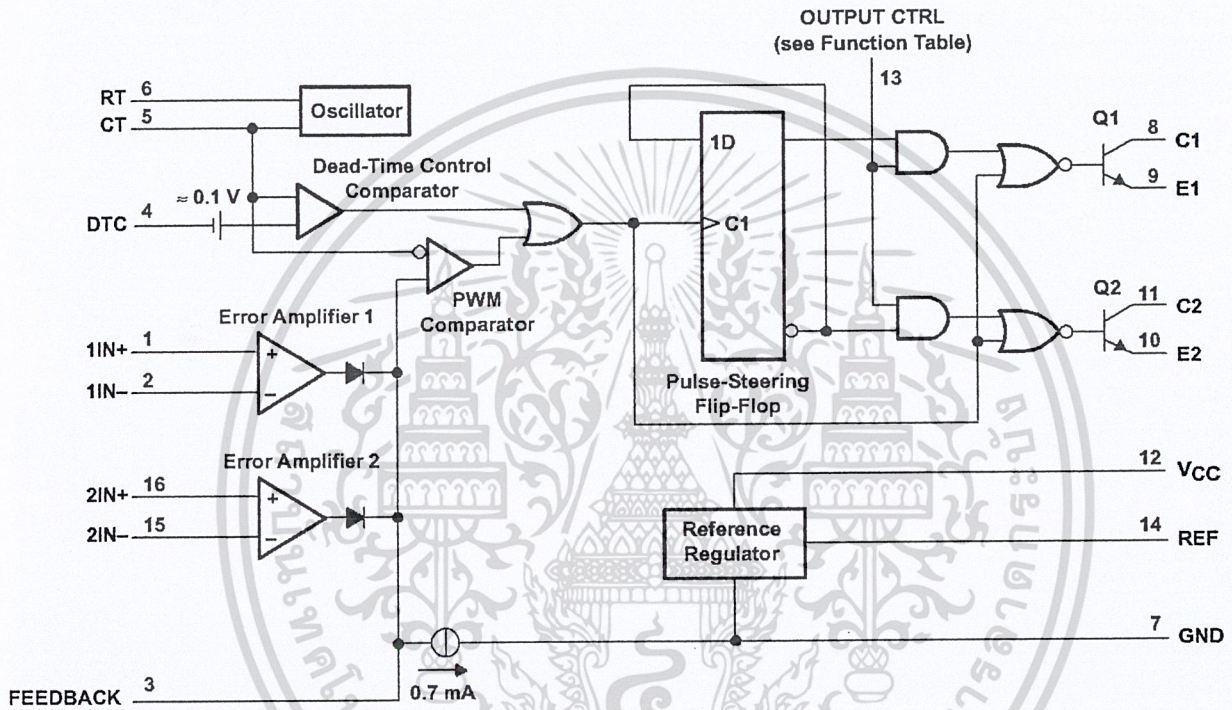
SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES				CHIP FORM (Y)
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)	
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

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

		TL494	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		41	V
Amplifier input voltage, V_I		$V_{CC}+0.3$	V
Collector output voltage, V_O		41	V
Collector output current, I_O		250	mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3)	D package	73	°C
	N package	88	
	NS package	64	
	PW package	108	
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		D, N, or PW package	260 °C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	°C

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

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.
 2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
 3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

	TL494		UNIT
	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	7	40	V
Amplifier input voltage, V_I	-0.3	$V_{CC}-2$	V
Collector output voltage, V_O		40	V
Collector output current (each transistor)		200	mA
Current into feedback terminal		0.3	mA
Oscillator frequency, f_{osc}	1	300	kHz
Timing capacitor, C_T	0.47	10000	nF
Timing resistor, R_T	1.8	500	kΩ
Operating free-air temperature, T_A	TL494C	0	70 °C
	TL494I	-40	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC}-2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$	70	95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$	0.3	0.7		mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$	-2			mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		1		Hz/kHz

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		2		mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25		nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2		μA
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V		0.7		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$	2	100		μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter $V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$	1.1	1.3		V
	Emitter follower $V_O(C1\text{ or }C2) = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$	1.5	2.5		
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$	-2	-10		μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45%		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	V
	Maximum duty cycle	0			

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3		100	200	ns
Fall time			25	100	ns
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4		100	200	ns
Fall time			40	100	ns

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

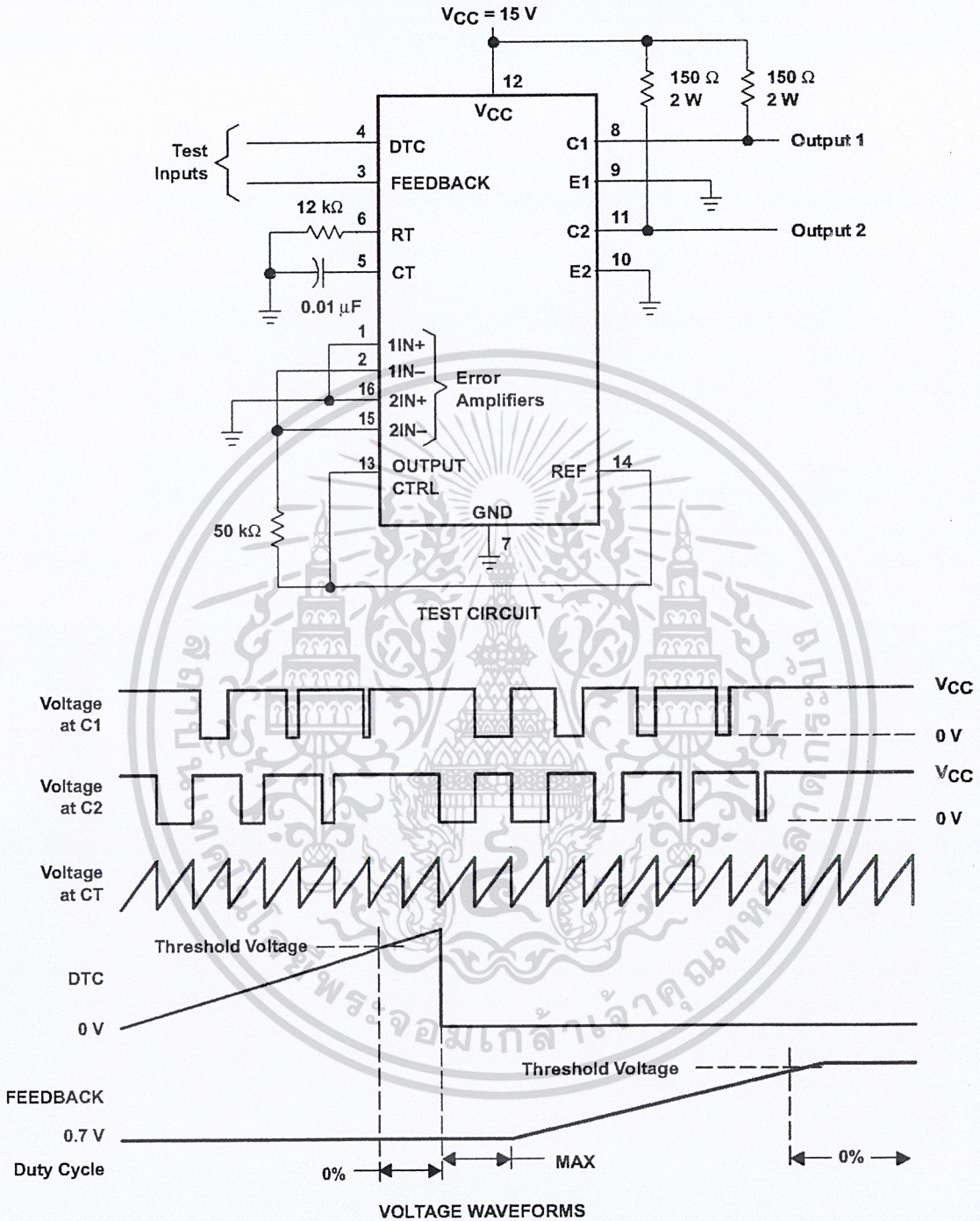


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

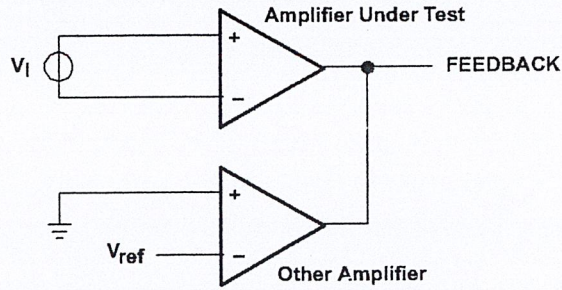
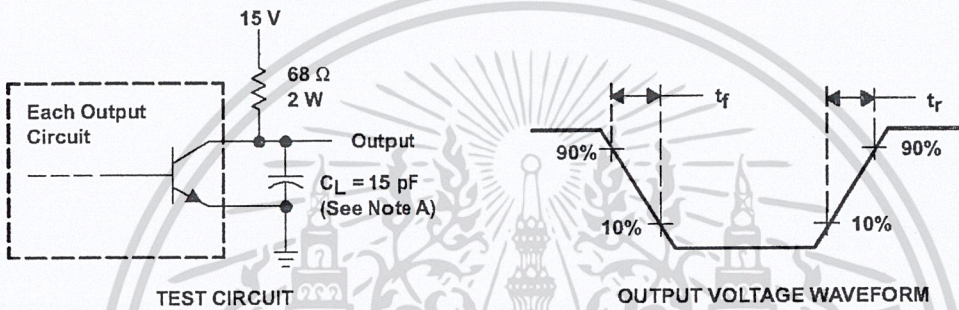
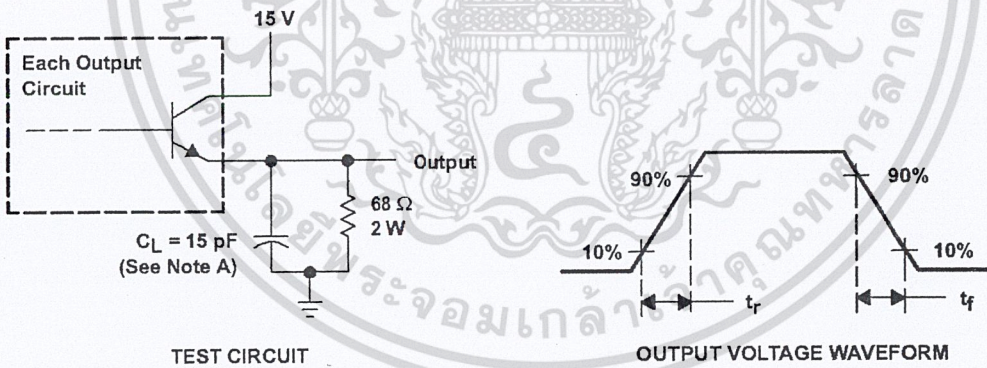


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TYPICAL CHARACTERISTICS

OSCILLATOR FREQUENCY AND
FREQUENCY VARIATION†

vs
TIMING RESISTANCE

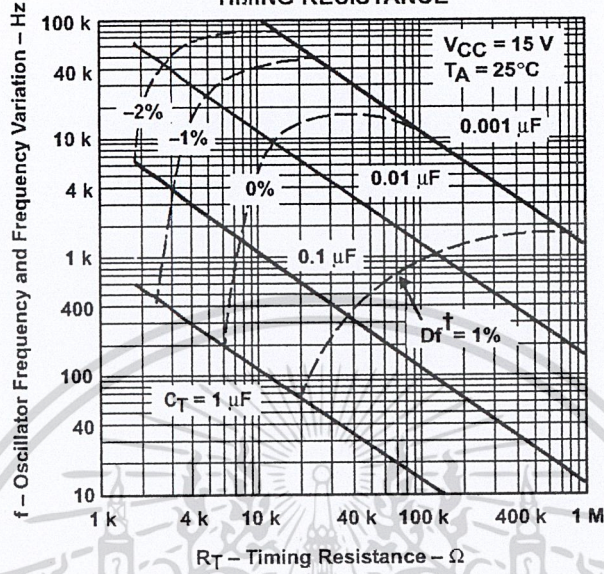


Figure 5

AMPLIFIER VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY

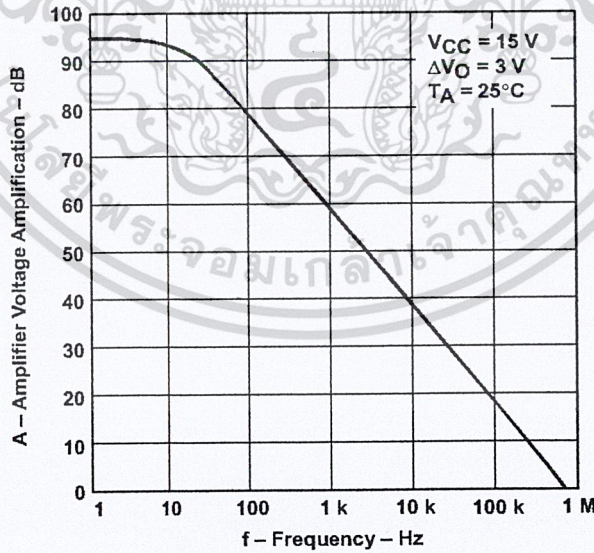


Figure 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้