สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไดนาโมมิเตอร์

DYNAMOMETER

นายเจษฎา สุขเกษม

นายชัยวัฒน์ พรหมภา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

TJ220
.S85
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45850
วัน, เดือน, ปี 9 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b11628146

DYNAMOMETER

JASSADA SUKKASEM

CHAIWAT PHROMPHA

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 INSTRUMENT OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ไดนาโมมิเตอร์

DYNAMOMETER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายเจษฎา สุขเกษม รหัสประจำตัว 42015383

นายชัยวัฒน์ พรหมภา รหัสประจำตัว 42015384

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ. ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ อาจารย์ไสว พงศ์สวัสดิ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2545

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ไดนาโมมิเตอร์	
	D YNAMOMETER	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายเจษฎา	สุขเกษม
	นายชัยวัฒน์	พรหมภา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ประภาษ	อุคคกิมาพันธุ์
	อาจารย์ไสว	พงศ์สวัสดิ์
ปีการศึกษา	2544	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและทดลอง ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเจนเนอเรเตอร์กระแสตรง โดยอาศัยหลักการของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรควบคุมกระแส (Current Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมการเบรกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) ที่ทำหน้าที่เป็นไดนาโมมิเตอร์ และควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อให้พลังงานกลกับเจนเนเรเตอร์ ในส่วนของการควบคุมความเร็วในสภาวะการเบรก จะใช้วงจรควบคุมพี (Proportional Control) โดยทำการควบคุมเป็นลูปปิด ซึ่งใช้สัญญาณจากทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวป้อนกลับ ในส่วนของการแสดงผลจะใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S8252 และแสดงค่าแรงบิด ความเร็วรอบ และกำลังงานของมอเตอร์ที่ต้องการทราบบนจอมอนิเตอร์ และควบคุมการทำงาน โปรแกรมที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม คือ โปรแกรม Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Dynamometer	
Authors	Mr. Jessada	Sukkasem
	Mr. Chaiwat	Phrompha
Thesis Advisor	Asst. Prof. Prapat	Ukakimaparn
	Mr. Sawai	Pongsawatd
Year	2001	

ABSTRACT

The thesis describes the design , experiment and invention for the Dynamometer , using the theory of DC Machine consist Motor and Generator. We used Current Regulator for control DC Generator's braking , work as a Dynamometer and control motor's speed. About Speed Control in braking state , we used Proportional Control to control close loop that uses feedback signal from Tachogenerator. In display part we use the computer that connect with Microcontroller AT89S8252 Board and I^2C Board too. 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ หากไม่ได้รับความเมตตาอนุเคราะห์อย่างดีจาก อาจารย์ไสว พงศ์สวัสดิ์ และ ผศ. ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ และคอยเอาใจใส่เป็นอย่างดี พวกเราขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในห้องสโตร์ทุกท่าน ที่คอยสนับสนุน และให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

ขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยให้คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้สามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ร่วมงานในห้องโครงงานด้านหลังภาค และที่ห้อง Factory Automation รวมไปถึงเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงคอยให้กำลังใจคอยห่วงใยตลอดมา ทำให้พวกเรามีกำลังใจที่จะทำงานต่อไปแม้ในยามที่อ่อนล้า

และที่สำคัญมากๆ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ในทุกๆ ด้าน ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ พวกเรารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณนี้ยิ่งนัก

ให้ความรู้ และประโยชน์ต่างๆ อันพึงจะได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ พวกเราขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญรูป..... VI

สารบัญตาราง..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์..... 1

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์..... 2

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 ควอแดรนท์การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง..... 17

2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง..... 19

2.7 การควบคุมแบบ PID 22

2.8 มาตราฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS – 232 25

2.9 คอนโทรล MSComm..... 28

2.10 การเชื่อมต่อกับระบบ I^2C..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 34

3.1 วงจร Pulse Width Modulation 34

3.2 วงจรขับเกต 39

3.3 วงจรควบคุมแบบ Proportional 39

3.4 วงจร Feedback 40

3.5 วงจรBuck Converter 41

3.6 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ 41

3.7 วงจรแปลงสัญญาณ I^2C 42

3.8 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF 8591 43

3.9 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของ PCF8591 44

3.10 บอร์ด EX – 08 บอร์ด ADC / DAC ผ่านระบบบัส I^2C 46

3.11 โปรแกรมควบคุม 47

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 53

4.1 มอเตอร์ที่ทดสอบ 53

4.2 การทดลองวงจรควบคุม 53

4.3 การทดสอบมอเตอร์ 56

4.4 ผลการทดลอง 59

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 66

5.1 สรุปผลปริญญานิพนธ์ 66

5.2 วิจารณ์ปริญญานิพนธ์ 66

5.3 แนวทางการพัฒนา 66

5.4 ประสบการณ์ที่ได้รับ 67

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน	2
2.1	แสดงโครงสร้างทางไฟฟ้า	4
2.2	กราฟความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	5
2.3	แสดงทิศทางของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ	5
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสในอาร์เมเจอร์	9
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	10
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด	11
2.7	แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง	12
2.8	แสดงกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง	13
2.9	แสดงการทำงานในโหมดมอเตอร์	14
2.10	แสดงการทำงานในโหมดรีเจนเนเรเตอร์	14
2.11	แสดงการทำงานในโหมดไดนามิค	15
2.12	แสดงวิธีการหยุดมอเตอร์ดีซีด้วยไดนามิกเบรกกิ้ง	16
2.13	แสดงการทำงานในโหมดปลักกิ้งโดยการกลับขั้วของแรงดันที่อาร์เมเจอร์	16
2.14	แสดงทิศทางของกระแสแรงดันของการทำงานแบบปลักกิ้ง	17
2.15	แสดงทิศทางของกระแสและแรงดันในการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์	18
2.16	แสดงทิศทางการหมุนและแรงบิดของมอเตอร์ในการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์	19
2.17	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น	20
2.18	ความช้าในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม	22
2.19	แสดงการควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ	23
2.20	แสดงการจัดขาของคอนเนกเตอร์ของพอร์ตอนุกรม	26
2.21	แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรม	27
3.1	แสดงวงจร Pulse Width Modulation	34
3.2	แสดงโครงสร้างภายในของไอซี TL 494	35
3.3	แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่	36
3.4	แสดงรูปลักษณะการทำงานของ TL 494	37
3.5	แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาท์พุตของ TL 494	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	แสดงการต่อไอซี TL 494	38
3.7	แสดงอุปกรณ์ต่อวงจรขับเกต	39
3.8	แสดงอุปกรณ์ต่อ Proportional Control	39
3.9	แสดงอุปกรณ์ต่อ Feedback	40
3.10	แสดงอุปกรณ์ต่อ Buck converter	41
3.11	แสดงรายละเอียดของข้อมูลการทำงาน PCF 8591	45
3.12	แสดงวงจรสมมูลย์ EX – 80 บอร์ด ACD / DAC ผ่านระบบ I^2C	46
3.13	แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุม	47
3.14	แสดงหน้าจอการทดสอบมอเตอร์การควบคุม	48
3.15	แสดงหน้าจอผลการทดสอบมอเตอร์	49
3.16	แสดงหน้าจอการทดสอบเจนเนอเรเตอร์	50
3.17	แสดงหน้าจอผลการทดสอบมอเตอร์	51
4.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการทำงานของไดนาโมมิเตอร์	53
4.2	แสดงวงจร Pulse Width Modulation	54
4.3	แสดงรูปวงจรขับเกต	55
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin กับความเร็วรอบ	57
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin กับ Vout	58
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vout กับความเร็วรอบ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจัดการขาของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมตามาตราฐาน RS – 232.....	26
4.1	แสดงค่าการทดสอบมอเตอร์.....	56
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ได้จาก Tachogenenrator กับแรงดันที่จะนำมาเป็นProcess Value (PV).....	59
4.3	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ.....	60
4.4	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดัน.....	61
4.5	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดัน.....	61
4.6	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ.....	62
4.7	การทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด.....	63
4.8	การทดสอบมอเตอร์ขณะทำการเบรก.....	64
4.9	การทดสอบเจนเนอเรเตอร์.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน การที่เราจะนำมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ นั้น เราจะต้องคำนึงถึงค่าคุณลักษณะต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นๆ เช่น กำลังไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ใช้

ไดนาโมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดและทดสอบที่สามารถสร้างแรงบิดทางกลหรือความเร็วรอบได้ตามการควบคุมพลังงานที่ตัวไดนาโมมิเตอร์ จึงทำให้ไดนาโมมิเตอร์สามารถนำไปใช้ทดสอบมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ได้

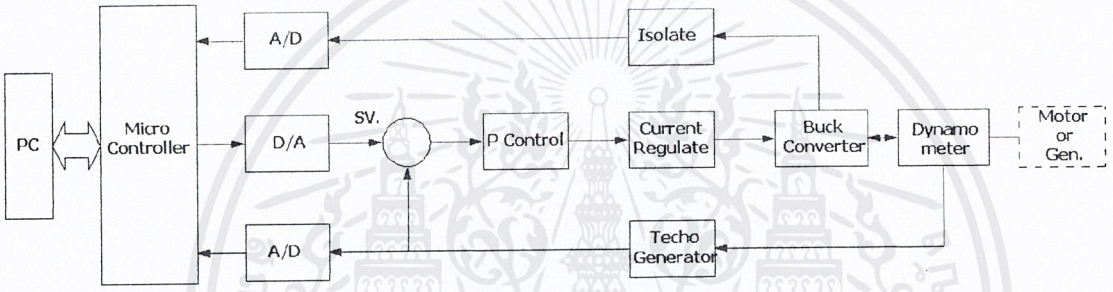
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือที่สามารถวัดคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้
2. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้
3. สามารถแสดงค่าคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยแสดงผลออกมาที่จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์
4. แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกมาในรูปแบบกราฟ
5. เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

เรานำหลักการของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมาออกแบบ และสร้างไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS – 51) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจร และเป็นตัวกลางเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะสั่งการและผลค่าคุณลักษณะต่างๆของมอเตอร์ที่นำมาวัดแสดงผลออกมาที่มอนิเตอร์ (monitor) ในลักษณะของกราฟ โดยใช้วงจรเอซี – ดีซีคอนเวเตอร์ (AC – DC Converter) ในการปรับค่าศักดาไฟฟ้าที่ป้อนกับมอเตอร์ หรือเจนเนอเรเตอร์ที่ต้องการวัดค่าคุณลักษณะต่างๆ โดยใช้วงจรสร้าง Pulse Width Modulation (PWM) ในการปรับคาบการทำงาน (duty cycle) เพื่อที่จะใช้ในการเบรก (brake) และใช้วงจรขับเป็นมอสเฟตกำลัง (power mosfet) ซึ่งผังการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน

ป้อนความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบมอเตอร์หรือเจนเนอเรเตอร์ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยการป้อนความเร็วรอบจะต้องไม่เกินความเร็วที่มอเตอร์หมุนอยู่ขณะนั้น เราจะได้แรงบิดกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบขณะนั้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีขั้นตอนการศึกษาโดยเริ่มจากศึกษาการทำงานของวงจร Pulse Width Modulation (PWM) และวงจร Proportional Control (P) การเบรกมอเตอร์ และการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะใช้ควบคุมและแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 เป็นตัวส่งค่าต่างๆ ไปควบคุมที่วงจร และรับค่าต่างๆ จากวงจรเพื่อนำมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทฤษฎีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแส วิธีการควบคุมมอเตอร์ และการควบคุมแบบ PID

2.1 หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

ในโครงงานนี้ไดนาโมมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดค่าคุณลักษณะของมอเตอร์ โดยมีลักษณะเป็นตัวจำลองโหลด กล่าวคือ ตัวไดนาโมมิเตอร์จะสร้างโหลดให้แก่มอเตอร์และวัดค่าคุณะลักษณะอันได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบ กำลังงาน ของมอเตอร์ตัวนั้นออกมา ไดนาโมมิเตอร์จะสร้างโหลดได้โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการเบรกให้ได้ความเร็วรอบตามต้องการ

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกอย่าง ดังนั้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถต่อให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีสนามแม่เหล็ก 2 ชุด คือ ชุดอาร์เมเจอร์ (Armature) และชุดฟิลด์ (Field) ซึ่งสนามแม่เหล็กของชุดอาร์เมเจอร์จะเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดที่ตัวโรเตอร์ (Rotor) ส่วนสนามแม่เหล็กของชุดฟิลด์อาจจะเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแม่เหล็กถาวรก็ได้

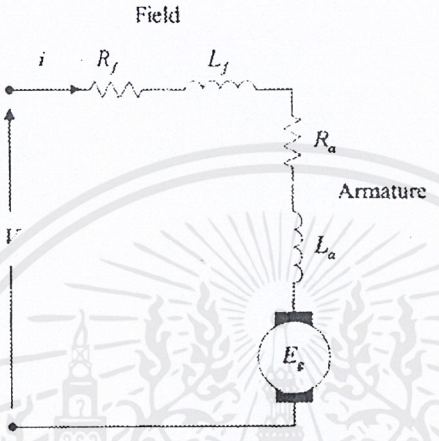
2.2.1 หลักการของมอเตอร์

กำหนดให้กระแสไหลเข้าในตัวนำอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ (N) มีทิศทางของกระแสไหลเข้าส่วนขั้ว ส่วนขั้วใต้ (S) ให้กระแสไหลออก เมื่อใส่ไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้น ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้ว และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านในตัวนำอาร์เมเจอร์ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำนั้น ทิศทางของแรงเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง พบว่าแรงที่เกิดขึ้นที่ขั้วภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกๆ ขั้วที่สลับกันไปนั้น จะมีทิศทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยที่แต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์ นั่นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กจะเกิดแรงขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็จะเกิดหลายแรง และทุกๆ แรงต่างรวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมา ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (series motor)

ในโครงงานนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม มาทำหน้าที่เป็นตัวไดนาโมมิเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์ จะต่ออนุกรมกันและต่อเข้ากับแหล่งจ่ายเพียงชุดเดียว ตามรูป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

สมการทางไฟฟ้าในสภาวะชั่วขณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมมีค่า เท่ากับ

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

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

$$V = R_f I + R_a I + E_g$$

$$= (R_f + R_a)I + E_g \qquad (2)$$

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

$$V = (R_f + R_a)I + K_v \omega I \qquad (3)$$

ดังนั้น ความเร็วเชิงมุมและความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมีค่า เท่ากับ

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

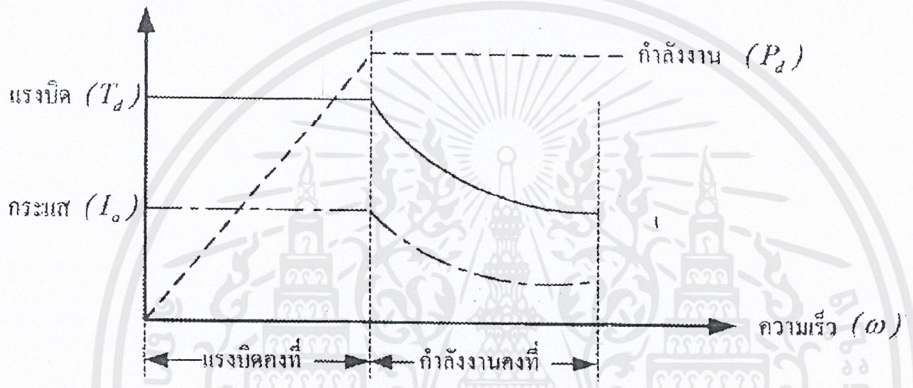
$$N = \left(\frac{60}{2\pi}\right)\left[\frac{V - (R_f + R_a)I}{K_v I}\right] \qquad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4 และ 5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ เปลี่ยนแปลงตามค่าต่อไปนี้

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

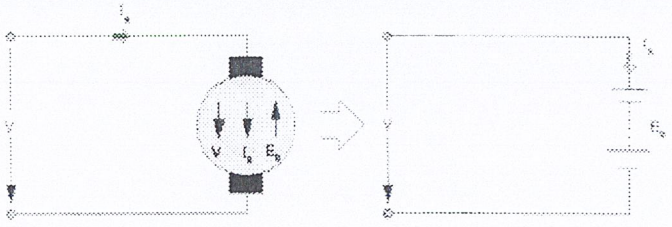
ในทางปฏิบัติการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม จะใช้การควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และการควบคุมแรงบิด จะใช้การควบคุมค่ากระแสในตัวมอเตอร์ ซึ่งจะแบ่งเป็นช่วงของการควบคุมได้ตามรูปกราฟ



รูปที่ 2.2 กราฟความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

2.2.3 แรงดันไฟฟ้าสวนกลับ (Back e.m.f.)

ในมอเตอร์นี้เมื่ออาร์เมเจอร์หมุน ทำให้ตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งเป็นไปตากฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction) จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ พบว่า เมื่อใช้กฎมือขวาของเฟรมมิ่ง จะมีทิศทางสวนกับแรงเคลื่อนที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Applied voltage) จึงเรียกแรงเคลื่อนนี้ว่า back e.m.f. ใช้ตัวย่อว่า E_b ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $E = \frac{\phi ZS \times P}{60 \times a}$ โวลท์

ดังนั้น $E_b = \frac{\phi ZS \times P}{60 \times a}$ โวลท์

จะเห็นว่า $k = 60 \times \frac{P}{a}$

$E_b = k\phi S$

เมื่อให้ ϕ มีค่าคงที่

E_b มีค่าแปรผันตาม S

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับนั้นขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์ ถ้าความเร็วรอบสูงแรงดันไฟฟ้าต้านกลับก็จะมาก ดังนั้น กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (I_a) จะมีค่าน้อย ถ้าความเร็วรอบต่ำแรงดันไฟฟ้าต้านกลับก็จะน้อย I_a ก็จะมาก ดังนั้น แรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นก็จะสูงกว่าเมื่อมีความเร็วรอบสูง

2.2.4 แรงบิด (Torque)

หมายถึง การหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรงที่กระทำรอบแกน วัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ. จุดที่แรงไปกระทำ

กำหนดให้

r = รัศมีของล้อ (เมตร)

F = แรงกระทำ (นิวตัน)

S = ความเร็วรอบ (รอบ / นาที)

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

งานที่ทำได้ใน 1 รอบ จากแรงกระทำนี้

$W = แรง \times ระยะทาง$

$W = F \times 2\pi r$ จูลส์ (6)

งานที่ทำได้ต่อวินาที

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

จาก $T = F \times r$

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

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

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

ให้ $T_m = T = แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ $P_m = P =$ *กำลังที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์*

แทนค่าลงไปในสมการที่ (8)

$$P_m = T_m \times 2\pi s \qquad (9)$$

และจากกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ คือ

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

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

แต่ $$E_b = \frac{\phi z s P}{a} = k_c \phi s$$

แทนค่า E_b ในสมการที่ (11)

$$T_m \times 2\pi s = \frac{\phi z s P}{a} \times I_a$$

$$T = \frac{\phi z s P}{2\pi s a} \times I_a$$

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

เมื่อ $k_c = \frac{zP}{a}$

$$T_m \times 2\pi s = \frac{\phi z s P}{a} \times I_a$$

$$T = \frac{\phi z s P}{2\pi s a} \times I_a$$

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

เมื่อ $k_c = \frac{zP}{a} =$ *ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของมอเตอร์*

$T_m = T$ แปรผันตาม ϕ และ I_a

a) กรณี Series Motor

$$T \propto \phi I_a$$

แต่ $$\phi \propto I_a$$

ดังนั้น $$T \propto I_a$$

b) กรณี Shunt Motor

$$T \propto \phi I_a$$

แต่ ϕ คงที่ $\therefore T \propto I_a$

จากสมการที่ (9)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จาก $$P_m = E_b I_a$$

$$T_m = \frac{E_b I_a}{2\pi s} \quad \text{N – m}$$

$$= \frac{0.159 E_b I_a}{s} \quad \text{N – m}$$

แรงบิดที่แกนเพลา (shaft Torque ; T_{sh})

คือ แรงบิดที่นำไปใช้งานจริง

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

เมื่อ T_m = ***แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์***

T_{sh} = ***แรงบิดที่แกนเพลา***

T_L = Lost Torque (สูญเสียเนื่องจาก iron และ friction losses)

กำลังม้าที่ได้จากแกนหมุนของมอเตอร์ คือ B.H.P. ซึ่งกำลังม้าที่ได้จากการ Break Motor

$$B.H.P. = \frac{(T_{sh} \times 2\pi s)}{735.5}$$

$$T_{sh} = \frac{(735.5 \times B.H.P.)}{2\pi s}$$

เมื่อ s = รอบ / วินาที

T_L = (0.159 * iron and friction loss) / s

คงที่ทางไฟฟ้าของมอเตอร์

$T_m = T$ แปรผันตาม ϕ และ I_a

2.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Characteristics of D.C. motor)

เส้นโค้งคุณลักษณะของมอเตอร์ (characteristic curve) ของมอเตอร์นั้น เป็นเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. แรงบิด และ กระแสอาร์เมเจอร์ (T_a / I_a characteristic) เราเรียกว่า คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical characteristic)
2. ความเร็ว และ กระแสในอาร์เมเจอร์ (N / I_a characteristic)
3. ความเร็ว และ แรงบิด (N / T_a characteristic) เราเรียกว่า คุณลักษณะทางกล (Mechanical characteristic) ซึ่งสามารถหาได้จากคุณลักษณะของมอเตอร์ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนี้ คือ

$$T_a \sim \phi I_a$$

และ $$N \sim \frac{E_b}{\phi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมอเตอร์แบบ series motor มีคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้

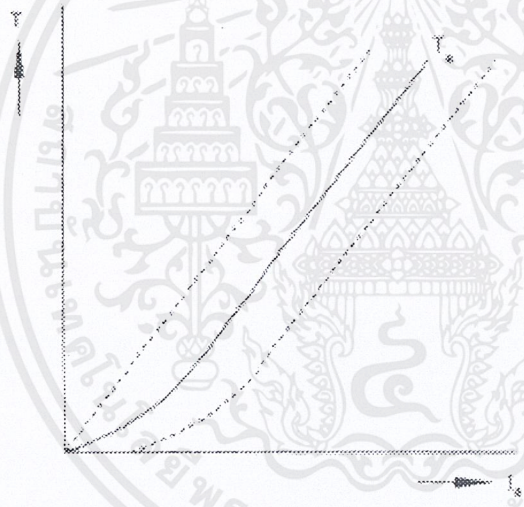
2.3.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้า หรือ คุณลักษณะของแรงบิดกับกระแสในอาร์เมเจอร์ (T_a / I_a characteristic or Electrical characteristic)

จะเห็นว่า $T_a \sim \phi I_a$ ในกรณีเช่นนี้ ขดลวดฟิลด์มีกระแสไหลผ่านซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ และ $\phi \sim I_a$ จนกระทั่งถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว (Magnetic saturation) ดังนั้น ก่อนที่จะถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว จะได้

$$T_a \sim \phi I_a$$

เพราะฉะนั้น $$T_a \sim (I_a)^2$$

เมื่อโหลดน้อยๆ ค่าของ I_a และ ϕ ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้า I_a เพิ่มขึ้น T_a ก็จะเพิ่มขึ้นเท่ากับกระแส I_a ยกกำลังสอง ดังนั้น เส้นโค้ง T_a / I_a จึงเป็นพาราโบลา (parabola) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสในอาร์เมเจอร์

แต่หลังจากที่ถึงจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวแล้ว ϕ เกือบไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ I_a ดังนั้น $T_a \sim I_a$ เพียงอย่างเดียว คุณลักษณะจึงเป็นเส้นตรง

แรงบิดที่แกนเพลา (T_{sh}) จะน้อยกว่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์ (T_a) ซึ่งขึ้นอยู่กับการสูญเสียปลีกย่อย ดังแสดงด้วยเส้นประ

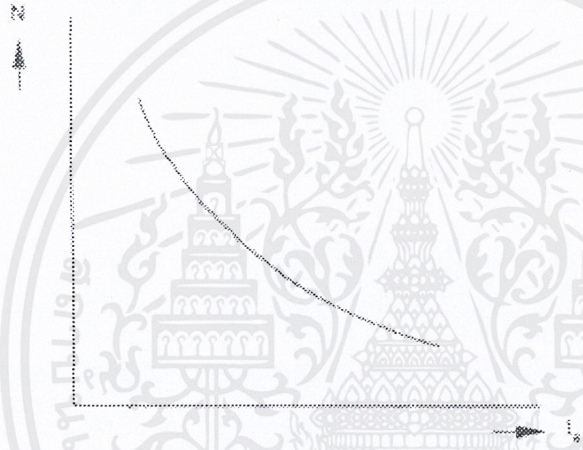
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คุณลักษณะของความเร็วกับกระแสในอาร์เมเจอร์ (N / I_a characteristic)

การเปลี่ยนแปลงของความเร็ว สามารถหาได้จากสมการดังนี้คือ

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

การเปลี่ยนแปลง E_b ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโหลด จะทำให้กระแสในอาร์เมเจอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงและเมื่อ I_a เพิ่มขึ้น ϕ ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น ความเร็วจึงแปรผกผันกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.5



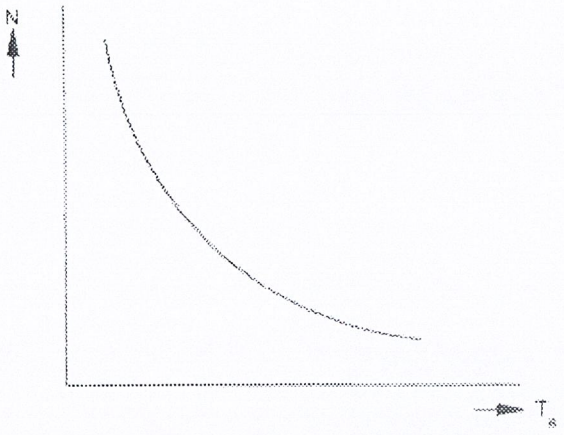
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

เมื่อมอเตอร์มีโหลดมาก ๆ I_a ก็จะมีปริมาณมากด้วย ดังนั้น ความเร็วรอบของมอเตอร์จึงต่ำ แต่เมื่อโหลดน้อย I_a ก็จะมีค่าลดน้อยลง ความเร็วรอบของมอเตอร์จะสูงขึ้นมาก และอาจเป็นอันตายต่อมอเตอร์ได้ ดังนั้น series motor จึงไม่สามารถเริ่มเดินเมื่อปราศจากโหลดได้

2.3.3 คุณลักษณะทางกลหรือคุณลักษณะของความเร็วกับแรงบิด (N/ T_a characteristic)

ซึ่งสามารถหาได้ดังที่กล่าวมาแล้ว ความเร็วสูงแรงบิดจะมีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิด แสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

2.4 การควบคุมมอเตอร์

ในการควบคุมมอเตอร์เราจะควบคุมที่ความเร็ว โดยใช้การหยุดหรือการเบรก (braking) เราจึงต้องทราบศัพท์ต่างๆ ต่อไปนี้

2.4.1 พิสัยของความเร็ว (speed range)

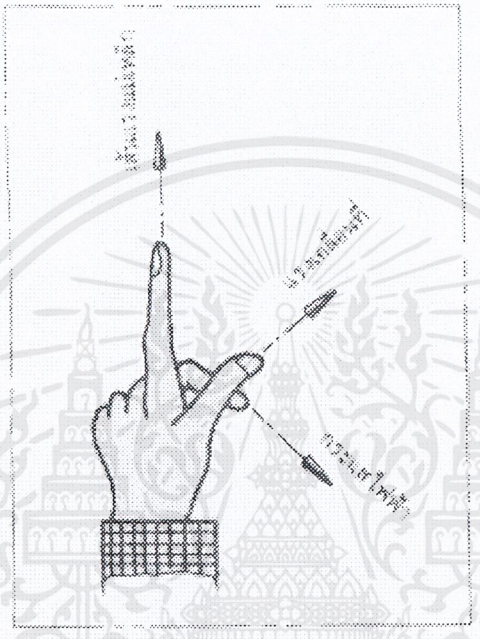
เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วสูงสุดต่ออัตราเร็วต่ำสุด พิสัยของอัตราเร็วสามารถกำหนดที่ภาระต่างๆ ของมอเตอร์ คือ แรงบิด (torque) ที่ไม่มีภาระหรือมีภาระเต็มที่ (no load or full load) ข้อจำกัดของพิสัยของอัตราเร็วอาจขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์การควบคุม หรืออาจขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ที่จะระบายความร้อนให้ตัวมันเองเย็นลงที่อัตราเร็วต่ำ หรือความสามารถที่จะไม่พังเหวี่ยงออกเป็นชิ้นๆ ที่อัตราเร็วสูง

2.4.2 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's Left Hand Rule)

ใช้สำหรับหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก กรณีของมอเตอร์หาทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์โดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงระหว่างสนามแม่เหล็กกับตัวนำนั้น ทิศทางของแรงหาได้โดยการทำหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือซ้ายทำมุม 90° ซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.7 ให้นิ้วชี้ชี้ในทิศทางของสนามแม่เหล็กจากเหนือไปใต้ นิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ นิ้วหัวแม่มือที่เหลือจะบอกทิศทางของแรงที่เกิดขึ้น (ทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์)



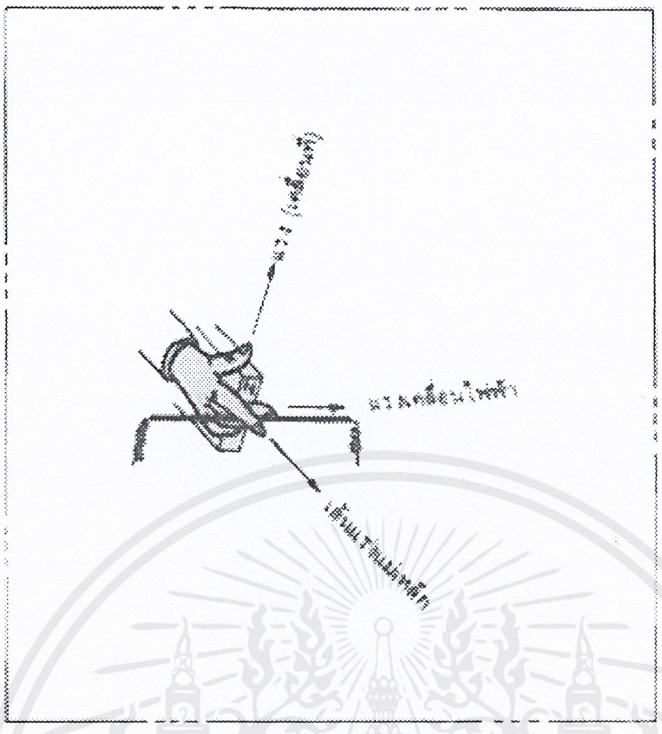
รูปที่ 2.7 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

2.4.3 กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง (Fleming's Right Hand Rule)

ใช้สำหรับการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (แรงดันเหนี่ยวนำ) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็ก กรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำของอาร์เมเจอร์โดยเฉพาะ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

2.4.4 โหมดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

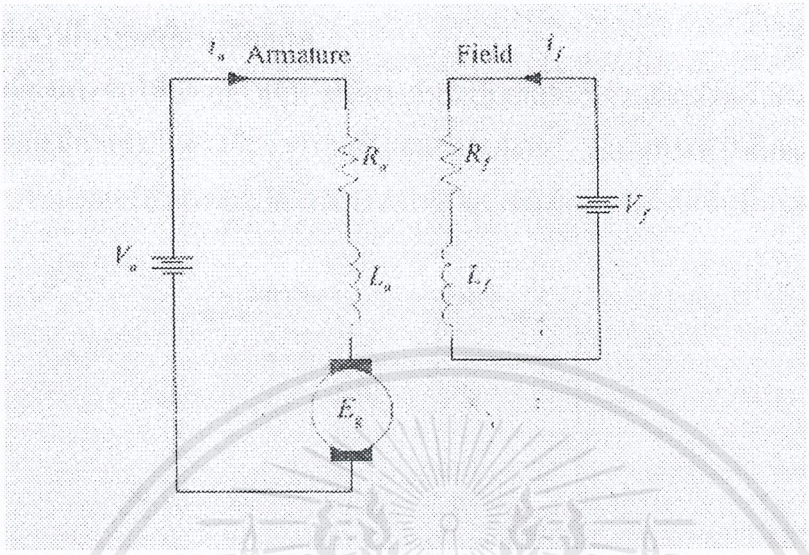
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นโหมดต่างๆ ได้ดังนี้

1) โหมดมอเตอร์ (Motoring)
2) โหมดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative)
3) โหมดไดนามิคเบรค (Dynamic Braking)
4) โหมดปลักกิ้ง (Plugging)

1) การทำงานในโหมดมอเตอร์ (Motoring)

การทำงานในโหมดมอเตอร์นี้กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในตัวมอเตอร์เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งในโหมดนี้ค่าแรงดันต้านกลับจะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์

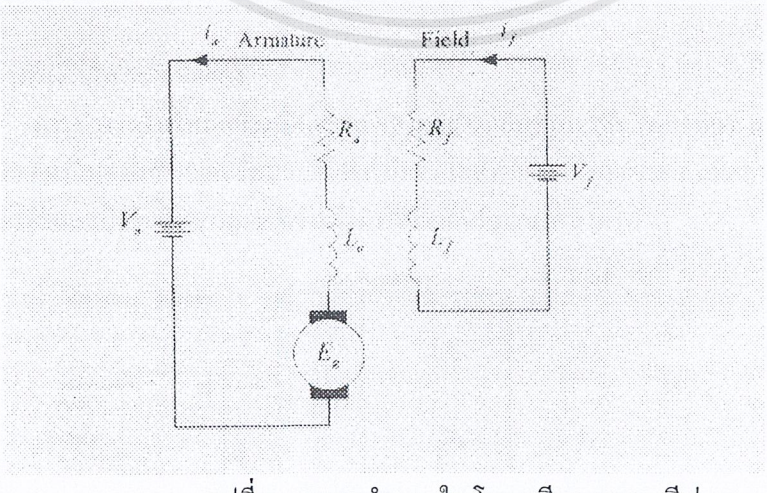
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การทำงานในโหมดมอเตอร์

2) การทำงานในโหมดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative)

การทำงานในโหมดนี้จะอาศัยหลักการป้อนค่าบวก คือ ทำให้พลังงานจลน์ของมอเตอร์ที่กำลังวิ่งอยู่ให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการเพิ่มฟิลด์ให้มีค่าสูงขึ้นซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่งกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์กลับเข้าแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งเท่ากับเป็นการคืนพลังงานจลน์ที่มอเตอร์ให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้วมอเตอร์ก็จะช้าลงหรือหยุดโดยกระแสจะไหลออกจากตัวมอเตอร์ เนื่องจากค่าแรงดันต้านกลับที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ มีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนว่ามอเตอร์ทำงานเป็นเจนเนเรเตอร์

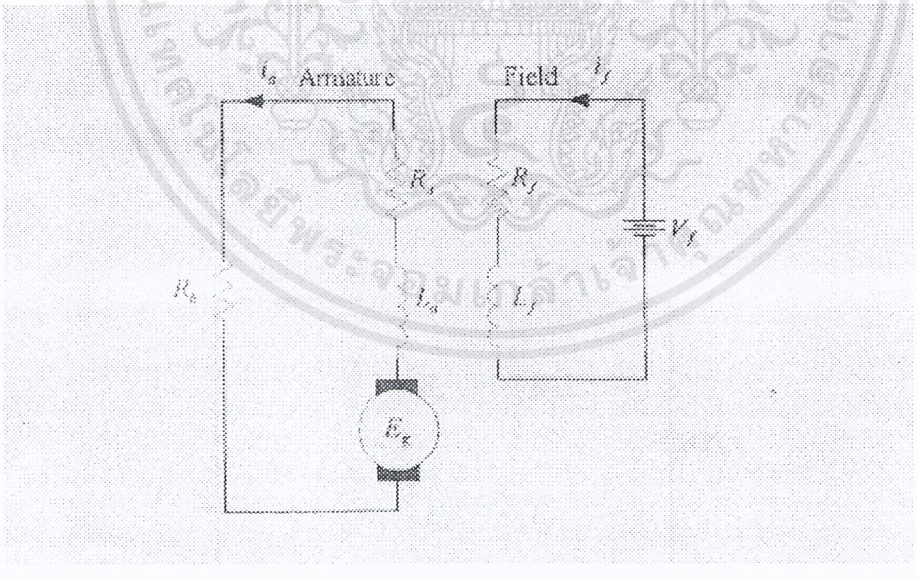


รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมดรีเจนเนอเรทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

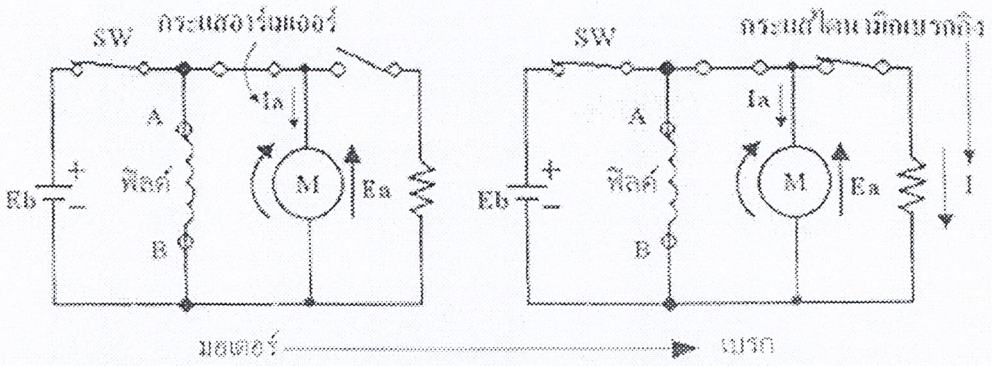
3) การทำงานในโหมดไดนามิคเบรค (Dynamic Braking)

เมื่อมีการขับให้มอเตอร์หมุน จะมีแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ที่เรียกว่า แรงดันต้านกลับ และมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังนั้นการทำงานให้มอเตอร์หยุดหรือมีการเบรคมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการทำให้ค่าแรงดันต้านกลับที่เกิดขึ้นนี้หมดไป ด้วยการทำให้พลังงานจลน์ในมอเตอร์กลายเป็น ความร้อนที่ตัวของมอเตอร์เอง หรือในตัวความต้านทานภายนอกแล้วกระจายหายไป ซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจากวิธีพลักกิ้งตรงที่เมื่อเราต้องการเบรกมอเตอร์ เราก็ต้องหาหนทางให้มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทานภายนอก และวนกลับครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ ก็จะทำให้มีความเรียบร้อยเกิดขึ้นและกระจายหายไปและพร้อมกับหมุนทิศของการหมุนของมอเตอร์ วิธีนี้จะเห็นได้ง่ายถ้าเป็นมอเตอร์ดีซี เมื่อต้องการเบรกมอเตอร์ ก็ให้เรายกสวิตซ์วงจรอาร์มาเจอร์ให้เปิดออกและปิดสวิตซ์ตัวต้านทานภายนอกลง แต่ยังคงค้างสวิตซ์ในวงจรฟิลด์ไว้ตามเดิมมอเตอร์จะยังคงหมุนต่อไปด้วยความเฉื่อยจึงทำให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วจ่ายกระแสผ่านตัวความต้านทานภายนอก โดยมีทิศทางของกระแสกลับกับกระแสเดิม โดยกฎมือซ้ายของ Flemming จะทำให้เราเห็นว่าแรงหมุนที่เกิดขึ้นใหม่ในตัวมอเตอร์จะมีทิศทางกลับการหมุนของมอเตอร์ และจะมีความร้อนเกิดขึ้นกระจายหายไป ทำให้มอเตอร์หยุดลงได้อย่างรวดเร็ว แล้วเราก็ยกสวิตซ์ใหญ่ออก Sw ออก



รูปที่ 2.11 การทำงานในโหมดไดนามิคเบรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

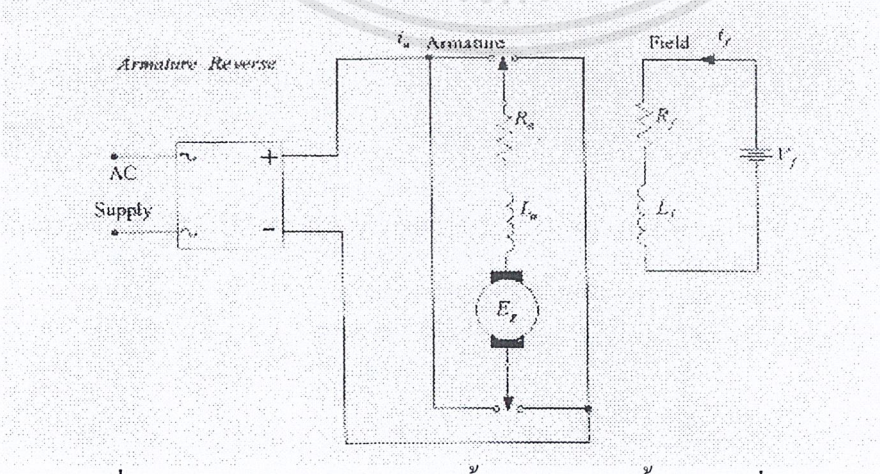


รูปที่ 2.12 หยุดมอเตอร์ดีซีด้วยวิธีไดนามิคเบรกกิ้ง

โหมดการทำงานแบบไดนามิคเบรคจะนำเอาตัวต้านทาน(Braking Resistance ; R_b) มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เพื่อทำให้แรงดันหรือค่าพลังงานที่ตัวมอเตอร์หมดไป โดยการส่งไปให้เกิดการสูญเสียที่ตัวต้านทาน R_b

4) การทำงานในโหมดปลักกิ้ง (Plugging)

การทำงานในโหมดนี้จะเป็นการเบรคโดยการกลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์หมุน ซึ่งทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ไหลย้อนกลับทิศทางและมอเตอร์เกิดแรงบิดในทิศทางตรงข้าม เพื่อที่จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางอย่างทันทีทันใด จึงทำให้มอเตอร์ถูกเบรค ตามรูปที่ 2.13

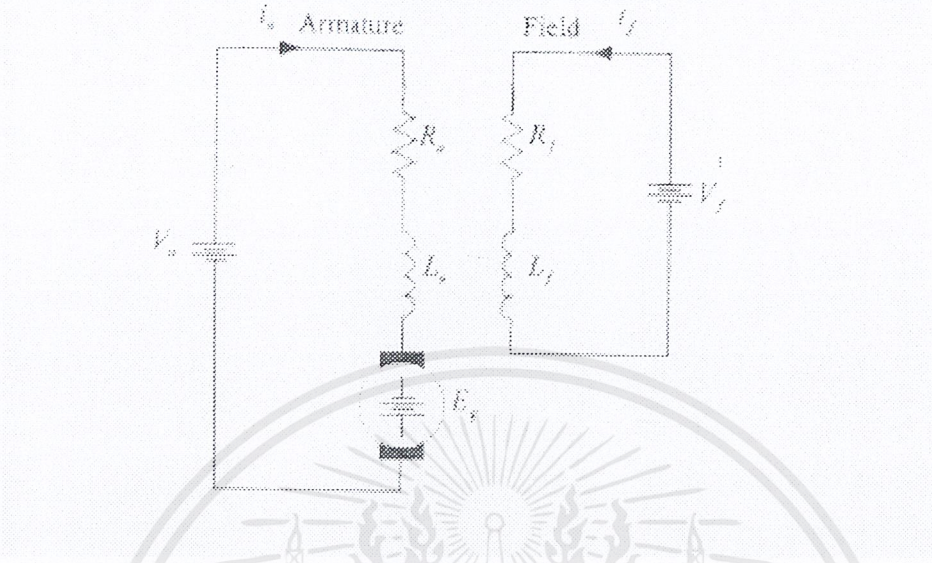


รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมดปลักกิ้งโดยการกลับขั้วแรงดันที่อาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของการเบรคแบบปลักกิ้ง ทำให้กระแสไหลกลับทิศทาง แรงดันที่อาร์เมเจอร์และแรงดันต้านกลับจะมีทิศทางเดียวกันตามรูปที่ 2.14

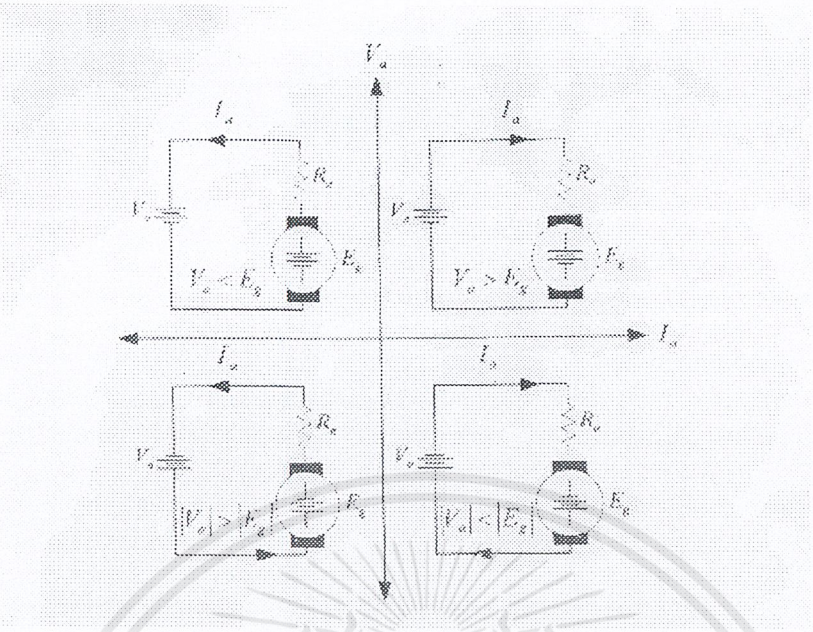


รูปที่ 2.14 ทิศทางของกระแสและแรงดันของกรทำงานแบบปลักกิ้ง

2.5 ควอแดรนท์การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์เป็นเครื่องจักรกลที่รับพลังงานไฟฟ้าเข้าไปแล้วเปลี่ยนพลังงานกลออกมาในรูปของความเร็วและแรงบิด ส่วนเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่รับพลังงานกลเข้าไปแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรกลที่มีคุณสมบัติที่เป็นได้ทั้งมอเตอร์และเจนเนเรเตอร์ ตรมรูปแบบของพลังงานที่ได้รับละจ่ายออกมา ซึ่งแบ่งเป็นควอแดรนท์การทำงานได้ 4 ควอแดรนท์ตามรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45850



รูปที่ 2.15 ทิศทางของกระแสและแรงดันในการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์

ควอแดรนท์ที่ 1

ค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ V_a มีค่ามากกว่าแรงดันต้านกลับ E_g ทำให้มีการไหลของพลังงานจากแหล่งจ่าย V_a เข้าไปที่ตัวมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงบิดและความเร็วที่ตัวมอเตอร์

ควอแดรนท์ที่ 2

ค่าแรงดัน V_a มีค่าน้อยกว่าแรงดันต้านกลับ E_g ทำให้มีการไหลของพลังงานไฟฟ้าไหลออกจากตัวมอเตอร์ย้อนกลับไปที่แหล่งจ่าย ทำให้เกิดแรงบิดและความเร็วที่ตัวมอเตอร์ V_a ทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นมีค่าตรงข้ามกับควอแดรนท์ที่ 1

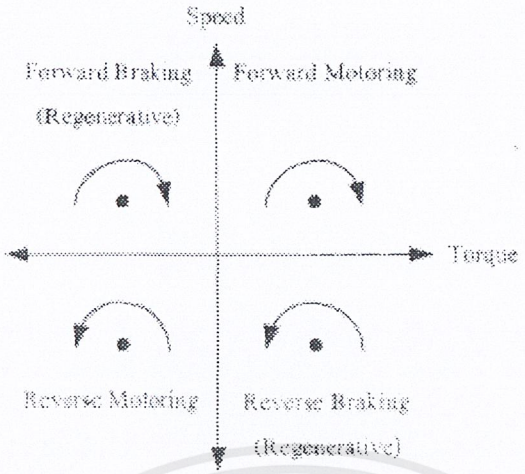
ควอแดรนท์ที่ 3

ค่าแรงดัน V_a มีค่ามากกว่าแรงดันต้านกลับ E_g เหมือนกับควอแดรนท์ที่ 1 แต่มีศักย์ตรงกันข้าม จึงทำให้ทิศทางการหมุนและแรงบิดของมอเตอร์ ตรงกันข้ามกับควอแดรนท์ที่ 1

ควอแดรนท์ที่ 4

ขนาดของแรงดัน V_a มีค่าน้อยกว่าขนาดของแรงดันต้านกลับ E_g ทำให้พลังงานจากตัวมอเตอร์ไหลย้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์ของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงบิดได้ทั้งบวกและลบ ทิศทางการหมุนทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์นี้ทำให้มอเตอร์แสดงคุณสมบัติได้ตามรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ทิศทางการหมุนและแรงบิดของมอเตอร์ในการทำงานทั้ง 4 ควอแดรนท์

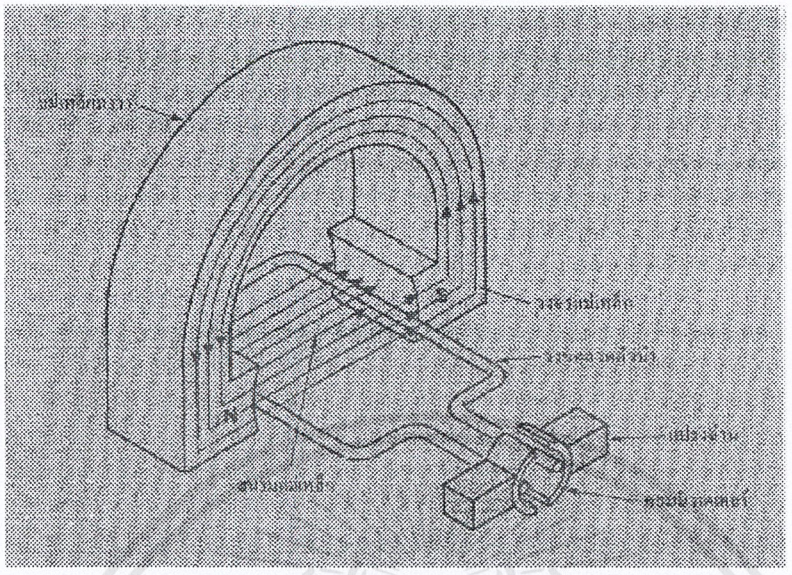
2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพื้นฐานแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาโดยการหมุนของกลุ่มขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านไปในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องกำเนิดจึงเป็นพลังงานกล ที่ต้องการเพื่อจะนำไปใช้ในการหมุนขดลวดตัวนำ โดยเอาท์พุตของเครื่องกำเนิดจะเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

2.6.1 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ สนามแม่เหล็ก ขดลวดตัวนำ คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน โดยปลายของขดลวดตัวนำจะต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อหมุนในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำของขดลวด และจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อต่อผ่านซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

1) สนามแม่เหล็ก จากรูปที่ 2.17 สนามแม่เหล็กจะประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ในลักษณะครบวงจร เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กผ่านช่องว่างระหว่างขั้วของแม่เหล็กเข้าสู่ขั้วใต้ แล้วเคลื่อนที่ผ่านเนื้อในแม่เหล็กกลับไปยังขั้วเหนือ

2) ขดลวดตัวนำ ขดลวดตัวนำตั้งอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก เพราะฉะนั้นขดลวดดังกล่าวจึงอยู่ในสนามแม่เหล็ก ถ้าขดลวดไม่ได้เคลื่อนที่ตัดกันสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กก็จะไม่ส่งผลใดๆ ต่อขดลวด แต่ถ้าวงขดลวดเคลื่อนที่หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวด โดยการเคลื่อนที่ของวงขดลวดในแต่ละรอบ ขนาดและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ 1 Cycle พอดี เพราะฉะนั้นในขณะที่วงขดลวดเคลื่อนที่ ก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าสลับที่ปลายทั้ง 2 ข้างของขดลวด แต่แรงดันไฟสลับจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรง ที่คอมมิวเตเตอร์

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่รองรับสายทั้งหมดของอาร์เมเจอร์ และมีหน้าที่หลัก คือ การเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับ ที่เกิดขึ้นบนขดลวดให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยแท่งทองแดงหลายๆ แท่งรวมกัน แต่และแท่งเรียกว่าซี่ทองแดง และระหว่างซี่ทองแดงคั่นด้วยฉนวน โดยทั่วไปใช้แผ่นไมก้า

4) แปรงถ่าน (Brush) ทำด้วยแท่งคาร์บอน ปกติวางสัมผัสอยู่กับหน้าสัมผัสของซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อนำกระแสออกไปจ่ายให้โหลด หรือนำกลับเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ต้องนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวด (ตัวนำ) ไปใช้งานด้วยการต่อผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน

2.6.2 สมการแรงดันไฟฟ้า

ให้ $\varnothing$ = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยขั้ว (Flux / pole in weber , Wb)

Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดของอาร์เมเจอร์ (Total number of armature conductor)

= จำนวนสล็อท * จำนวนตัวนำต่อสล็อท

N = ความเร็วของอาร์เมเจอร์ (Armature rotation in revolutions / minute , r.p.m.)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (No. of poles)

A = จำนวนทางผ่านในอาร์เมเจอร์ (No. of parallel paths in armature)

E_g = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นต่อตัวนำ $= \frac{d\phi}{dt}$ V.

$= \frac{\phi PN}{60}$ V .

สมการทั่วไปของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น คือ

$$E_g = \left(\frac{\phi zN}{60}\right)\left(\frac{P}{A}\right) \quad \text{V.}$$

เมื่อ A = 2 เมื่อเป็นแบบเวฟ (wave)

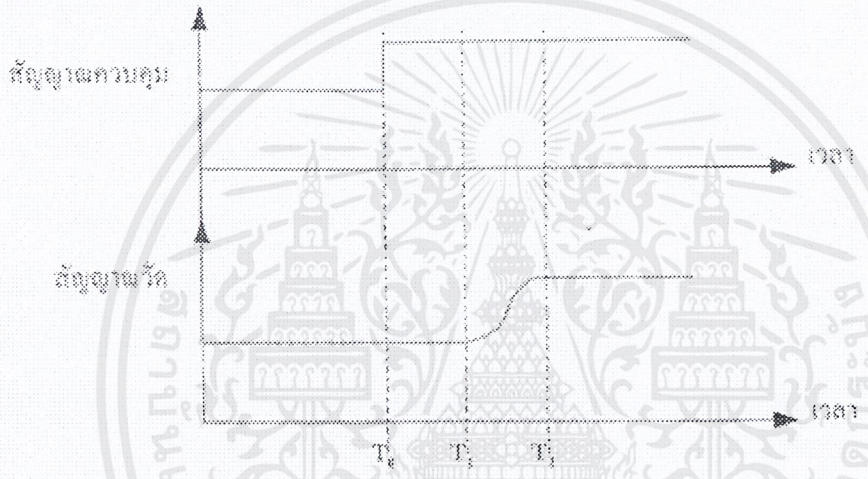
= P เมื่อเป็นแบบแลป (lap)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบ PID ที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาค่าแตกต่าง (ความคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าของอินพุตอ้างอิง จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า " กริยาควบคุม (Control Action)"

2.7.1 ธรรมชาติของการควบคุม



รูปที่ 2.18 ความช้าในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม

จากรูป 2.18 เมื่อสัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่เวลา $T = T_0$ สัญญาณของตัวแปรกระบวนการ (Process) จะคงเดิมจนถึงเวลา T_1 ตัวแปรกระบวนการจะค่อยๆ เปลี่ยนไปจนกระทั่งเวลาคงที่ ที่เวลา T_2 ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า กระบวนการมีความช้าในการตอบสนอง (Process time lag) ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น Dead time และ Capacity lag time ซึ่งจะอธิบายดังนี้

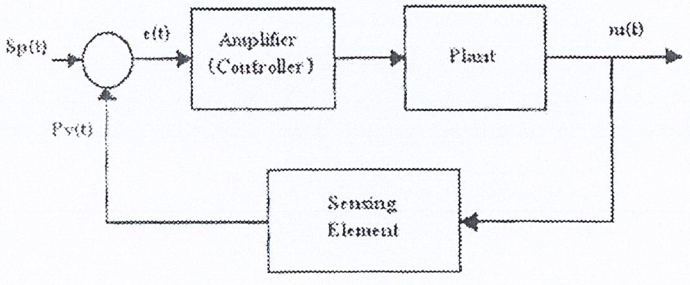
1) Dead Time คือ ช่วงเวลาที่นับจากขณะที่สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสัญญาณวัดของตัวกระบวนการเริ่มเปลี่ยนแปลง จากรูป 2.18 ค่า Dead time มีค่าเท่ากับ $T_1 - T_0$ โดยทั่วไปแล้ว Dead time มักเกิดกับวัตถุที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ทำให้ Dead time นั้นขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราอาจจะเรียก Dead time ได้ว่าเป็น Distance Velocity Lag หรือ Transportation Lag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Capacity Lag คือ ความเร็วในการตอบสนอง โดยความเร็วตอบสนองแบบนี้จะเป็นตัวจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวัดไม่ให้มีค่ามากเกินไป ยิ่ง Capacity Lag มีค่ามาก อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณวัดยิ่งมีค่าน้อย ช่วงสภาวะที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะสมดุลย์ (Steady State) เดิมไปสู่สภาวะใหม่จะนานขึ้น ในรูปที่ 2.18 Capacity Lag คือ ช่วงระยะห่างระหว่าง T_1 กับ T_2 ในการควบคุมถ้ากระบวนการมีค่า Capacity Lag ยิ่งมาก สัญญาณวัดจะยิ่งเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ตัวควบคุมนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุมไปต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.7.2 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ

ในระบบการควบคุมอัตโนมัติ ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะเป็นสัญญาณระดับต่ำ ดังนั้น จึงต้องมี Amplifier เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงเพียงพอและเอาท์พุตจะถูกส่งไปยังตัวกระทำ (Actuator) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า , วาล์ว , นิวแมติคส์ และอื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 2.19 นั้นแสดงให้เห็นตัวบล็อคไดอะแกรมของตัวควบคุม ซึ่งต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ (Sensing Element) ตัวควบคุมในที่นี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อน (Error Detector) และ Amplifier สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณนั้น เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาท์พุตไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสม เช่น ระยะแทนที่แรงดัน หรือ สัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะสำหรับเปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาท์พุตกับสัญญาณอ้างอิงได้ อุปกรณ์วัดสัญญาณนี้จะอยู่ในส่วนป้อนกลับ (Feedback Path) ของระบบลูปปิด (Close Loop) ส่วนค่าที่กำหนดไว้ (Set Point) ของตัวควบคุมนั้น จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุตอ้างอิง ที่มีหน่วยเดียวกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์วัดค่าความคลาดเคลื่อน ตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุต และสัญญาณป้อนกลับได้แล้ว ก็จะส่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ไปยัง Amplifier เพื่อขยายค่าความคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงพอที่จะทำให้ตัวกระทำในระบบงานได้



รูปที่ 2.19 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 การควบคุมแบบ Proportional Control

ในการควบคุมแบบ on – off จะมีข้อเสียอยู่ที่ว่า เมื่อค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Set point) จะเกิดการแกว่งของค่าตัวแปรกระบวนการ เพราะว่าสัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ไม่สมดุลย์กับค่าความผิดพลาด เพื่อที่จะกำจัดการแกว่ง เราจึงควรจะกำหนดให้สัญญาณควบคุมมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดความคลาดเคลื่อน ขณะสัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้เป้าหมาย การควบคุมในหลักการนี้เรียกว่า Proportional Control ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก m_p (t) กับสัญญาณขาเข้าที่ค่าเป้าหมายใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$m_p(t) = K_p e(t) + b$$

เมื่อ

$m_p(t)$ = สัญญาณขาออก

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน $(S_{output}(t) - S_{input}(t))$

K_p = Proportional Gain (%)

b = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความผิดพลาด $S_{output}(t) = S_{input}(t)$ อัตราการตอบสนองต่อการคลาดเคลื่อนของ Proportional ถูกกำหนดด้วยค่า Proportional Gain (K_p) เราให้คำจำกัดความของ Proportional Gain ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า (กรณีเป้าหมายคงที่) ทำให้สัญญาณขาออกเปลี่ยนไปเป็น 100 %

ในการควบคุมแบบ Proportional Control โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณของกระบวนการจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ คือ มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้น สัญญาณวัดจะมีค่าต่างจากเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ เรียกว่า Offset ขนาดของ offset ขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งรบกวน (Disturbance) และค่า K_p ยิ่ง K_p มีค่าน้อย offset ยิ่งมีค่ามาก ในทางกลับกันถ้า K_p มีค่ามาก offset จะมีค่าลดลง อย่างไรก็ดี ถ้าค่า K_p = infinity สัญญาณการวัดก็จะเกิดการแกว่ง เนื่องจากกรณีนี้ Proportional Control จะทำงานเหมือนเป็น On – Off

ข้อดีของ Proportional Control เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบสองตำแหน่งตัวแปรกระบวนการจะมีเสถียรภาพดีกว่า จะไม่แกว่ง ถ้าเราปรับ K_p ได้เหมาะสม แต่มีข้อเสีย คือ เกิด offset การควบคุมแบบนี้จะเหมาะกับกระบวนการที่สิ่งรบกวนมีขนาดไม่มากนัก Dead time มีค่าน้อย Capacity Lag มีขนาดปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 การควบคุมแบบ Integral Control

ในการควบคุมแบบ Integral นั้นค่าเอาท์พุตของตัวควบคุม m (t) จะมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อน e (t) ดังนี้

$$m_i(t) = K_i \int e(t)dt$$

เมื่อ K_i = Integral Gain ที่สามารถปรับค่าได้

การควบคุมแบบ Integral เป็นกิริยาหนึ่งที่ใช้งานบ่อยๆ ในระบบการควบคุมโดยมีพื้นฐานเกี่ยวเนื่องกับเหตุการณ์ในอดีตของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดขึ้นในการแปรผันทางการควบคุมของการควบคุมนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า " โหมดรีเซท (Reset) " ถ้าการควบคุมแบบ Proportional กำหนดการป้อนกลับบนพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนในอดีตที่เกิดขึ้น ดังนั้นเป็นไปได้ว่า เมื่อขณะใดขณะหนึ่ง ถ้าค่าของความผิดพลาดเป็นศูนย์แล้ว การควบคุมแบบ Integral ยังคงถูกป้อนกลับอยู่เพราะเกิดจากค่าความคลาดเคลื่อนในอดีต เราสามารถคำนวณจากพื้นที่สุทธิ (net area) ภายใต้เส้นกราฟค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลา การกระทำเอาท์พุตถูกพบว่าเป็นการคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า " Integral Gain " ดังนั้น

$$m_i(t) = K_i Ae(t) + B1(0)$$

เมื่อ

Ae (t) = พื้นที่สุทธิของค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลาคำนวณจากเวลา $t = 0$

B1 (0) = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความคลาดเคลื่อน ที่เวลา $t = 0$

2.8 มาตราฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS – 232

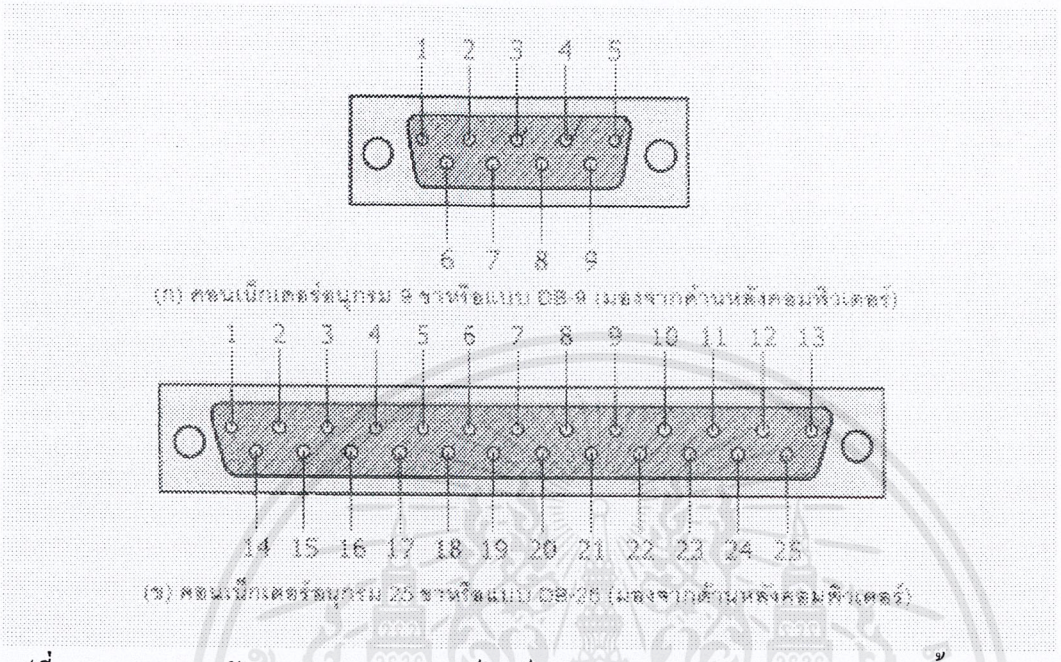
มาตราฐานการเชื่อมต่อแบบ RS – 232 เป็นมาตราฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ 2 ทิศทาง มาตรฐาน RS – 232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminal : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตราฐาน RS – 232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัด คือ คอนเนกเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเนกเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเนกเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 คอนเนกเตอร์สำหรับพอร์ต RS – 232 และการเชื่อมต่อ

มาตราฐานการเชื่อมต่อแบบ RS – 232 จะใช้คอนเนกเตอร์แบบ RS – 25 ตัวผู้หรือ DB – 9 ตัวผู้ ดังรูปที่ 2.20

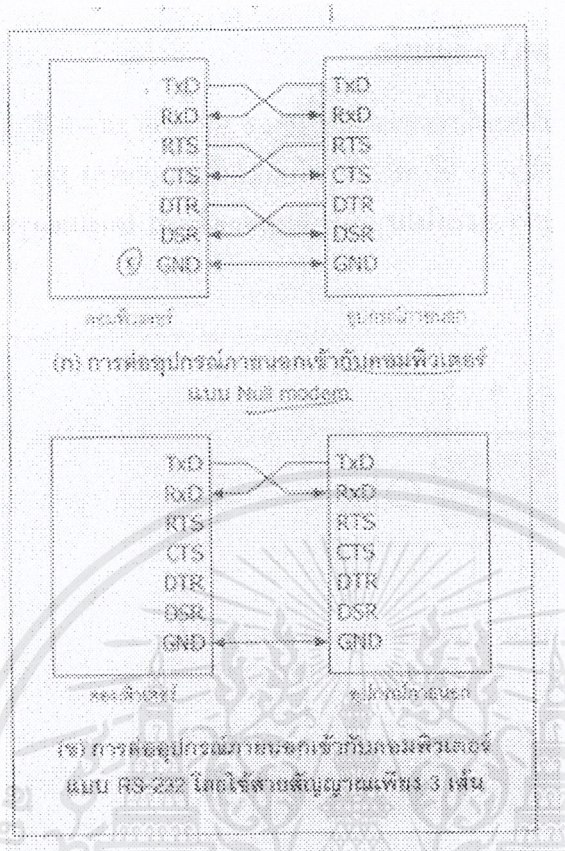


รูปที่ 2.20 แสดงการจัดขาของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตราฐาน RS – 232 ทั้งแบบ DB – 9 และ DB – 25

ตารางที่ 2.1 การจัดการขาของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตราฐาน RS – 232

คอนเนกเตอร์ DB-9	คอนเนกเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier : DCD	Input
2	3	Received Data : RxD	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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.21 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 2.21 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยไม่ผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 2.21 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS – 232 ดังนี้

- Data Carrier detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- Receive Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

- Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วย ในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

- Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ

- Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำรับข้อมูลจากภายนอก ซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

- Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

- Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณมาจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

- Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

2.9 คอนโทรล MSComm

สำหรับการใช้งานโปรแกรม Visual Basic จะใช้การคอนโทรล MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าโปรแกรมที่ใช้งานต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้คอนโทรล MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมในแต่ละพอร์ต แอดเดรสของพอร์ตอนุกรมและแอดเดรสของการเกิดอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ComPort

ใช้ในรูปแบบการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดต่ออยู่ (COM1 , COM2 , COM3 , COM4)

รูปแบบการใช้งาน

object.ComPort [= value]

โดยที่ Value เป็นค่าพอร์ตอนุกรม ชนิดของข้อมูลเป็น Integer ค่า Value สามารถกำหนดได้ในช่วง 1 – 16 (ค่าเริ่มต้นกำหนดที่ 1) เมื่อมีการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ต โดยใช้คุณสมบัติ PortOpen แต่ว่าพอร์ตนั้นไม่มีอยู่ในระบบ MSComm จะสร้างสัญญาณแสดงข้อผิดพลาด error 68 ขึ้นมา ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ตัวนี้ไม่อยู่ในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนใช้คำสั่ง OpenPort

2.9.2 Setting

ใช้ในรูปแบบการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอด , พาริตี้ , จำนวนข้อมูลของบิต , จำนวนข้อมูลปิดท้าย

รูปแบบการใช้งาน

object.Setting [= value]

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็นแบบ String มีรูปแบบเป็น “ BBBB , P , D , S ” โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอด , P เป็นค่าพาริตี้ , D เป็นจำนวนของบิตข้อมูล และ S เป็นจำนนของบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่านี้จะถูกกำหนดเป็น “ 9600 , N , 8 , 1 ”

ค่าอัตราบอดมาตราฐานที่ใช้กับ MSComm มีดังนี้

110 บิดต่อวินาที

300 บิดต่อวินาที

600 บิดต่อวินาที

1200 บิดต่อวินาที

2400 บิดต่อวินาที

9600 บิดต่อวินาที (ค่าปกติ)

14400 บิดต่อวินาที

19200 บิดต่อวินาที

28800 บิดต่อวินาที

38400 บิดต่อวินาที (สงวน)

56000 บิดต่อวินาที (สงวน)

128000 บิดต่อวินาที (สงวน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

256000 บิดต่อวินาที (สงวน)

สำหรับค่ามาตราฐานในการกำหนดค่าพาริตี้มีดังนี้

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

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

2.9.3 PortOpen

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม

รูปแบบการใช้งาน

object.PortOpen [= value]

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็นแบบบูลีนคือ True และ False โดย True หมายถึงการเปิดพอร์ตอนุกรมและ False หมายถึงการปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูลและบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล MSComm จะปิดพอร์ตอนุกรมอัตโนมัติเมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนจะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ CommPort นั้น ได้ทำการเปิดพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือไม่

2.9.4 Input

อ่านค่าและลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งาน

object.Input

คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่านโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่า InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติ Input ทำการอ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

คุณสมบัติ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeText คุณสมบัติ Input จะส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อความชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode กำหนดเป็น comInputModeBinary คุณสมบัติ Input จะถูกส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของไบนารี่และชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 InBufferCount

ส่งจำนวนของตัวอักษรที่อยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. InBufferCount [= value]

คำสั่ง InBufferCount จะแสดงค่าจำนวนของตัวอักษร ซึ่งรับมาจากภายนอกและยังเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ เพื่อให้ผู้ใช้งานอ่านค่าออกไป สำหรับการเคลียร์บัฟเฟอร์ภาครับทำได้โดยกำหนดให้ InBufferCount มีค่าเป็น 0

2.9.6 InBufferSize

กำหนดและคืนค่าขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับในหน่วยเป็นไบต์

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

คำสั่ง InBufferSize ใช้เพื่อกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับ โดยค่าเริ่มต้นถูกกำหนดไว้ที่ 1,024 ไบต์

2.9.7 InputLen

กำหนดและคืนค่าจำนวนตัวอักษรที่อ่านจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. InputLen [= value]

ค่าเริ่มต้นของคุณสมบัติ InputLen มีค่าเท่ากับ " 0 " การกำหนดค่าเท่ากับ " 0 " จะให้คำสั่ง Input ของ MSComm อ่านค่าข้อมูลที่อยู่ภายในบัฟเฟอร์ภาครับทั้งหมด

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

คุณสมบัตินี้มักใช้กับการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือหรือเครื่องจักรที่มีการกำหนดค่าความยาวของข้อมูลเอาไว้แล้ว

2.9.8 InputMode

กำหนดค่าและคืนค่าชนิดของข้อมูลที่รับคำสั่ง Input

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. InputMode [= value]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ InputMode ใช้กำหนดค่าว่าข้อมูลชนิดไหนที่รับเข้ามาผ่านคำสั่ง Input โดยข้อมูลจะเลือกได้ 2 ประเภท คือ

comInputModeText สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปข้อความตัวอักษรมาตราฐาน ANSI โดยจะต้องกำหนดค่าเป็น " 0 " และค่าเริ่มต้นของการรับค่าข้อมูลเป็นค่านี้

comInputModeBinary สำหรับข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจะเก็บในรูปไบนารี่รวมกันอยู่เป็นไบต์ข้อมูล

2.9.9 Output

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. Output [= value]

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูลไบนารี่ก็ได้ โดยการส่งข้อมูลเป็นรูปแบบตัวอักษร จะต้องกำหนดข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลไบนารี่จะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte

2.9.10 OutBufferCount

คืนค่าจำนวนของข้อมูลตัวอักษรที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาคส่ง และสามารถใช้คำสั่งนี้เพื่อเคลียร์บัฟเฟอร์ภาคส่งได้ด้วย

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. OutBufferCount [= value]

ผู้ใช้งานสามารถเคลียร์บัฟเฟอร์ภาคส่งได้โดยการกำหนดค่า OutBufferCount เท่ากับ " 0 "

2.9.11 OutBufferSize

กำหนดและคืนค่าบัฟเฟอร์ภาคส่ง ชนิดของตัวแปรเป็นไบต์

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object. OutBufferSize [= value]

คุณสมบัติ OutBufferSize ใช้สำหรับการกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาคส่ง โดยค่าปกติที่ใช้งาน จะมีค่า 512 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบ I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter – IC Commynication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I^2C โดยสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data Line) อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock Line) ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน

2.10.1 คุณสมบัติทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi – directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน + 5 V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายสัญญาณมีสถานะทางลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ต่อบนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนปิด (open – drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open – collector)

อัตราการถ่ายข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่า คือ 7 บิต หรือ 10 บิต

2.10.2 หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือที่เรียกว่า โปรโตคอล (Protocal) เพื่อให้ทราบว่าขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

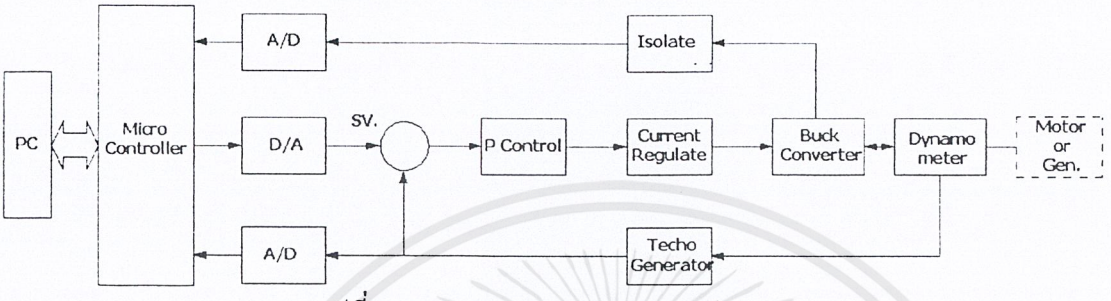
1. การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อบัสว่างเท่านั้น

2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

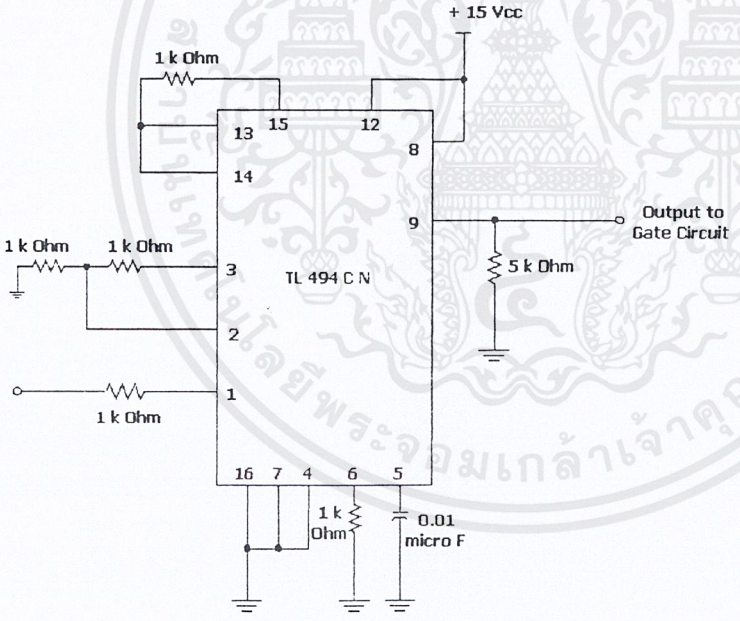
บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการคิดและสร้างวงจรต่างๆ ที่ใช้ในไดนาโมมิเตอร์ โดยมีรูป Block Diagram การทำงานของระบบดังรูปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงBlock Diagram การทำงาน

3.1 วงจร Pulse Width Modulatation



รูปที่ 3.2 วงจร Pulse Width Modulatation

วงจร Pulse Width Modulatation เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งจะใช้ควบคุม duty cycle โดยการปรับ duty cycle ให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะต่างๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ IC เบอร์ TL 494 ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และใช้ในการควบคุมการทำงานของ Converter โดยจะสร้างสัญญาณ PWM ขึ้นมาควบคุมความถี่ให้คงที่ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในจะสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (Saw Tooth) ขึ้นมาภายในตัว IC โดยที่ความถี่จะขึ้นอยู่กับความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 5 และ 6 ของ IC จากสมการ

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

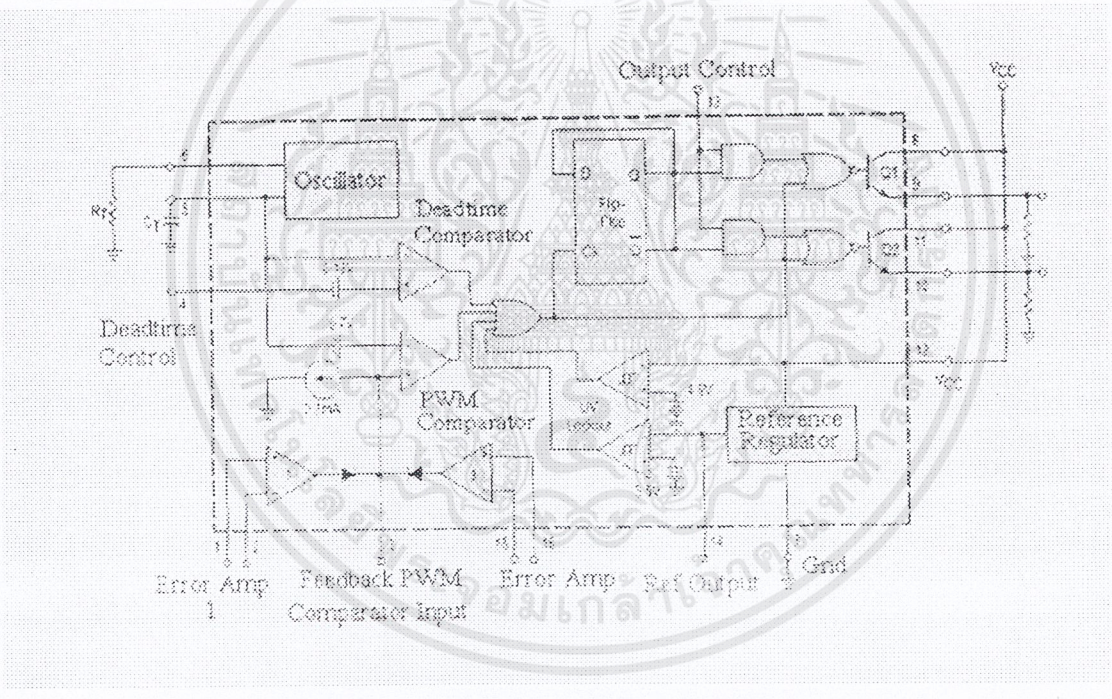
โดยที่

f_{osc} คือ ความถี่ที่ TL 494 สร้างขึ้น

R_T คือ ค่าความต้านทานที่ใช้กำหนดความถี่

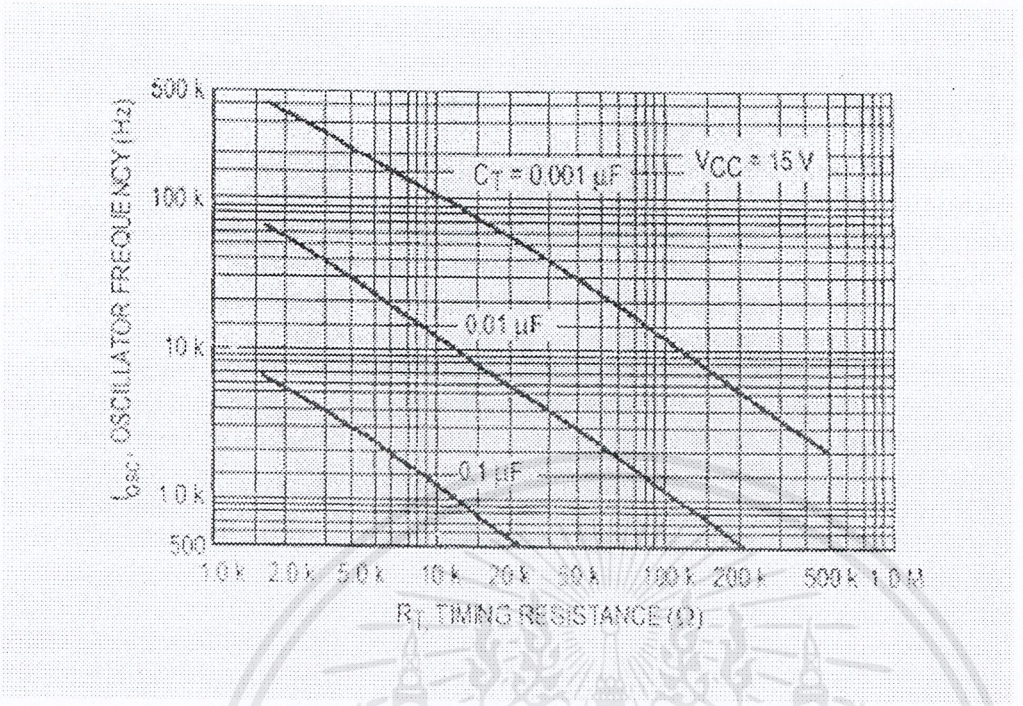
C_T คือ ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กำหนดความถี่

ในโครงงานนี้ เลือกใช้ค่า R_T = 1 kΩ และ C_T = 0.01 μF ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ TL 494 สร้างขึ้นมา มีค่าเท่ากับ 110 kHz แต่ในวงจรเลือกการทำงานของ TL 494 ในโหมดพุชพูล ทำให้ได้ความถี่เพียงครึ่งหนึ่งของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 55 Hz



รูป 3.3 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



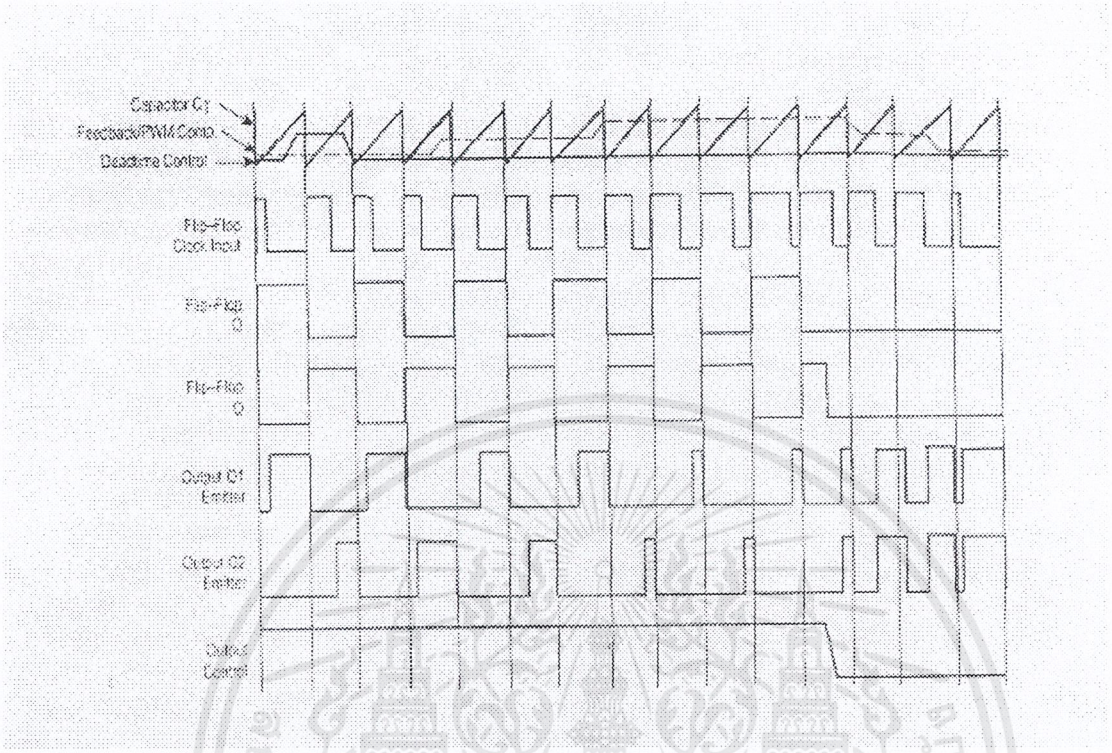
รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่

3.1.1 การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างของเอาท์พุตพัลส์ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อย ที่ขา ซอร์สกับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายเออเรอร์ (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน นอร์เกต (Nor Gate) ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ flip – flop อยู่ในสถานะ Low เท่านั้น ซึ่ง C_k จะเป็น Low ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มีจากวงจรขยายเออเรอร์ทั้ง 2 ตัว นั่นคือ แรงดันป้อนกลับจากเอาท์พุตของวงจรคอนเวเตอร์ หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างของเอาท์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน หากแรงดันป้อนกลับมีค่าลดลง ความกว้างของเอาท์พุตของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาท์พุตพัลส์ของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุด หรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลท์ จนถึง 3.5 โวลท์ ส่วนวงจรขยายเออเรอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีช่วงอินพุตคอมมอนโหมด ตั้งแต่ – 0.3 ถึง V_{cc} – 2 โวลท์ และสามารถตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาท์พุตของคอนเวเตอร์ได้ วงจรขยายเออเรอร์ทั้ง 2 ตัว จะให้เอาท์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active High) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non – inverting ของ PWM Comparator การต่อในลักษณะนี้วงจรขยายเออเรอร์ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาท์พุตพัลส์ของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL 494

3.1.2 การกำหนดค่าเดดไทม์ (T)

TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเดดไทม์ T ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลท์ ที่ขา 4 ของไอซี หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลท์ ค่าเดดไทม์สูงสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 % ของค่าคาบเวลาการทำงาน เนื่องจากมีแรงดัน offset = 120 มิลลิโวลท์ ต่ออยู่ภายใน ดังนั้น ช่วงเวลา t_{on} สูงสุดของคอนเวเตอร์ที่ได้จากไอซี จะเท่ากับ 48 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวน์

ในโครงงานนี้จะต่อขา 4 ลงกราวน์ ซึ่งเป็นการตั้งค่าเดดไทม์ไว้ต่ำสุดที่ 4 % ของค่าคาบเวลาการทำงาน

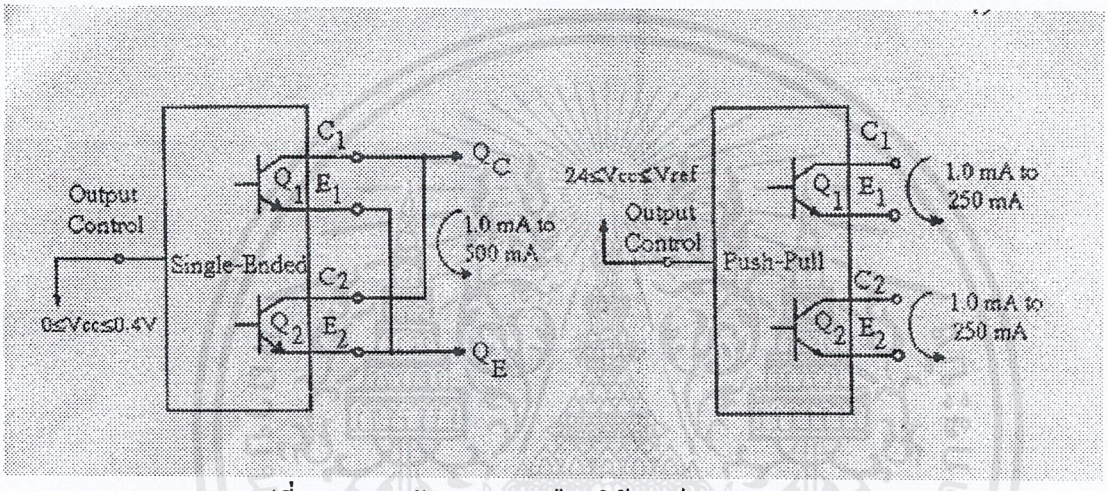
3.1.3 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาท์พุตของไอซี

เอาท์พุตที่ Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือ สลับกันทำงาน สามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (output control) โดยที่ขณะที่ C_k ดิสชาร์จ เอาท์พุตของ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

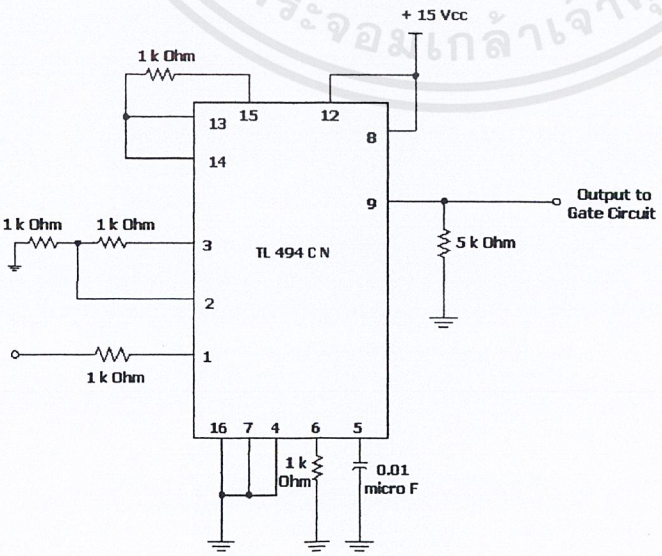
จะสลับกันทำงานตามจังหวะ ของflip – flop เพื่อใช้ขับคอนเวเตอร์แบบพุชพูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น Low โดยการต่อลงกราวน์ (ยกเลิก flip – flop) Q_1 และ Q_2 จะสามารถทำงานได้พร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสมากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงาน จะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)

ในโครงงานนี้ จะเลือกการทำงานของ TL 494 ในโหมดพุชพูล ทำให้ได้ความถี่ในการทำงานจริง เป็นครึ่งหนึ่งของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งก็คือ 55 kHz



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาท์พุตของ TL 494

TL 494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 < V_c < 40$โวลท์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลท์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้โดยมีความถูกต้อง

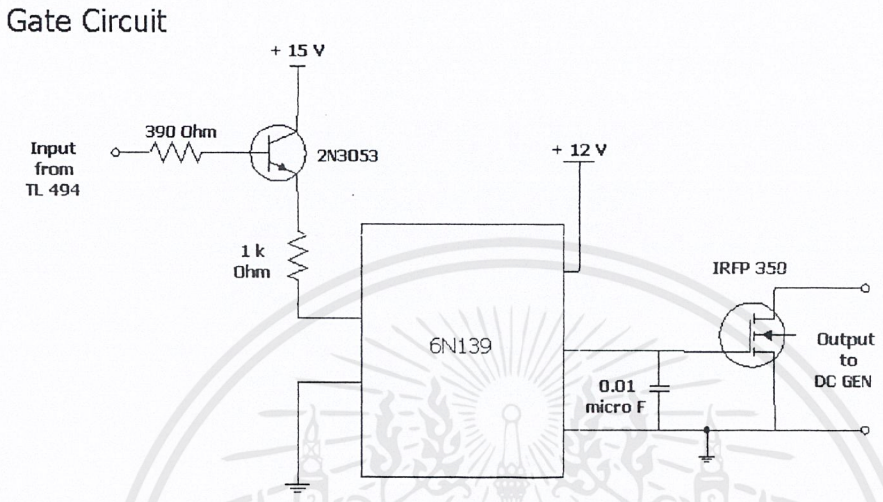


รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรไอซี TL 494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

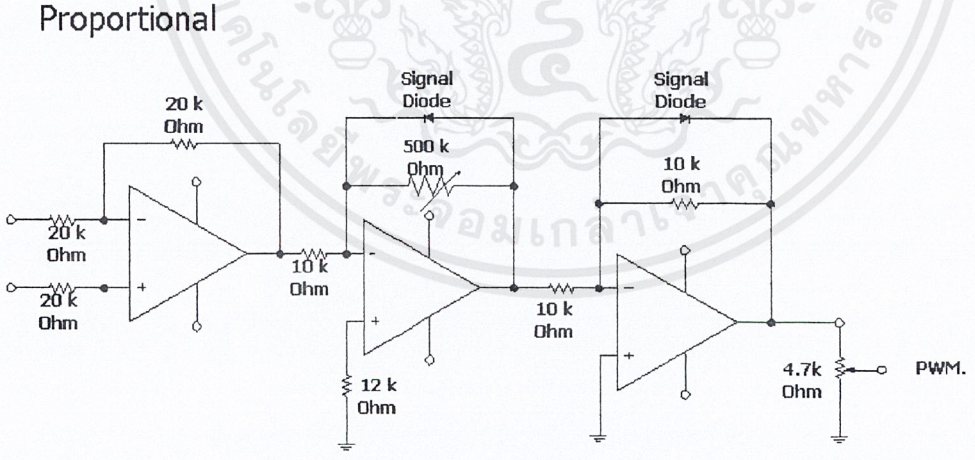
3.2 วงจรขับเกต (Gate Circuit)

เป็นวงจรเพิ่มแรงดันของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้แรงดันคงที่และเพียงพอที่จะใช้ขับอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง โดยวงจรนี้จะมีการแยกกราวน์ ออกเป็นอิสระจากส่วนอื่น เพื่อป้องกันการเสียหายอันเนื่องมาจากการลัดวงจร



รูปที่ 3.8 แสดงรูปการต่อวงจรขับเกต

3.3 วงจรควบคุมแบบ Proportional

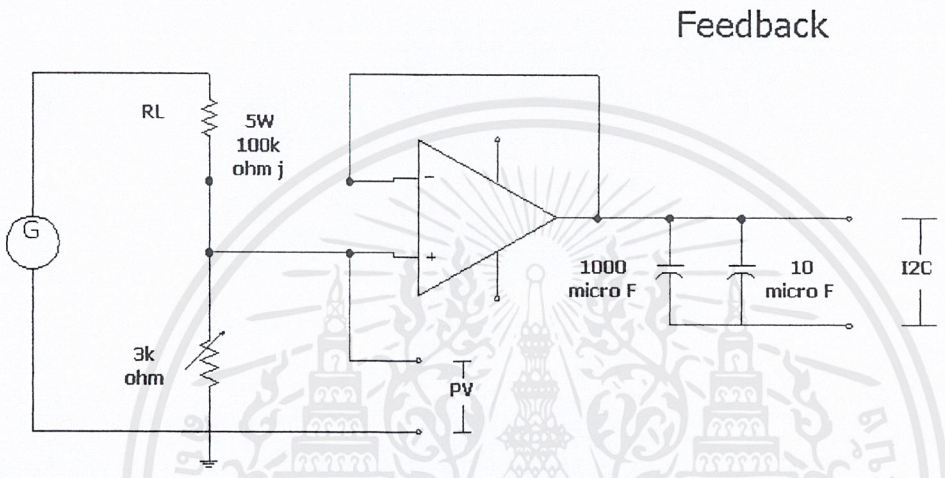


รูปที่ 3.9 แสดงรูปวงจร Proportional Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Proportional Control ใช้เป็นวงจรที่ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ โดยนำค่า PV. (Process Value) มาจาก TachoGenerator ที่วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะนั้น กับค่า SV. (Set Value) ได้มาจาก I^2C Board ซึ่งเป็นค่าของความเร็วรอบที่ต้องการ มาเปรียบเทียบกัน เพื่อนำค่า Output ไปส่งให้วงจร Pulse Width Modulation ต่อไป

3.4 วงจร Feed Back

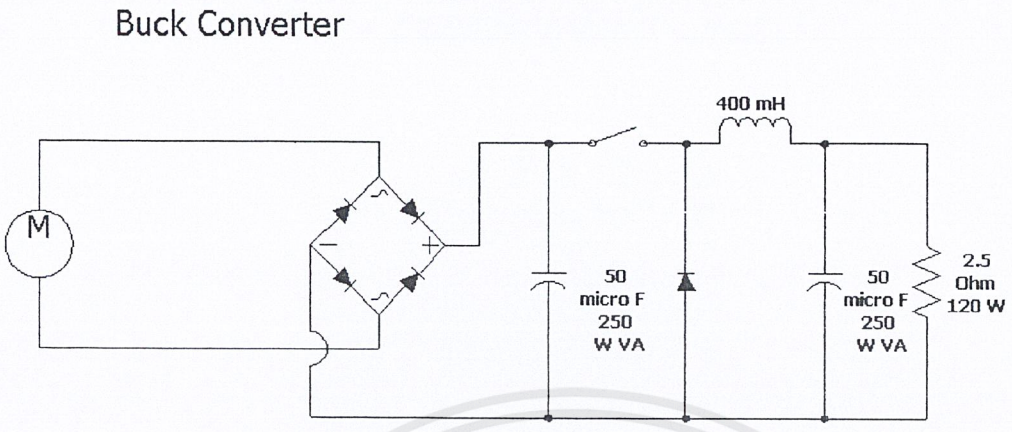


รูปที่ 3.10 แสดงวงจร Feed Back

วงจรนี้ เป็นวงจรที่นำค่าจาก TachoGenerator ที่วัดความเร็วรอบมาแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ และสามารถนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจร Buck Converter



รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Buck Converter

วงจรBuck Converter มีหน้าที่เป็นตัวรับกำลังงานเมื่อทำการเบรกมอเตอร์ พลังงานจะถูกถ่ายเทมายังตัวต้านทาน ในรูปของพลังงานความร้อน เราสามารถนำค่านี้ไปคิดพลังงานสูญเสียของมอเตอร์ได้

สวิตช์จะควบคุมการตัดต่อโดยวงจร Pulse Width Modulation ซึ่งจะทำการปรับ Duty Cycle ทำให้อัตราการเบรกมีช่วงเท่ากับ t_{on} ถ้ามี Duty Cycle (%) สูง การเบรกก็มาก ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ช้าลง ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้น ถ้ามี Duty Cycle (%) ต่ำ การเบรกก็น้อยทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เร็วขึ้น

3.6 คุณสมบัติของ Microcontroller MCS-51 เบอร์ AT 89s8252

1. ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
2. เบอร์ At89S8252 เบอร์นี้มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปชนิด Eprom จำนวน 8 กิโลไบต์และชนิดของ Eeprom จำนวน 2 กิโลไบต์ แต่สามารถใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้มากถึง 64 kb ซึ่งอาจใช้เป็น ROM , PROM , EPROM ตามความต้องการของผู้ผลิต
3. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 256 ไบต์
4. สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปอย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกออกจากกัน
5. คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกันทำให้เหมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมกันทั้งสิ้น 32 พอร์ตและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราการรับและส่งข้อมูล (baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 - 375 กิโลบิตต่อวินาที
7. จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอรัปต์ได้ 2 ระดับ
8. มีรีจิสเตอร์สำหรับการใช้งานเป็นไทม์เมอร์ (Timer) หรือเคาน์เตอร์ (Counter) เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 3 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์ หรือใช้วัดช่วงเวลา
9. หน่วยสำหรับการเก็บข้อมูลภายในสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรม และการควบคุมระบบการทำได้ง่ายขึ้น
10. มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิต ในตัวเอง
11. สามารถประมวลผลแบบบูลีน เพื่อใช้ในการควบคุมโดยเฉพาะ
12. ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (Upwardly Compatible) ได้
13. มีระบบ spi-load ที่สามารถเขียนโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์สู่คอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง
14. มีโหมดการประหยัดพลังงาน เพราะใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบCMOS

ด้วยเหตผลและคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) จึงตัดสินใจเลือกใช้เบอร์At89s8252

3.7 วงจรแปลงสัญญาณแบบ I^2C

โดยปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งสิ้น แต่นำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลกับสัญญาณอนาลอก (Analog) ด้วย ในการเชื่อมต่อสัญญาณอะนาลอกต้องใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นดิจิตอลหรือที่เรียกว่า ไอซี ADC เชื่อมต่อกับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถอ่านค่าสัญญาณอนาลอกจากภายนอกเข้ามาประมวลผลได้ โดย ไอซี ADC ที่ใช้เป็นเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบ บัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและแปลงสัญญานดิจิตอลเป็นอะนาลอกในตัวเดียวกัน เป็นผลงานของฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ ผู้พัฒนาระบบบัส I^2C นั่นเอง ด้วยความสามารถที่รวมเอาวงจร ADC และDAC เข้าไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถนำ PCF 8591 ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ PCF8591 ดังนี้

1. ทำงานด้วยความละเอียดของข้อมูลดิจิตอลขนาด 8 บิต
2. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
3. มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง
4. มีวงจรแปลงสัญญานดิจิตอลเป็นอะนาลอก (DAC) ขนาด 8 บิต 1 ช่อง
5. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ตั้งแต่ 2.5 – 6 V
6. กินกระแสไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายด์ต่ำ
7. ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
8. สามารถเลือกตำแหน่งแอเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0,A1,A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว จึงขยายช่องอินพุตของสัญญาณได้สูงถึง 32 ช่อง และช่องเอาท์พุตของสัญญาณอะนาลอกจากวงจร DAC ได้สูงถึง 8 ช่อง
9. อัตราการสุ่มข้อมูล(sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
10. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) สามารถเลือกทำงานเป็นแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลได้ ในกรณีที่กำหนดเป็นดิฟเฟอเรนเชียลจำนวนช่องอินพุตจะลดลงเหลือ 2 ช่อง
11. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตอัตโนมัติได้
12. สามารถรับสัญญาณอะนาลอกระดับแรงดันตั้งแต่ Vss ไปจนถึงVdd
13. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นสัญญาณซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญานดิจิตอลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถติดต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาท์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขาA0,A1และA2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆ ของPCF8591

3.9.1 ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจนเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมุลกำหนดแอดเดรส 4 บิต บนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลการกำหนดแอดเดรส 4 บิต บนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF 8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซี ตัวนั้นๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจากชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

3.9.2 ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญานอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในละบิตดังในรูปที่ 3.11

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอีนาเบิลขาอะนาลอกเอาท์พุต เมื่อต้องการอีนาเบิลต้องการอีนาเบิลต้องกำหนดให้ขานี้ “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และ บิต 1 ใช้ สำหรับกำหนดช่องอินพุตอะนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากการอ่านค่าของบิต ‘0’ และ และบิต ‘1’ แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

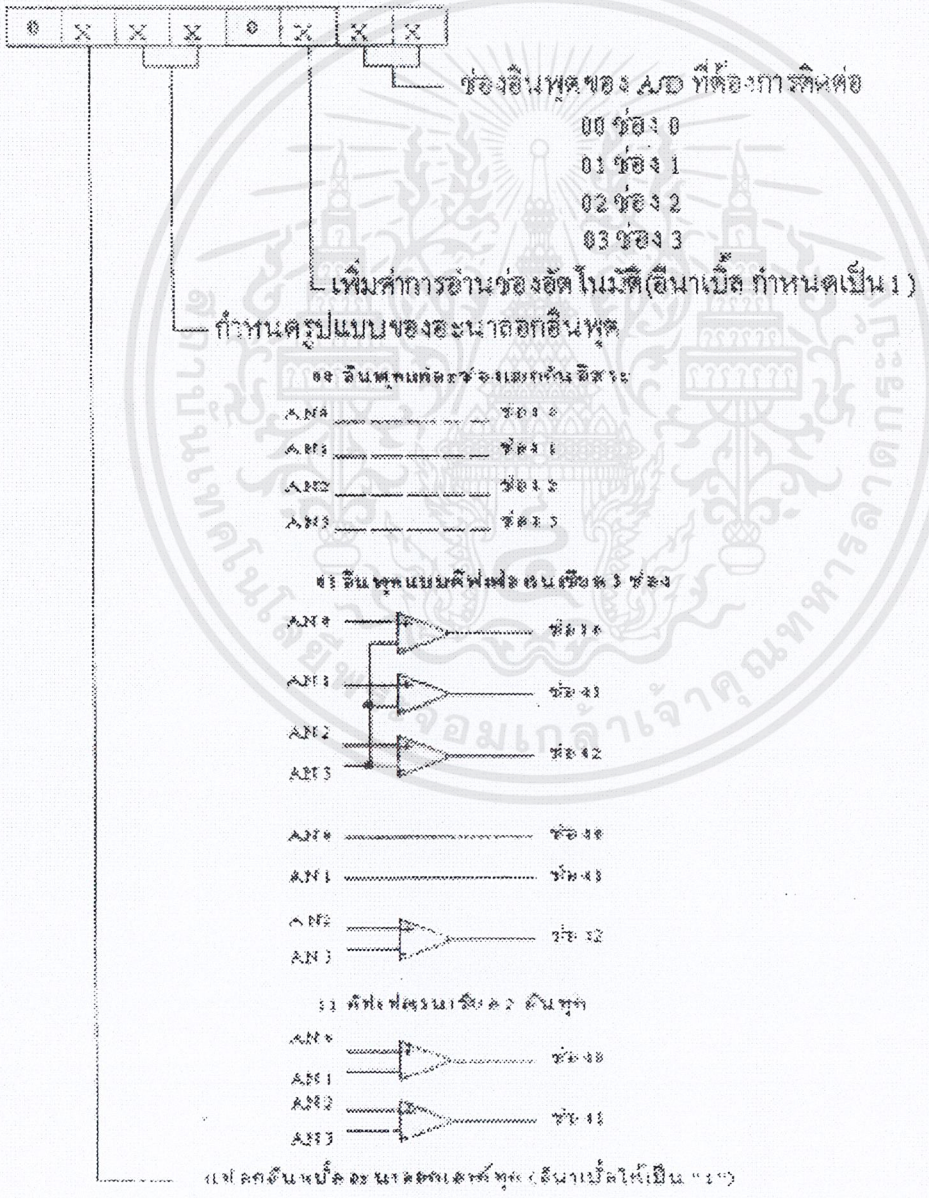
ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิต ต่างๆ ข้อมูลภายรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น 0

3.9.3 ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์ภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz



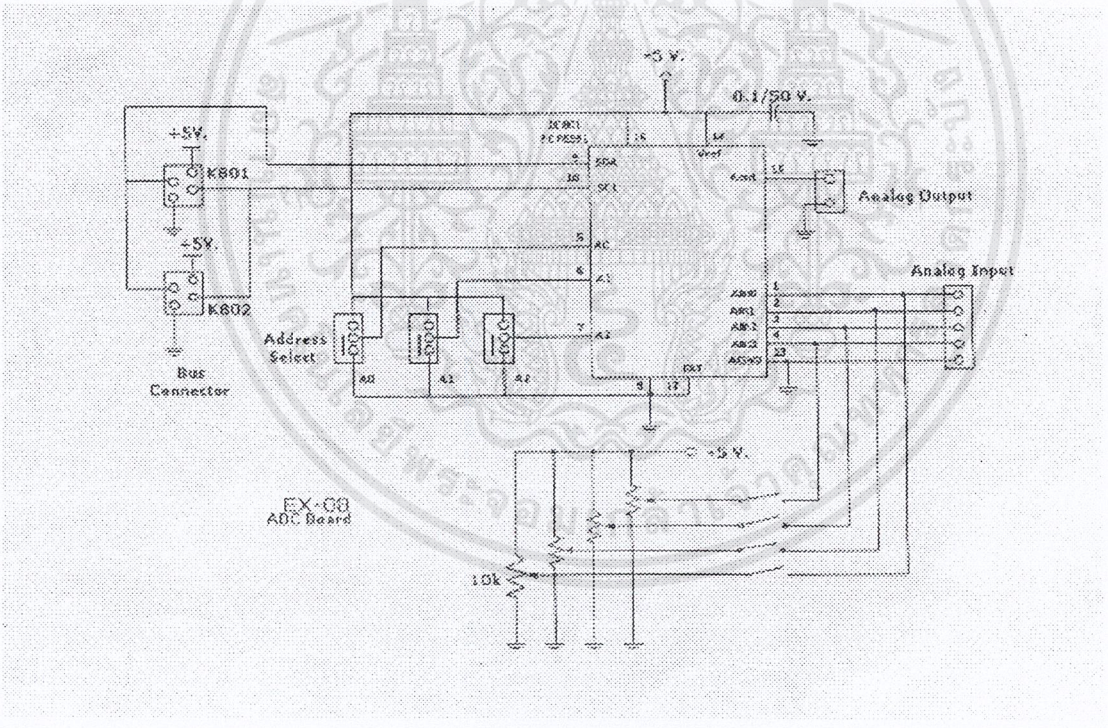
รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 บอร์ดEX-08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C

บอร์ด EX-08 มีวงจรแสดงในรูปที่ 3.11 บนบอร์ดมีไอซี PCF8591 เพียงตัวเดียวมักจะกำหนดค่าแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ได้ตามต้องการผ่านจัมเปอร์ JP801-JP803 โดยปกติถ้าใช้ PCF8591 เพียงเดียวมักจะกำหนดค่าแอดเดรสเอาไว้เท่ากับ 000 การเชื่อมต่อบอร์ด EX-08 กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้การเชื่อมต่อผ่านแจ็กโทรศัพท์ และสามารถต่อเข้ากับบอร์ดร่วมกันได้มากถึง 8 บอร์ดจากการกำหนดแอดเดรสของแต่ละบอร์ดแต่ละตำแหน่งกัน อินพุตอนาลอกที่ป้อนไปยัง PCF8591 มีทั้งหมด 4 จุดด้วยกัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกป้อนอินพุตอนาลอก 0-5 V จากภายนอกหรือใช้การป้อนจากตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งใช้ปรับค่าแรงดันระหว่าง 0-5 V จากแหล่งจ่ายไฟภายในบอร์ด โดยการเลือกการอ่านค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้ หรือจากภายนอกนั้นมาจั้มเปอร์ JP704-JP707 บนตัวบอร์ด

นอกจากนี้ PCF8591 ยังมีเอาต์พุตแบบอนาลอกอีก 1 จุดเพื่อส่งแรงดันเอาต์พุตออกไปโดยค่าแรงดันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-5 V ขึ้นอยู่กับการส่งข้อมูลมาควบคุมบอร์ด EX-08 แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงบอร์ด EX-08 จะมาจากจุดต่อระบบบัส I^2C ซึ่งเป็นแจ็กโมดูซล่าร์ 4 ขา

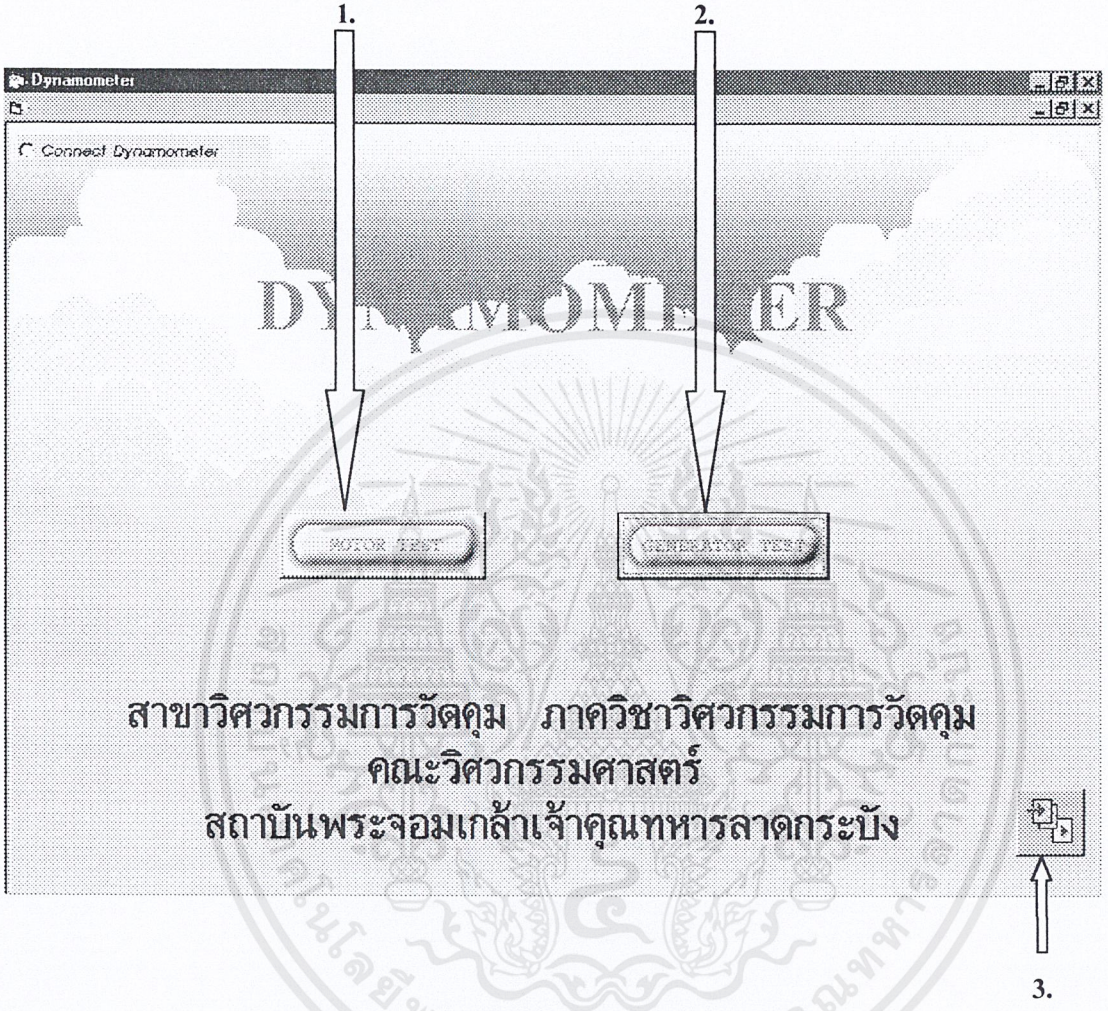


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรสมมูลย์ของ EX – 08 บอร์ด ACD / DAC ผ่านระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เขียนขึ้นมาจากโปรแกรม Visual Basic โดยมีรายละเอียดและหน้าตาโปรแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.14 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุม

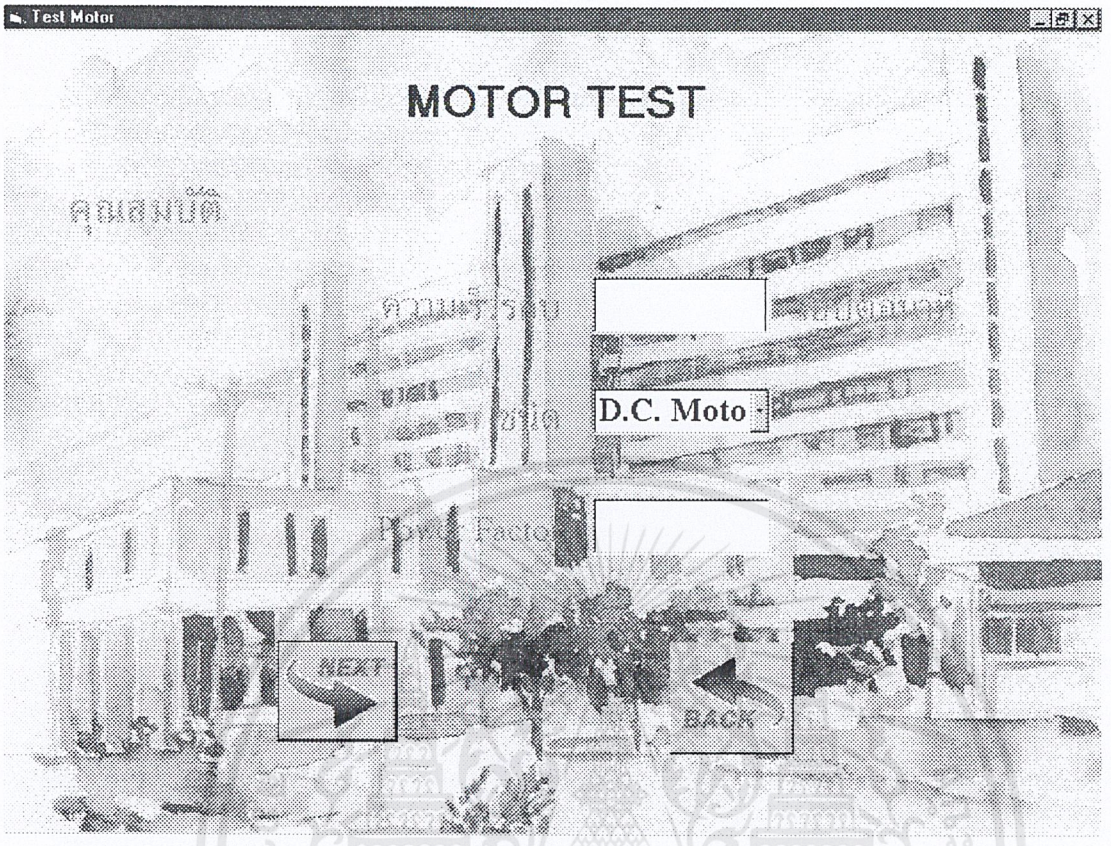
จากรูปที่ 3.14 หมายเลข 1. คือ ปุ่มกดเพื่อเลือกการทดสอบมอเตอร์

หมายเลข 2. คือ ปุ่มกดเพื่อเลือกการทดสอบเจนเนอเรเตอร์

หมายเลข 3. คือ ปุ่มกดเพื่อออกจากโปรแกรม

โดยถ้ายังไม่กดปุ่ม Connect Dynamometer จะสามารถเข้าไปสู่หน้าต่างอื่นได้แต่ว่าไม่สารถสั่งงานและควบคุมได้ และเมื่อกดหมายเลข 1. จะเข้าสู่การทดสอบมอเตอร์ และจะปรากฏรูปหน้าจอดังรูปที่ 3.15 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



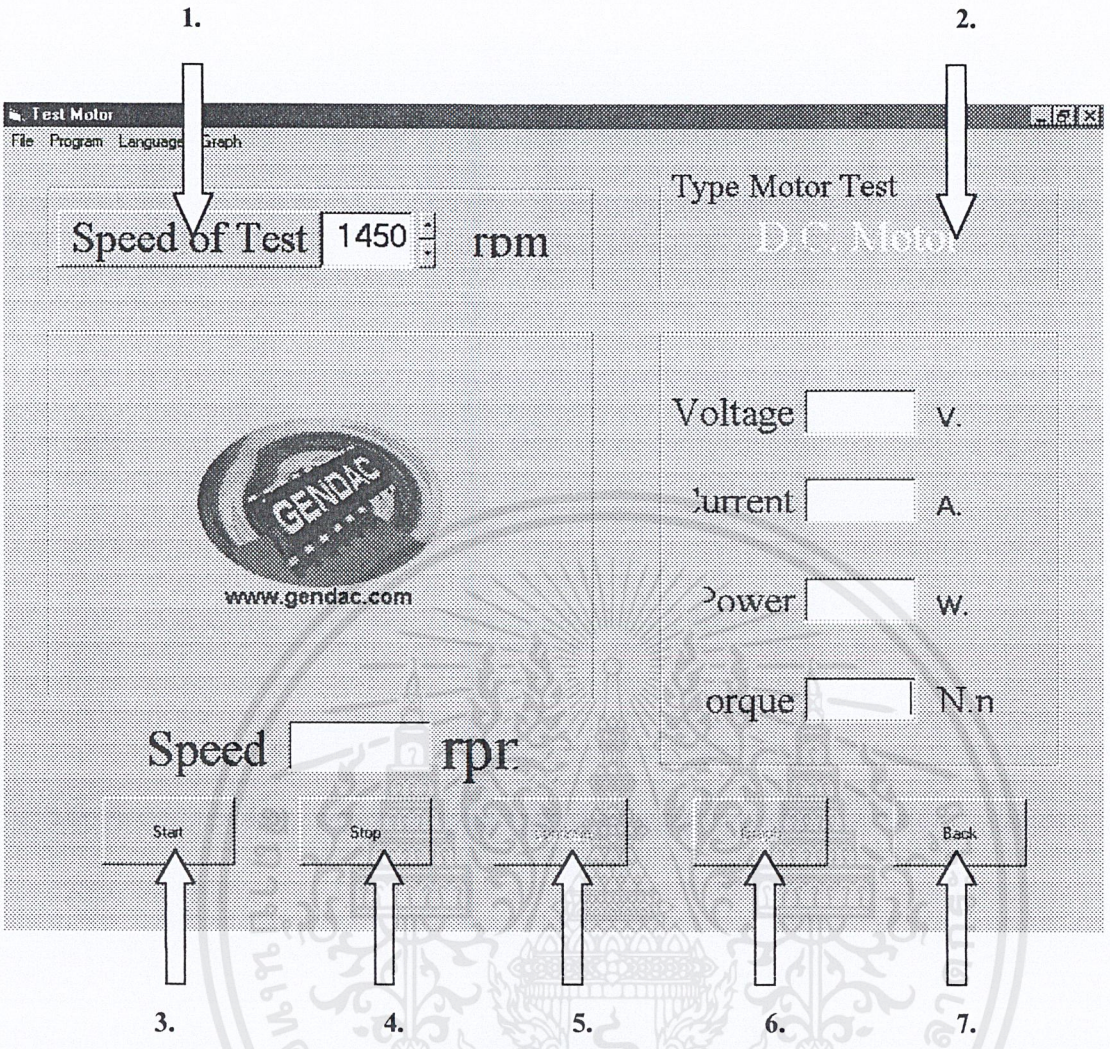
รูปที่ 3.15 แสดงหน้าจอการทดสอบมอเตอร์ของโปรแกรมควบคุม

จากหน้าจอนี้เราต้องใส่ค่าคุณสมบัติต่างๆ ให้ครบเสียก่อนจึงจะสามารถเข้าไปสู่หน้าจอต่อไปได้ ถ้าเราไม่ใส่ค่าต่างๆ ให้ครบ ทางโปรแกรมจะขึ้นว่า error แล้วแจ้งว่าให้ใส่ค่าให้ครบ โดยค่าความเร็วรอบ คือ ความเร็วรอบที่เราต้องการทดสอบ และถ้ามอเตอร์ที่เรานำมาทดสอบเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เราจะต้องใส่ Power Factor เข้าไปด้วย และในช่องชนิดของมอเตอร์จะมีให้เลือก 3 ชนิด คือ D.C. Motor , A.C. 1 Phase , A.C. 3 Phase

ปุ่ม Next เป็นปุ่มเพื่อจะให้โปรแกรมทำงานในหน้าจอต่อไป

ปุ่ม Back เป็นปุ่มเพื่อที่จะให้กลับไปสู่หน้าจอหลัก เพื่อเข้าเลือกโหมดหารทำงานใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงหน้าจอผลการทดสอบมอเตอร์ของโปรแกรมควบคุม

จากรูปที่ 3.16 หมายเลข 1. คือ ปุ่มกดเพื่อใช้ในการเบรก ณ ที่ความเร็วรอบที่เราต้องการ

หมายเลข 2. คือ ชนิดของมอเตอร์ที่ผู้ใช้แจ้งเอาไว้ที่หน้าจอที่แล้ว

หมายเลข 3. คือ ปุ่มกดเพื่อเริ่มการทำงาน

หมายเลข 4. คือ ปุ่มกดเพื่อหยุดการทำงาน

หมายเลข 5. คือ ปุ่มกดเพื่อทำงานต่อใช้เมื่อเราทำการวาดกราฟแล้วต้องการทำงานต่อ

หมายเลข 6. คือ ปุ่มกดเพื่อใช้ในการแสดงกราฟที่ได้จากการทดสอบออกมา

หมายเลข 7. คือ ปุ่มกดเพื่อกลับไปสู่หน้าจอการทดสอบมอเตอร์

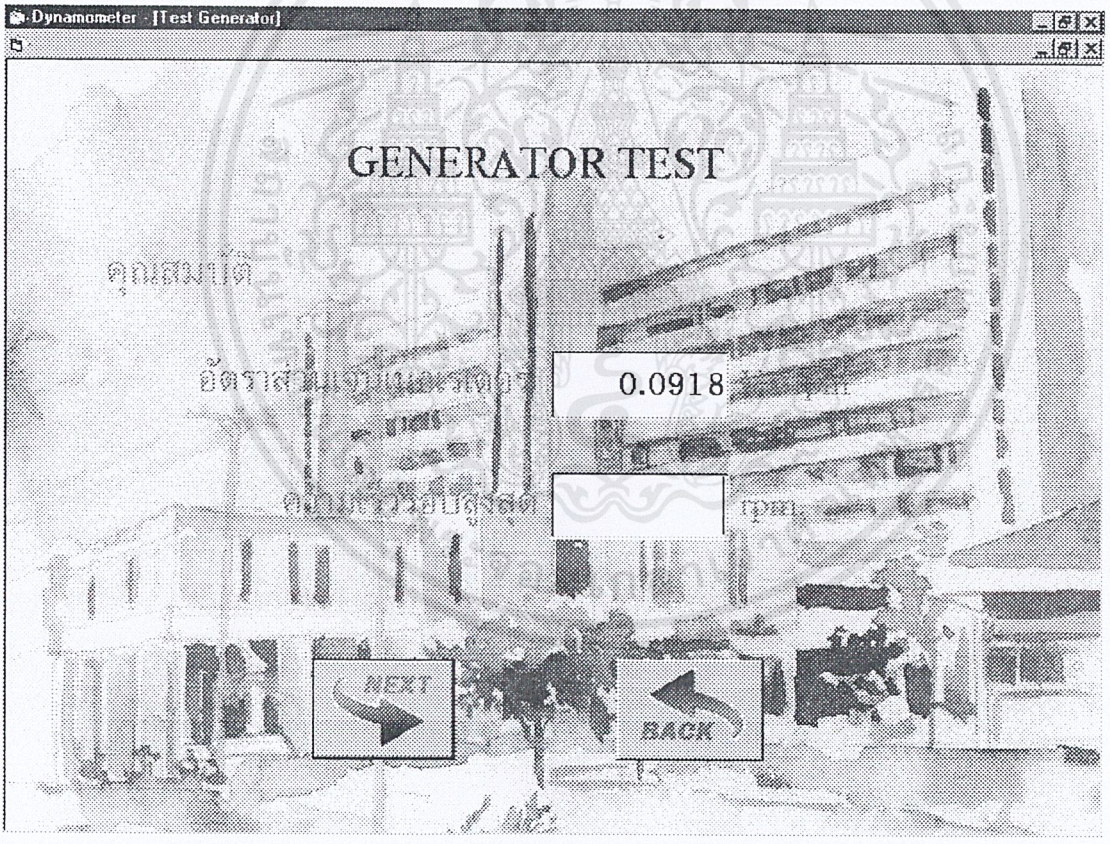
โดยที่หน้าจอนี้ เมื่อเรากดปุ่ม Start เริ่มการทำงาน โปรแกรมจะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ความเร็วรอบในขณะนั้น , แรงดันไฟฟ้า จะแสดงทันที ส่วนค่ากระแส , กำลังงาน และแรงบิด จะแสดงก็ต่อเมื่อเรากดปุ่ม Speed of Test ทำการเบรกมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวอย่างมีการใช้งานดังนี้

- กดปุ่ม 3. เพื่อเริ่มการทำงาน โปรแกรมจะแสดงค่าความเร็วรอบ และค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา
- หลังจากนั้นเลือกค่าความเร็วรอบที่เราต้องการทดสอบ หรือเบรกมอเตอร์แล้วกดปุ่ม 1.
- จะได้ค่ากระแส , กำลังงาน , แรงบิดของมอเตอร์ที่เราทดสอบแสดงออกมา
- ถ้าต้องการดูกราฟความเร็วรอบให้กดปุ่ม 6.
- เมื่อวาดกราฟแล้วต้องการทำงานต่อจะต้องกดปุ่ม 5.
- ถ้าต้องการหยุดการทำงานให้กดปุ่ม 4.
- ถ้าต้องการให้กลับไปหน้าจอการทดสอบมอเตอร์กดปุ่ม 7.

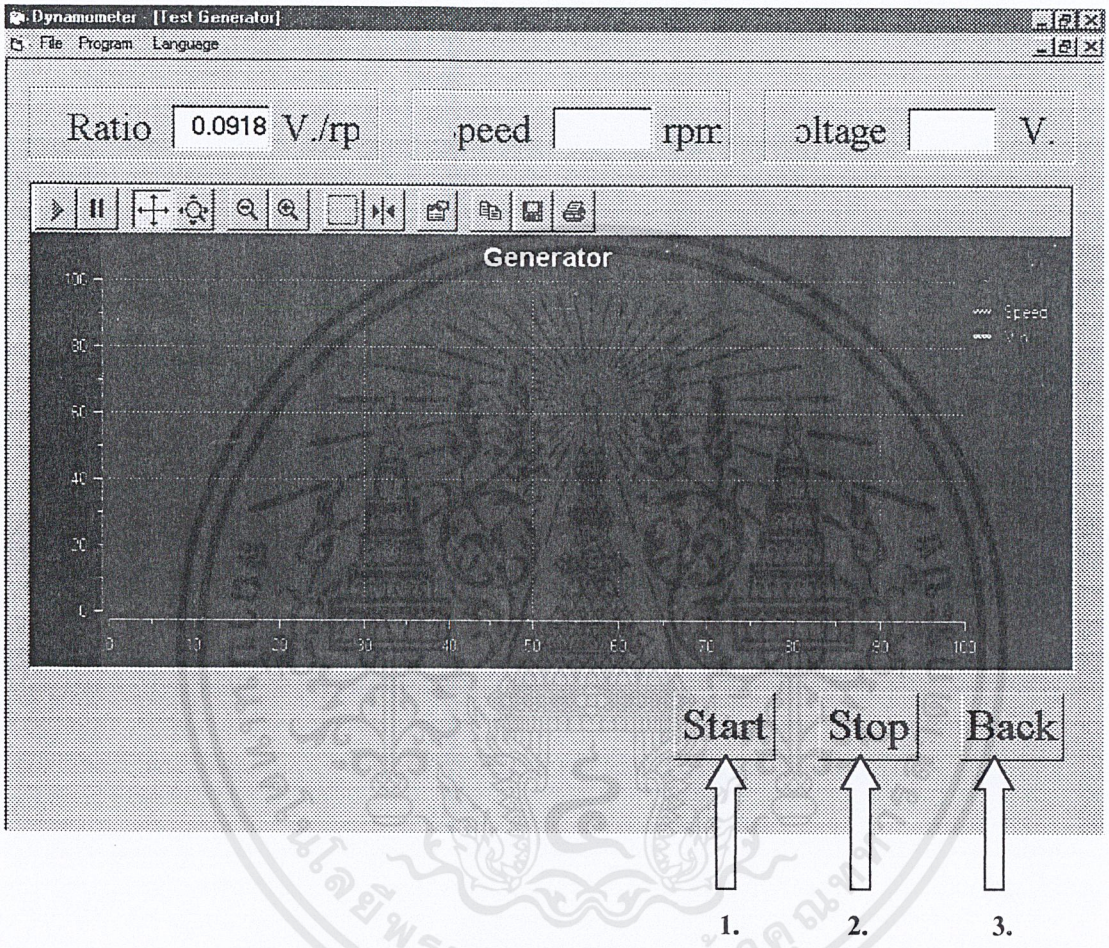
ถ้าจากหน้าจอหลักเรากดปุ่ม ทดสอบเจนเนอเรเตอร์จะมีหน้าจอดังรูป 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงหน้าจอการทดสอบเจนเนอเรเตอร์ของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้เราจะต้องเติมค่าอัตราส่วนของเจนเนอเรเตอร์ (V. / RPM) และค่าความเร็วรอบของเจนเนอเรเตอร์ให้เรียบร้อย แล้วทางโปรแกรมจึงจะให้ทำงานต่อไปได้ โดยกดปุ่ม Next ถ้าต้องการกลับสู่หน้าจอหลักให้กดปุ่ม Back



รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอผลการทดสอบเจนเนอเรเตอร์

โดยที่ หมายเลข 1. คือ ปุ่มกดเพื่อเริ่มการทำงานแสดงผลการทดสอบเจนเนอเรเตอร์

หมายเลข 2. คือ ปุ่มกดเพื่อหยุดการทำงาน

หมายเลข 3. คือ ปุ่มกดเพื่อกลับไปสู่หน้าจอการทดสอบเจนเนอเรเตอร์

โดยค่า Ratio จากที่เราใส่เมื่อหน้าจอที่แล้วจะถูกนำมาแสดง และก็จะแสดงค่าความเร็วรอบและแรงดันที่เจนเนอเรเตอร์จ่ายออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งาน

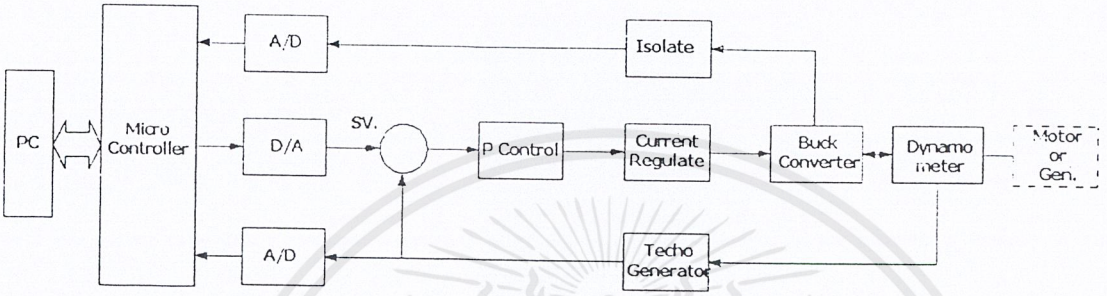
- ทางโปรแกรมจะนำค่าอัตราส่วนของเจนเนอเรเตอร์จากหน้าจอที่แล้วที่เราแจ้งไว้มาแสดงที่ช่อง Ratio
- หลังจากนั้น กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการทดสอบเจนเนอเรเตอร์ เพื่อที่จะให้โปรแกรมแสดงค่าความเร็วรอบ และ แรงดันไฟฟ้าออกมา และจะแสดงค่ากราฟออกมา
- ถ้ากดปุ่ม Stop จะเป็นการหยุดการทำงาน
- ถ้าต้องการกลับไปสู่หน้าจอการทดสอบเจนเนอเรเตอร์ใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองไดนาโมมิเตอร์ , การทดลองและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคอมพิวเตอร์ในโปรแกรมกับค่าที่ได้จริง และการทดลองการควบคุมความเร็วโดยการเบรก



รูปที่ 4.1 แสดง Block diagram ของระบบการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

4.1 มอเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

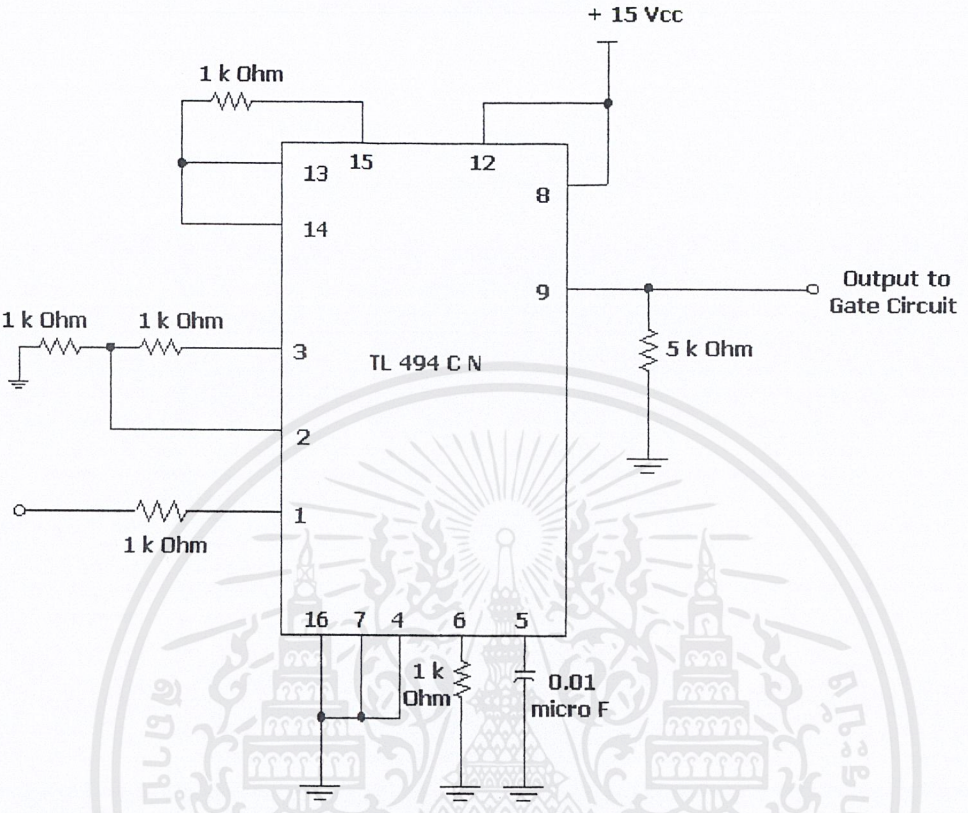
ในโครงงานนี้มอเตอร์ที่ใช้ทดสอบคือ Induction Motor 3 เฟส 4 โพล ½ แรงม้า 1400 RPM ในการทดสอบเพื่อนำมาวัดค่าคุณลักษณะ ดัง รูปที่ 4.1 (รูปบล็อคที่เป็นเส้นประ) โดยการควบคุมความเร็วรอบจะใช้ Inverter Speed Control ปรับความเร็วรอบตามต้องการ

4.2 การทดลองวงจรควบคุม

4.2.1 วงจร Pulse Width Modulation

ในวงจร Pulse Width Modulation ใช้ IC เบอร์ TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อไปทริกให้วงจรขับเกตทำงาน รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงสัญญาณพัลส์จากวงจร PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



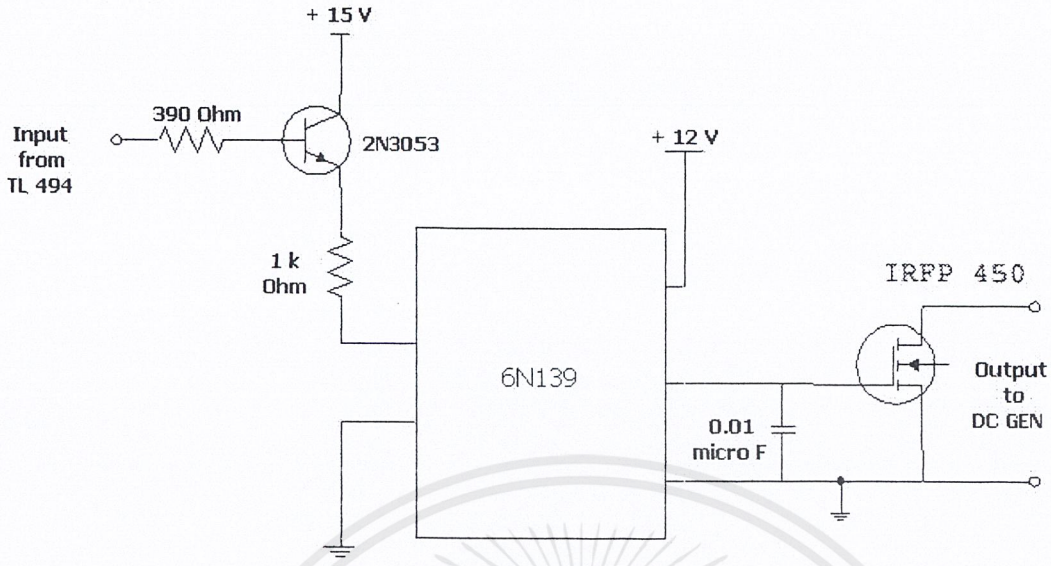
รูปที่ 4.2 แสดงวงจร Pulse Width Modulation

4.2.2 วงจรขับเกต

ในวงจรขับเกตจะใช้ IC เบอร์ 6N139 และใช้ Transistor เบอร์ 2N3053 เพื่อใช้ในการเพิ่มแรงดันของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อให้แรงดันคงที่และเพียงพอจะใช้ขับ Mosfet โดยมีการแยกกราวด์เป็นอิสระต่อกันเพื่อป้องกันการเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gate Circuit



รูปที่ 4.3 แสดงรูปวงจรขับเกต

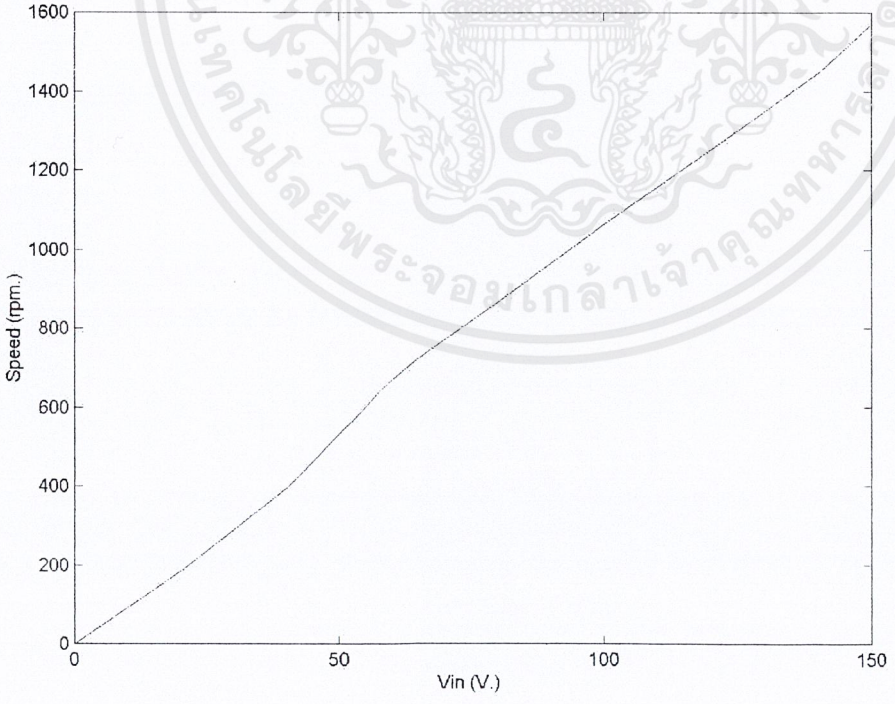
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบมอเตอร์

การทดสอบมอเตอร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบมอเตอร์

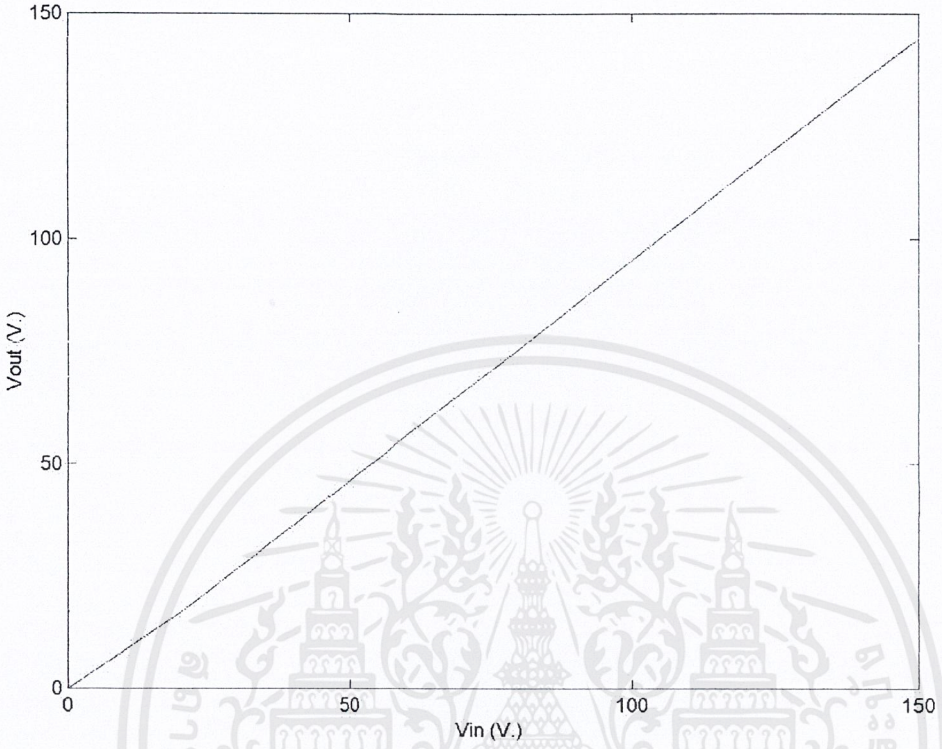
V_{IN}	I (mA)	V_{OUT} (Vdc)	RPM	P (mWatt)
0	0	0	0	0
20.05	58.5	16.94	184.00	1172.925
40.3	117.0	36.60	398.30	4715.100
60.2	192.3	56.20	672.73	11576.460
80.2	204.4	75.70	864.84	16392.880
100.1	213.6	95.40	1063.49	21381.360
120.1	222.9	115.40	1255.61	26770.290
140.0	230.5	134.90	1447.72	32270.000
149.5	236.9	144.10	1565.00	35416.550



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{IN} กับความเร็วรอบ (RPM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

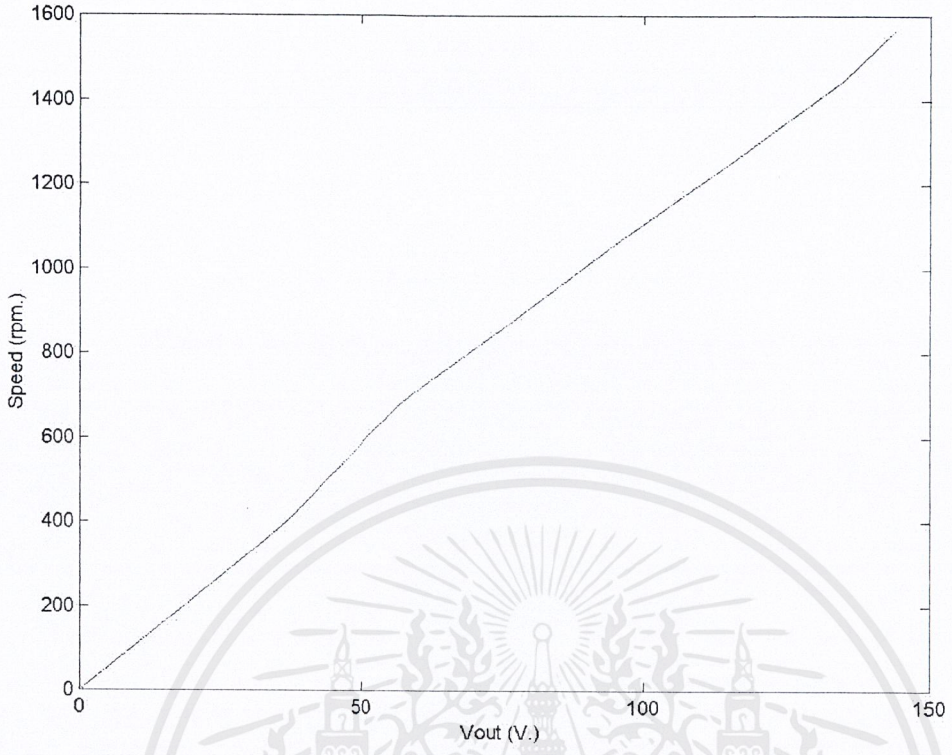
$K_1 = (149.5 - 0) / (1565.0 - 0) = 0.0955$ V / RPM



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 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)

$$K_3 = (144.1 - 0) / (1565.0 - 0) = 0.0921 \text{ V / RPM}$$

โดยที่

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 เราจะใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า V_{IN} และ ความเร็วรอบ เนื่องจากเราจะได้ค่า V_{OUT} มาจาก TachoGenerator เพียงค่าเดียว

จากตารางที่ 4.1 จะเป็นการทดสอบเบื้องต้น เพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบวงจรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ได้จาก TachoGenerator กับ แรงดันที่จะนำมาเป็น Process Value (PV.)

แรงดันที่ได้จาก TachoGenerator	Process Value (PV.)
20.2	0.908
30.3	1.19
40.3	1.477
50.1	1.756
60.0	2.038
70.3	2.332
79.9	2.606
90.3	2.90
99.9	3.18
110.4	3.46
120.3	3.75
130.3	4.03

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ ที่แสดงผลในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับค่าวัดได้จาก Digital Tachometer

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ปรับความเร็วของ Induction Motor โดยใช้ Inverter Speed Controller ให้มีค่าความเร็วที่ต้องการวัด
2. นำ Digital Tachometer มาวัดความเร็วรอบจาก Induction Motor
3. บันทึกค่าที่ได้จาก Digital Tachometer กับค่าที่ได้จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ

ค่าความเร็วรอบที่ได้จาก Digital Tachometer	ค่าความเร็วรอบที่แสดงในโปรแกรม
302.6	298
400.6	400.5
500.0	495.8
601.5	595.0
699.3	697.0
802.5	798.5
907.0	908.5
1004	1003
1118	1111
1201	1204
1315	1314
1406	1400
1475	1470

4.4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันที่จ่ายเข้ามอเตอร์ (V_{IN}) ที่แสดงผลในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับค่าวัดได้จาก Voltmeter

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.ปรับความเร็วของ Induction Motor โดยใช้ Inverter Speed Controller ให้มีค่าความเร็วที่ต้องการวัด

2.นำ Voltmeter มาวัดแรงดันจาก Induction Motor

3.บันทึกค่าที่ได้จาก Voltmeter กับค่าที่ได้จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดัน

ค่าแรงดัน V_{IN} ที่วัดได้จาก Voltmeter	ค่าแรงดัน V_{IN} ที่แสดงในโปรแกรม
20.25	19.24
40.00	39.67
59.90	60.10
80.50	81.24
100.4	100.9
119.5	120.7
129.9	131.9

4.4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์ (V_{OUT}) ที่แสดงผลในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับค่าวัดได้จาก Voltmeter

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์โดยปรับ Duty Cycle ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณคลื่นที่จะนำไปขับมอสเฟต
2. นำ Voltmeter มาวัดแรงดันที่ Generator จ่ายออกมา
3. บันทึกค่าที่ได้จาก Voltmeter กับค่าที่ได้จากโปรแกรม

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดัน

ค่าแรงดัน V_{OUT} ที่วัดได้จาก Voltmeter	ค่าแรงดัน V_{OUT} ที่แสดงในโปรแกรม
20	21.45
25	25.47
30	30.84
35	34.86
40	40.23
45	45.59
50	50.28
55	54.98
59.6	59.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ ที่แสดงผลในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับค่าวัดได้จาก Digital Tachometer

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์โดยปรับ Duty Cycle ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณคลื่นที่จะนำไปขับมอสเฟต
2. นำ Digital Tachometer มาวัดความเร็วรอบจาก Motor
3. บันทึกค่าที่ได้จาก Digital Tachometer กับค่าที่ได้จากโปรแกรม

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วรอบ

ค่าความเร็วรอบที่ได้จาก Digital Tachometer	ค่าความเร็วรอบที่แสดงในโปรแกรม
248.3	250.4
300.0	303.5
352.8	356.64
398.3	402.17
498.5	500.8
550.1	546.35
601.7	599.47
678.4	667.6

4.4.5 การทดลองการควบคุมความเร็วโดยการเบรก

เราจะทำการเปรียบเทียบความเร็วรอบในการเบรก และวัดค่าคุณลักษณะต่างๆ ของมอเตอร์ ซึ่งได้จาก Tachogenerator และวงจร Buck Converter มาแสดงผลยังมอนิเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. ตั้งค่าความเร็วรอบเริ่มต้นที่ 1000 RPM
2. ปรับค่าความเร็วของ Induction Motor โดยใช้ Inverter Speed Controller ให้มีค่า Process Value (PV.) มีค่าเข้าใกล้ค่าความเร็วเริ่มต้น
3. เริ่มต้นการวัดค่าคุณลักษณะของมอเตอร์ทดสอบ ขณะรับโหลดที่ค่าต่างๆ โดยการป้อนค่า Set Point (Speed)
4. วาดกราฟจากข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางการทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

ความเร็วรอบ (RPM.)			แรงดันไฟฟ้า (volt)	
Tachometer	**Scale**	**Program**	**Meter**	**Program**
300	360	302.869	36.70	33.647
453	480	456.863	40.00	45.370
605	620	610.856	53.40	57.090
750	750	758.154	66.30	68.310
904	900	905.452	79.80	79.530
1049	1035	1059.445	92.80	91.250
1204	1195	1213.44	106.40	102.980
1047	1040	1059.445	92.80	91.250
900	900	912.147	79.30	80.040
748	750	751.460	65.80	67.800
598	600	604.161	52.90	56.580
451	470	450.167	39.70	44.860
302	360	302.869	26.66	33.640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การทดสอบมอเตอร์ขณะทำการเบรก

ทดสอบที่ความเร็วรอบขณะปกติ 902.3 รอบต่อนาที และ ค่าแรงดันไฟฟ้า 79.8 โวลท์

ความเร็วรอบ (RPM)		แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแส (A)		กำลังไฟฟ้า (W)		แรงบิด (N – m)		แรงดันตกคร่อม R (V)
Tacho meter	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	
787.0	724.7	62.90	65.70	0.962	0.933	60.56	61.30	0.81	0.845	2.792
645.7	584.1	48.30	55.05	1.376	1.225	66.45	67.45	1.15	1.143	3.990
467.6	396.6	31.90	40.78	1.514	1.312	48.29	53.51	1.27	1.231	4.390
324.1	235.9	19.55	28.55	1.735	1.485	33.91	42.41	1.45	1.407	5.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การทดสอบเจนเนอเรเตอร์

ความเร็วรอบ (RPM.)			แรงดันไฟฟ้า (volt)	
Tachometer	**Scale**	**Program**	**Meter**	**Program**
345	280	309	32.2	28.40
409	425	484	38.4	42.70
478	475	576	43.8	46.20
560	530	636	52.2	56.90
683	590	693	62.6	61.78
492	470	581	45.4	52.00
356	305	352	34.5	32.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลปริญญานิพนธ์

ในโครงงานนี้ใช้ไอซี TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งใช้งานง่าย สามารถปรับความถี่ และ duty cycle เพื่อใช้เป็นสัญญาณมาตราฐานไปควบคุมอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง ที่ไปควบคุมการตัดต่อ เพื่อใช้ในการเบรกมอเตอร์ให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ เนื่องจากการนำสัญญาณที่ได้จาก Tachogenerator ไปเป็นสัญญาณป้อนกลับ ไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วรอบที่เราต้องการ ซึ่งในสภาวะที่เบรกมอเตอร์นั้น จะได้ค่าพารามิเตอร์ออกมา ซึ่งทำให้เราทราบค่ากำลังงานและแรงบิด เพื่อใช้ในการควบคุมการป้อนกลับ

ในส่วนของการทดสอบเจนเนอเรเตอร์ เราใช้อุปกรณ์สวิตช์ชิ่งในการปรับแรงดันให้กับมอเตอร์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดพลังงานทางกลส่งไปให้ยังเจนเนอเรเตอร์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมา ค่าความเร็วรอบ แรงดัน ที่ได้จากเครื่องมือวัดและทางจอคอมพิวเตอร์ หลังจากเปรียบเทียบกับ Tachometer และ Voltmeter แล้วมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 วิจารณ์ปริญญานิพนธ์

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ผลของมอเตอร์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้น ส่งผลให้ค่าสัญญาณอนาลอกที่แปลงเป็นดิจิตอล ส่งเข้าไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเกิดการแกว่ง ทำให้ค่าที่ได้ไม่นิ่ง

การปรับค่า K ในวงจร Proportional ยังไม่ได้ค่าที่เหมาะสมพอ ทำให้เกิดปัญหากับความเร็วของมอเตอร์ที่จะได้ค่าไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

5.3 แนวทางการพัฒนา

ถ้าเพิ่มพิกัดของมอเตอร์ให้สูงกว่านี้ พร้อมกับเพิ่มพิกัดของอุปกรณ์สวิตช์ชิ่งให้มีขนาดสูงขึ้น จะสามารถทดสอบมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อีก และยังสามารถใช้ทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ความเร็วรอบสูงได้อีกด้วย

ในส่วนของโปรแกรมการควบคุมและแสดงผล อาจทำให้เป็นตัวเลขแทนเข็มสเกลก็จะดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ประสบการณ์ที่ได้รับ

หลังจากที่ได้ทำโครงงานนี้ สิ่งที่ได้รับคือ ทำให้ได้เรียนรู้การทำงานของวงจรต่างๆ ดีขึ้น ได้เรียนรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และการควบคุมมอเตอร์ รวมไปถึงได้รู้จักการวางแผนการทำงาน การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น รู้จักการทำงานร่วมกับผู้อื่น รวมไปถึงการได้แบ่งปันความรู้และช่วยเหลือซึ่งกันและกันระหว่างกลุ่มเพื่อที่ต่างโครงงานกัน ซึ่งสามารถนำประสบการณ์ต่างๆ เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เพื่อที่จะได้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและพัฒนาตนเองต่อไป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ไชยชาญ หินเกิด. **เครื่องกลไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุดมศึกษา , 2539

2. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. **เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.** กรุงเทพฯ : บริษัท ที พี พริ้นท์ จำกัด , 2537

3. ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. **เครื่องกลไฟฟ้าเบื้องต้น เล่ม 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.** : ศูนย์การพิมพ์พลชัย

4. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพนจิตรวิไล. **เรียนรู้ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 .** กรุงเทพฯ : บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

5. กฤษฎา ใจเย็น , อรรถพล บุญยะโภคา และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพนจิตรวิไล. **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม.** กรุงเทพฯ : บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

6. เอกสารประกอบการศึกษาวิชา Electric Drive. ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

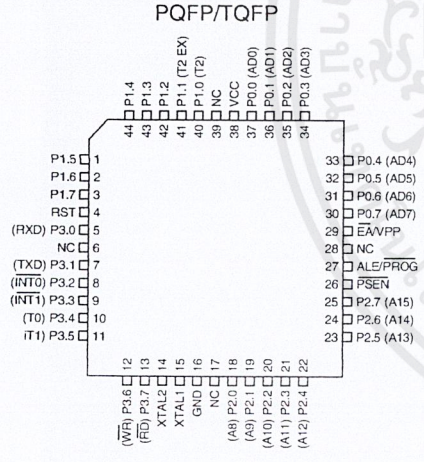
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

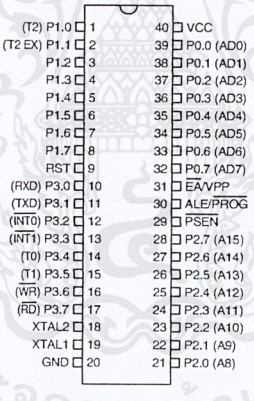
The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

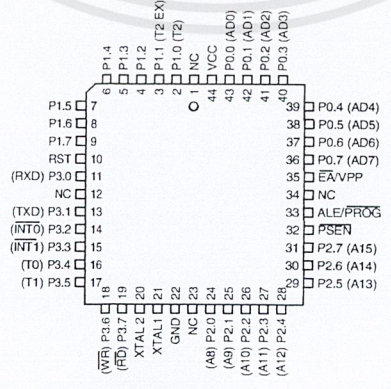
PQFP/TQFP



PDIP



PLCC



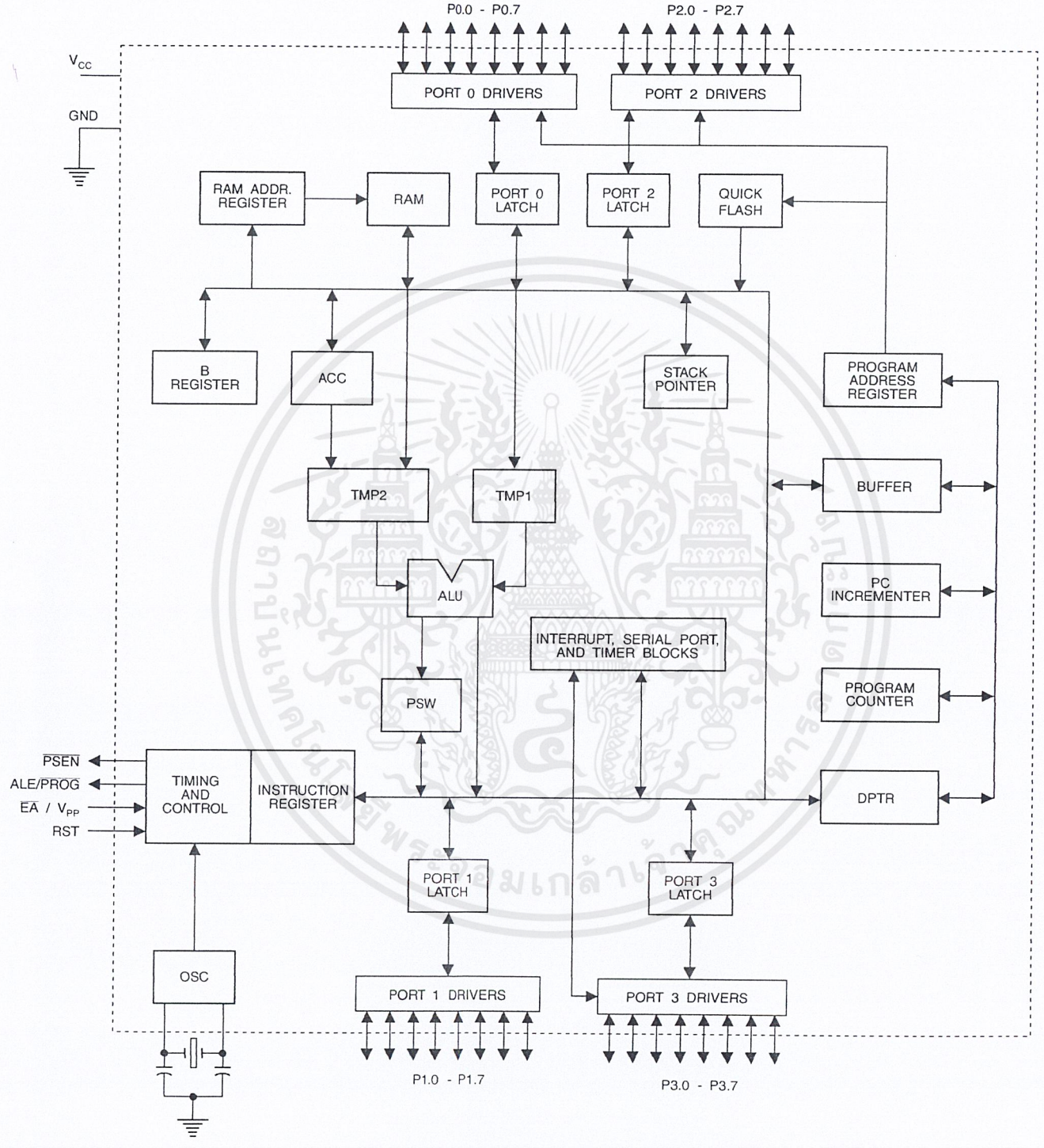
8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89C52

Rev. 0313H–02/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full-duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/$\overline{\text{PROG}}$

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

$\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C52 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}$/VPP

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000								0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XX000000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0X000000								0AFH
0A0H	P2 11111111								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111								97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000				PCON 0XXX0000	87H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Timer 2 Registers Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

Interrupt Registers The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.r

Table 2. T2CON – Timer/Counter 2 Control Registe

T2CON Address = 0C8H — Reset Value = 0000 0000B

Bit Addressable

Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$
	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/$\overline{T2}$	Timer or counter select for Timer 2. C/$\overline{T2}$ = 0 for timer function. C/$\overline{T2}$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/$\overline{RL2}$	Capture/Reload select. CP/$\overline{RL2}$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/$\overline{RL2}$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Data Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The upper 128 bytes occupy a parallel address space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit C/$\overline{T2}$ in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK +TCLK	CP/$\overline{RL2}$	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Timer in Capture Mode

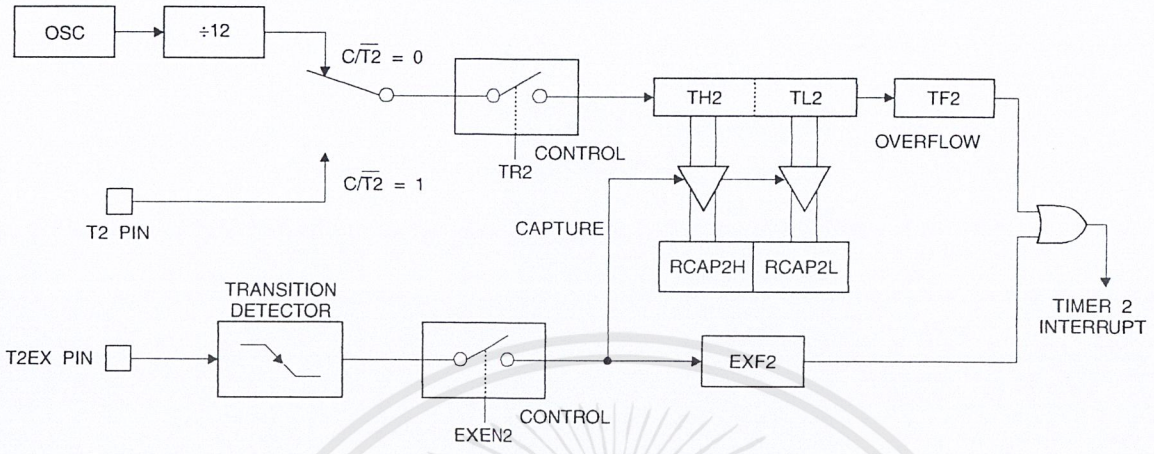


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in Timer in Capture ModeRCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

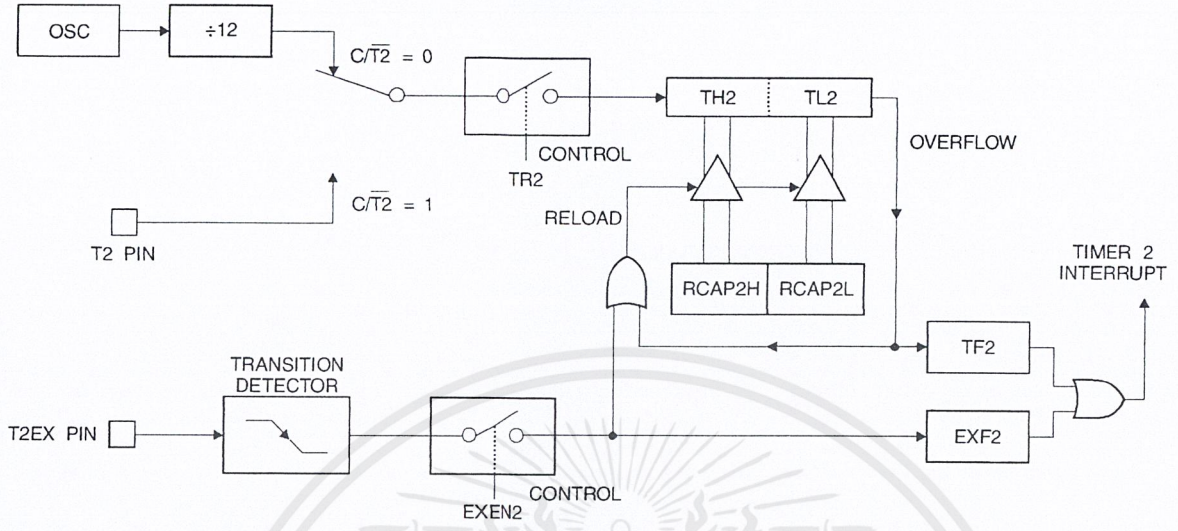


Table 4. T2MOD – Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H — Reset Value = XXXX XX00B

Not Bit Addressable

	–	–	–	–	–	–	T2OE	DCEN
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
–	Not implemented, reserved for future
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

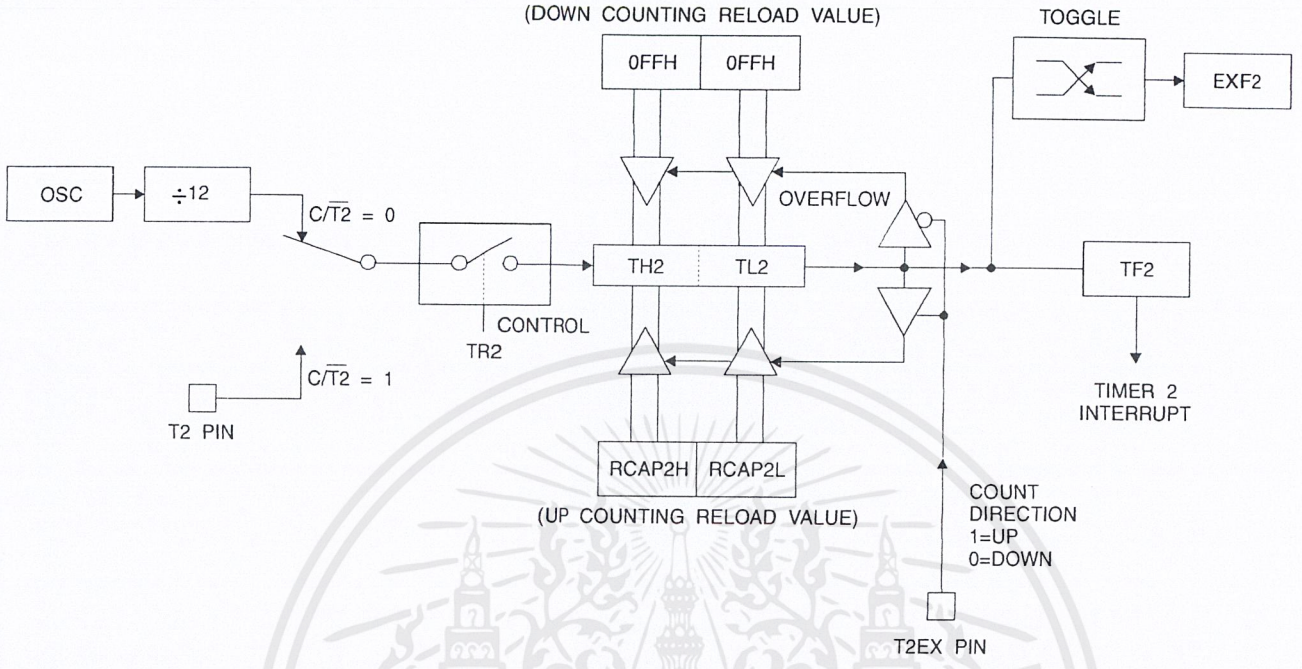
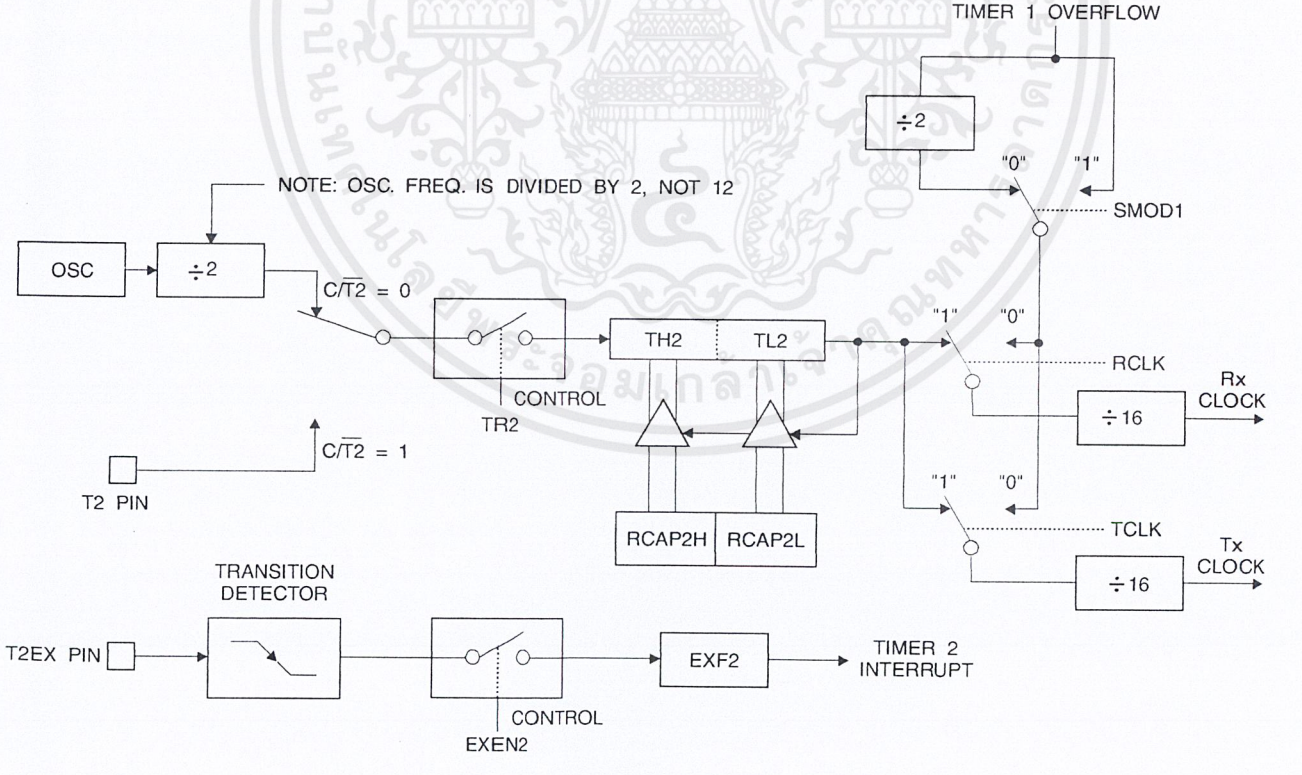


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation (CP/$\overline{T2}$ = 0). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

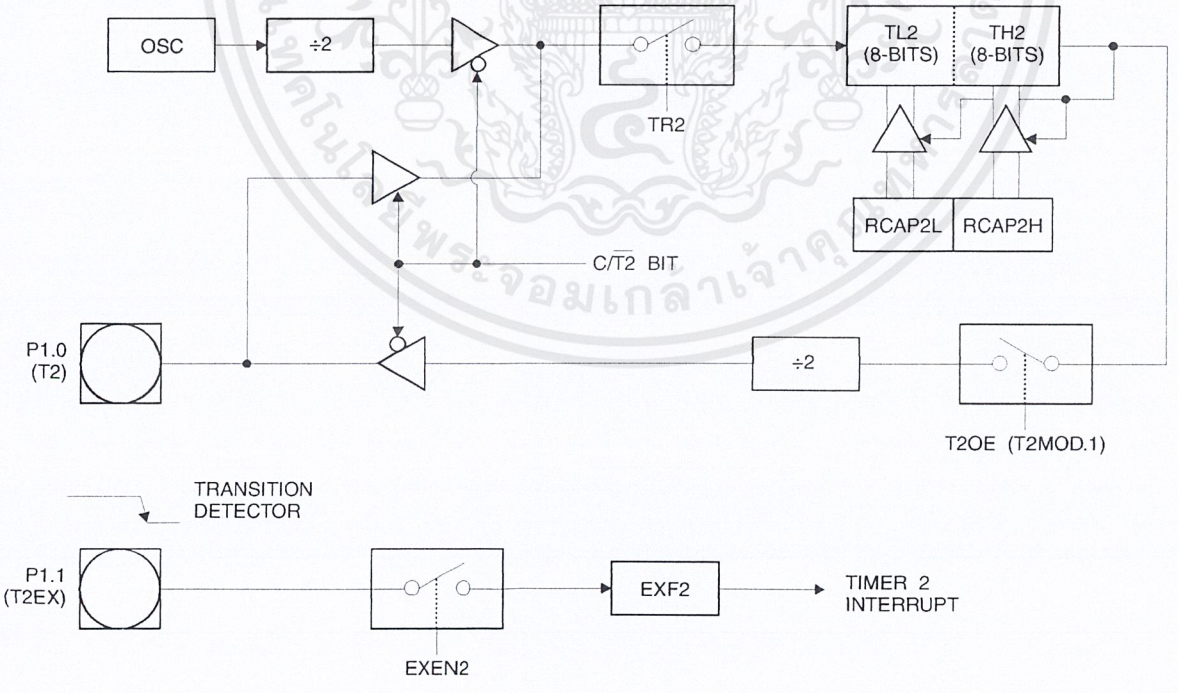
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H,RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running (TR2 = 1) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable Clock Out

A 50% duty cycle clock can be programmed to come out on P1.0, as shown in Figure 5. This pin, besides being a regular I/O pin, has two alternate functions. It can be programmed to input the external clock for Timer/Counter 2 or to output a 50% duty cycle clock ranging from 61 Hz to 4 MHz at a 16 MHz operating frequency.

To configure the Timer/Counter 2 as a clock generator, bit C/$\overline{T2}$ (T2CON.1) must be cleared and bit T2OE (T2MOD.1) must be set. Bit TR2 (T2CON.2) starts and stops the timer.

The clock-out frequency depends on the oscillator frequency and the reload value of Timer 2 capture registers (RCAP2H, RCAP2L), as shown in the following equation.

$$\text{Clock-Out Frequency} = \frac{\text{Oscillator Fequency}}{4 \times [65536 - (\text{RCAP2H,RCAP2L})]}$$

In the clock-out mode, Timer 2 roll-overs will not generate an interrupt. This behavior is similar to when Timer 2 is used as a baud-rate generator. It is possible to use Timer 2 as a baud-rate generator and a clock generator simultaneously. Note, however, that the baud-rate and clock-out frequencies cannot be determined independently from one another since they both use RCAP2H and RCAP2L.

UART

The UART in the AT89C52 operates the same way as the UART in the AT89C51.

Interrupts

The AT89C52 has a total of six interrupt vectors: two external interrupts ($\overline{INT0}$ and $\overline{INT1}$), three timer interrupts (Timers 0, 1, and 2), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 6.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89C51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

Timer 2 interrupt is generated by the logical OR of bits TF2 and EXF2 in register T2CON. Neither of these flags is cleared by hardware when the service routine is vectored to. In fact, the service routine may have to determine whether it was TF2 or EXF2 that generated the interrupt, and that bit will have to be cleared in software.

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However, the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

Table 5. Interrupt Enable (IE) Register

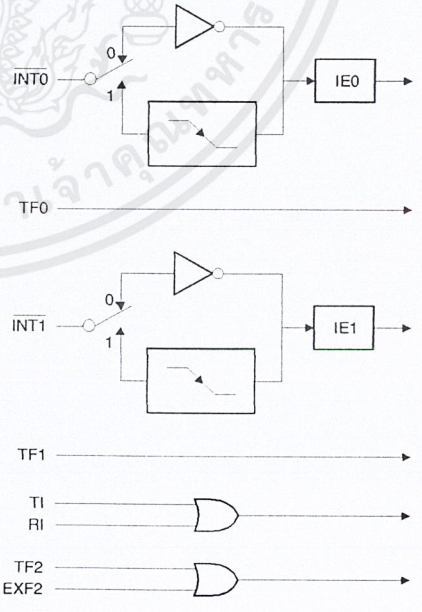
(MSB)							(LSB)
EA	–	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

Enable Bit = 1 enables the interrupt.

Enable Bit = 0 disables the interrupt.

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
–	IE.6	Reserved.
ET2	IE.5	Timer 2 interrupt enable bit.
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit.
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit.
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit.
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit.
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit.
User software should never write 1s to unimplemented bits, because they may be used in future AT89 products.		

Figure 6. Interrupt Sources



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 7. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 8. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

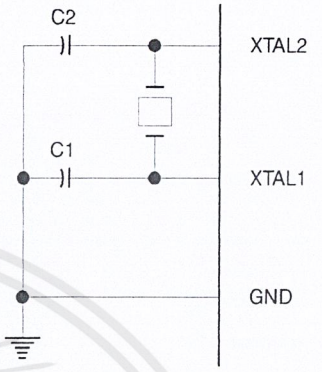
In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

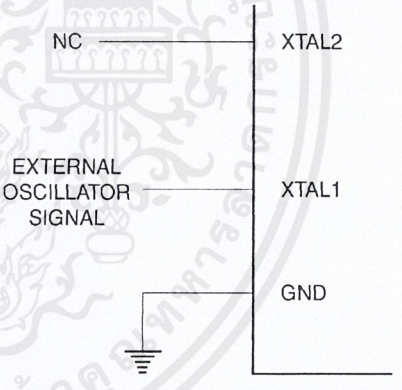
In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Powe-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{PSEN}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Memory Lock Bits

The AT89C52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				
	LB1	LB2	LB3	Protection Type
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the $\overline{EA}$ pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of $\overline{EA}$ must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming the Flash

The AT89C52 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The Low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C52 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C52 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	V_{PP} = 12V	V_{PP} = 5V
Top-side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx - 5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = 05H

The AT89C52 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm Before programming the AT89C52, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 9 and Figure 10. To program the AT89C52, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise $\overline{EA}/V_{PP}$ to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/$\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

$\overline{Data}$ Polling The AT89C52 features $\overline{Data}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. $\overline{Data}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/$\overline{Busy}$ The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/$\overline{BSY}$ output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate $\overline{BUSY}$. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/$\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all 1s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be reprogrammed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reading the Signature Bytes The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 52H indicates 89C52
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written, and the entire array can be erased, by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode		RST	$\overline{PSEN}$	ALE/$\overline{PROG}$	$\overline{EA}$/V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{PROG}$ pulse.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9. Programming the Flash Memory

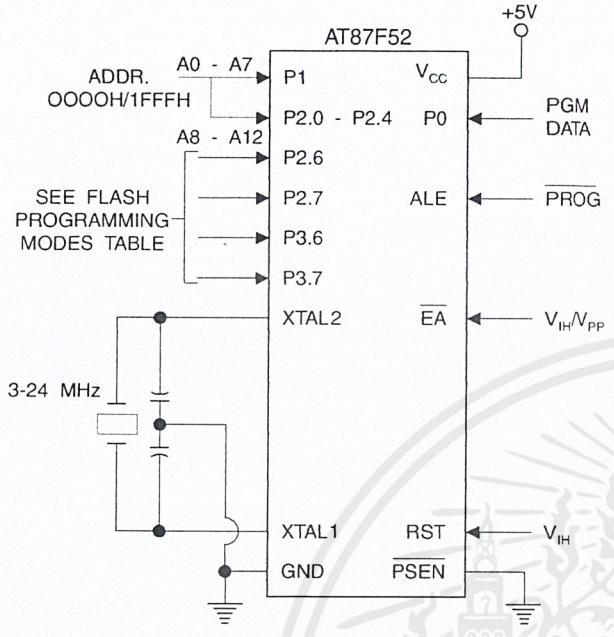
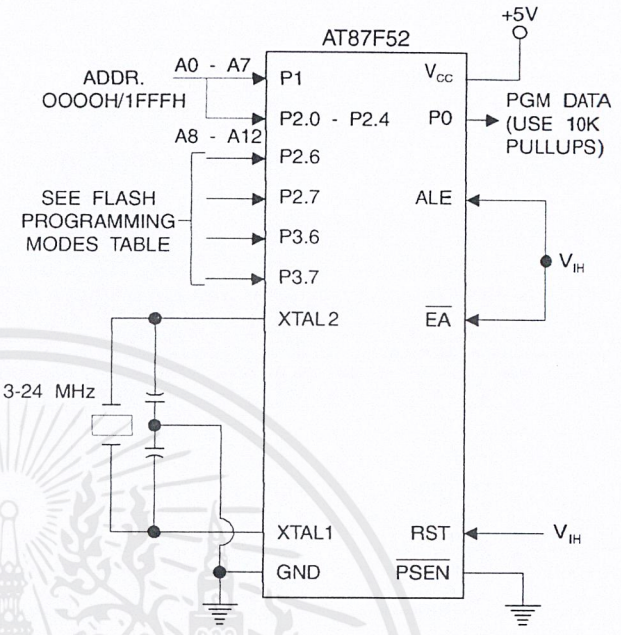


Figure 10. Verifying the Flash Memory



Flash Programming and Verification Characteristics

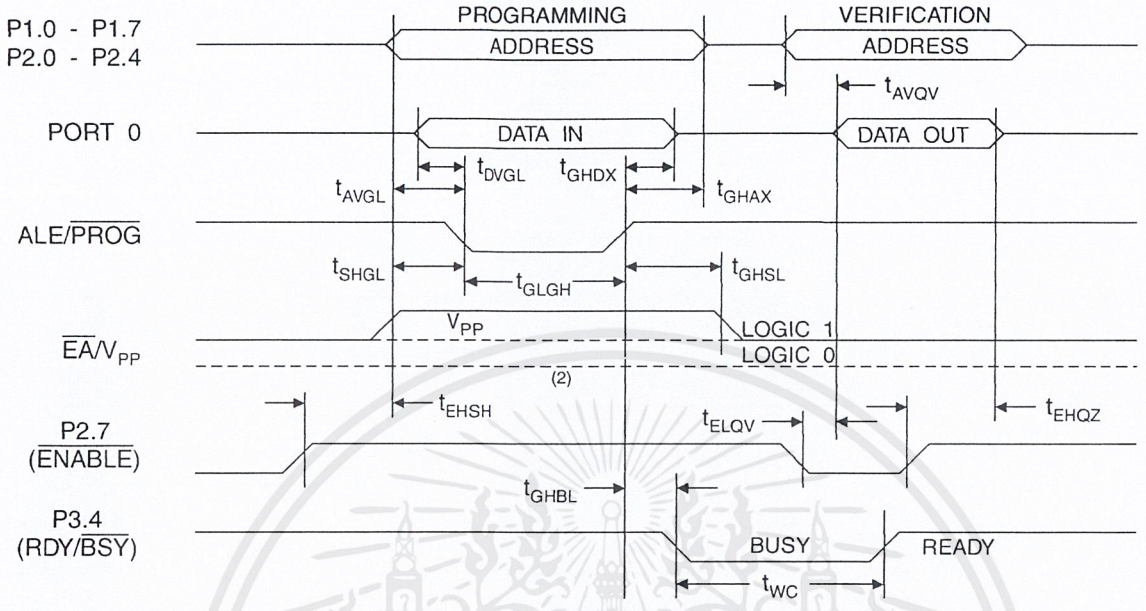
T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}(1)	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}(1)	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold after $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHSH}	P2.7 ($\overline{ENABLE}$) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{PROG}$ Low	10		µs
t_{GHSL}(1)	V_{PP} Hold after $\overline{PROG}$	10		µs
t_{GLGH}	$\overline{PROG}$ Width	1	110	µs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{ENABLE}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float after $\overline{ENABLE}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{PROG}$ High to $\overline{BUSY}$ Low		1.0	µs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

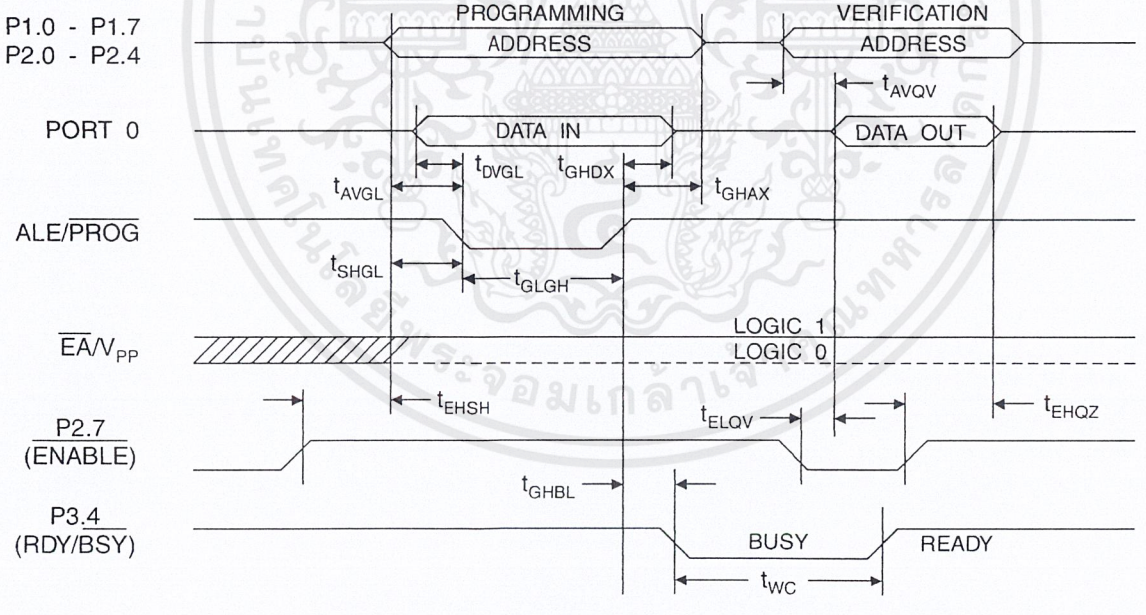
Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode (V_{PP}=12V)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode (V_{PP}=5V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for T_A = -40°C to 85°C and V_{CC} = 5.0V ± 20%, unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\overline{EA}$)	-0.5	0.2 V_{CC}-0.1	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\overline{EA}$)		-0.5	0.2 V_{CC}-0.3	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V_{CC}+0.9	V_{CC}+0.5	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V_{CC}	V_{CC}+0.5	V
V_{OL}	Output Low-voltage(1) (Ports 1,2,3)	I_{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage(1) (Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OH} = -60 µA, V_{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I_{OH} = -25 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -10 µA	0.9 V_{CC}		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I_{OH} = -800 µA, V_{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I_{OH} = -300 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -80 µA	0.9 V_{CC}		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 0.45V		-50	µA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 2V, V_{CC} = 5V ± 10%		-650	µA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\overline{EA}$)	0.45 < V_{IN} < V_{CC}		±10	µA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	KΩ
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T_A = 25°C		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power-down Mode(1)	V_{CC} = 6V		100	µA
		V_{CC} = 3V		40	µA

Notes:
1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
   Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
   Maximum I_{OL} per 8-bit port:
   Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA
   Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
   If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics

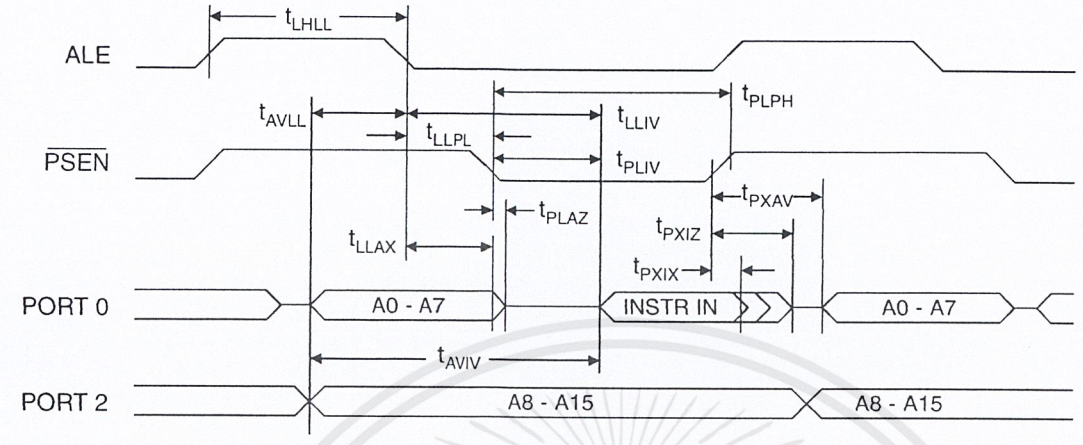
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/$\overline{PROG}$, and $\overline{PSEN}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

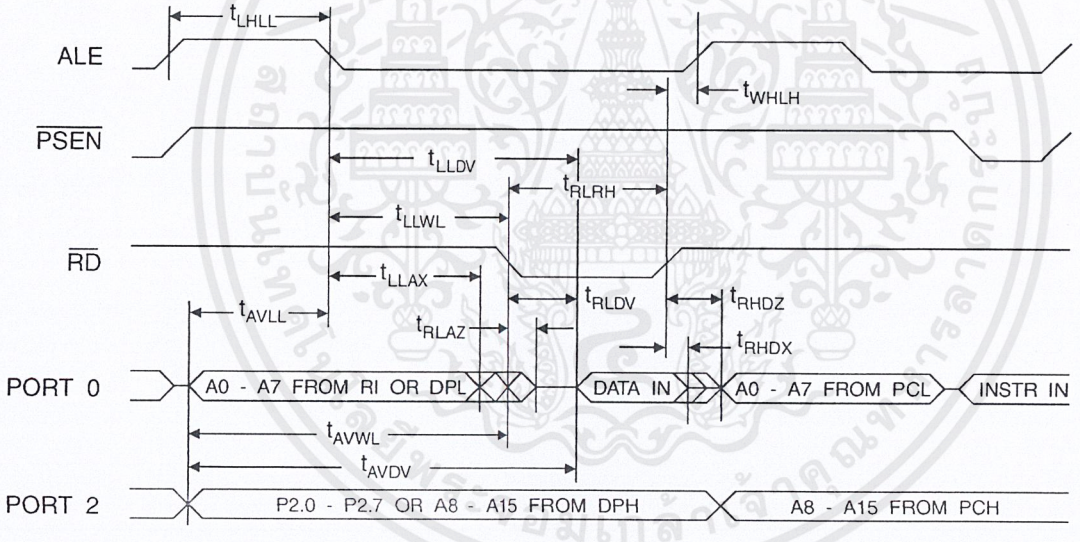
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}$-40		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		t_{CLCL}-13		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		t_{CLCL}-20		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}$-65	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{PSEN}$ Low	43		t_{CLCL}-13		ns
t_{PLPH}	$\overline{PSEN}$ Pulse Width	205		$3t_{CLCL}$-20		ns
t_{PLIV}	$\overline{PSEN}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}$-45	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold after $\overline{PSEN}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float after $\overline{PSEN}$		59		t_{CLCL}-10	ns
t_{PXAV}	$\overline{PSEN}$ to Address Valid	75		t_{CLCL}-8		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}$-55	ns
t_{PLAZ}	$\overline{PSEN}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{RD}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}$-100		ns
t_{WLWH}	$\overline{WR}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}$-100		ns
t_{RLDV}	$\overline{RD}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}$-90	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{RD}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After $\overline{RD}$		97		$2t_{CLCL}$-28	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}$-150	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}$-165	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	200	300	$3t_{CLCL}$-50	$3t_{CLCL}$+50	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	203		$4t_{CLCL}$-75		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{WR}$ Transition	23		t_{CLCL}-20		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{WR}$ High	433		$7t_{CLCL}$-120		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{WR}$	33		t_{CLCL}-20		ns
t_{RLAZ}	$\overline{RD}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ High to ALE High	43	123	t_{CLCL}-20	t_{CLCL}+25	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Program Memory Read Cycle

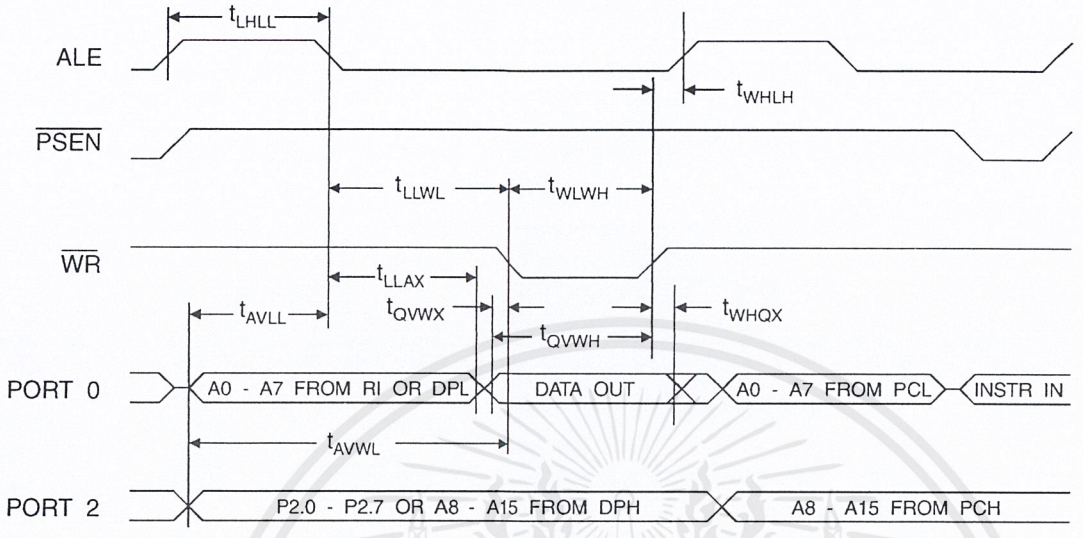


External Data Memory Read Cycle

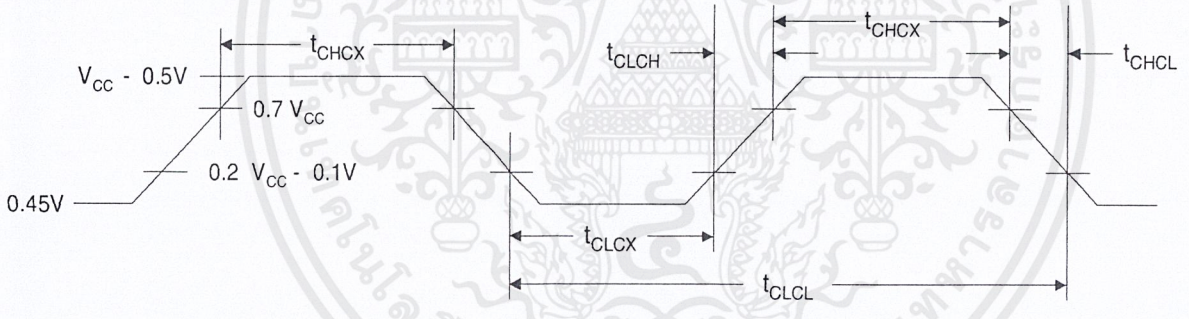


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

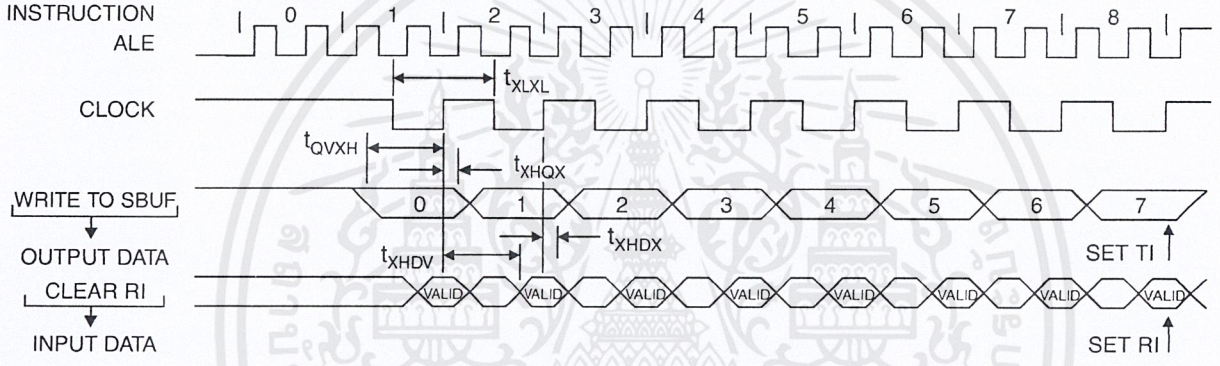
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

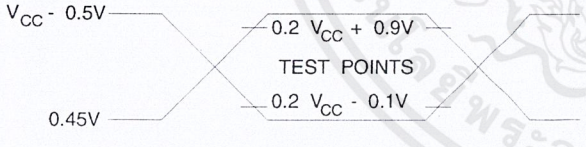
The values in this table are valid for V_{CC} = 5.0V ± 20% and Load Capacitance = 80 pF.

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		µs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}$-133		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}$-117		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}$-133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

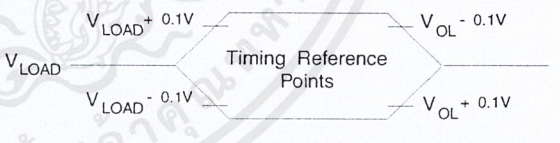


AC Testing Input/Output Waveforms(1)



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms(1)



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

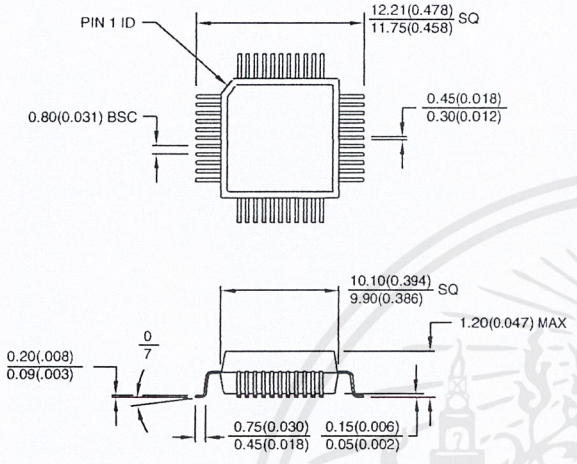
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-12JC	44J	
		AT89C52-12PC	40P6	
		AT89C52-12QC	44Q	
		AT89C52-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-12JI	44J	
		AT89C52-12PI	40P6	
		AT89C52-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-16JC	44J	
		AT89C52-16PC	40P6	
		AT89C52-16QC	44Q	
		AT89C52-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-16JI	44J	
		AT89C52-16PI	40P6	
		AT89C52-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C52-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-20JC	44J	
		AT89C52-20PC	40P6	
		AT89C52-20QC	44Q	
		AT89C52-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-20JI	44J	
		AT89C52-20PI	40P6	
		AT89C52-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C52-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-24JC	44J	
		AT89C52-24PC	40P6	
		AT89C52-24QC	44Q	
		AT89C52-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-24JI	44J	
		AT89C52-24PI	40P6	
		AT89C52-24QI	44Q	

Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

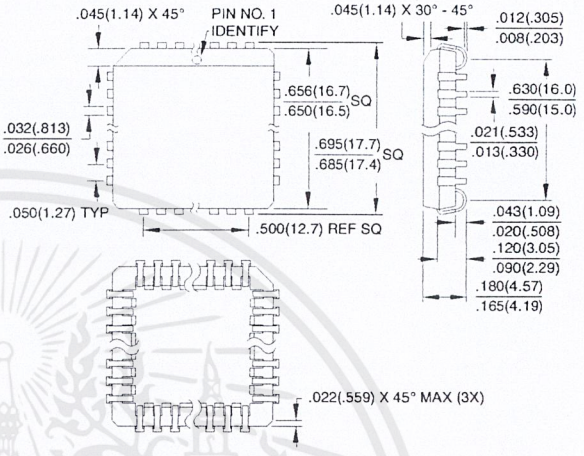
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 ACB

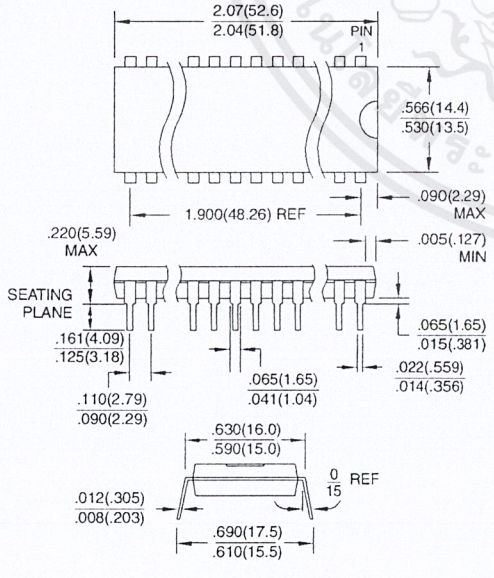


Controlling dimension: millimeters

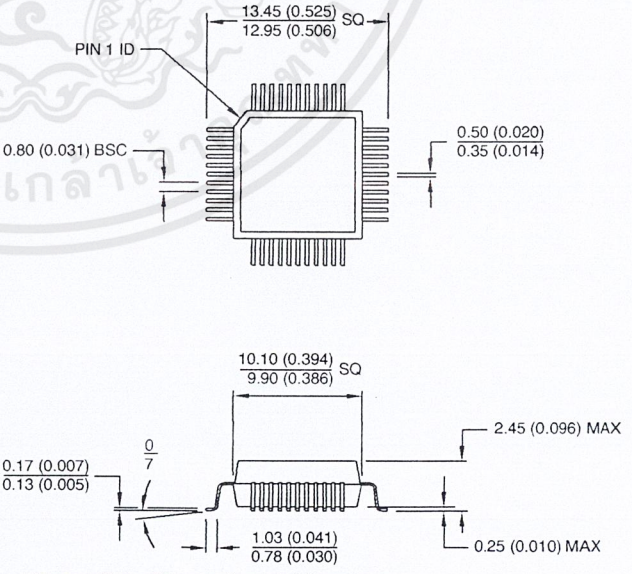
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe
Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia
Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan
Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand
North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 1999.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.

Printed on recycled paper.

0313H–02/00/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

ตราสัญลักษณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PCF8591
8-bit A/D and D/A converter

Product specification
Supersedes data of 1997 Apr 02
File under Integrated Circuits, IC12

1998 Jul 02

Philips Semiconductors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

1 FEATURES
2 APPLICATIONS
3 GENERAL DESCRIPTION
4 ORDERING INFORMATION
5 BLOCK DIAGRAM
6 PINNING
7 FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1 Addressing
7.2 Control byte
7.3 D/A conversion
7.4 A/D conversion
7.5 Reference voltage
7.6 Oscillator
8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS
8.1 Bit transfer
8.2 Start and stop conditions
8.3 System configuration
8.4 Acknowledge
8.5 I²C-bus protocol
9 LIMITING VALUES
10 HANDLING
11 DC CHARACTERISTICS
12 D/A CHARACTERISTICS
13 A/D CHARACTERISTICS
14 AC CHARACTERISTICS
15 APPLICATION INFORMATION
16 PACKAGE OUTLINES
17 SOLDERING
17.1 Introduction
17.2 DIP
17.2.1 Soldering by dipping or by wave
17.2.2 Repairing soldered joints
17.3 SO
17.3.1 Reflow soldering
17.3.2 Wave soldering
17.3.3 Repairing soldered joints
18 DEFINITIONS
19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS
20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
PCA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 BLOCK DIAGRAM

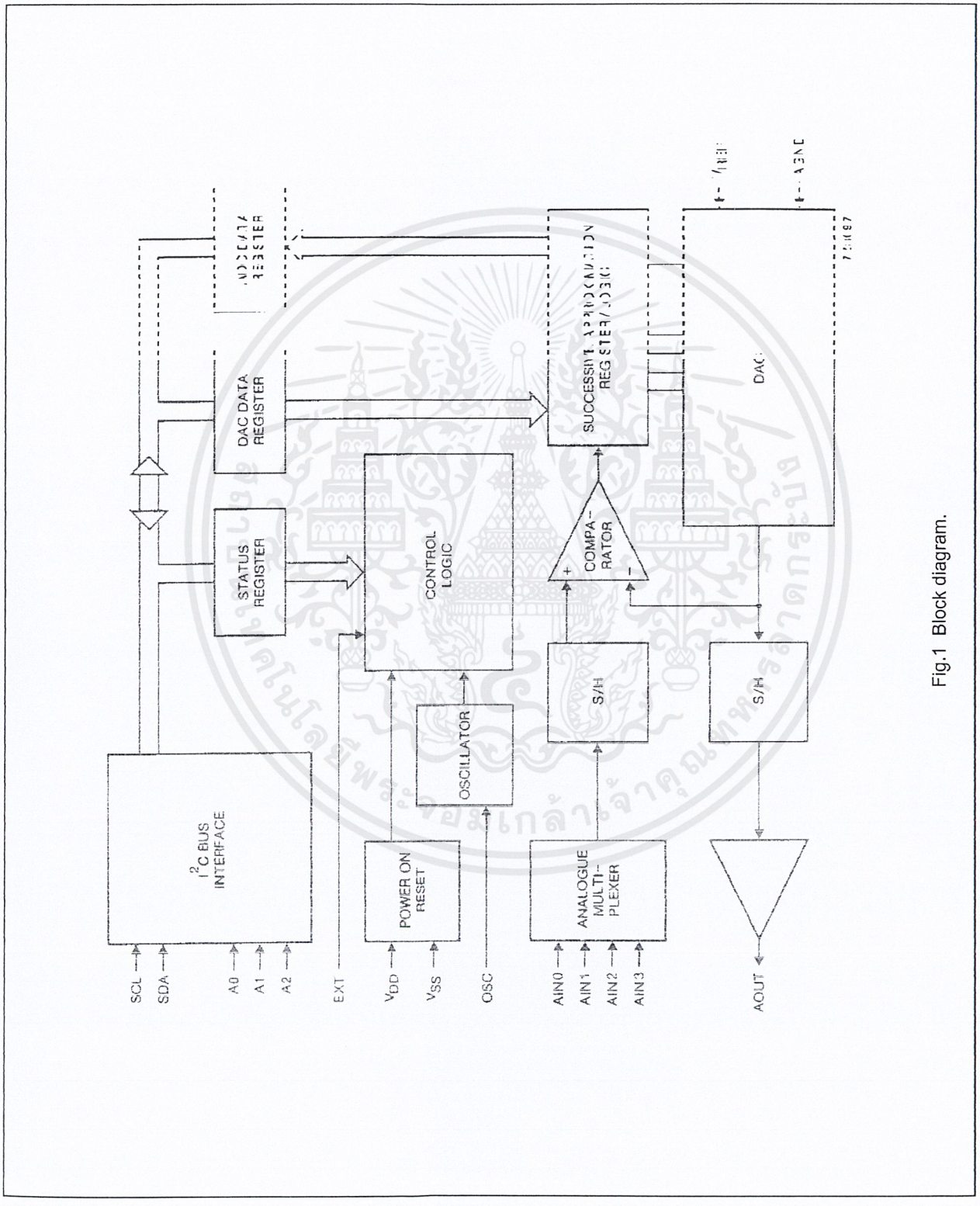


Fig.1 Block diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AINO	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V_{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I^2C-bus data input/output
SCL	10	I^2C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V_{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V_{DD}	16	positive supply voltage

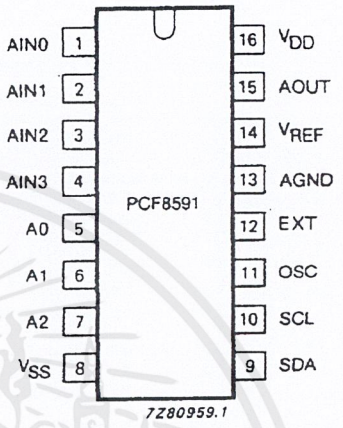


Fig.2 Pinning diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I^2C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I^2C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).

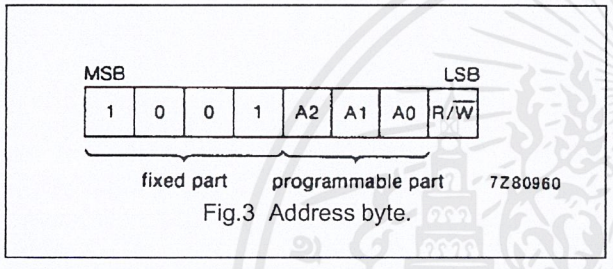


Fig.3 Address byte.

7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

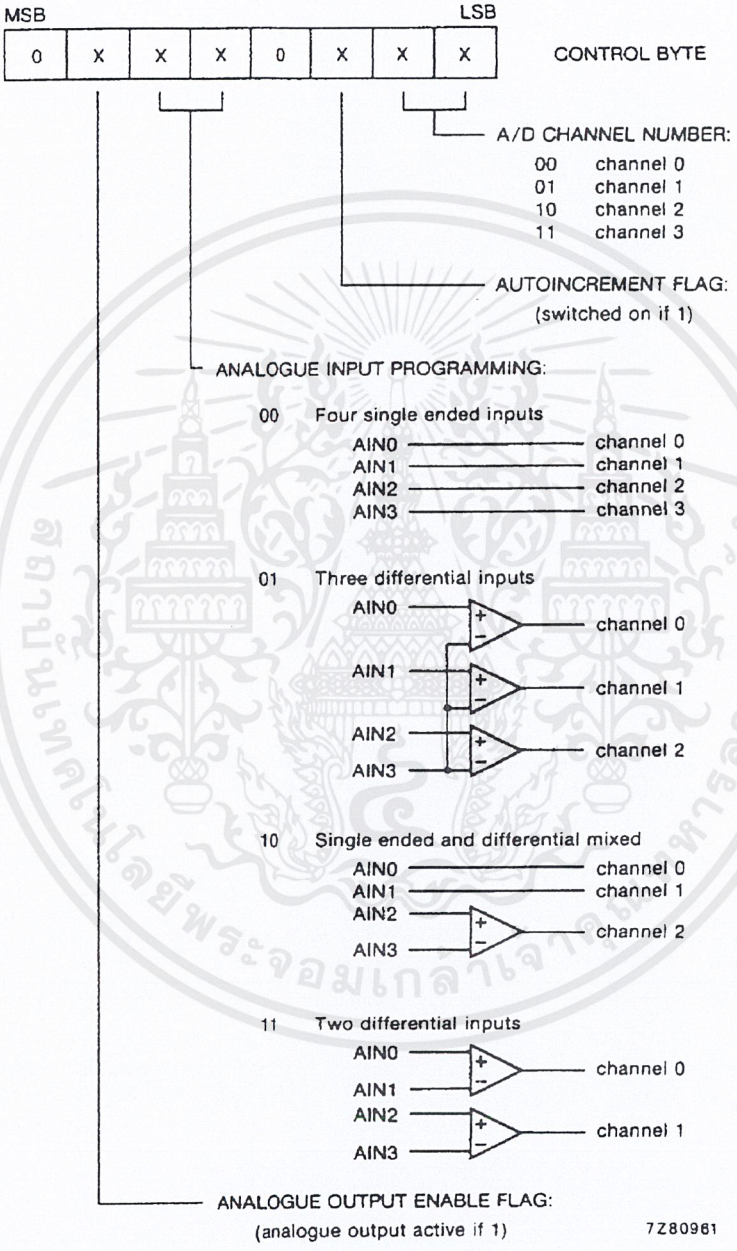


Fig.4 Control byte.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

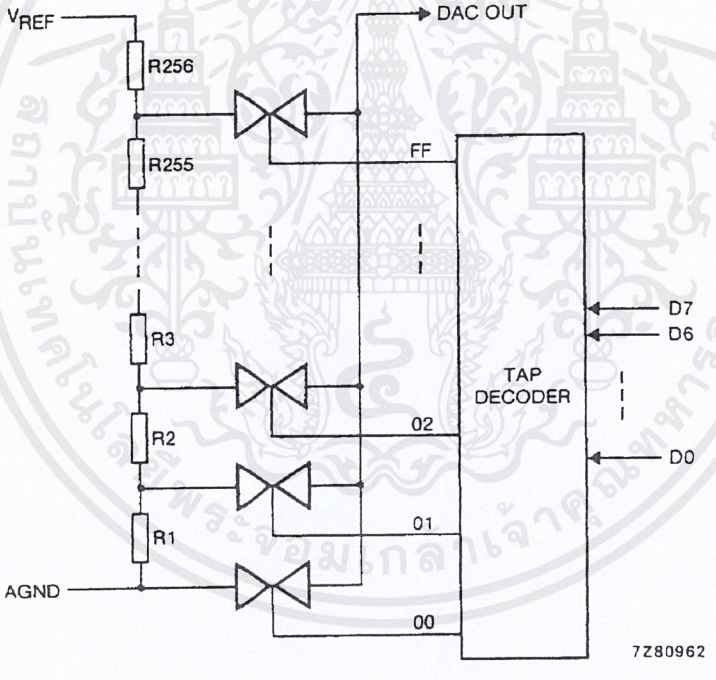


Fig.5 DAC resistor divider chain.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

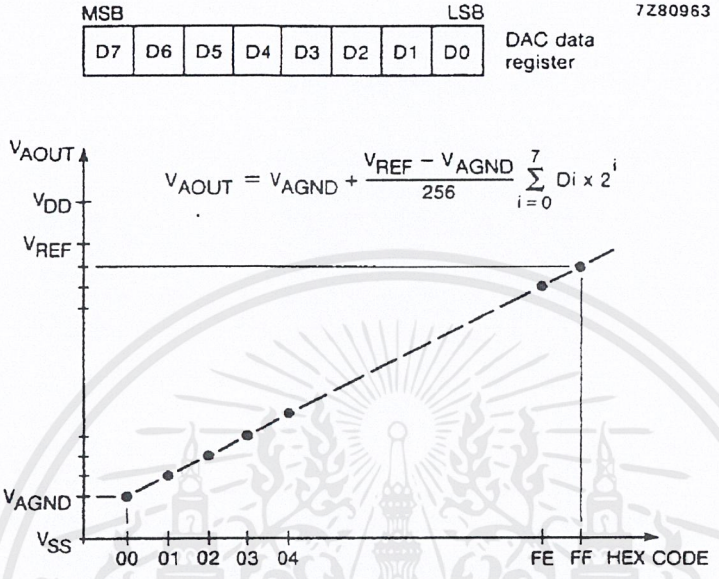


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

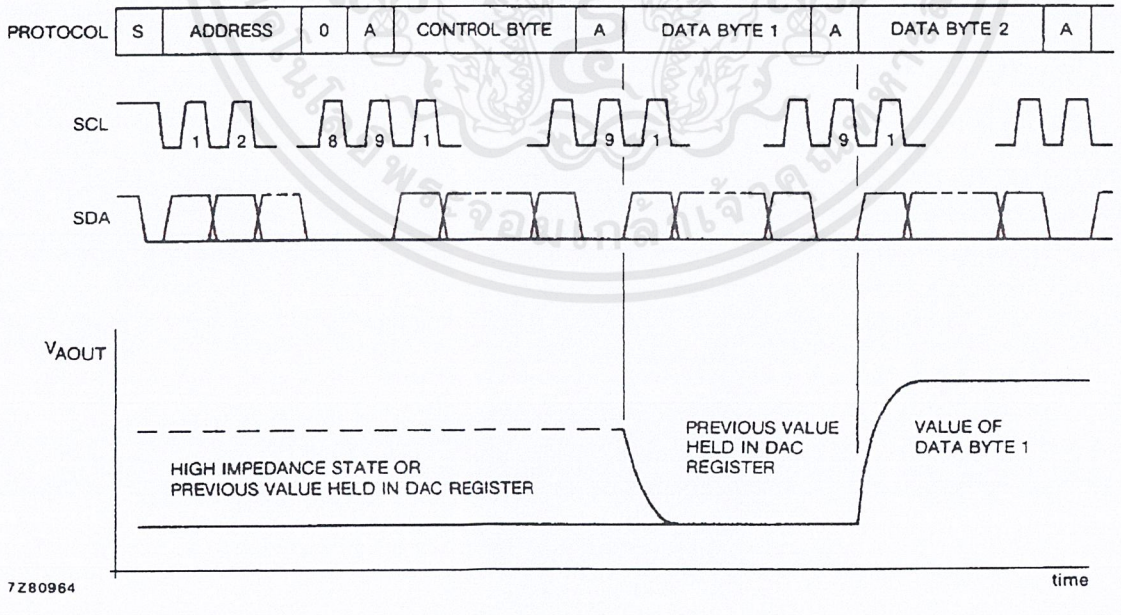


Fig.7 D/A conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I^2C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I^2C-bus.

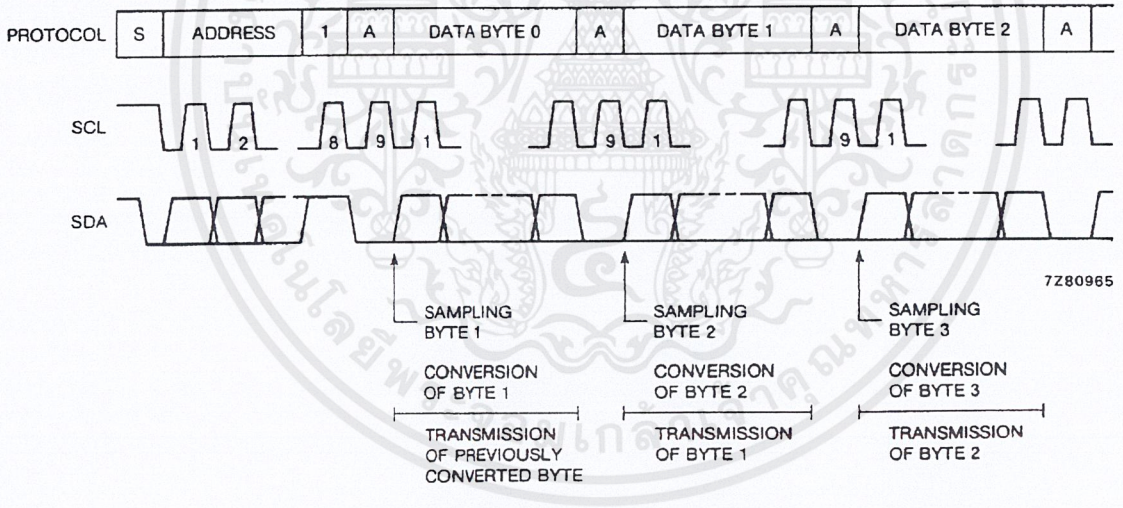


Fig.8 A/D conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

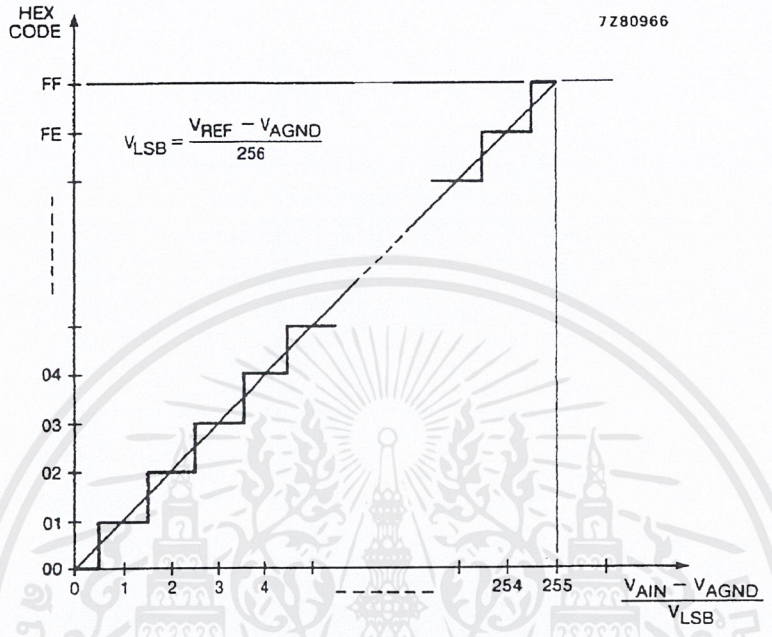


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

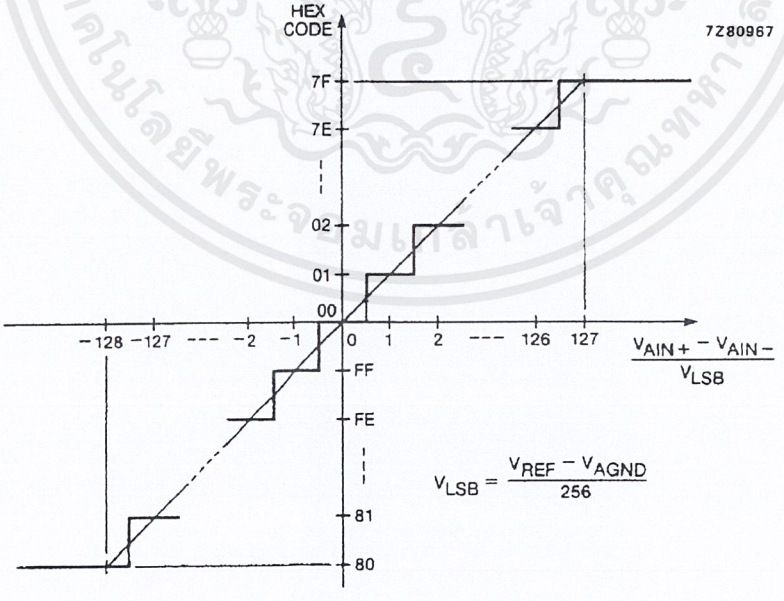


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS}.

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS}. At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

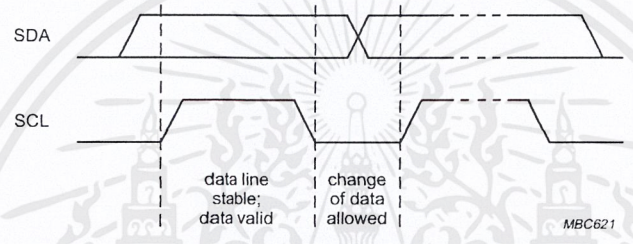


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

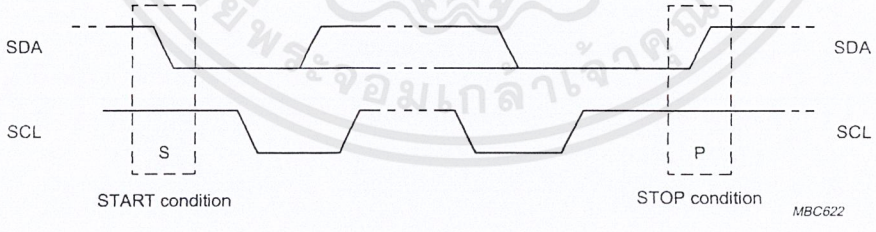


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

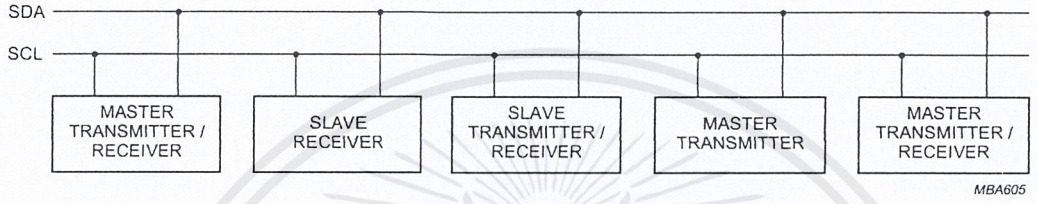


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by **not** generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

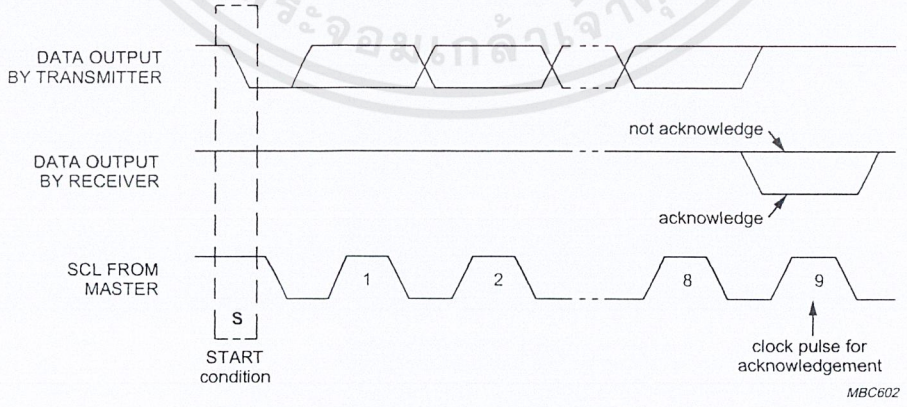


Fig.14 Acknowledgement on the I^2C-bus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

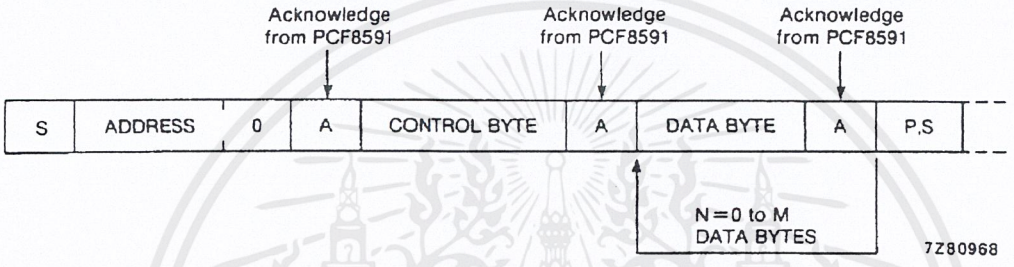


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

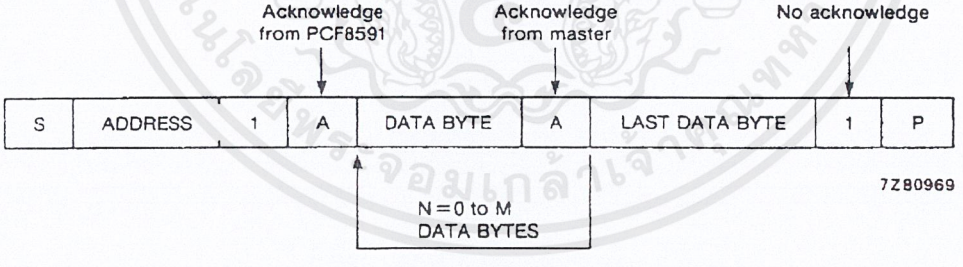


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	−0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	−0.5	V_{DD} + 0.5	V
I_I	DC input current	–	±10	mA
I_O	DC output current	–	±20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	–	±50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	–	300	mW
P_O	power dissipation per output	–	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	−40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	−65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under *"Handling MOS Devices"*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 DC CHARACTERISTICS

V_{DD} = 2.5 V to 6 V; V_{SS} = 0 V; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	–	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS}$ or V_{DD}; no load	–	1	15	µA
	operating, AOUT off	f_{SCL} = 100 kHz	–	125	250	µA
	operating, AOUT active	f_{SCL} = 100 kHz	–	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	–	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	–	V_{DD}	V
I_L	leakage current					
	A0, A1, A2	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–250	–	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–1	–	+1	µA
C_i	input capacitance		–	–	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	V_{OL} = 0.4 V	3.0	–	–	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS} + 1.6	–	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	–	V_{DD} – 0.8	V
I_{LI}	input leakage current		–250	–	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	–	100	–	kΩ
Oscillator: OSC, EXT						
I_{LI}	input leakage current		–	–	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	–	1.25	MHz

Notes

1. The power on reset circuit resets the I^2C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR}.
2. A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8V, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 D/A CHARACTERISTICS

V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_L = 10 kΩ; C_L = 100 pF; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

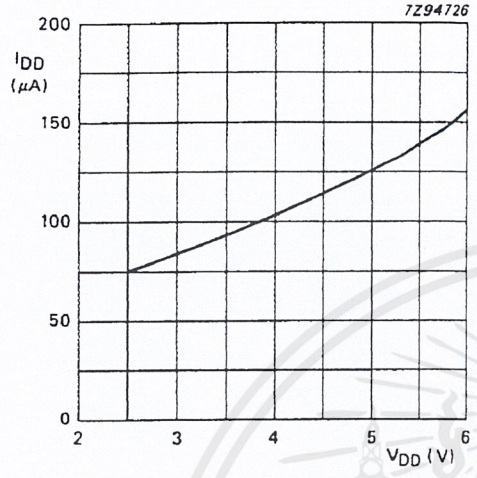
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	–	V_{DD}	V
		R_L = 10 kΩ	V_{SS}	–	0.9 × V_{DD}	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	50	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	–	–	1	%
t_{DAC}	settling time	to ½ LSB full scale step	–	–	90	µs
f_{DAC}	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB

13 A/D CHARACTERISTICS

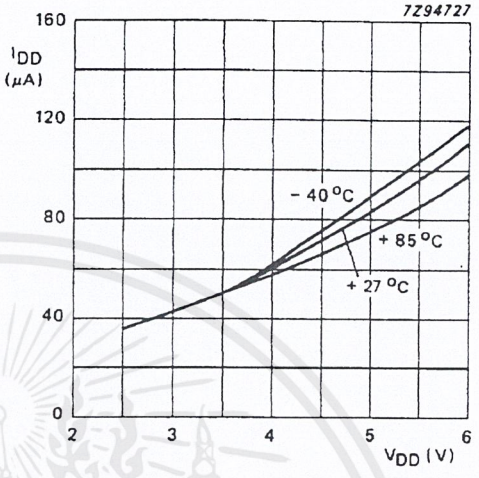
V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_S = 10 kΩ; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	–	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		–	–	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		–	10	–	pF
C_{ID}	differential input capacitance		–	10	–	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	–	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range; $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$\frac{-V_{FS}}{2}$	–	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	20	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error		–	–	1	%
GS_e	small-signal gain error	ΔV_i = 16 LSB	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB
t_{ADC}	conversion time		–	–	90	µs
f_{ADC}	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

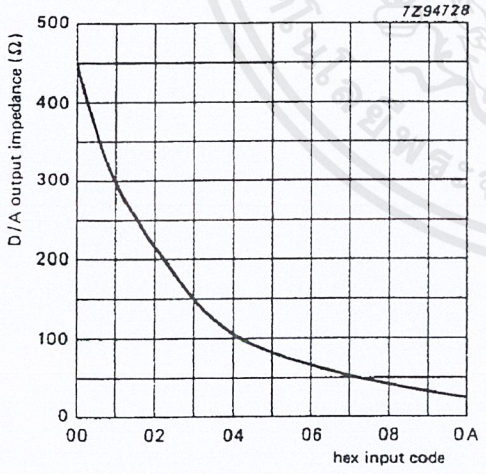


(a) Internal oscillator; T_{amb} = +27 °C.

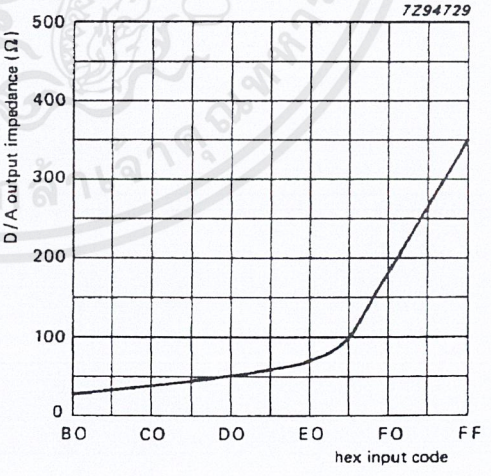


(b) External oscillator.

Fig.17 Operating supply current as a function of supply voltage (analog output disabled).



(a) Output impedance near negative power rail; T_{amb} = +27 °C.



(b) Output impedance near positive power rail; T_{amb} = +27 °C.

The x-axis represents the hex input-code equivalent of the output voltage.

Fig.18 Output impedance of analog output buffer (near power rails).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD}.

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.19; note 1)					
f_{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t_{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t_{BUF}	bus free time	4.7	–	–	µs
$t_{SU;STA}$	START condition set-up time	4.7	–	–	µs
$t_{HD;STA}$	START condition hold time	4.0	–	–	µs
t_{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	µs
t_{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	µs
t_r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	µs
t_f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	µs
$t_{SU;DAT}$	data set-up time	250	–	–	ns
$t_{HD;DAT}$	data hold time	0	–	–	ns
$t_{VD;DAT}$	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	µs
$t_{SU;STO}$	STOP condition set-up time	4.0	–	–	µs

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure *"The I²C-bus and how to use it"*. This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

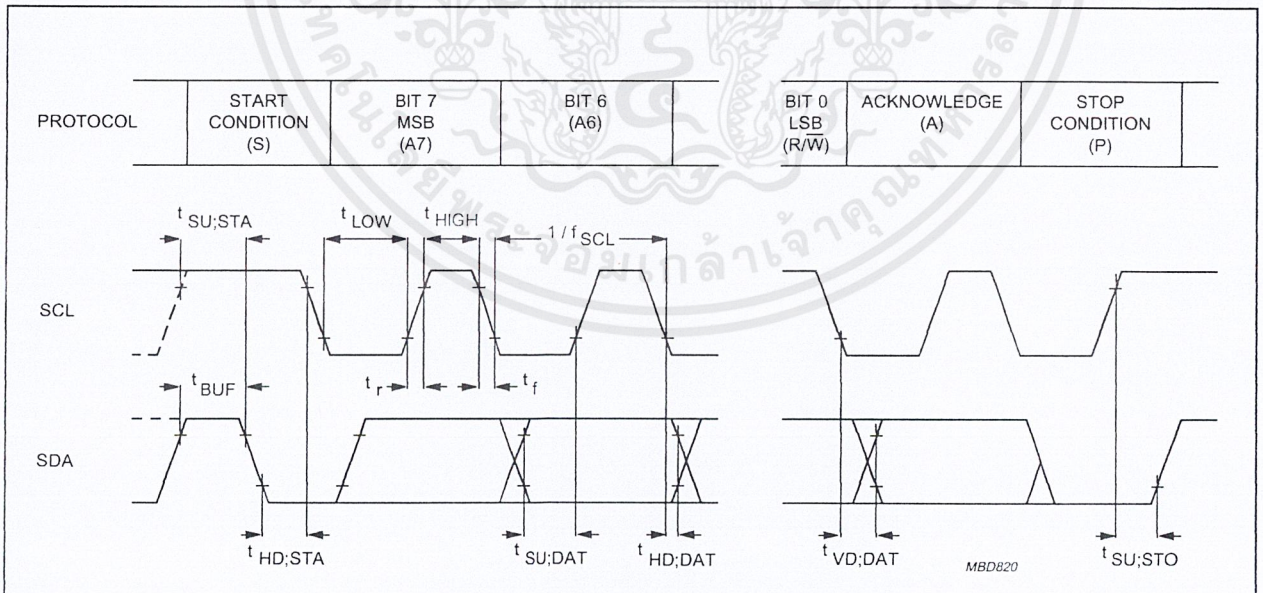


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF}.

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors (>10 μF) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

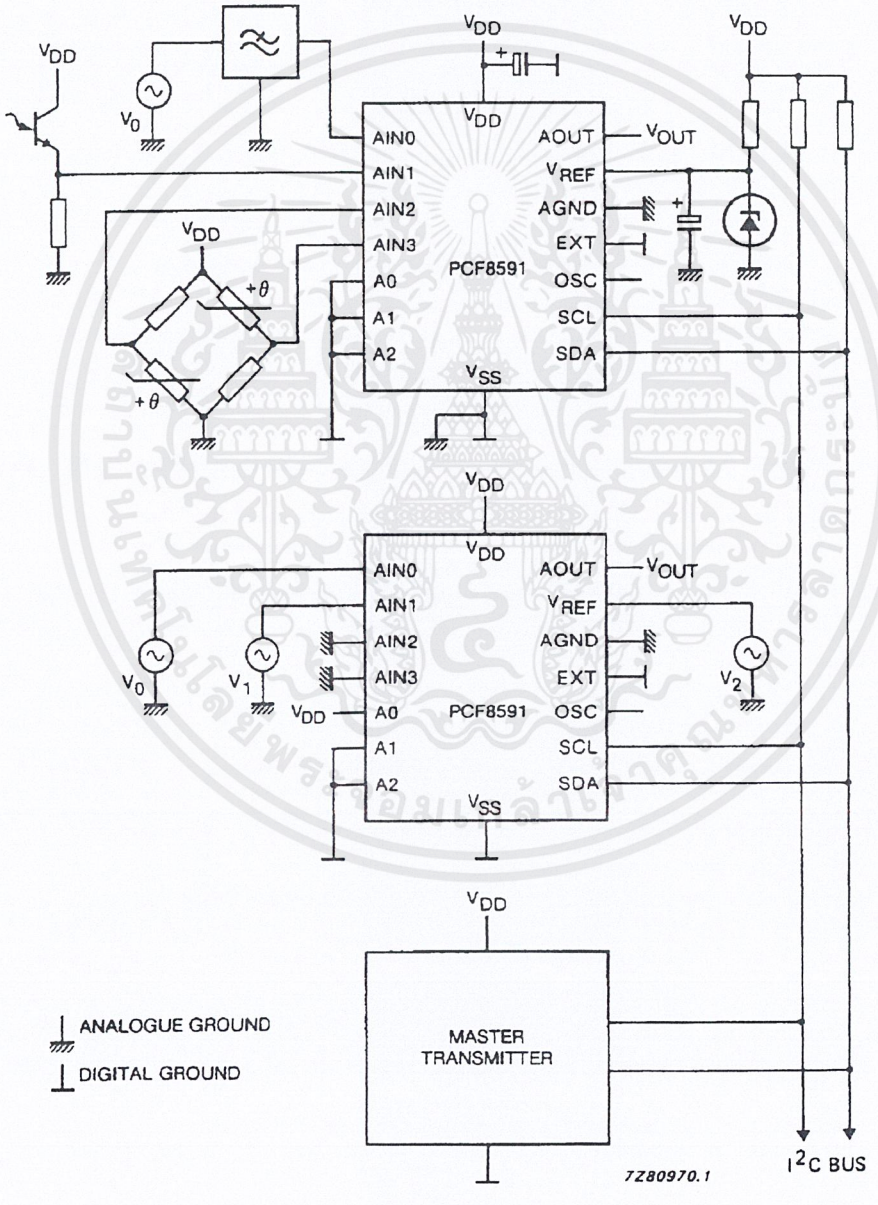
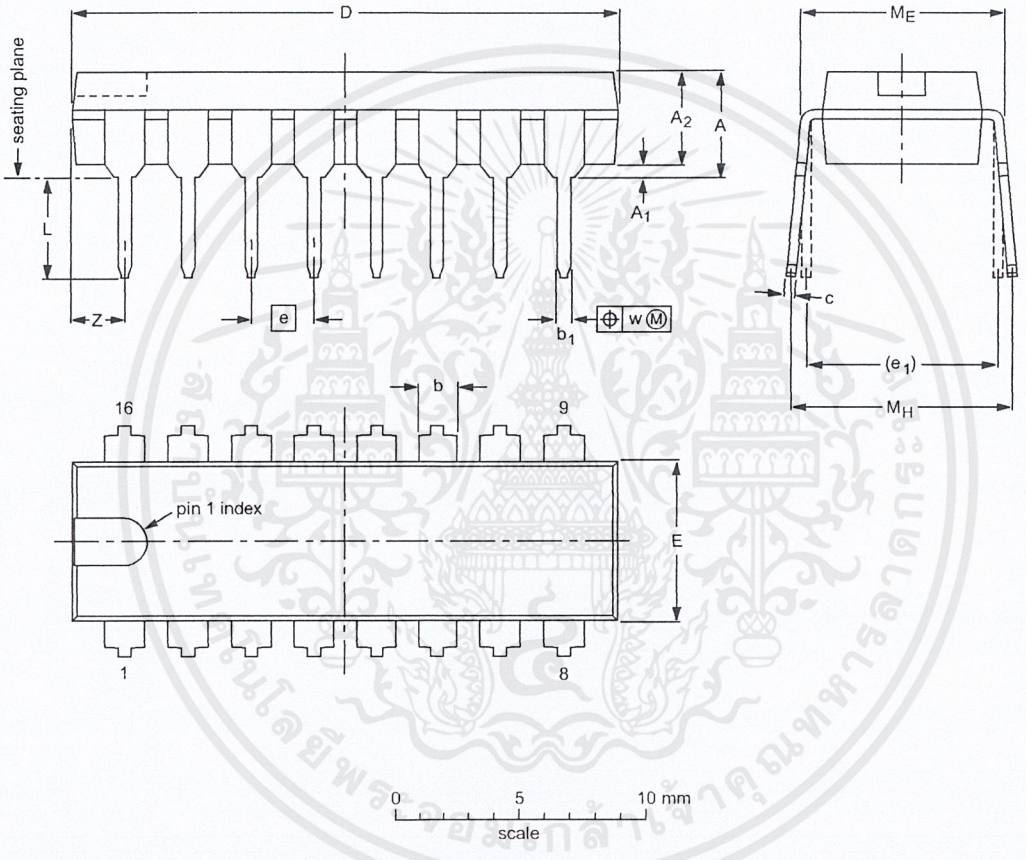


Fig.20 Application diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body **SOT38-1**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1 min.	A_2 max.	b	b_1	c	D (1)	E (1)	e	e_1	L	M_E	M_H	w	Z (1) max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

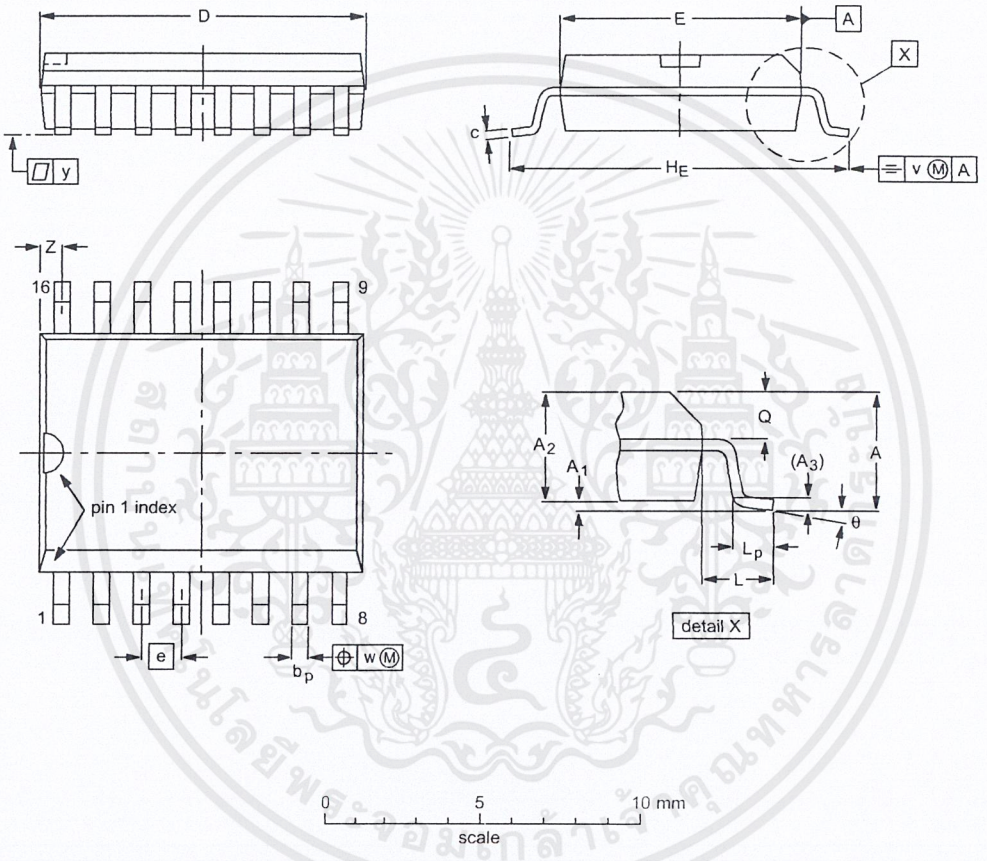
Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT38-1	050G09	MO-001AE				~~92-10-02~~ 95-01-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm **SOT162-1**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1	A_2	A_3	b_p	c	$D^{(1)}$	$E^{(1)}$	e	H_E	L	L_p	Q	v	w	y	$Z^{(1)}$	θ
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.49 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.419 0.394	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT162-1	075E03	MS-013AA				~~95-01-24~~ 97-05-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17 SOLDERING

17.1 Introduction

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our *"Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages"* (order code 9398 652 90011).

17.2 DIP

17.2.1 Soldering by dipping or by wave

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

17.2.2 Repairing soldered joints

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

17.3 SO

17.3.1 Reflow soldering

Reflow soldering techniques are suitable for all SO packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of fine solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or pressure-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method. Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C.

Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

17.3.2 Wave soldering

Wave soldering techniques can be used for all SO packages if the following conditions are observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow.
- The package footprint must incorporate solder thieves at the downstream end.

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

17.3.3 Repairing soldered joints

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18 DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips' I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 160 1010,
Fax. +43 160 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,
220050 MINSK, Tel. +375 172 200 733, Fax. +375 172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor,
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,
Tel. +359 2 689 211, Fax. +359 2 689 102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,
Tel. +1 800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S,
Tel. +45 32 88 2636, Fax. +45 31 57 0044

Finland: Sinikalliontie 3, FIN-02630 ESPOO,
Tel. +358 9 615800, Fax. +358 9 61580920

France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,
Tel. +33 1 40 99 6161, Fax. +33 1 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,
Tel. +49 40 23 53 60, Fax. +49 40 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAVROS/ATHENS,
Tel. +30 1 4894 339/239, Fax. +30 1 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division,
Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510,
Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053,
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku,
TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,
Tel. +9-5 800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,
Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI,
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762,
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor,
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,
Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,
Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2865, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,
252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,
Tel. +1 800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD,
Tel. +381 11 625 344, Fax.+381 11 635 777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: http://www.semiconductors.philips.com

© Philips Electronics N.V. 1998

SCA60

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands 415106/1200/04/pp28 Date of release: 1998 Jul 02 Document order number: 9397 750 04058

Let's make things better.

Philips Semiconductors

PHILIPS

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOOS005 - D3012, JULY 1986

- Compatible with TTL Inputs
- High Current Transfer Ratio . . . 800% Typ at I_F = 0.5 mA
- High-Speed Switching . . . 100 kbit/s Typ
- High Common-Mode Transient Immunity . . . 500 V/μs Typ
- High-Voltage Electrical Insulation . . . 3000 V DC Min
- High Output Current Rating of 60 mA
- UL Recognized . . . File Number 65085

description

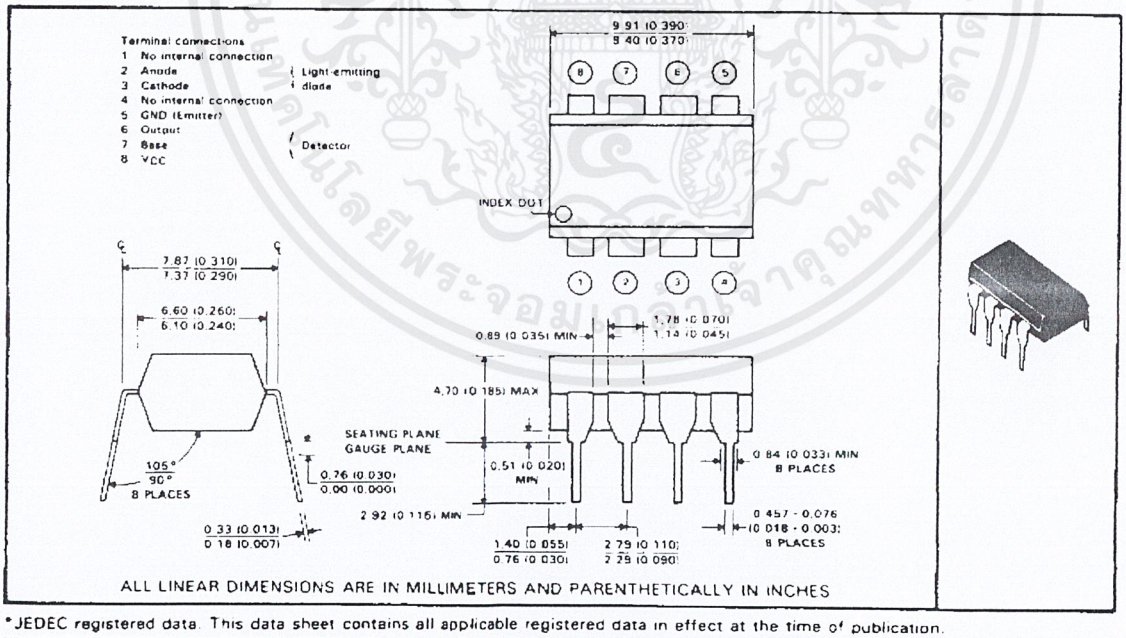
These devices are useful where large common-mode input signals exist, and in applications that require high-voltage isolation between circuits. Applications include line receivers, telephone ring detectors, power line monitors, high-voltage status indicators, and circuits that require isolation between input and output.

The 6N138 and 6N139 high-gain optocouplers each consists of a GaAsP light-emitting diode and an integrated high-gain photon detector composed of a photodiode and a split-Darlington output stage. The V_{CC} and output terminals may be tied together to achieve conventional photodarlington operation. A separate base access terminal allows gain-bandwidth adjustments.

The 6N138 is designed for use primarily in TTL applications. An LED input current of 1.6 milliamperes and a current-transfer ratio of 300% from 0°C to 70°C allows operation with one TTL load input and one TTL load output utilizing a 2.2-kΩ pullup resistor.

The 6N139 is designed for use in CMOS, LSTTL, or other low-power applications. This device has a minimum current-transfer ratio of 400% for only 0.5 milliampere input current over an operating temperature range of 0°C to 70°C.

*mechanical data



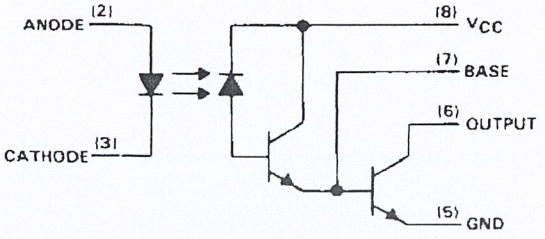
*JEDEC registered data. This data sheet contains all applicable registered data in effect at the time of publication.

PRODUCTION DATA documents contain information 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.

Copyright © 1986, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic



***absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)**

Supply and output voltage range, V_{CC} and V_O: 6N138	−0.5 V to 7 V
6N139	−0.5 to 18 V
Reverse input voltage	5 V
Emitter-base reverse voltage	0.5 V
Peak input forward current (pulse duration = 1 ms, 50% duty cycle)	40 mA
Peak transient input forward current (pulse duration ≤ 1 μs, 300 pps)	1 A
Average forward input current at (or below) 50°C free-air temperature (see Note 1)	20 mA
Output current at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 2)	60 mA
Input power dissipation at (or below) 50°C free-air temperature (see Note 3)	35 mW
Output power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 4)	100 mW
Storage temperature range	−55°C to 125°C
Operating temperature range	0°C to 100°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

NOTES 1. Derate linearly above 50°C free-air temperature at a rate of 0.4 mA/°C.
2. Derate linearly above 25°C free-air temperature at a rate of 0.8 mA/°C.
3. Derate linearly above 50°C free-air temperature at a rate of 0.7 mW/°C.
4. Derate linearly above 25°C free-air temperature at a rate of 1.33 mW/°C.

*JEDEC registered data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics over operating free-air temperature range of 0 °C to 70 °C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		6N138			6N139			UNIT
				MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
*V_F	Input forward voltage	I_F = 1.6 mA,	T_A = 25°C		1.5	1.7		1.5	1.7	V
α_{VF}	Temperature coefficient of forward voltage	I_F = 1.6 mA			−1.8			−1.8		mV/°C
*V_{BR}	Input breakdown voltage	I_R = 10 μA,	T_A = 25°C	5			5			V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = 4.5 V, I_{OL} = 4.8 mA,	I_F = 1.6 mA, I_B = 0		0.1	0.4				V
		V_{CC} = 4.5 V, I_{OL} = 6.4 mA,	I_F = 1.6 mA, I_B = 0					0.1	0.4	
		V_{CC} = 4.5 V, I_{OL} = 15 mA,	I_F = 5 mA, I_B = 0					0.1	0.4	
		V_{CC} = 4.5 V, I_{OL} = 24 mA,	I_F = 12 mA, I_B = 0					0.2	0.4	
*I_{OH}	High-level output current	V_{CC} = 7 V, I_F = 0,	V_O = 7 V, I_B = 0		0.1	250				μA
		V_{CC} = 18 V, I_F = 0,	V_O = 18 V, I_B = 0					0.05	100	
*I_{CCH}	Supply current, high-level output	V_{CC} = 5 V, I_F = 0,	V_O open, I_B = 0		10			10		nA
I_{CCL}	Supply current, low-level output	V_{CC} = 5 V, I_F = 1.6 mA,	V_O open, I_B = 0		0.2			0.2		mA
*CTR	Current transfer ratio	V_{CC} = 4.5 V, I_F = 0.5 mA, See Note 5	V_O = 0.4 V, I_B = 0,				400%	1650%		
		V_{CC} = 4.5 V, I_F = 1.6 mA, See Note 5	V_O = 0.4 V, I_B = 0,	300%	1300%		500%	1400%		
r_{IO}	Input-output resistance	V_{IO} = 500 V,	See Note 6		10^{12}			10^{12}		Ω
*I_{IO}	Input-output insulation leakage current	V_{IO} = 3000 V, T_A = 25°C, See Note 6	t = 5 s, RH = 45%,			1			1	μA
C_i	Input capacitance	V_F = 0,	f = 1 MHz		60			60		pF
C_{io}	Input-output capacitance	f = 1 MHz,	See Note 6		0.6			0.6		pF

*JEDEC registered data
†All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C, unless otherwise noted.
NOTES 5. Current transfer ratio is defined as the ratio of output collector current I_O to the forward LED input current I_F times 100%.
6. These parameters are measured between pins 2 and 3 shorted together and pins 5, 6, 7, and 8 shorted together.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*switching characteristics at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS		6N138			6N139			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
*t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low level output	I_F = 1.6 mA, See Figure 1	R_L = 2.2 kΩ,		2	10				μs
		I_F = 0.5 mA, See Figure 1	R_L = 4.7 kΩ,					4	25	
		I_F = 12 mA, See Figure 1	R_L = 270 Ω,					0.3	1	
*t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	I_F = 1.6 mA, See Figure 1	R_L = 2.2 kΩ,		4	35				μs
		I_F = 0.5 mA, See Figure 1	R_L = 4.7 kΩ,					10	60	
		I_F = 12 mA, See Figure 1	R_L = 270 Ω,					3.5	7	
$\lvert\frac{dV_{CM}}{dt}\rvert_H$	Common-mode input transient immunity, high-level output	V_{CM} = 10 Vp-p, R_L = 2.2 kΩ, See Figure 2	I_F = 0, See Notes 7 and 8.		500			500		V/μs
$\lvert\frac{dV_{CM}}{dt}\rvert_L$	Common-mode input transient immunity, low-level output	V_{CM} = Vp-p, See Figure 2,	R_L = 2.2 kΩ, See Notes 7 and 8		−500			500		V/μs

*JEDEC registered data

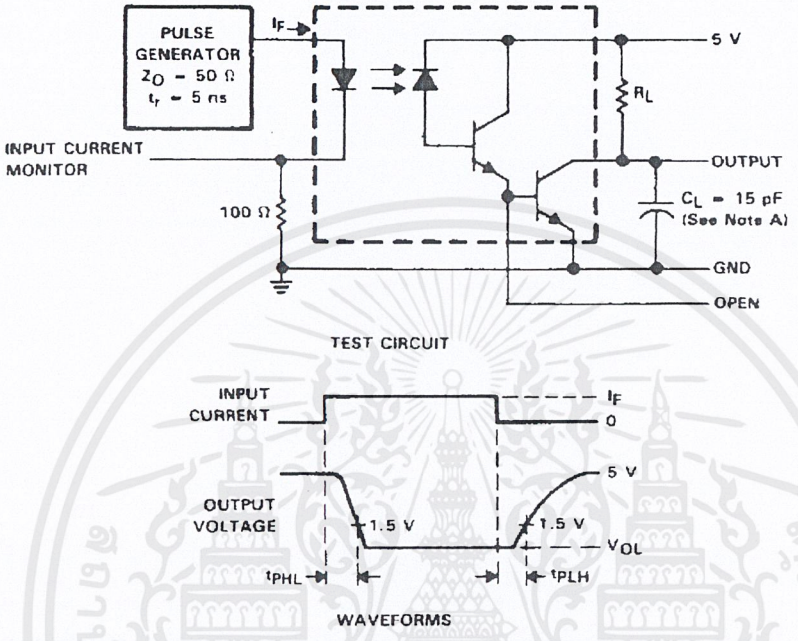
NOTES: 7. Common-mode transient immunity, high-level output, is the maximum rate of rise of the common-mode input voltage that does not cause the output voltage to drop below 2 V. Common mode input transient immunity, low level output, is the maximum rate of fall of the common mode input voltage that does not cause the output voltage to rise above 0.8 V.

8. In applications where dV/dt may exceed 50,000 V/μs (such as static discharge) a series resistor, R_{CC}, should be included to protect the detector IC from destructively high surge currents. The recommended value is:

$$R_{CC} = \frac{1}{0.15\ I_F\ (mA)}\ k\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

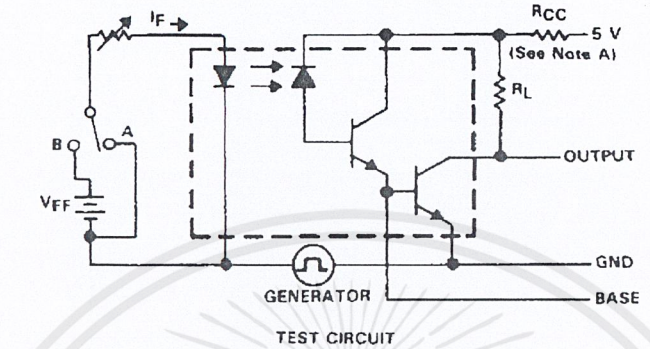


NOTE A: C_L includes probe and stray capacitances.

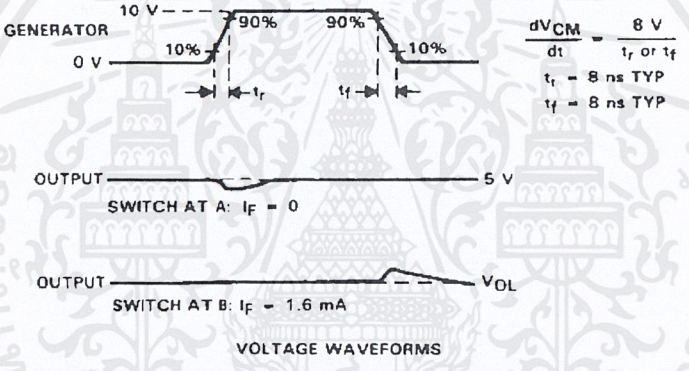
FIGURE 1. SWITCHING TEST CIRCUIT AND WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



VOLTAGE WAVEFORMS

NOTE A: In applications where dV/dt may exceed 50,000 V/μs (such as static discharge) a series resistor, R_{CC}, should be included to protect the detector IC from destructively high surge currents. The recommended value is:

$$R_{CC} = \frac{1}{0.15\ I_F\ (mA)}\ k\Omega$$

FIGURE 2. TRANSIENT IMMUNITY TEST CIRCUIT AND WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

6N138
CURRENT TRANSFER CHARACTERISTICS

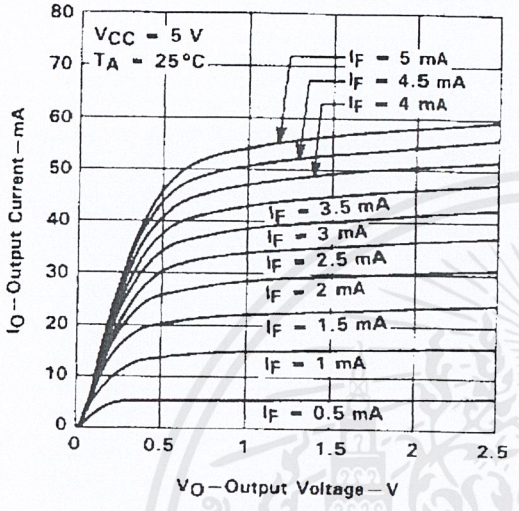


FIGURE 3

6N139
CURRENT TRANSFER CHARACTERISTICS

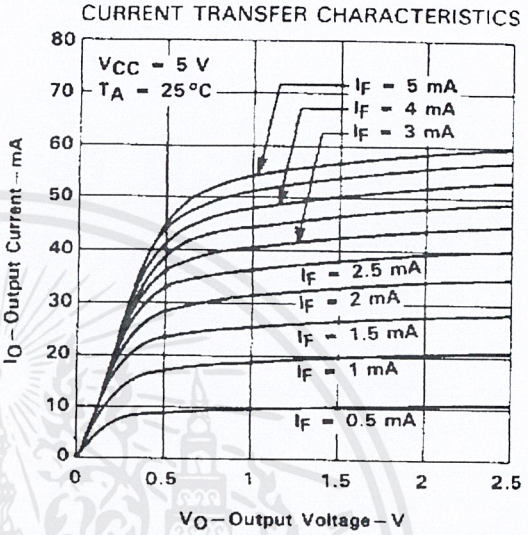


FIGURE 4

6N138
CURRENT TRANSFER RATIO
vs
INPUT DIODE FORWARD CURRENT

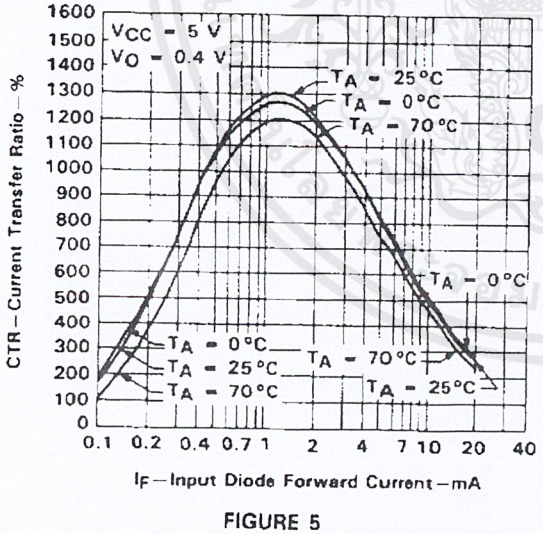


FIGURE 5

6N139
CURRENT TRANSFER RATIO
vs
INPUT DIODE FORWARD CURRENT

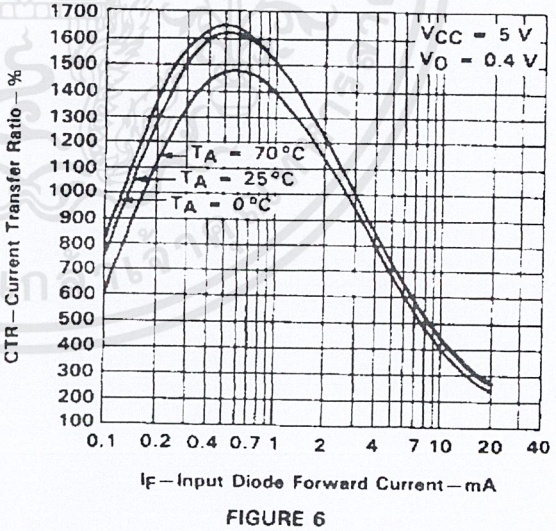


FIGURE 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

6N138
OUTPUT CURRENT
vs
INPUT DIODE FORWARD CURRENT

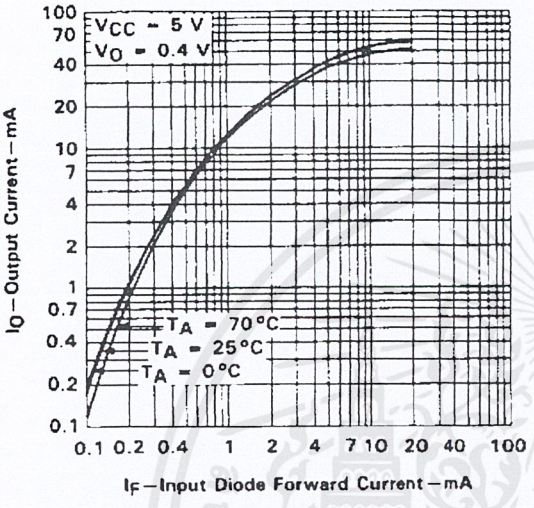


FIGURE 7

6N139
OUTPUT CURRENT
vs
INPUT DIODE FORWARD CURRENT

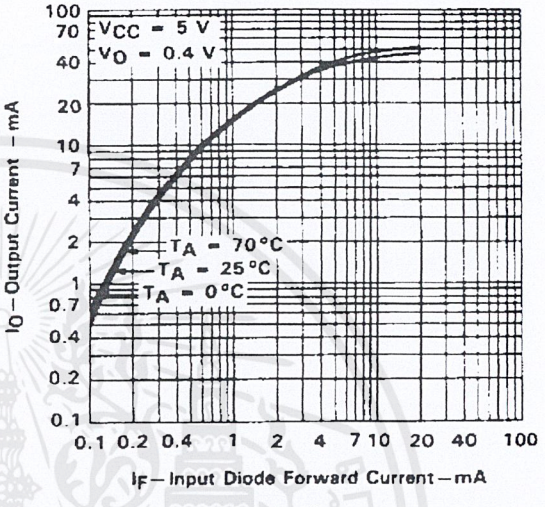


FIGURE 8

INPUT DIODE FORWARD CURRENT
vs
FORWARD VOLTAGE

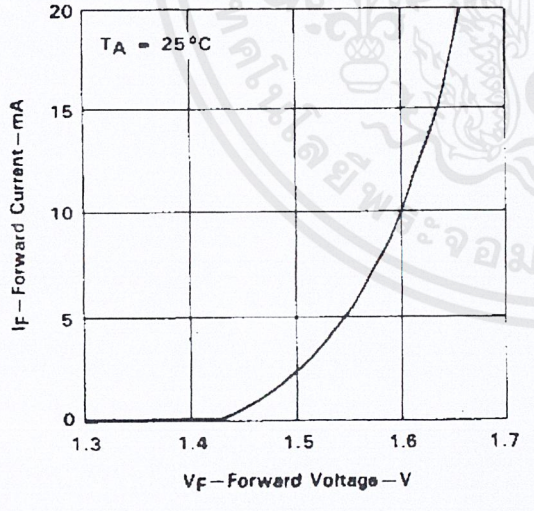


FIGURE 9

6N138
PROPAGATION DELAY TIMES
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

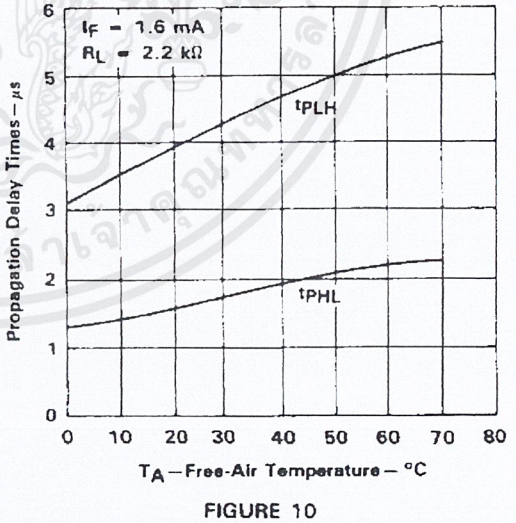


FIGURE 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

6N139
PROPAGATION DELAY TIMES
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

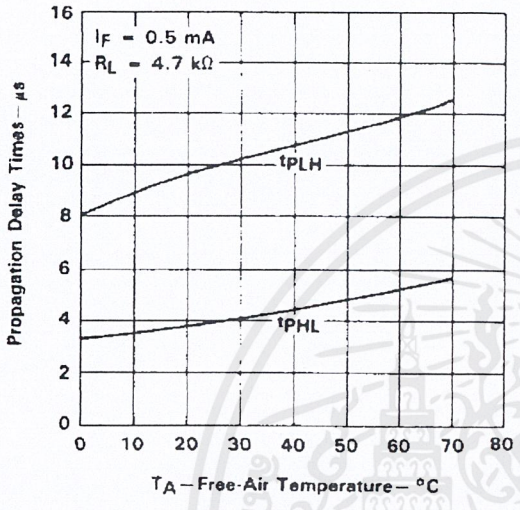


FIGURE 11

6N139
PROPAGATION DELAY TIMES
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

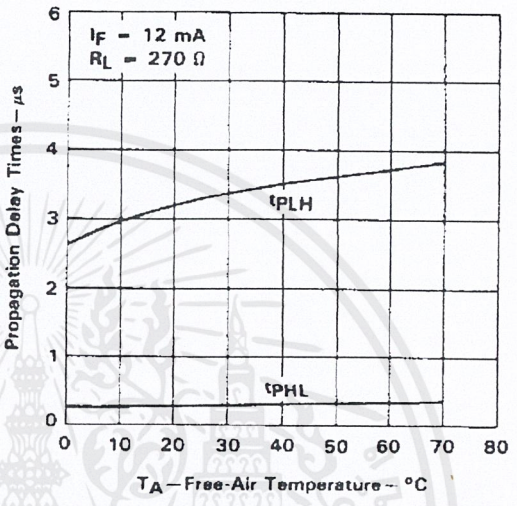


FIGURE 12

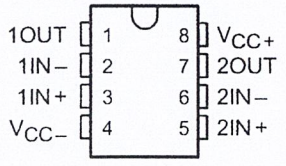
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF353
JFET-INPUT
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIER

SLOS012B – MARCH 1987 – REVISED AUGUST 1994

- **Low Input Bias Current . . . 50 pA Typ**
- **Low Input Noise Current 0.01 pA/$\sqrt{\text{Hz}}$ Typ**
- **Low Input Noise Voltage . . . 18 nV/$\sqrt{\text{Hz}}$ Typ**
- **Low Supply Current . . . 3.6 mA Typ**
- **High Input Impedance . . . 10^{12} Ω Typ**
- **Internally Trimmed Offset Voltage**
- **Gain Bandwidth . . . 3 MHz Typ**
- **High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ**

D OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



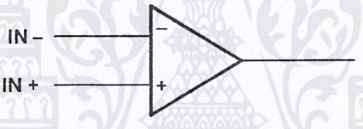
description

This device is a low-cost, high-speed, JFET-input operational amplifier with very low input offset voltage. It requires low supply current yet maintains a large gain-bandwidth product and a fast slew rate. In addition, the matched high-voltage JFET input provides very low input bias and offset currents.

The LF353 can be used in applications such as high-speed integrators, digital-to-analog converters, sample-and-hold circuits, and many other circuits.

The LF353 is characterized for operation from 0°C to 70°C.

symbol (each amplifier



AVAILABLE OPTIONS

T_A	V_{IO}max AT 25°C	PACKAGE	
		SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (P)
0°C to 70°C	10 mV	LF353D	LF353P

The D packages are available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (ie., LF353DR).

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

Supply voltage, V_{CC+} . . . . . 18 V
Supply voltage, V_{CC-} . . . . . –18 V
Differential input voltage, V_{ID} . . . . . ±30 V
Input voltage, V_I (see Note 1) . . . . . ±15 V
Duration of output short circuit . . . . . unlimited
Continuous total power dissipation . . . . . 500 mW
Operating temperature range . . . . . 0°C to 70°C
Storage temperature range . . . . . –65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds . . . . . 260°C

NOTE 1: Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

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.

Copyright © 1994, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recommended operating conditions

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC+}	3.5	18	V
Supply voltage, V_{CC-}	−3.5	−18	V

electrical characteristics over operating free-air temperature range, $V_{CC\pm}$ = ±15 V (unless otherwise specified)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	T_A†	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IO}	Input offset voltage	V_{IC} = 0, R_S = 10 kΩ	25°C		5	10	mV
			Full range			13	
α_{VIO}	Average temperature coefficient of input offset voltage	V_{IC} = 0, R_S = 10 kΩ			10		µV/°C
I_{IO}	Input offset current‡	V_{IC} = 0	25°C		25	100	pA
			70°C			4	nA
I_{IB}	Input bias current‡	V_{IC} = 0	25°C		50	200	pA
			70°C			8	nA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range			±11	−12 to 15		V
V_{OM}	Maximum peak output voltage swing	R_L = 10 kΩ		±12	±13.5		V
A_{VD}	Large-signal differential voltage	V_O = ±10 V, R_L = 2 kΩ	25°C	25	100		V/mV
			Full range	15			
r_i	Input resistance	T_J = 25°C			10^{12}		Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	R_S ≤ 10 kΩ		70	100		dB
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio	See Note 2		70	100		dB
I_{CC}	Supply current				3.6	6.5	mA

† Full range is 0°C to 70°C.
‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as possible.
NOTE 2: Supply-voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously.

operating characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{O1}/V_{O2}	Crosstalk attentuation	f = 1 kHz		120		dB
SR	Slew rate		8	13		V/µs
B_1	Unity-gain bandwidth			3		MHz
V_n	Equivalent input noise voltage	f = 1 kHz, R_S = 20 Ω		18		nV/√Hz
I_n	Equivalent input noise current	f = 1 kHz		0.01		pA/√Hz

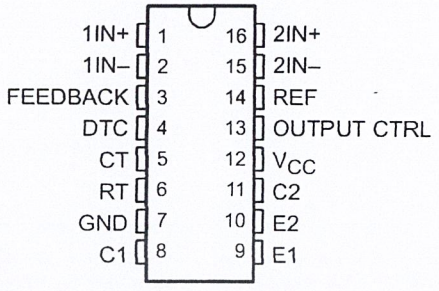
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074C – JANUARY 1983 – REVISED DECEMBER 2001

- **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 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 = GND	Single-ended or parallel output
V_I = V_{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.

Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated

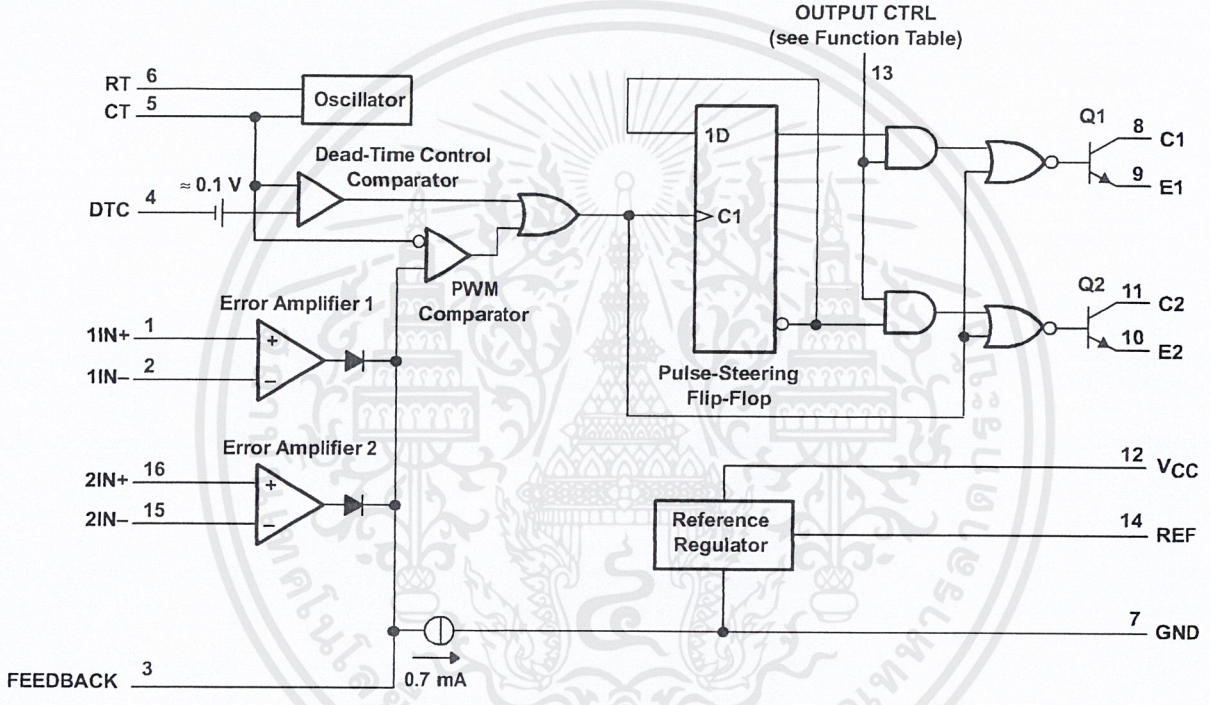
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVAILABLE OPTIONS

T_A	PACKAGED DEVICES			
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW
–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).

functional block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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 Note 2 and 3): D package . . . . . 73°C/W
N package . . . . . 67°C/W
NS package . . . . . 64°C/W
PW package . . . . . 108°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds . . . . . 260°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . –65°C 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 are with respect to the network ground terminal.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	I_O = 1 mA	4.75	5	5.25	V
Input regulation	V_{CC} = 7 V to 40 V		2	25	mV
Output regulation	I_O = 1 mA to 10 mA		1	15	mV
Output voltage change with temperature	ΔT_A = 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°C.
§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, C_T = 0.01 µF, R_T = 12 kΩ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC}, CT, RT, and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	V_{CC} = 7 V to 40 V, T_A = 25°C		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	ΔT_A = 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°C.
¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

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

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 (FEEDBACK) = 2.5 V		2	10	mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25	250	nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2	1	µA
Common-mode input voltage range	V_{CC} = 7 V to 40 V	–0.3 to V_{CC}–2			V
Open-loop voltage amplification	ΔV_O = 3 V, R_L = 2 kΩ, V_O = 0.5 V to 3.5 V	70	95		dB
Unity-gain bandwidth	V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2 kΩ		800		kHz
Common-mode rejection ratio	ΔV_O = 40 V, T_A = 25°C	65	80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	V_{ID} = –15 mV to –5 V, V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA
Output source current (FEEDBACK)	V_{ID} = 15 mV to 5 V, V (FEEDBACK) = 3.5 V	–2			mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

output section

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
Collector off-state current		V_{CE} = 40 V,	V_{CC} = 40 V		2	100	μA
Emitter off-state current		V_{CC} = V_C = 40 V,	V_E = 0			–100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	V_E = 0,	I_C = 200 mA		1.1	1.3	V
	Emitter follower	$V_{O(C1 \text{ or } C2)}$ = 15 V,	I_E = –200 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°C.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	V_I = 0 to 5.25 V		–2	–10	μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ		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°C.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
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°C.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
Standby supply current	RT = V_{ref}, All other inputs and outputs open	V_{CC} = 15 V		6	10	mA
		V_{CC} = 40 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°C.

switching characteristics, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
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°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

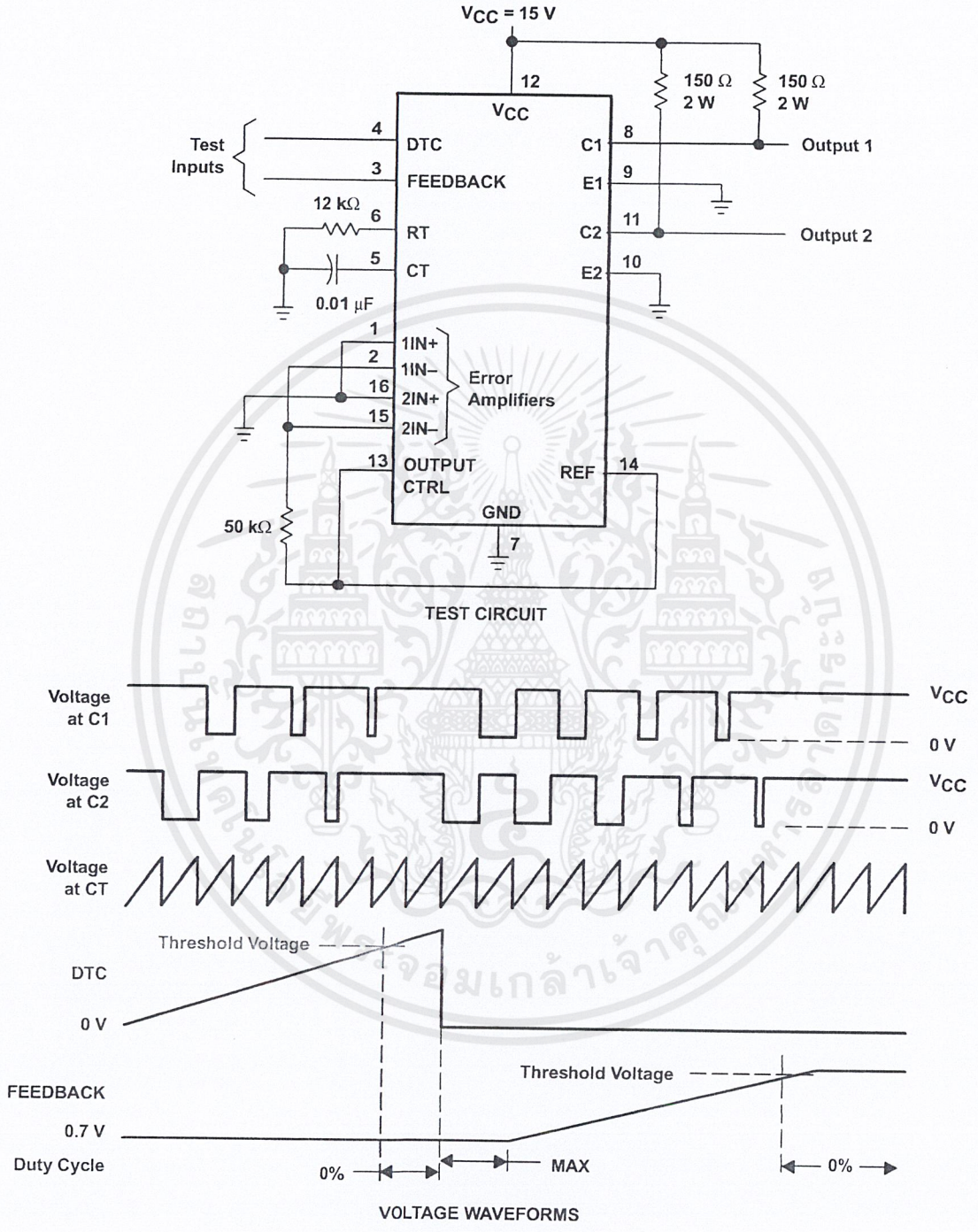


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

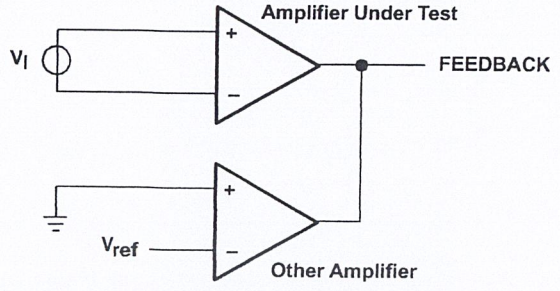
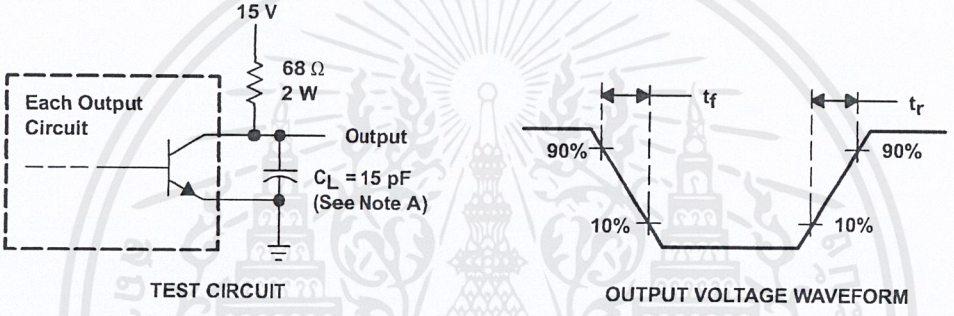
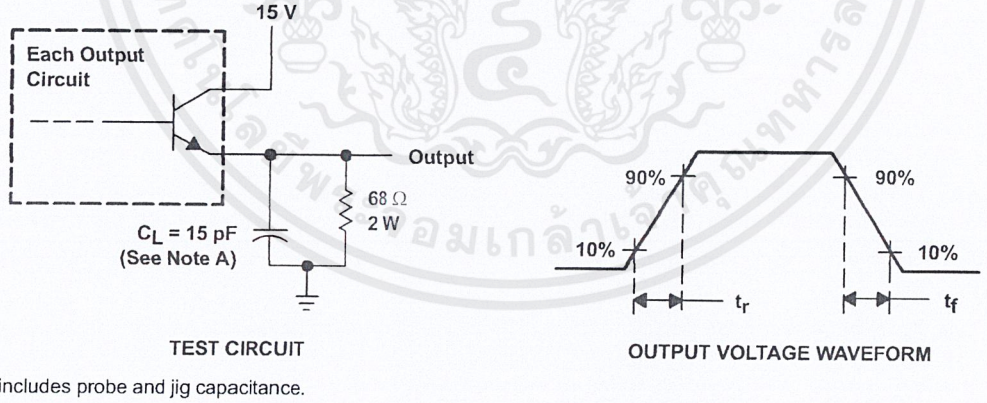


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration

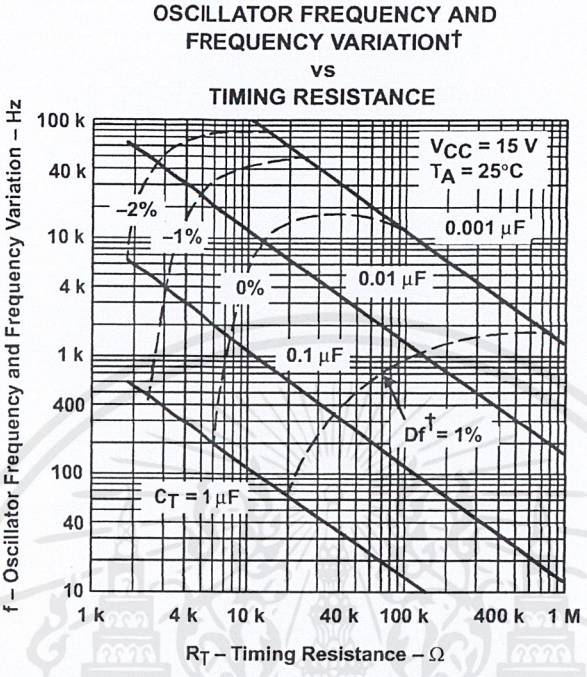


NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



† Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5

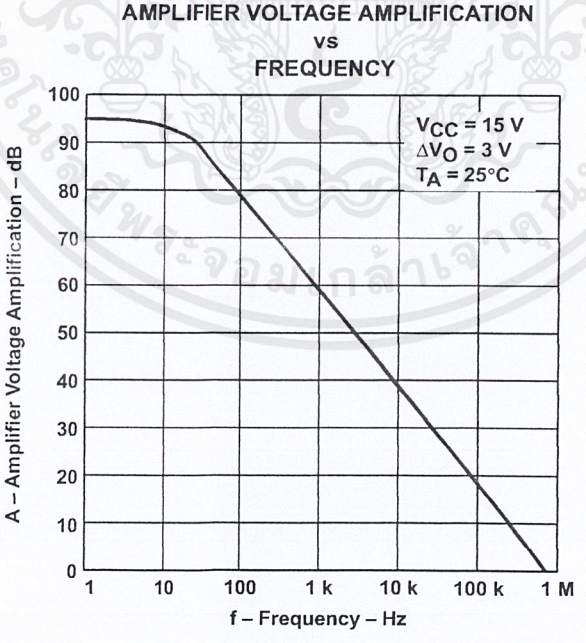


Figure 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

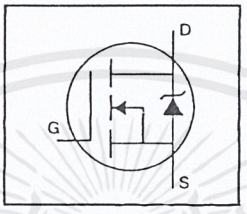
International
IOR Rectifier

PD-9.458C

IRFP450

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



V_{DSS} = 500V

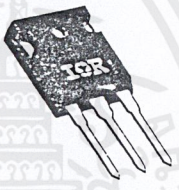
$R_{DS(on)}$ = 0.40Ω

I_D = 14A

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial–industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



TO-247AC

DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	14	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	8.7	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	56	
P_D @ T_C = 25°C	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.5	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	760	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	8.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	19	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.65	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V_{GS}=0V, I_D= 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D= 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.40	Ω	V_{GS}=10V, I_D=8.4A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D= 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	9.3	—	—	S	V_{DS}=50V, I_D=8.4A ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS}=500V, V_{GS}=0V
		—	—	250		V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS}=20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS}=-20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	150	nC	I_D=14A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	20		V_{DS}=400V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	80		V_{GS}=10V See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	V_{DD}=250V
t_r	Rise Time	—	47	—		I_D=14A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	92	—		R_G=6.2Ω
t_f	Fall Time	—	44	—		R_D=17Ω See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	2600	—	pF	V_{GS}=0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	720	—		V_{DS}= 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	340	—		f=1.0MHz See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	14	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	56		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.4	V	T_J=25°C, I_S=14A, V_{GS}=0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	540	810	ns	T_J=25°C, I_F=14A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	4.8	7.2	μC	di/dt=100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is neglegible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=7.0mH R_G=25Ω, I_{AS}=14A (See Figure 12)

③ I_{SD}≤14A, di/dt≤130A/μs, V_{DD}≤$V_{(BR)DSS}$, T_J≤150°C

④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

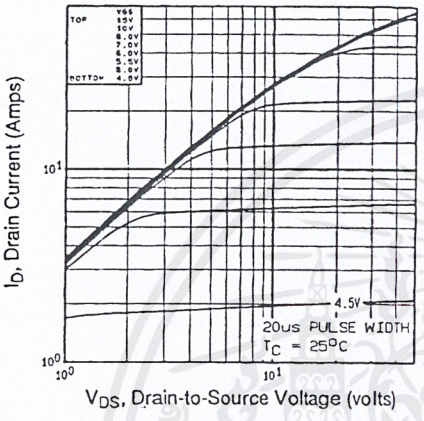


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

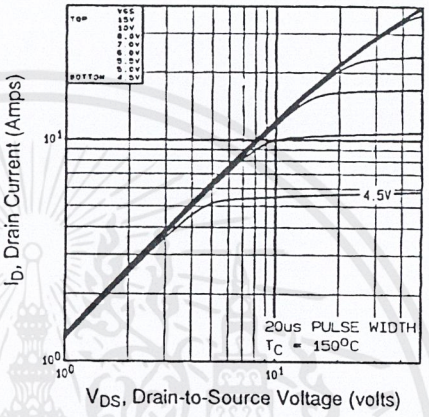


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=150°C

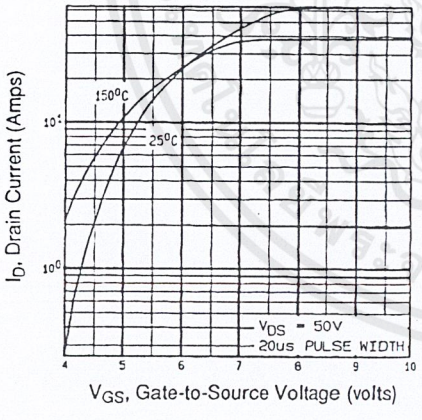


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

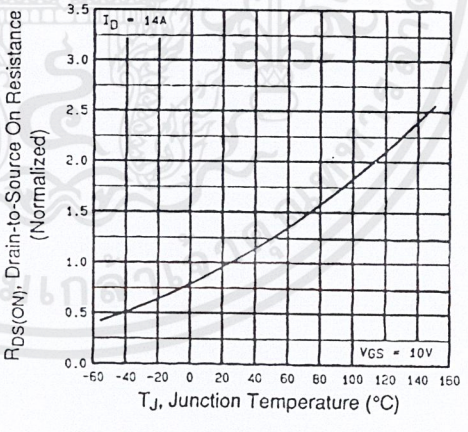


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

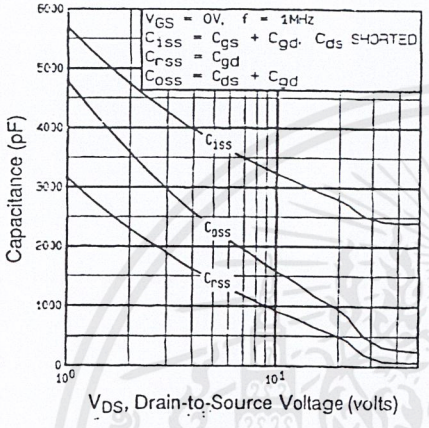


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

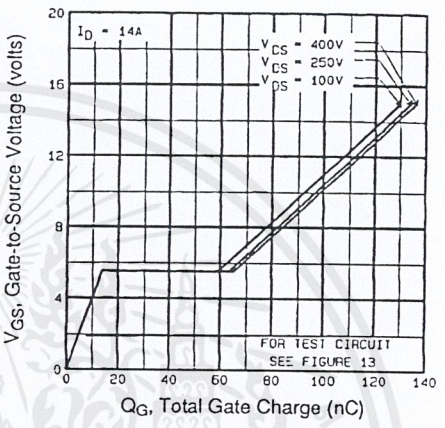


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

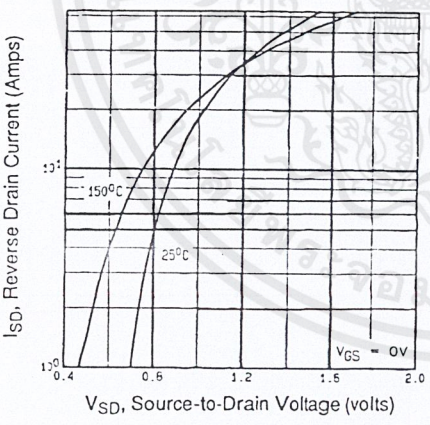


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

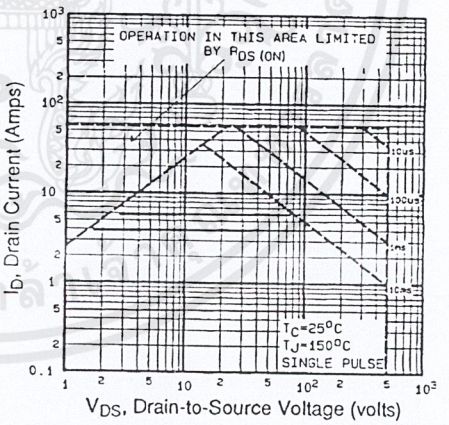


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

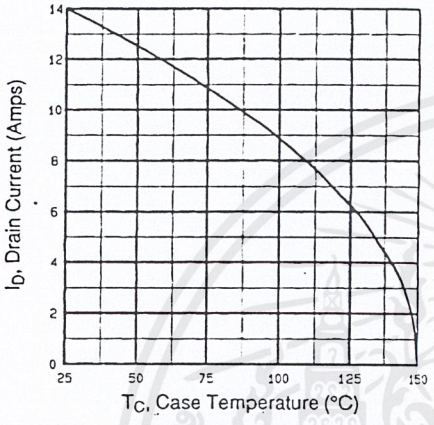


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

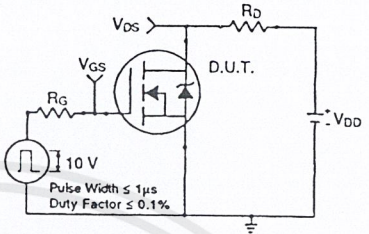


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

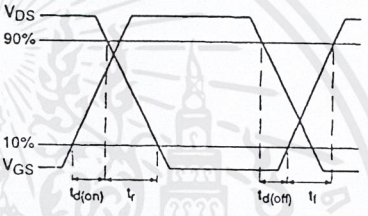


Fig 10b. Switching Time Waveforms

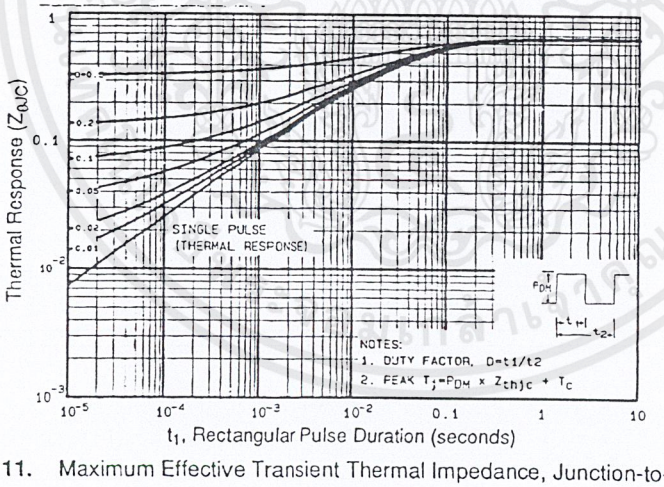


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

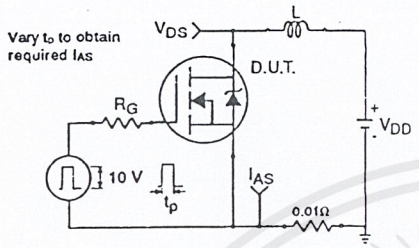


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

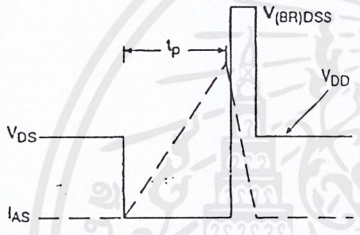


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

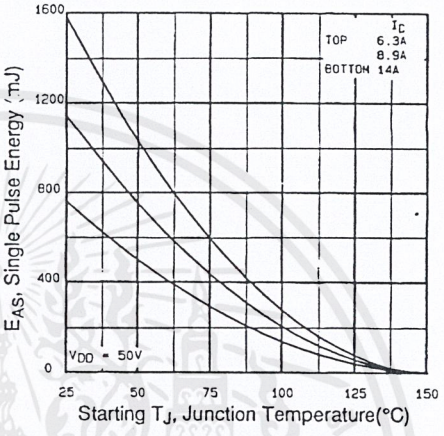


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

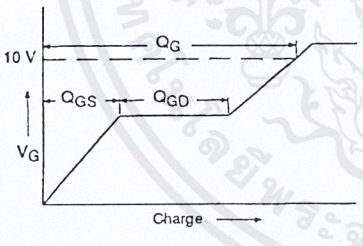


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

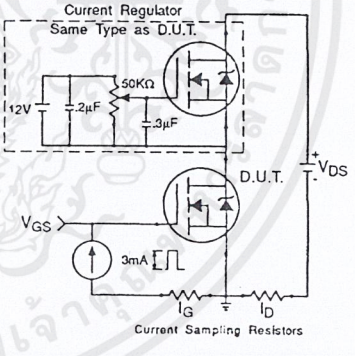


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IOR Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้