

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

เครื่องหมายตำแหน่ง

POSITION MARK MACHINE



T119189



นางสาวทรศพร อิมศรี  
นางสาวทินมาศ ศิริพันธ์  
นางสาวทิพวรรณ ศิริรัตน์

เลขหมู่.....**119189**  
ยกทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี...- 6 S.A. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2553  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# POSITION MARK MACHINE



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ACADEMIC YEAR 2010**

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องมาร์คตำแหน่ง

POSITION MARK MACHINE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นางสาวทรศพร อิมศรี

รหัสนักศึกษา 50010562

นางสาวทินมาศ ศิริพันธุ์

รหัสนักศึกษา 50010584

นางสาวทิพวรรณ ศิริรัตน์

รหัสนักศึกษา 50010586

ปริญญา


วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2553

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ประภาส อุกคภิมาพันธุ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องมาร์คตำแหน่ง

POSITION MARK MACHINE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นางสาวทรศพร

อิมศรี

รหัสนักศึกษา 50010562

นางสาวทินมาศ

ศิริพันธุ์

รหัสนักศึกษา 50010584

นางสาวทิพวรรณ

ศิริรัตน์

รหัสนักศึกษา 50010586

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ประภาส อุดคคิมาพันธุ์

ปีการศึกษา

2553

### บทคัดย่อ

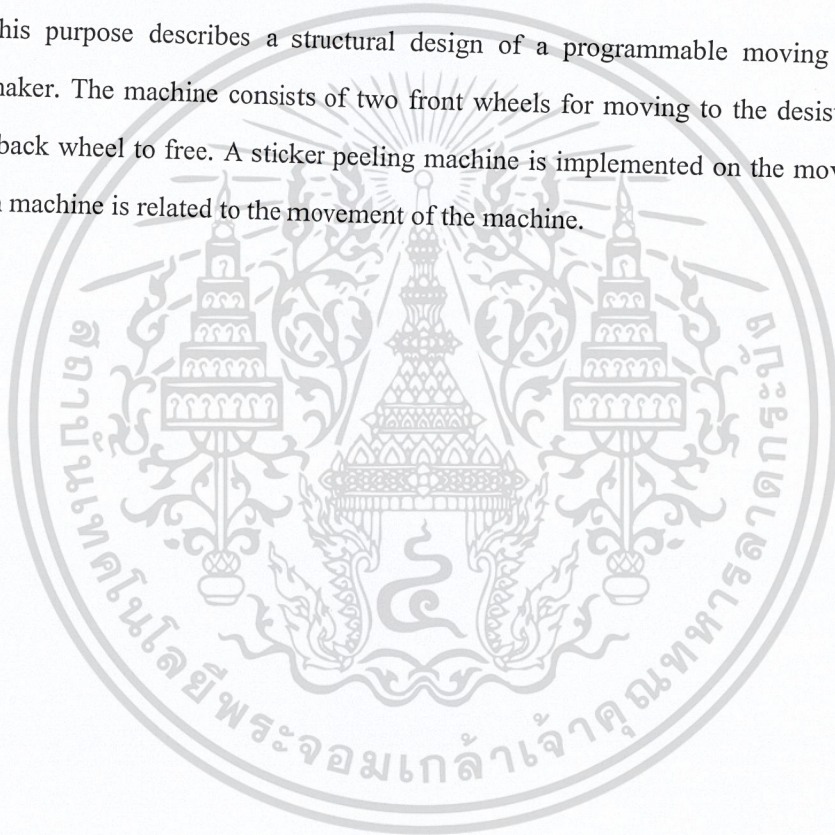
ในบทความนี้ อธิบายถึงการออกแบบ โครงสร้างเครื่องลอกสติ๊กเกอร์ เพื่อระบุตำแหน่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามโปรแกรม ตัวเครื่องประกอบด้วยระบบการเคลื่อนที่ 3 ล้อ การควบคุมทิศทางอาศัยผลต่างการเคลื่อนที่ของ 2 ล้อ โดยมีล้อที่ 3 เป็นล้ออิสระ โครงสร้างเครื่องลอกสติ๊กเกอร์ประกอบด้วยกลไกสำหรับลอกสติ๊กเกอร์ โดยอาศัยการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ให้สัมพันธ์กับกลไกการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Position Mark Machine	
<b>Authors</b>	Miss Tussaporn	Aimsri
	Miss Tinnamas	Siripun
	Miss Tippawan	Sirirat
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Prapart	Ukakimaparn
<b>Year</b>	2010	

### ABSTRACT

This purpose describes a structural design of a programmable moving machine for position maker. The machine consists of two front wheels for moving to the desisted direction, while the back wheel to free. A sticker peeling machine is implemented on the moving car. The rotation on machine is related to the movement of the machine.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตา และความอนุเคราะห์จากรศ. ประภาส อุคคกิมพันธ์ุ ที่ให้คำปรึกษา และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ในการทำโปรเจกครั้งนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุน และเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริยญาณีพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริยญาณีพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริยญาณีพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลdsPIC.....	3
2.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	3
2.1.2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของ dsPIC30F4011.....	4
2.1.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	5
2.1.3.1 คุณสมบัติด้านการประมวลผล.....	5
2.1.3.2 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ.....	6
2.1.4 โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC).....	6
2.1.5 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare : OC).....	6
2.1.6 โมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม (UART) ใน dsPIC.....	7
2.1.7 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ.....	7
2.1.7.1 รีจิสเตอร์ควบคุมเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วย ประมวลผลกลางของ dsPIC.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.8 การจัดสรรหน่วยความจำของ dsPIC30F4011.....	11
2.1.9 การรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	12
2.1.10 รีจิสเตอร์กำหนดค่าทางฮาร์ดแวร์.....	12
2.1.10.1 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	12
2.1.10.2 รีจิสเตอร์ควบคุมขาอินพุตเอาต์พุต.....	13
2.1.11 การติดต่อกับ ICD (In-Circuit Debugger) เพื่อตรวจสอบการทำงานหรือ ดีบั๊กในวงจรของ dsPIC30F4011.....	13
2.1.12 การใช้งาน โมดูล MCPWM เพื่อควบคุมมอเตอร์.....	14
2.1.12.1 การใช้งาน โมดูล MCPWM เพื่อควบคุมมอเตอร์.....	14
2.1.13 รีจิสเตอร์ที่ใช้ใน โมดูล MCPWM.....	15
2.1.14 ฐานเวลาสัญญาณ PWM.....	16
2.1.14.1 คาบเวลาของสัญญาณ PWM.....	16
2.1.14.2 โหมดการทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM17.....	17
2.1.14.3 การทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมดปรับขอบ สัญญาณ.....	18
2.1.14.4 การเปลี่ยนแปลงค่าดีวตี้ไซเคิลสัญญาณ PWM ของโมดูล MCPWM.....	19
2.1.14.5 ทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM หรือทำงานแบบ คอมพลีเมนตารี (Complementary PWM Output Mode).....	19
2.1.14.6 การควบคุมเวลาวิกฤต (Dead Time Control) .....	20
2.1.15 การกำหนดการทำงานขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรง....	20
2.1.16 การใช้งาน โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลภายใน dsPIC.....	21
2.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor).....	21
2.2.1 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง.....	22
2.2.2 ทฤษฎีและหลักการของมอเตอร์.....	23
2.2.3 การควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	23
2.2.4 วิธีการมอดูเลชันความกว้างของพัลส์.....	25
2.2.5 การทำงานของสัญญาณ PWM.....	27

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.5.1 สาเหตุที่ใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	28
2.2.6 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor).....	29
2.2.7 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	31
2.2.7.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ( $R_a$ ).....	31
2.2.7.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง.....	32
2.2.7.3 วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM).....	33
2.3 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) .....	34
2.3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์.....	35
2.4 ออปแอมป์ (Op-Am).....	39
2.4.1 ออปแอมป์ในอุดมคติ.....	39
2.4.2 คุณลักษณะของออปแอมป์.....	40
2.4.3 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier).....	42
2.4.4 วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier).....	42
2.4.5 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non inverting Amplifier).....	43
2.4.6 วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower).....	44
2.4.7 วงจรลบสัญญาณ (Difference Amplifier).....	44
2.5 ตัวควบคุม PI Controller สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง.....	46
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....</b>	<b>47</b>
3.1 ส่วนแมคคานิกส์.....	47
3.2 ส่วนอิเล็กทรอนิกส์.....	50
3.2.1 Driver motor control.....	50
3.2.1.1 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบฟูลบริดจ์.....	50
3.2.1.2 การควบคุมมอเตอร์.....	51
3.2.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current Sensor).....	52
3.2.2.1 ลักษณะเด่นของ ACS 754 และประโยชน์การใช้งาน.....	52
3.2.2.2 วงจรตรวจวัดกระแสที่ต่อใช้งาน.....	53
3.2.3 การออกแบบวงจรขยาย.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3.1 การเลือกใช้ OP-AM.....	55
3.2.3.2 ลักษณะของสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตและคำนวณ อัตราขยาย.....	55
3.2.3.3 การออกแบบวงจรขยาย.....	57
3.2.4 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์.....	59
3.2.4.1 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว.....	59
3.2.5 วงจรแหล่งจ่าย.....	59
3.2.5.1 การคำนวณหากระแสและแรงดัน.....	59
3.2.5.2 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย.....	60
3.2.6 การนำวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวและวงจรแหล่งจ่ายไปออกแบบลาย วงจรพิมพ์.....	60
3.2.6.1 ออกแบบลายวงจรพิมพ์วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว.....	61
3.2.6.2 ออกแบบลายวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่าย.....	63
3.2.7 การหาค่าพารามิเตอร์เพื่อนำค่ามาใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	65
3.2.7.1 การหาค่าอัตราส่วนค่าแรงดันเอาต์พุตเซนเซอร์ต่อค่ากระแสที่ ไหลผ่านมอเตอร์ ( $K_{Vr}$ ).....	65
3.2.7.2 อัตราส่วนค่า PDC ต่อ Terminal Voltage ( $K_{pv}$ ).....	67
3.2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับค่า $\omega$ (rad/sec).....	69
3.2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า I(A) กับ $V_{out}(V)$ .....	71
3.3 ส่วนคอนโทรลและโปรแกรมมิ่ง.....	74
3.3.1 การจัดการขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	74
3.3.2 การควบคุมมอเตอร์.....	75
3.3.2.1 การคำนวณหาอัตราเร็วเชิงมุม.....	75
3.3.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	77
3.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	78
3.3.3.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ( $R_a$ ).....	78
3.3.3.2 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่ (ค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์)..	80
3.3.3.3 การวัดค่าทอร์กคงที่ (Torque constant; $K_t$ ).....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	87
3.3.4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	87
3.3.4.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรม.....	87
3.3.4.3 การควบคุมระบบ.....	88
3.3.4.3.1 โพลซาร์ตควบคุมความเร็วมอเตอร์แต่ละข้าง.....	88
3.3.4.2 โพลซาร์ตการอ่านค่าตำแหน่งการลอกของสติกเกอร์.....	89
<b>บทที่ 4 การทดลอง.....</b>	<b>90</b>
4.1 การหาค่ากระแส.....	90
4.1.1 การคำนวณทางทฤษฎี.....	90
4.1.2 ผลที่ได้จากการสอบเทียบ.....	90
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....</b>	<b>91</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	91
5.2 ปัญหา.....	91
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>92</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>93</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงรายละเอียดของ PIC เบอร์ต่างๆ.....	5
2.2 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ.....	38
3.1 แสดงการต่อใช้งานของ ไอซีเข้ากับมอเตอร์และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อมอเตอร์หนึ่งตัว.....	52
3.2 แสดงการควบคุมมอเตอร์โดยใช้สัญญาณ PWM.....	52
3.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุต.....	55
3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและแรงดัน.....	60
3.5 ผลการวัดค่ากระแสกับแรงดันเอาต์พุต ล้อขวา.....	65
3.6 ผลการวัดค่ากระแสกับแรงดันเอาต์พุต ล้อซ้าย.....	66
3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ $V(V)$ ล้อขวา.....	67
3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ $V(V)$ ล้อซ้าย.....	68
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อขวา.....	69
3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อซ้าย.....	70
3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $I(A)$ กับ $V_{\text{out}}(V)$ ล้อขวา.....	71
3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $I(A)$ กับ $V_{\text{out}}(V)$ ล้อซ้าย.....	72
3.13 แสดงสัญญาณอินพุตต่างๆที่ใช้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	74
3.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตต่างๆที่ใช้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	75
3.15 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อขวา.....	78
3.16 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อซ้าย.....	79
3.17 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อขวา.....	81
3.18 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อซ้าย.....	82
3.19 ตัวอย่างตารางการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อข้างขวา เมื่อ $r = 0.03 \text{ m}$ .....	84
3.20 ตัวอย่างตารางการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง ล้อข้างซ้าย เมื่อ $r = 0.03 \text{ m}$ .....	85
4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอุดมคติ.....	90
4.2 ค่ากระแสทางทฤษฎี.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	5
2.2 โครงสร้างทางโปรแกรมหรือ Programmer's Model ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	9
2.3 แสดงไคอะแกรมโครงสร้างการทำงานของโมดูล PWM.....	14
2.4 ไคอะแกรมแสดงการไหลค่านของ PTPER.....	17
2.5 ไคอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ.....	18
2.6 ไคอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณเดี่ยว.....	18
2.7 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง.....	22
2.8 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าตัวชี้ไขเคลิล ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่ถึงที่.....	25
2.9 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม.....	26
2.10 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน.....	27
2.11 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 10%.....	28
2.12 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 50%.....	28
2.13 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 90%.....	28
2.14 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้รีเลย์ (Relay).....	29
2.15 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน.....	30
2.16 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง.....	30
2.17 การวัดความต้านทานของอาร์เมเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส.....	31
2.18 วิธีวัดค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์.....	32
2.19 การวัดค่าทอร์กคงที่ของมอเตอร์.....	33
2.20 แสดง Rotary Encoder.....	35
2.21 แสดงการสร้างพัลส์ (Plus) ของ Rotary Encoder.....	35
2.22 แสดงพัลส์ (Plus) ของ Rotary แบบสองเฟส.....	36
2.23 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ (Plus) ของ Rotary Encoder.....	36
2.24 แสดงลักษณะพัลส์ (Plus) ของ Rotary Encoder ทั้งสองเฟส.....	37
2.25 แสดงความละเอียดของพัลส์ (Plus).....	37
2.26 แสดง Block Diagram ของ Rotary Encoder.....	39
2.27 สัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	39
2.28 สัญลักษณ์การต่อใช้งานของออปแอมป์เพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	40

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 กราฟแสดงลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติ.....	41
2.30 วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ.....	42
2.31 วงจรขยายแบบกลับเฟส.....	42
2.32 วงจรบวกสัญญาณ.....	43
2.33 วงจรขยายแบบกลับเฟส.....	43
2.34 วงจรขยายตามแรงดัน.....	44
2.35 วงจรลบสัญญาณ.....	44
2.36 พิจารณา $V_1$ ให้ $V_2 = 0$ .....	45
2.37 Proportional Integral Control.....	46
3.1 แสดงการออกแบบโครงสร้างรถด้วยการประกอบเลโก้แบบจำลองด้าน Isometric.....	47
3.2 โครงสร้างรถด้าน Isometric.....	48
3.3 โครงสร้างรถด้าน Right.....	48
3.4 โครงสร้างรถด้าน Top.....	49
3.5 ประกอบโครงสร้างตัวรถด้าน Isometric.....	49
3.6 ประกอบโครงสร้างตัวรถด้าน Right.....	50
3.7 แสดงวงจรภายในไอซี L298N.....	50
3.8 แสดงลักษณะการต่อวงจรเข้ากับมอเตอร์.....	51
3.9 แสดงโครงสร้างภายนอกของ ACS754.....	52
3.10 แสดงวงจรที่ต่อใช้งานของ ACS754.....	53
3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต.....	54
3.12 แสดงโครงสร้างภายนอกและภายในของ LM 358.....	55
3.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ตามย่านการใช้งาน $\pm 3$ A.....	56
3.14 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตของออปแอมป์.....	56
3.15 แสดงวงจรที่ต่อใช้ในการขยายเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์.....	57
3.16 แสดงไคอะแกรมของวงจรควบคุมทอร์กมอเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	59
3.17 วงจรแหล่งจ่าย.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวในไฟล์ Schematic.....	61
3.19 ขั้นตอนการทำ Auto Route ของวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว.....	62
3.20 แสดงลายวงจร PCB ของวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว.....	62
3.21 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว.....	63
3.22 วงจรแหล่งจ่ายในไฟล์ Schematic.....	63
3.23 ขั้นตอนการทำ Auto Route ของวงจรแหล่งจ่าย.....	64
3.24 แสดงลายวงจร PCB ของวงจรแหล่งจ่าย.....	64
3.25 วงจรแหล่งจ่าย.....	65
3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{out}(V)$ กับ $I(A)$ ล้อขวา.....	66
3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{out}(V)$ กับ $I(A)$ ล้อซ้าย.....	67
3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ $V(V)$ ล้อขวา.....	68
3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ $V(V)$ ล้อซ้าย.....	69
3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อขวา.....	70
3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อซ้าย.....	71
3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I(A)$ กับ $V_{out}(V)$ ล้อขวา.....	72
3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I(A)$ กับ $V_{out}(V)$ ล้อซ้าย.....	73
3.34 แสดงไดอะแกรมคำนวณหาอัตราเร็วของล้อแต่ละข้าง.....	75
3.35 แสดงไดอะแกรมควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	77
3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V(V)$ กับ $I(A)$ ล้อขวา.....	79
3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V(V)$ กับ $I(A)$ ล้อซ้าย.....	80
3.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_A(V)$ กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อขวา.....	82
3.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_A(V)$ กับ $\omega(\text{rad/sec})$ ล้อซ้าย.....	83
3.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T(N*m)$ กับ $I(A)$ ล้อขวา.....	85
3.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T(N*m)$ กับ $I(A)$ ล้อซ้าย.....	86
3.42 แสดงโพลซาร์ตควบคุมความเร็วมอเตอร์แต่ละข้าง.....	88
3.43 แสดงโพลซาร์ตการอ่านค่าตำแหน่งการลอคสติกเกอร์.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญญาประดิษฐ์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้แทนทรัพยากรมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์ที่สามารถอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันได้แก่ การศึกษา การแพทย์ การสื่อสาร การคมนาคม เป็นต้น ในโครงการนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในตอนนี้คือ หุ่นยนต์ ซึ่งหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีการใช้งานอยู่หลายประเภทได้แก่ หุ่นยนต์สำรวจ หุ่นยนต์กู้ภัย หุ่นยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ในที่นี้เราจะออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้มีลักษณะเป็นรถ เรียกว่า เครื่องมาร์คตำแหน่ง ใช้ในการติดเครื่องหมายระบุตำแหน่งบนพื้นอาคารแสดงสินค้าหรืองานอเนกในเซอร์ที่มีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ การกำหนดพื้นที่ของร้านค้าในงานแสดงสินค้า ผู้จัดการจะเป็นผู้ที่กำหนดขอบเขตการใช้พื้นที่ในอาคาร โดยการวัดระยะกว้างยาวของพื้นที่ที่จะติดเครื่องหมายลงบนพื้นอาคาร การระบุตำแหน่งจะใช้สติ๊กเกอร์ติดบนพื้นอาคารในตำแหน่งที่ชัดเจน จึงมีแนวคิดที่ออกแบบมาเป็นรถ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดโดยผู้ควบคุม ซึ่งสามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงโปรแกรมได้ตามพื้นที่ที่ใช้งาน โดยโครงสร้างเครื่องติดสติ๊กเกอร์ เพื่อระบุตำแหน่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามโปรแกรม ตัวเครื่องประกอบด้วยระบบการเคลื่อนที่ 3 ล้อ การควบคุมทิศทางอาศัยผลต่างการเคลื่อนที่ของ 2 ล้อ โดยมีล้อที่ 3 เป็นล้ออิสระ ตัวรถติดสติ๊กเกอร์ประกอบด้วยกลไกสำหรับลอกสติ๊กเกอร์และกลไกการติดสติ๊กเกอร์ในชุดเดียวกัน อาศัยการควบคุมการหมุนของมอเตอร์และเซ็นเซอร์ ให้สัมพันธ์กับกลไกได้อย่างสมบูรณ์ มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มี Gear Head ใช้ควบคุมการหมุนของม้วนสติ๊กเกอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีเอ็นโค้ดเดอร์ ใช้ควบคุมการหมุนของล้อรถ ส่วนการขับมอเตอร์กระแสตรงใช้ IC L298 ซึ่งภายใน IC นี้จะมีวงจรบริดจ์อยู่สองวงจร สามารถขับเคลื่อนได้ 50 โวลต์ กระแสที่ใช้ 4 แอมแปร์ การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ dsPIC มาตรฐานสัญญาณ PWM แล้วนำสัญญาณที่ได้มาควบคุมมอเตอร์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องมาร์คตำแหน่ง และการประยุกต์ใช้งานของเครื่องมาร์คตำแหน่ง
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC และการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง การประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ควบคุมการหมุนของม้วนสติ๊กเกอร์และมอเตอร์ควบคุมการหมุนของล้อรถ

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ออกแบบโครงสร้างเครื่องลอกสติ๊กเกอร์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการทำงานจากหุ่นยนต์จำลองเลโก้ (Lego)
2. ศึกษาการออกแบบโครงสร้างด้านเมคคานิกส์ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อในการดีไซน์ (Program Solidworks)
3. ศึกษาหลักการใช้งานมอเตอร์ควบคุมการหมุนของม้วนสติ๊กเกอร์และมอเตอร์ควบคุมการหมุนของล้อรถ
4. ศึกษาหลักการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นักศึกษาได้นำความรู้ทางทฤษฎีและความสามารถทางปฏิบัติมารวมกันในการทำงาน และวิเคราะห์แก้ปัญหาในการปฏิบัติงานได้
2. นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงลักษณะของการทำโครงการ การวางแผนปฏิบัติงาน การจัดการงบประมาณและการทำงานเป็นกลุ่ม
3. นักศึกษาได้เรียนรู้ทักษะในการทำงาน และสามารถนำความรู้ออกไปปฏิบัติงานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์นั้น จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นของระบบควบคุมที่สนใจให้เข้าใจเสียก่อน จึงพบว่า การควบคุมความเร็วมอเตอร์นั้นมีส่วนที่สำคัญอยู่หลายส่วน ในบทนี้เป็นการศึกษา และอธิบายองค์ประกอบที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ซึ่งประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์กระแสตรง วงจรขับมอเตอร์

#### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC

dsPIC เป็น MCU (Microcontroller Unit) ซึ่งใช้สถาปัตยกรรมข้อมูลแบบ 16 บิต พัฒนาโดยบริษัท Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลแบบสัญญาณดิจิทัลแบบฮาร์ดแวร์ สำหรับการไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ในตระกูล dsPIC ของ Microchips นั้นจะมีการผลิตออกมาจำหน่ายให้ผู้ใช้งานได้เลือกใช้งานกันอยู่มากมายหลายเบอร์ ตามความเหมาะสมของงาน โดยปัจจุบัน (ตุลาคม 2548) dsPIC จะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน ได้แก่ dsPIC30F20xx, dsPIC30F30xx, dsPIC30F40xx, dsPIC30F50xx และ dsPIC30F60xx ซึ่งทุกเบอร์จะใช้โครงสร้างและสถาปัตยกรรมการประมวลผลแบบเดียวกันทั้งหมด แต่จะมีความแตกต่างในเรื่องของทรัพยากรภายใน เช่น ขนาดของหน่วยความจำใช้งานของจำนวน Peripheral I/O แบบต่างๆ ซึ่งอาจมีการบรรจุไว้แต่ละเบอร์ด้วยจำนวนที่ไม่เท่ากัน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียงเฉพาะข้อมูลในส่วนของ dsPIC30F4011 เท่านั้น

##### 2.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

- ใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISC โดยมี 84 คำสั่งมาตรฐาน รองรับการอ้างตำแหน่งแอดเดรส (Address) แบบต่างๆ ได้โดยอิสระ ซึ่งโดยรูปแบบโครงสร้างการจัดผังหน่วยความจำเป็นส่วนที่ตัดแปลงมาจากสถาปัตยกรรมของ “Harvard Architecture”

- ชุดคำสั่งในการสร้างแอดเดรส (Address) แบบ 24 บิต และการถึงข้อมูลขนาด 16 บิต

- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 12 KBytes (4KWord) สามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่เป็นการค้า  
การลบ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโปรแกรมซ้ำใหม่ได้กว่า 100,000 ครั้ง พร้อมระบบป้องกันการอ่าน

- มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 512 Byte
- มีหน่วยความจำข้อมูลถาวรแบบ EEPROM ขนาด 1 Kbyte สามารถลบและเขียนซ้ำได้กว่า 100,000 ครั้ง และสามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้แม้ไม่จ่ายไฟเลี้ยงให้ MCU
- มีรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ให้ใช้งานจำนวน 16 ชุด
- สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 30 MIPS (30 ล้านคำสั่งต่อวินาที)
- รองรับสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดภายนอก 0-40 MHz
- รองรับการใช้งานกับแหล่งกำเนิดความถี่แบบ XTAL ค่า 4-10 MHz
- มีวงจรถูกความถี่ภายในแบบ Phase-Lock-Loop โดยสามารถกำหนดค่าอัตราการคูณความถี่ได้ 3 ระดับ คือ 4 เท่า, 8 เท่า และ 16 เท่า
- รองรับการ Interrupt ถึง 27 แหล่ง พร้อมสัญญาณ Interrupt จากภายนอก 3 แหล่ง และสามารถจัดระดับความสำคัญของการ Interrupt ได้ 8 ระดับ

### 2.1.2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของ dsPIC30F4011

dsPIC เบอร์ dsPIC30F4011 มีขาสำหรับต่อใช้งาน 40 ขา มีพอร์ตใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 20 ขา

- พอร์ต B มี 6 ขา คือ RB0-RB5 โดยทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุตได้และสามารถขับกระแสแบบซิงก์ (Sink) และซอร์ส (Source) ได้สูงถึง 25 mA
- พอร์ต C มี 3 ขา คือ RC3-RC5
- พอร์ต D มี 2 ขา คือ RD0-RD1
- พอร์ต E มี 2 ขา คือ RE0-RE5 และ RE8
- พอร์ต F มี 2 ขา คือ RF2-RF3
- ขาสัญญาณ I/O สามารถจ่ายกระแส (Source) และรับกระแส (Sink) ได้มากถึง 25 mA

- มี Timer ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด และสามารถโปรแกรมใช้งานเป็น Timer แบบ 32 บิต ได้โดยใช้ Timer 16 บิต 2 ชุดรวมกัน

- มี Input Capture ขนาด 16 บิต จำนวน 4 ช่อง
- มี Output Compare/PWM ขนาด 16 บิต จำนวน 4 ช่อง
- มีวงจรถูกสื่อสารอนุกรมแบบ SPI จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจรถูกสื่อสารอนุกรมแบบ I2C จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจรถูกสื่อสารอนุกรมแบบ UART จำนวน 2 ช่อง

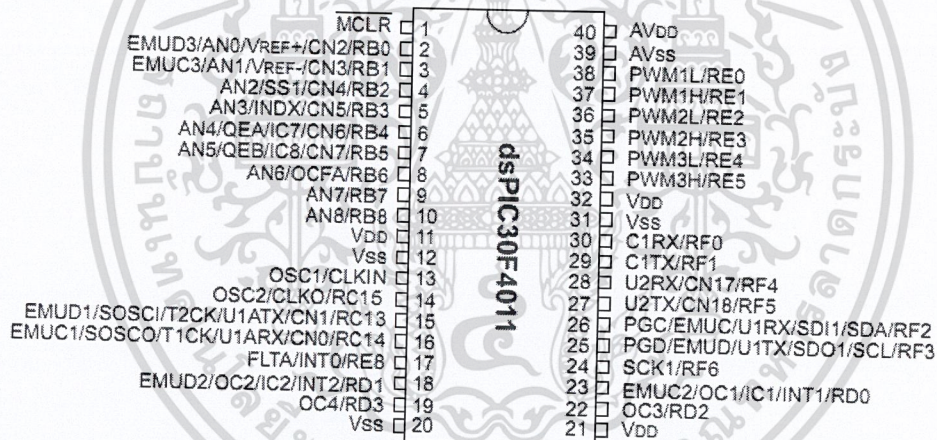
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- มีวงจรถูกสื่อสารอนุกรมแบบ DCPWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 3 ช่อง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรถอดรหัสแบบ QEIM ขนาด 16 บิต จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจร A/D ขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของ dsPIC เบอร์ต่างๆ

Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Moto Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I <sup>2</sup> C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

### 2.1.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



รูปที่ 2.1 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

#### 2.1.3.1 คุณสมบัติด้านการประมวลผล

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้ดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิต ในรูปของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ทำให้สามารถคูณเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิต ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเคิล (Cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3.2 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- มีไทม์เมอร์ (Timer) ขนาด 16 บิต จำนวน 3 สามารถโปรแกรมใช้งานเป็นไทม์เมอร์ (Timer) แบบ 32 บิต ได้โดยใช้ไทม์เมอร์ (Timer) 16 บิต 2 ช่องรวมกัน
- มีโมดูล (Module) เปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ช่อง
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง

### 2.1.4 โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ทำการบรรจุโมดูล (Module) แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลจำนวน 6 ช่อง มีความละเอียดของการแปลงข้อมูล 10 ได้ข้อมูลดิจิตอลมีค่าตั้งแต่ 0-1023

#### คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

- ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่า (Successive Approximation)
- มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที (Ksps)
- สามารถกำหนดให้ทำงานได้ในขณะเข้าสู่โหมดสลีป (Sleep Mode)
- สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงได้ ทั้งจากภายในผ่านทางขา AVDD กับ AVSS และภายนอกผ่านทางขา VREF+ หรือ VREF

การทำงานของโมดูล (Module) แปลงอะนาลอกเป็นดิจิตอลใน dsPIC30F4011 มีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตทั้งสิ้น 6 ขา คือ AN0-AN5 โดยมี 2 ขา ที่สามารถใช้รับแรงดันอ้างอิงเพื่อขยายย่านของแรงดันอินพุต ภายในโมดูล (Module) มีวงจรสุ่มและเก็บค่าสัญญาณ (Sample and Hold : S/H) จำนวน 4 ชุด โดยทำงานร่วมกับส่วนควบคุมการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) สัญญาณอินพุตสามารถจัดสรรวงจร S/H ให้สามารถรองรับกับสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซัดเซสซีฟ แอ็ปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation) ขนาด 10 บิต ข้อมูลที่ได้จากการแปลงจะถูกพักไว้ในหน่วยความจำแรม (RAM) จากนั้นจะได้รับการจัดรูปแบบตามที่คุณพัฒนาโปรแกรมกำหนด จากนั้นข้อมูลถูกถ่ายทอดลงบนบัส (Bus) ข้อมูลเพื่อส่งไปยังซีพียู (CPU) ต่อไป

### 2.1.5 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare : OC)

ใน dsPIC30F4011 บรรจุโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลไว้ 2 ชุด ซึ่งมีการทำงานหลักคือเปรียบเทียบข้อมูลที่ค่ามาตรฐานกับข้อมูลในส่วนรีจิสเตอร์ (Register) ถ้าเท่ากันเมื่อใดจะกำหนดรูปสัญญาณพัลส์เดี่ยวหรือขบวนสัญญาณพัลส์ (Plus) ออกมาทางเอาต์พุต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับที่กำหนดโหมดการทำงาน ดังนั้นจึงมักนำโมดูล (Module) มาใช้ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Plus) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการนำมาใช้สร้างสัญญาณ PWM

### คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลเปรียบเทียบข้อมูล

- สามารถกำหนดสัญญาณ PWM
- ใช้ไทม์เมอร์ (Timer) 2 หรือ 3 ร่วมในการทำงาน
- สามารถกำหนดเงื่อนไขเมื่อถึงคาบเวลาการนับ
- อินเทอร์รัปต์ (Interrupt) เนื่องจากถึงคาบเวลาการนับ
- มีอินพุตป้องกันความผิดพลาดในการสร้างสัญญาณ PWM

### 2.1.6 โมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม (UART) ใน dsPIC

ส่วนการควบคุมจากคอมพิวเตอร์โมดูล (Module) ถูกใช้ติดต่อกับสื่อสารระหว่าง dsPIC กับพอร์ต (Port) RS-232

#### คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล UART

- สื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางในแบบ 9 และ 10
- สามารถเลือกการสื่อสารข้อมูลแบบตรวจสอบบิตพาริตี (Parity) คู่ หรือคี่ และไม่ตรวจสอบบิตพาริตี (Parity) สำหรับรูปแบบสื่อสารข้อมูลในแบบ 9 บิต มีบิตหยุด 1 หรือ 2 บิต
- มีส่วนกำเนิดอัตราบอด (Baud Rate) ขนาด 16 บิต สำหรับกำหนดจังหวะและอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแยกอิสระ เพื่อลดภาระการทำงานของโมดูลไทม์เมอร์ (Module Timer)
- กำเนิดอัตราบอด (Baud Rate) ได้ตั้งแต่ 38 บิตต่อวินาที ถึง 29.49 เมกกะบิตต่อวินาที
- บัฟเฟอร์ (Buffer) ข้อมูลขาส่ง (TX) และขารับ (RX) ขนาด 4 เวิร์ด (Word) แยกส่วนกัน
- มีบิตแฟล็ก (Flag) แจ้งข้อผิดพลาดในกรณีต่างๆของการสื่อสาร สามารถตรวจจับความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลได้แก่
  - ความผิดพลาดทางพาริตี (Parity)
  - รับข้อมูลไม่ทัน
  - เฟรม (Frame) ข้อมูลผิดพลาด
- สนับสนุนความสามารถในการอินเทอร์รัปต์แอดเดรส (Interrupt Address)
- อินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ (Interrupt Vector) แยกตำแหน่งกันระหว่างการส่งและรับข้อมูล สามารถทำงานในโหมด Loopback

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.7 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ

โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบหรือ Programmer's Model ของ dsPIC ที่นักพัฒนาต้องทราบซึ่งประกอบไปด้วย

1. รีจิสเตอร์ (Register) หลักที่ใช้ในการทำงาน คือ รีจิสเตอร์ W (Working Register) สำหรับใน dsPIC แตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมากโดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอาร์เรย์ (Array) ขนาด 16 บิต ทำให้สามารถรองรับข้อมูลค่าแอดเดรส (Address) หรือค่าของรีจิสเตอร์ใดๆ ที่นำมาประมวลผล ใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ W ให้ใช้งาน 16 ตัว ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลโดยตัวที่ใช้งานเป็นหลักคือ W0 ส่วนตัวที่ถูกนำไปใช้ในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

2. แอควิวเลเตอร์ (Accurator) 40 บิต ใช้ในงานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก

3. โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Counter Program) ขนาด 24 บิต ใช้ในงานในการแจ้งแอดเดรส (Address) 23 บิต โดยไม่สนใจบิต MSB และบิต LSB ต้องเป็น 0

4. รีจิสเตอร์หลัก อันประกอบด้วย

- STATUS ซึ่งใช้แสดงสถานะการทำงานมีขนาด 16 บิต

- CORCON ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางมีขนาด 16 บิต

- TBLPAG เป็นรีจิสเตอร์กำหนดเพจของช่วง ตารางข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมมีขนาด 8 บิต

- PSVPAG เป็นรีจิสเตอร์แสดงเพจแอดเดรสของพื้นที่โปรแกรม มีขนาด 8 บิต

- COUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูบที่ทำซ้ำ

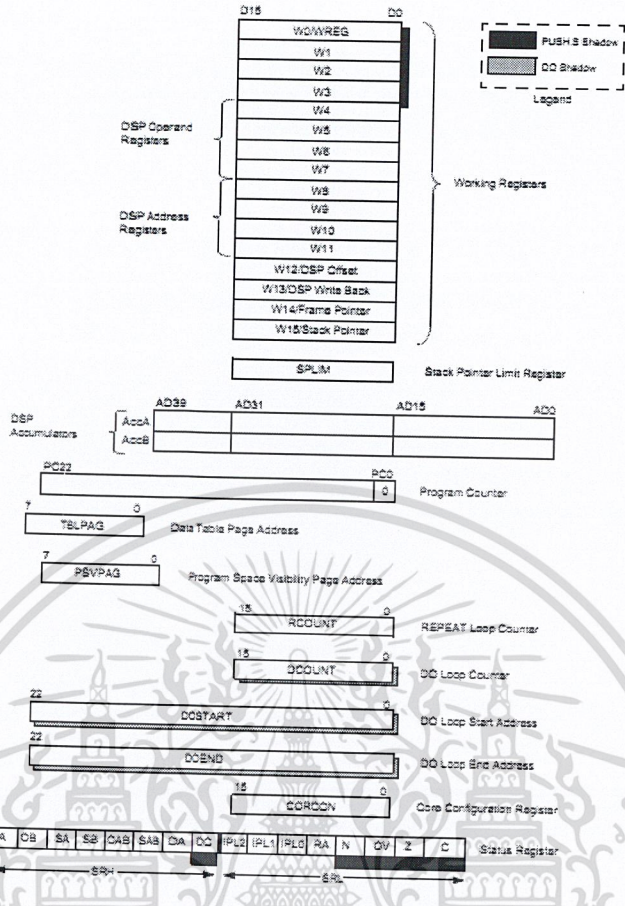
- DCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูบที่ทำงาน

- DOSTART เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมลูป

- DOEND เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสปลายทางที่ต้องการทำโปรแกรม

สำหรับรีจิสเตอร์ DCOUNT, DOSTART และ DOEND เป็นรีจิสเตอร์เงา (Shadow Register) เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวเพื่อเก็บค่าก่อนที่มีการย้ายออกไปทำงาน ไม่สามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์นี้ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางโปรแกรมหรือ Programmer’s Model ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

2.1.7.1 รีจิสเตอร์ควบคุมเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางของ dsPIC

ประกอบด้วย

1. MODCON (Module Control Register)
2. XMODRST และ XMODEND (X Module Start Address Register)
3. YMODSRT และ YMODDEND (Y Module Start Address Register และ Y Modulo End Address Register)
4. XBREV (X Module Bit-Reverse Register)
5. DISICNT (Disable Interrupt Count Register)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.7.2 หน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP Engine)

จุดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ dsPIC ได้รับการออกแบบให้มีหน่วยความจำทางคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาก เพื่อรองรับการประมวลผลสัญญาณหรือข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ทางดิจิทัล

องค์ประกอบสำคัญของหน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัลใน dsPIC ได้แก่

- มัลติพลายเออร์ (Multiplier) หรือตัวคูณ 17 X 17 บิตความเร็วสูง
- ตัวเลื่อนข้อมูลเป็นแบบอาร์เรย์ (Array) ขนาด 40 บิต
- แอ็กคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) ขนาด 40 บิต ซึ่งมีด้วยกัน 2 ตัวคือ

AccA และ AccB

- ส่วนประมวลผลลอจิก (Logic) ที่สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในหน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) นี้มาได้

2 แหล่ง

- เข้ามาโดยตรงจากรีจิสเตอร์ W4 ถึง W7
  - จากบัสข้อมูลของหน่วยความจำข้อมูล X
- ส่วนข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากหน่วย DSP นี้จะถูกส่งไปยัง 2 แหล่ง
- ส่งไปยังแอ็กคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) เป้าหมาย
  - หน่วยความจำข้อมูล X
- แสดงถึงขอบเขตของข้อมูลในรีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างกัน ทั้งในแบบจำนวนเต็ม

และเลขเศษ

#### 1. รูปแบบของตัวเลขที่ได้ประมวลผลในหน่วย DSP และ ALU

การกำหนดรูปแบบของข้อมูลเมื่อนำมาประมวลผลในหน่วย DSP และ ALU ทั้งในแบบเลขจำนวนเต็มและเลขเศษหรือทศนิยม ในกรณีจำนวนเต็มจะคำนวณตามปกติ โดยบิต LSD มีค่านำหน้าหลักเป็นเลขจำนวนเต็มและเลขเศษส่วนหรือทศนิยมและที่บิต MSB ถ้าเป็นเครื่องหมายบิตนี้จะแสดงเครื่องหมายว่าเป็นค่าบวกหรือลบ (ถ้าเป็น “0” หมายถึงเป็นค่าบวก ถ้าเป็น “1” หมายถึงเป็นค่าลบ) ส่วนนำหน้าหลักจะเท่ากับ  $2^{15}$  ในกรณีเป็นเลข 16 บิต,  $2^{31}$  กรณีเป็นเลข 32 และ  $2^{39}$  กรณีเป็นเลข 40 บิต

กรณีเป็นตัวเลขเศษส่วนหรือทศนิยม บิตซ้ายสุดซึ่งเป็นบิต MSB แต่ในกรณีเลขเศษส่วนหรือทศนิยมแล้วบิตซ้ายสุดเป็นเลขจำนวนเต็มหลักหน่วย ถ้าเป็นเลขแบบคิดเครื่องหมายบิตนี้ก็จะใช้ในการแสดงเครื่องหมายด้วย นั่นคือ บิตซ้ายสุดมีค่านำหน้าหลักเป็น  $2^0$  ในกรณีเป็นค่าบวก และ  $-2^0$  กรณีเป็นเลขคิดเครื่องหมาย ส่วนบิตถัดมาทางขวามีค่านำหน้าเป็น  $2^{-1}$  เรียงไปจนถึง  $2^{-15}$  กรณีเป็นเลข 16 บิต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การรองรับการหารเลขใน dsPIC

คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC คือ การหารเลข (Devices) ในหน่วยคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปจะไม่รองรับการหารเลข ต้องสร้างโปรแกรมย่อยขึ้นมาจัดการคำนวณในส่วนนี้ หรือถ้ารองรับการหารเลขอย่างเต็มรูปแบบ แบ่งเป็น 5 รูปแบบคือ

1. การหารเศษส่วนหรือทศนิยม 16 บิตแบบคิดเครื่องหมาย โดยใช้คำสั่ง DIVF
2. การหารเลขตัวตั้ง 32 บิต ด้วยตัวหาร 16 บิต แบบคิดเครื่องหมายโดยใช้คำสั่ง DIV.SD
3. การหารเลขตัวตั้ง 32 บิต ด้วยตัวหาร 16 บิต แบบไม่คิดเครื่องหมายโดยใช้คำสั่ง DIV.UD

4. การหารเลขจำนวนเต็ม 16 บิต แบบคิดเครื่องหมาย โดยใช้คำสั่ง DIV.SW
5. การหารเลขจำนวนเต็ม 16 บิต แบบไม่คิดเครื่องหมาย โดยใช้คำสั่ง DIV.UW

ผลหารของทุกคำสั่งหารเลขจะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ W0 ส่วนการหารเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ W1 ขณะที่ค่าของตัวหาร 16 บิต สามารถเก็บในรีจิสเตอร์ W ตัวใดก็ได้ เช่นเดียวกับตัวตั้ง ถ้าเป็นตัวตั้ง 32 บิต ต้องนำค่าไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ W จำนวน 2 ตัวที่อยู่ติดกัน

### 2.1.8 การจัดสรรหน่วยความจำของ dsPIC30F4011

ในการจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมของ dsPIC30F4011 จะเห็นว่ามีการแบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ใหญ่ๆ คือ

**พื้นที่สำหรับใช้งาน (User Memory Space)**

**พื้นที่สำหรับกำหนดค่าหรือคอนฟิกูเรชัน(Configuration Memory Space)**

ช่วงแรกของพื้นที่สำหรับใช้งานจะเป็นพื้นที่ของตารางเวกเตอร์ ไม่ว่าจะป็นรีเซตเวกเตอร์เวกเตอร์ของการตรวจจับความผิดพลาดแบบต่างๆ อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ที่มีมากถึง 54 ตำแหน่ง (เริ่มต้นที่ 0x000014) แต่สำหรับ dsPIC30F4011 จะมีใช้งาน 48 ตำแหน่ง ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมที่ใช้เก็บโปรแกรมผู้พัฒนาขนาด 4 กิโลไบต์ ถูกจัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0x000100 และที่ช่วงแอดเดรส 0x7FFC00 ถึง 0x7FFFFE จัดสรรไว้สำหรับหน่วยความจำข้อมูลีพรวมความจุ 1 กิโลไบต์

ส่วนในพื้นที่สำหรับกำหนดค่า หรือคอนฟิกูเรชันมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0x800000 ถึง 0xFFFFFE โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่สำรองไว้ที่สำคัญ คือในช่วงแอดเดรส 0xF800000 ถึง 0xF8000E จะเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์กำหนดค่าทางฮาร์ดแวร์ หรือคอนฟิกูเรชัน (Device-Configuration Register)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.9 การรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

dsPIC30F4011 รองรับกระบวนการรีเซ็ตอยู่หลายรูปแบบดังนี้

1. เพาเวอร์-อนรีเซ็ต (Power Reset: POR) เป็นการรีเซ็ตจากการจ่ายไฟเลี้ยงใหม่
2. การรีเซ็ตที่ขา MCLR ในขณะที่ทำงานปกติ (EXTR)
3. การรีเซ็ตที่ขา MCLR ในโหมดสลีป (SLEEP หรือ IDLE)
4. การรีเซ็ตเนื่องจากวอตช์ดีด็อกไทมเมอร์ในขณะที่ปกติ (WDTR)
5. บราวเอาต์รีเซ็ต (Programmable Brown-out Reset: BOR) เป็นการรีเซ็ตเนื่องจากระดับไฟเลี้ยงลดต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้
6. การรีเซ็ตเนื่องจากคำสั่ง RESET (SWR)
7. การรีเซ็ตเนื่องจากการอินเตอร์รัปต์ของซีพียู (TRAPR)
8. การรีเซ็ตเนื่องจากออปโค้ดผิดพลาดหรือจากการใช้งานรีจิสเตอร์ W ตัว ที่ยังไม่พร้อมทำงานไปทำงานเป็นตัวชี้แอดเดรส (legal opcode or by using an uninitialized W register as an address pointer: IOPUWR)

### 2.1.10 รีจิสเตอร์กำหนดค่าทางฮาร์ดแวร์

ใน dsPIC30F4011 มีรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้ในการกำหนดค่าทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) หรือ Device Configuration Registers ขนาด 24 บิตอยู่ 4 ตัว

1. FOSC รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกา
  2. FWDT รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของวอตช์ดีด็อกไทมเมอร์ (Watch Dog Timer)
  3. FBORPOR รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของวงจรบราวน์เอาต์รีเซ็ต (BOR) และวงจrpower-on reset (POR)
  4. FGS รีจิสเตอร์กำหนดการป้องกันหน่วยความจำ
- การกำหนดค่าลงในรีจิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว นี้สามารถกระทำได้ในขณะทำงานหรือจากการโปรแกรมผ่านกระบวนการ ICSP หรือจากเครื่องโปรแกรมภายนอก

#### 2.1.10.1 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

ด้วยคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ขาต่อใช้งานหรือพอร์ตอินพุต

พอร์ตเอาต์พุตมีความสามารถพิเศษร่วมอยู่ด้วย ไม่ได้เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว ในแต่ละขาพอร์ตของ dsPIC สามารถกำหนดให้ทำงานได้ทั้งเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตและขาสำหรับเชื่อมต่อในงาน โมดูลพิเศษ dsPIC แบ่งการทำงานได้เป็น 2 ส่วน คือ โมดูล

พอร์ต (Port Module) และเซลล์อินพุตเอาต์พุต (I/O Cell) โดยโมดูลพอร์ตจะทำการกำหนดทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย

ของสัญญาณและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราว ก่อนรับเข้าหรือส่งออก ส่วนเซลล์อินพุตและเอาต์พุตเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับขาพอร์ตจริง บรรจุบัฟเฟอร์เพื่อจัดการสัญญาณที่เข้าออกขาพอร์ตให้มีเสถียรภาพ

### 2.1.10.2 รีจิสเตอร์ควบคุมขาอินพุตเอาต์พุต

ทุกขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของ dsPIC มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน โดยตรง 3 ตัว คือ

1. TRISx                      รีจิสเตอร์กำหนดทิศทางข้อมูลของขาพอร์ต
2. PORTx                     รีจิสเตอร์ข้อมูลของขาพอร์ต
3. LATx                        รีจิสเตอร์แลตซ์ข้อมูลของขาพอร์ต

X เป็นค่าหรือตัวอักษรที่ใช้แทนตำแหน่งของขาพอร์ตใดๆ เนื่องจาก dsPIC มีกลุ่มของขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตจำนวนมาก

### 2.1.11 การติดต่อกับ ICD (In-Circuit Debugger) เพื่อตรวจสอบการทำงานหรือดีบั๊กในวงจรของ dsPIC30F4011

dsPIC30F4011 สามารถรองรับการตรวจสอบการทำงาน หรือการดีบั๊ก (Debug) ด้วยเครื่องมือทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) ภายนอกที่เรียกว่า In-Circuit Debugger หรือ ICD ได้

ภายใน dsPIC30F4011 จัดสรรความสามารถบางส่วนเพื่อนำไปใช้ร่วมกับการดีบั๊กเกอร์ (Debugger) อันประกอบไปด้วย

- หน่วยความจำข้อมูลแรม 2 กิโลไบต์
- ขาพอร์ตสำหรับติดต่อ 2 ขา ซึ่งสามารถเลือกได้ตามคู่มือที่ MPLAB IDE กำหนด

ดังนี้

1. EMUD-EMUC                      (ขา 17 และ 18)
2. EMUD1-EMUC1                    (ขา 11 และ 12)
3. EMUD2-EMUC2                    (ขา 14 และ 15)
4. EMUD3-EMUC3                    (ขา 2 และ 3)

ขา EMUD (Emulation/Debug Data) เป็นขาข้อมูลของการดีบั๊ก ขา EMUC (Emulation/Debug Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบั๊ก (Debeg) โดยขาพอร์ตทั้งสองเชื่อมต่อกับ ICD เพื่อรับและส่งข้อมูลร่วมกับขาแรงดันอีก 3 ขา คือ ขา รีเซตและจ่ายแรงดันสำหรับโปรแกรมซึ่งใช้ขา MCLR, ขา ไฟเลี้ยงและขากาวาน์ (Ground) รวมทั้งสิ้น 5 ขา

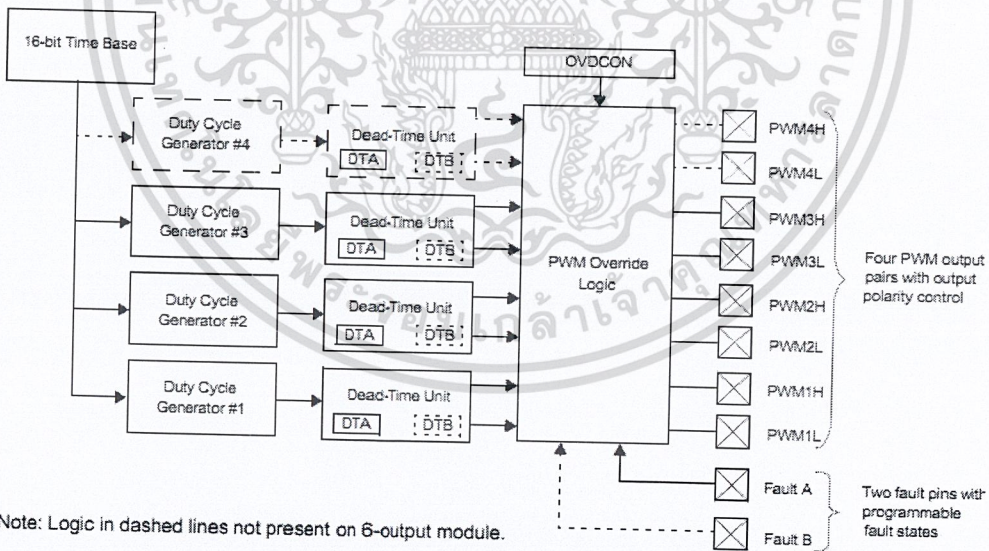
ถ้าหากใช้สัญญาณคู่อื่นที่เหลือทั้งสามคู่ใช้ขาสัญญาณเพิ่มอีก 2 ขา เพื่อใช้ในการเลือกขาพอร์ตดีบั๊ก (Port Debeg), 3 ขา สำหรับจ่ายแรงดัน (MCLR, +5V, GND) และ 2 ขา สำหรับติดต่อกับ ICD คือ EMUDx และ EMUCx รวมทั้งสิ้น 7 ขา

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.12 การใช้งานโมดูล MCPWM เพื่อควบคุมมอเตอร์

### 2.1.12.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล MCPWM

1. ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ  $T_{cy}/2$
2. ในโมดูล MCPWM 1 ชุด มี 2 เอาต์พุต
3. สามารถใช้งานเอาต์พุตของโมดูล MCPWM แยกกันอย่างอิสระและร่วมกัน
4. เมื่อทำงานในแบบร่วมกัน หรือคอมพลิเมนทารี (Complementary) สามารถกำหนดค่าวิฤต (Dead Time) เพื่อช่วยให้การขับมอเตอร์ 3 เฟส เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
5. สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ 4 โหมด
  - a. โหมดปรับของสัญญาณ (Edge Aligned Mode)
  - b. โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single Event Mode)
  - c. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center Aligned Mode)
  - d. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า (Center Aligned Mode With Double Updates)
6. มีอินพุตสำหรับจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT)
7. สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นไปยังโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของโมดูล PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพไคอะแกรมแสดงการทำงานของโมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักของโมดูลคือส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ที่มีอยู่ด้วยกันสูงสุด 4 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลามาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณ PWM สามารถกำหนดจากรีจิสเตอร์ที่แยกกันเป็นอิสระในแต่ละชุดของสัญญาณ นอกจากนี้สามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของ โมดูล MCPWM โดยผ่านรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ในแต่ละชุดในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (Independent Mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary Mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยใช้การกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON 1 และ PWMCON 2 เมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันมีการจัดการสัญญาณในแต่ละเฟส นั่นคือการจัดการค่าเวลาการหน่วงเฟส (Detetime Control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON 1 และ DTCON 2

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM มีขาพอร์ต 2 ขาต่อช่องให้ใช้งาน คือขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง PWMxH และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ PWMxL (x คือหมายเลขของช่องเอาต์พุตมี 4 คือค่า 1-4) หรือเรียกว่า คู่เอาต์พุต นอกจากนี้สัญญาณเอาต์พุตสามารถส่งผ่าน โปสต์สเกลเลอร์ (Post-scaler) เพื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้ด้วย

นอกจากนั้นในโมดูล MCPWM ยังมีอินพุตใช้สำหรับรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติขึ้น โคนในส่วนนี้มีพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณ 2 ขา คือ FLTA และ FLTB

### 2.1.13 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในโมดูล MCPWM

ในโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมและกำหนดค่า อันประกอบด้วย

1. PTCON รีจิสเตอร์ควบคุมฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM
2. PTMR รีจิสเตอร์กำหนดค่าฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM
3. PTPER รีจิสเตอร์กำหนดคาบเวลาของฐานเวลาสำหรับการกำเนิดสัญญาณ PWM
4. SEVTCMP รีจิสเตอร์เปรียบเทียบค่า
5. PWMCON1 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#1
6. PWMCON2 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#2
7. DTCON1 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time#1
8. DTCON2 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time#2
9. FLTACON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุด A
10. FLTBCON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุด B

11. PDC1 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเคิลของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 1

12. PDC2 รีจิสเตอร์กำหนดค่าตัวชี้โซ่เกิดของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 2
13. PDC3 รีจิสเตอร์กำหนดค่าตัวชี้โซ่เกิดของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 3
14. PDC4 รีจิสเตอร์กำหนดค่าตัวชี้โซ่เกิดของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 4

#### 2.1.14 ฐานเวลาสัญญาณ PWM

ในรูปแบบแสดงไคอะแกรมการกำหนดฐานเวลาของสัญญาณ PWM ที่ใช้ในโมดูล MCPWM ซึ่งแยกอิสระจากโมดูลเอาต์พุตเปรียบเทียบ (Output Compare: OC) ค่าฐานเวลาจะได้ออกมาจากการทำงานของไทเมอร์ 15 บิตต่อร่วมกับพรีสเกลเลอร์และโพสเกลเลอร์ในโมดูลของ MCPWM โดยข้อมูล 15 บิตนั้นบรรจุอยู่ใน 15 บิตล่างรีจิสเตอร์ PTMR ส่วนบิต MSB คือบิต PTDIR เป็นบิตที่อ่านได้อย่างเดียว ใช้ในการแสดงทิศทางในการนับค่าในปัจจุบันของฐานเวลา PWM นี้ ถ้าบิตนี้เป็น "0" แสดงว่า PTMR กำลังนับค่าขึ้นและเป็น 1 เมื่อกำลังนับค่าลง

การเอ็นเอเบิลให้ส่วนฐานเวลาทำงานจะต้องเซตบิต PTEN ซึ่งเป็นบิต 15 ของรีจิสเตอร์ PTCON อย่างไรก็ตามค่าในรีจิสเตอร์ PTMR ไม่ถูกเคลียร์แม้ว่าส่วนฐานเวลาของ PWM นี้ถูกดิสเอเบิล (Disable) ด้วยการเคลียร์บิต PTEN

ฐานเวลาใน PWM ในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดการทำงานได้ 4 โหมด คือ

1. โหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ (Free Running Mode)
2. โหมดทำงานครั้งเดียว (Single Event Mode)
3. โหมดนับค่าขึ้นหรือลงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Up/Down Mode)
4. โหมดนับขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมการอินเทอร์รัปต์ปรับค่า (Continuous Up/Down Count Mode With Interrupts For Double-Updates)

การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดค่าที่บิต PTMOD1 และ PTMOD0 ซึ่งเป็นบิต 1 และ 0 ในรีจิสเตอร์ PTCON

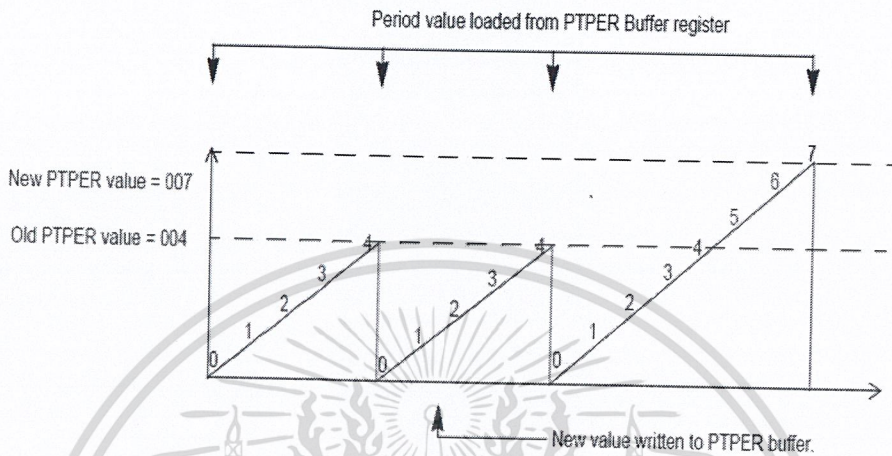
##### 2.1.14.1 คาบเวลาของสัญญาณ PWM

รีจิสเตอร์ PTER ถูกใช้สำหรับกำหนดค่าการนับคาบเวลาของรีจิสเตอร์ PTMR ผู้พัฒนาต้องระบุข้อมูลขนาด 15 บิต ลงในบิต 0 ถึง 14 ของรีจิสเตอร์ PTER เมื่อโมดูลทำงานจนกระทั่งค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PTER ค่าฐานเวลาจะรีเซ็ตเป็น "0" หรือเปลี่ยนทิศทางการนับค่าในสัญญาณนาฬิกาถูกถัดไป ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน

คาบเวลามีขนาดของบัพเฟอร์เป็น 2 เท่า เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงค่าในระหว่างการทำงาน โดยปราศจากการรบกวน คือในรีจิสเตอร์ PTER มีรีจิสเตอร์บัพเฟอร์สำรองรับค่าที่ต้องการเปลี่ยนแปลงใหม่ระหว่างที่กำลังทำงานกับค่าเดิม โดยรีจิสเตอร์บัพเฟอร์นี้ผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลสำหรับกำหนดค่าคาบเวลาจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ PTER แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการดำเนินการตามโหมดการทำงานของฐานเวลา PWM ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระและโหมดการทำงานครั้งเดียว ข้อมูลที่ถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ PTPER จะถูกโหลดลงในรีจิสเตอร์ค่าเวลา เมื่อรีจิสเตอร์ PTMR ถูกรีเซ็ตเป็น “0” หลังจากที่ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR ตรงกับค่าของ PTPER ดังแสดงด้วย



รูปที่ 2.4 โค้ดแแกรมแสดงการโหลดค่าของ PTPER

ข้อมูลสำหรับกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM ที่เขียนไปยังรีจิสเตอร์ PTPER สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$PTPER = \frac{F_{CY}}{F_{PWM} \times PTMR\_Prescaler} - 1 \quad (2.1)$$

$F_{CY}$  = ความถี่ของการทำงาน

$F_{PWM}$  = ความถี่ของสัญญาณ

#### 2.1.14.2 โหมดการทำงานในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมด MCPWM

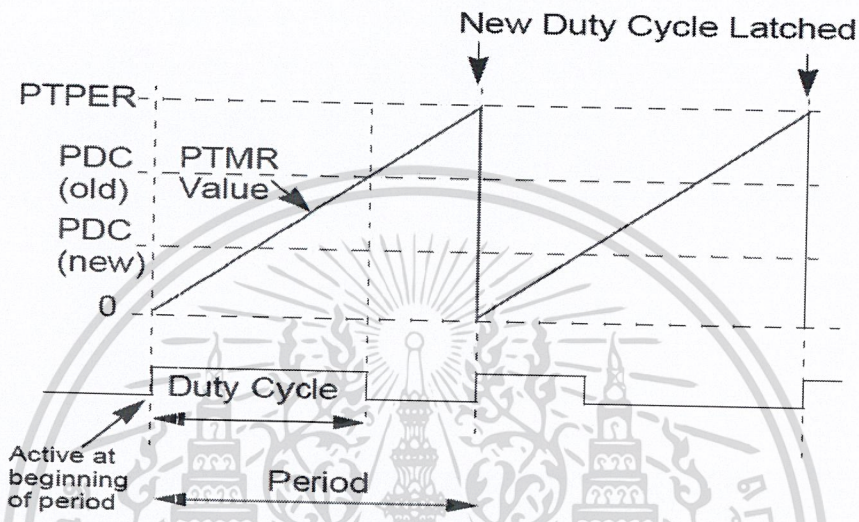
มีด้วยกัน 4 แบบคือ

1. โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge Aligned Mode)
2. โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single Event Mode)
3. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center Aligned Mode)
4. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า (Center Aligned Mode With Double Updates) ซึ่งสัมพันธ์กับโหมดการทำงานของฐานเวลา PWM

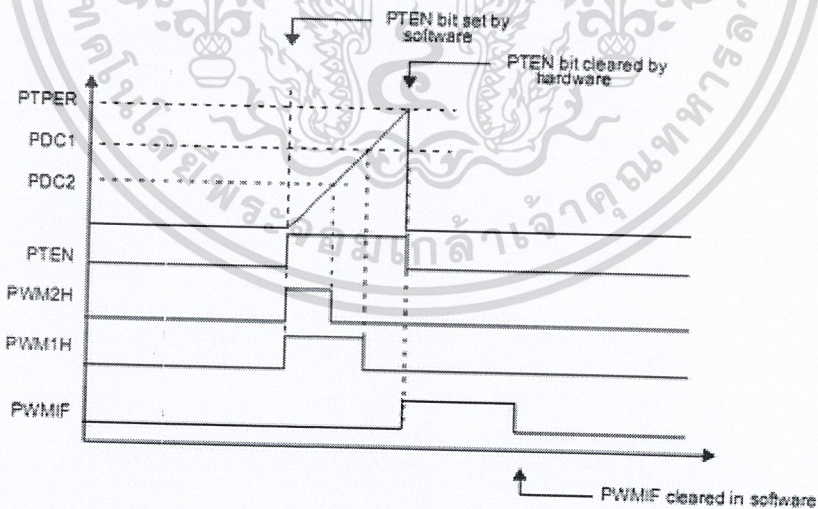
เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ การกำเนิดสัญญาณ PWM ทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ PWM ทำงานในโหมดสัญญาณเดี่ยว เมื่อฐานเวลา PWM ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ทำงานในการปรับสัญญาณกึ่งกลาง เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมปรับปรงค่า ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ทำงานในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรงค่า

### 2.1.14.3 การทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมดปรับขอบสัญญาณ



รูปที่ 2.5 ไตอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ



รูปที่ 2.6 ไตอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณเดี่ยว

ไตอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อมีการทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ การปรับสัญญาณเริ่มต้นกำหนดให้ฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ ดังนั้นค่าเวลาไปใช้

ของสัญญาณ PWM ถูกกำหนดโดยค่าที่โหลดให้แก่วิจิตเตอร์ PTPER ส่วนดิวตี้ไซเคิล (Duty-Cycle) ถูกกำหนดโดยค่าในรีจิสเตอร์ PDCx

ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิลไม่เป็นศูนย์ ส่วนวงจรเอาต์พุตของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ทุกชุดที่ได้รับการเอ็นเอเบิล (Enable) ซึ่งทำงานที่จุดเริ่มต้นของคาบเวลาของสัญญาณ PWM หรือเมื่อค่าในรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับศูนย์ และหยุดทำงานเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMR ตรงกับค่าดิวตี้ไซเคิลของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ถ้าค่าในรีจิสเตอร์ PDCx เป็นศูนย์ วงจรเอาต์พุตของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ไม่ทำงานใดๆ หมายความว่า โหมดนี้สามารถกำเนิดสัญญาณ PWM ได้เมื่อ ค่ารีจิสเตอร์ PTPER มากกว่าค่าที่กำหนดในรีจิสเตอร์ PDCx

#### 2.1.14.4 การเปลี่ยนแปลงค่าดิวตี้ไซเคิลสัญญาณ PWM ของโมดูล MCPWM

รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ทั้ง 4 ตัว PDC1 ถึง PDC4 ต่างมีรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (Registor Buffer) ปกป้องสัญญาณรบกวน เมื่อมีการปรับปรุงค่าของสัญญาณ PWM โดยดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณ PWM ถูกปรับปรุงค่าตามข้อมูลที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ PDCx จากนั้นค่ารีจิสเตอร์ PDCx ถูกโหลดไปยังบัฟเฟอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในรีจิสเตอร์ PDCx เรียบร้อย ข้อมูลส่งไปยังบัฟเฟอร์ (Buffer) เพื่อทำงานต่อไป ทำให้ไม่ติดขัดหรือเกิดความผิดพลาดขณะเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง (ค่าของ PTMOD1 และ PTMOD0 เท่ากับ "0x") ค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุงเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PTPER เมื่อรีจิสเตอร์ PTMR เกิดการรีเซ็ต (Reset) เป็นศูนย์

#### 2.1.14.5 การทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM หรือทำงานแบบคอมพลิเมนต์ารี (Complementary PWM Output Mode)

การทำงานในลักษณะนี้ของโมดูล MCPWM เหมาะสำหรับการนำไปสร้างสัญญาณเพื่อขับโหลดแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) ตัวอย่างของโหลดอินเวอร์เตอร์ ได้แก่ มอเตอร์อินดักชัน (Motor Induction) ไฟฟ้ากระแส 3 เฟส (ACIM:AC Induction Motor) และมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (BLDC:Brushless DC motor) ในการทำงานแบบคอมพลิเมนต์ารีนี้ วงจรเอาต์พุตของโมดูล PWM ในคู่นี้นำมาใช้ในงานไม่สามารถกำหนดให้ทำงานได้พร้อมกัน นั่นคือ PWMxH และ PWMxL มีสถานะที่ตรงข้ามกัน ทำให้มอเตอร์ที่ต่อกับขาเอาต์พุตนั้นสลับกันทำงาน ส่วนประกอบที่สำคัญเพิ่มขึ้นมา 2 ส่วนคือ ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time Generation) และส่วนการตรวจสอบความผิดปกติ และกำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตโดยตรง (Override and Fault Logic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.14.6 การควบคุมเวลาวิกฤต (Dead Time Control)

ธรรมชาติในส่วนของอุปกรณ์เหนี่ยวนำ เมื่อได้รับแรงดันกระตุ้นให้ทำงานแล้วสั่งให้หยุดทำงานตัวอุปกรณ์จะไม่สามารถหยุดได้ทันที หากทำการกระตุ้นสั่งให้วงจรชุดขับต่อไปทำงานทันที จะทำให้เกิดการชนกันของแรงดัน อาจนำมาซึ่งความเสียหายของวงจรได้ นั่นคือ Dead Time หรือเวลาวิกฤต ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ต้องมีการหน่วงเวลาให้อุปกรณ์ที่ถูกกำหนดหยุดทำงานลง เพื่อให้แน่ใจว่ามีการหยุดทำงานลงอย่างแท้จริง ก่อนที่กระตุ้นให้เกิดสภาวะการทำงานในเฟสถัดไป

ส่วนที่ทำหน้าที่นี้คือ ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time Generation) โดยส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤตได้รับการเอ็นเอเบิล (Enable) โดยฮาร์ดแวร์ เมื่อกำหนดให้โมดูล MCPWM ทำงานในแบบคอมพลิเมนต์ารี (Complementary) ใน dsPIC ที่มีโมดูล MCPWM แบบ 6 เอาต์พุต จะสามารถกำหนดค่าเวลาวิกฤตได้ 1 ค่า ส่วนแบบ 8 เอาต์พุต สามารถกำหนดได้ 2 ค่า ในกรณีที่สามารกำหนดได้ 2 ค่า สามารถเลือกใช้วิธีการกำหนดค่าได้จาก 2 วิธี ดังต่อไปนี้

1. สามารถเลือกกำหนดค่าเวลาวิกฤตในช่วงหยุดทำงานของเอาต์พุตด้านแรงดันสูงหรือแรงดันต่ำ โดยเวลาวิกฤตค่าแรกจะกำหนดลงระหว่างช่วงหยุดทำงานของเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ
2. ค่าเวลาวิกฤตทั้งสองค่าสามารถกำหนดลงในแต่ละคู่ของเอาต์พุตได้อย่างอิสระ

### 2.1.15 การกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรง

นอกจากการกำหนดให้ขาพอร์ตของโมดูล MCPWM ทำงานกับส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แล้ว สามารถทำการกำหนดได้โดยตรงคือ PWM Output Override โดยกระทำผ่านรีจิสเตอร์ OVDCON โดยการกำหนดค่าที่รีจิสเตอร์นี้ เป็นการกำหนดในลักษณะเข้าถึงโดยตรงที่ขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM

ข้อมูล 8 บิต บนรีจิสเตอร์ OVDCON ใช้กำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตว่าต้องการให้ควบคุมจากส่วนสัญญาณ PWM ตามวิธีปกติ (เซตเป็น "1") หรือจากค่าของบิต POUTxx (เคลียร์บิตเป็น "0") ซึ่งเป็นข้อมูลใน 8 บิต ล่างของรีจิสเตอร์ OVDCON นี้ โดยแบ่งเป็นคู่ๆ คือ บิต 15 และ 14 กำหนดการทำงานของเอาต์พุตในโมดูล PWM4 ตามลำดับ ดังนั้น บิต 9 และ 8 ใช้กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตในโมดูล PWM1 ส่วน 8 บิต ล่างของรีจิสเตอร์ OVDCON คือบิต POUTxx กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตโมดูล PWM โดยตรง ซึ่งจะมีการใช้งานเมื่อ POVDxx ใน 8 บิตบนเป็น "0"

อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดให้โมดูล MCPWM ทำงานในคอมพลิเมนต์ารี (Complementary) หรือแบบทำงานร่วมกัน ไม่สามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตโดยตรงได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานให้ควบคุมขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงด้วยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ OVDCON ยังมีอีก 1 บิตควบคุมในรีจิสเตอร์ PWMCON2 ที่ต้องให้ความสนใจคือ บิต OSYNC (บิต 1 ของรีจิสเตอร์ PWMCON2) ใช้การกำหนดจังหวะการเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ OVDCON ให้สัมพันธ์กับการทำงานของฐานเวลา PWM หรือเกิดการซิงโครไนซ์ (Synchronize) จะเซตบิตนี้เป็น “1” โดยการซิงโครไนซ์ (Synchronize) เกิดขึ้นเมื่อ

- (1) ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR ปีนศูนย์ในโหมดปรับขอบสัญญาณ
- (2) ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เป็นศูนย์หรือเมื่อค่าของ PTMR เท่ากับค่าของ PTPER ในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง

### 2.1.16 การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน dsPIC

คุณสมบัติโดยสรุปของ โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

1. เป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
2. เป็นวิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหรือซีกเซฟซีฟ แอ็ปพริอ็อกซิเมชัน
3. มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 Kilo Sample ต่อวินาที (ksps) หรือ 500000 จุดตัวอย่างต่อวินาที
4. สามารถกำหนดให้ทำงานได้ในขณะเข้าสู่โหมดสลีฟ (Sleep Mode)
5. สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงทั้งจากภายในผ่านทางขา  $AV_{DD}$  กับ  $AV_{SS}$  และภายนอกผ่านทางขา  $V_{REF+}$  และ  $V_{REF-}$ .

## 2.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

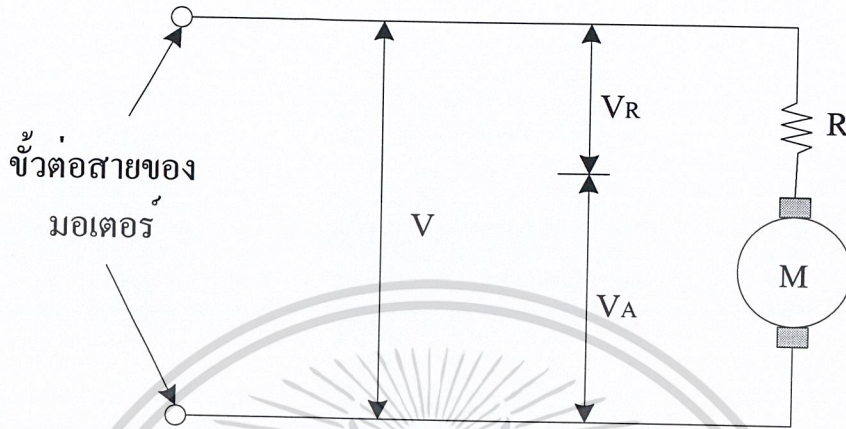
หลักการการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง คือเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก ซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและในสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับกลับตรงข้ามกัน ถ้ากระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไปคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้น จากแม่เหล็กถาวรจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอ่อน ปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ขี้อยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำพันอยู่กับแกนหมุนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

การอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้น ต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อน และความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

สมมติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานเลย อนุกรมกับความต้านทาน ซึ่งก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด ( $V_R$ )

แรงดัน  $V_A$  ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) เกิดขึ้นในโรเตอร์ ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และแปรผันตรงกับความเร็วมุม ผลบวกของแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และแรงดันตกคร่อมขดลวด ( $V_R$ ) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ( $V$ )

$$V = V_A + V_R \quad (2.1)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น  $V_A = 0$ ,  $V_R = V$  กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = V_R / R \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน  $V_A$  เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว  $V_R$  มีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง  $V_A$  และ  $V$  เริ่มลดลงกระแส  $I$  เริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์มีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกระทั่งจะถึงจุดที่แรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดสมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และหมุนอย่างอิสระมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และแรงต้านอากาศทำให้  $V_A$  มีค่าใกล้เคียงกับค่า  $V$

มอเตอร์กระแสตรงมีหลักการทำงาน โดยการผ่านกระแสให้ขดลวดในตัวตัดของขดลวดในสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก ส่วนของแรงนี้ขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก

## 2.2.2 ทฤษฎีและหลักการของมอเตอร์

### 2.2.2.1 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

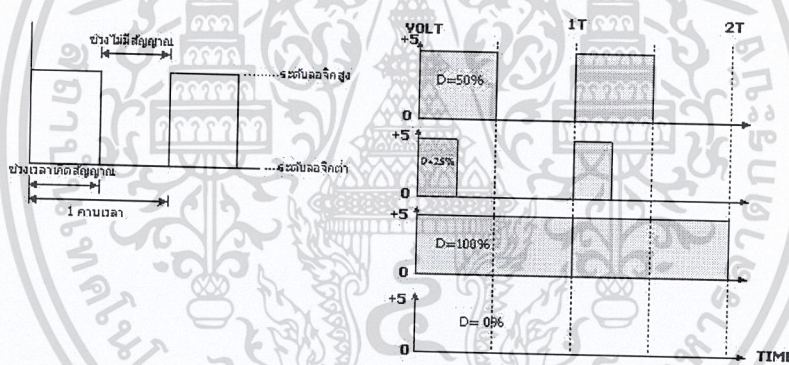
เมื่อกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ ทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำ ส่งผลให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลและวางอยู่บนแกนของอาร์เมเจอร์ โดยวางห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ  $r$  กำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่ปลาย  $A$  และไหลออกที่ปลาย  $B$  จากคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กไม่ตัดผ่านซึ่งกันและกัน ดังนั้นปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีจำนวนมากที่ด้านบนของปลาย  $A$  จึงทำให้เกิดแรง  $F_1$  กดตัวนำ  $A$  ลงด้านล่างและขณะเดียวกันที่ปลาย  $B$  นั้น เส้นแรงแม่เหล็กมีปริมาณมากที่ด้านหน้าทำให้เกิดแรง  $F_2$  ดันให้ตัวนำ  $B$  เคลื่อนที่ด้านบนของแรง  $F_1$  และ  $F_2$  นี้ ทำให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เคลื่อนที่ไปได้ ดังนั้นการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับหลักการคือ เมื่อนำตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปวางในสนามแม่เหล็ก มันพยายามทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก



### 2.2.4 วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง คิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% หมายถึงใน 1 วัฏสัญญาณพัลส์มีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกันถ้าค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่าไม่มีสถานะลอจิกต่ำ ค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100\%$$



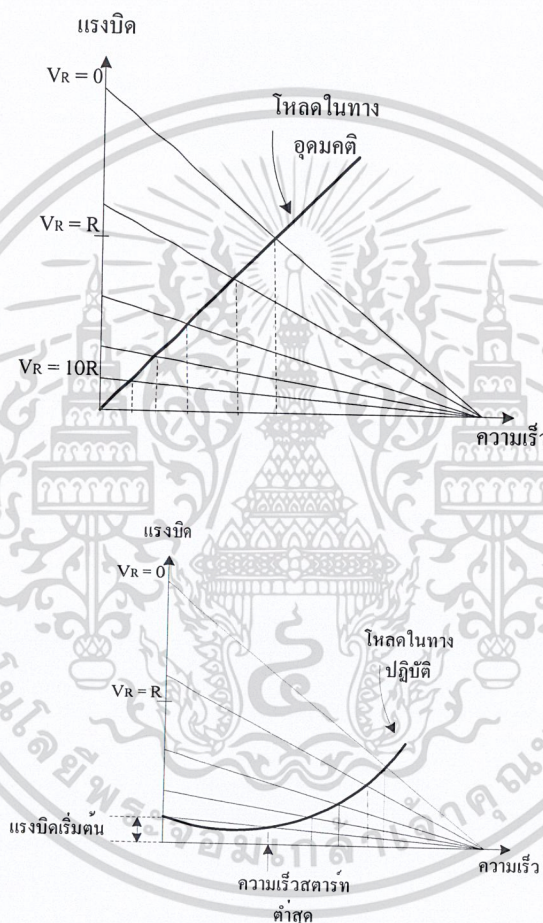
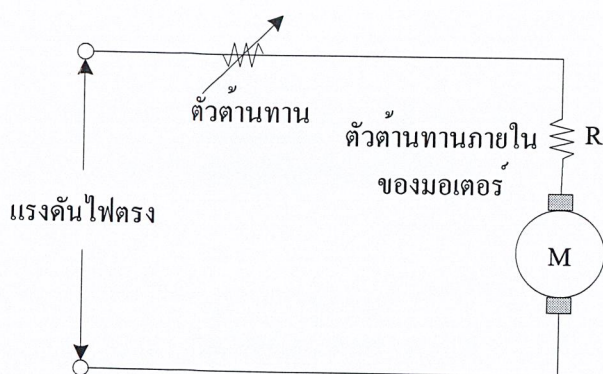
รูปที่ 2.8 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่

นอกจากนี้ยังมีวิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงอีกหลายวิธีเช่น

1. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน นิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็ก การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่ให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะมีโหลดน้อย ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะแรงดันคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

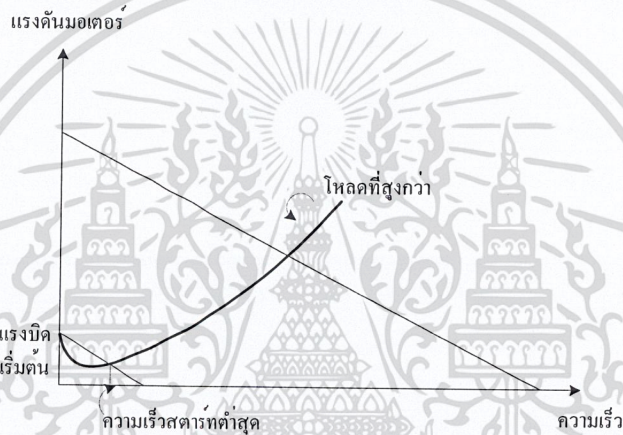
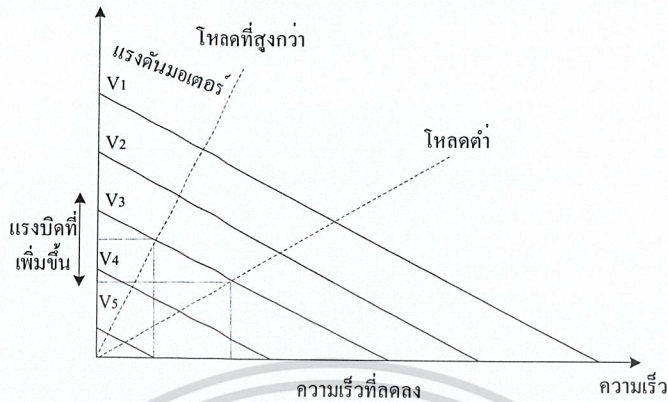


รูปที่ 2.9 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

## 2. การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีแบบควบคุมตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ แต่ซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลังสูง มอเตอร์ถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ (Impedance) ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์เพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.10 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

### 3. การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ควบคุม

#### 2.2.5 การทำงานของสัญญาณ PWM

จากรูปแสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณคือ

- รูปที่ 2.11 แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% Duty Cycle คือ สัญญาณในการอนจะ เป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% Duty Cycle คือ สัญญาณในการอนจะ เป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ

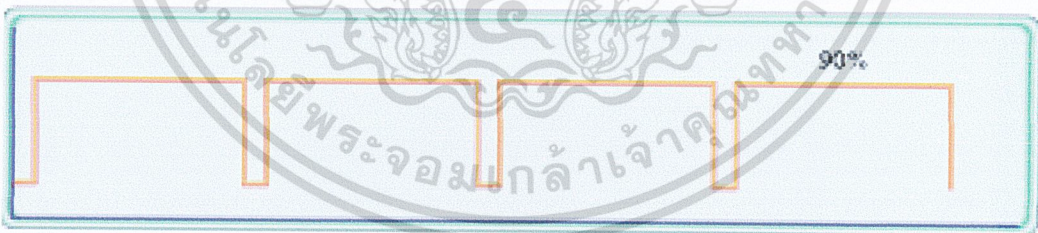
- รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% Duty Cycle คือ สัญญาณในการอนจะ เป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ Duty Cycle เป็น 10% จะ ได้อาต์พุต 0.9V



รูปที่ 2.11 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 10%



รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 50%



รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า Duty Cycles 90%

### 2.2.5.1 สาเหตุที่ใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

เหตุผลที่ใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ได้แก่

- PWM ง่ายในการอินเทอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้เพียงเอาต์พุตสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

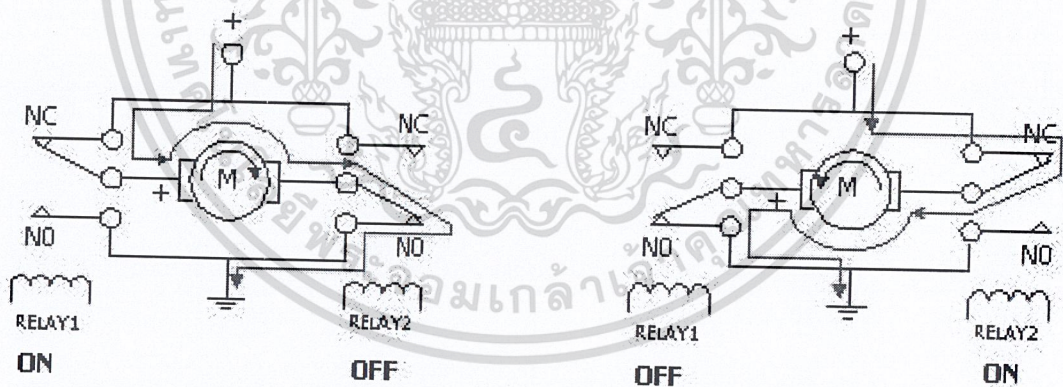
- PWM มีประสิทธิภาพ คือ Power Supply จ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)

- PWM ทำให้ได้ค่าทอร์ก และความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เพราะ Power-Supply จ่ายกำลังเต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)

### 2.2.6 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

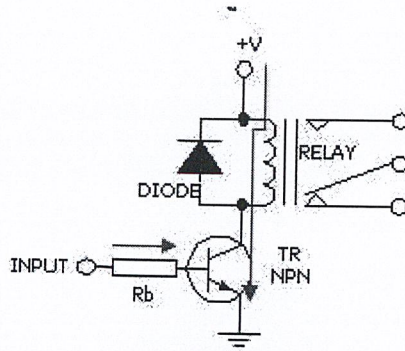
การใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (IC Microcontroller) เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้นต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถใช้รีเลย์ (Relay) ต่อวงจรสวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรือใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต ขึ้นอยู่กับวิธีที่ผู้ใช้งานจะเลือกใช้งาน

จากรูปใช้รีเลย์ (Relay) ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ การควบคุมการปิด-เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (ON) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (OFF) ทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกัน ถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (OFF) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (ON) ทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา



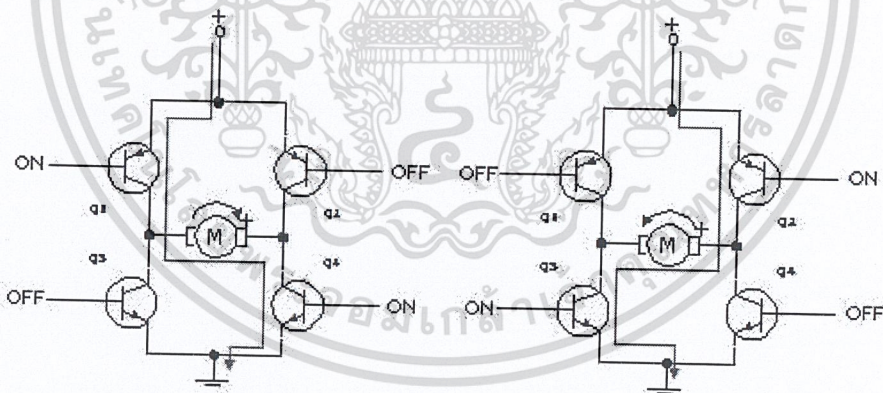
รูปที่ 2.14 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์ (Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน

จากรูปเป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส เพราะไม่สามารถใช้ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์ได้โดยตรง เนื่องจากกระแสที่จ่ายออกมาจากขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นต้องมีส่วนของวงจรถานซิสเตอร์เพื่อทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้ป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการยุบตัว อาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2.16 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

จากรูปเป็นวงจรถับสัญญาณแบบบริดจ์ (Linear Bridge Amplifier) ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวที่ทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสถานะทำงาน (Conduct) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวาผ่านมอเตอร์กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกันถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสภาวะทำงาน (Conduct) กระแสไฟฟ้าจะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

### 2.2.7 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

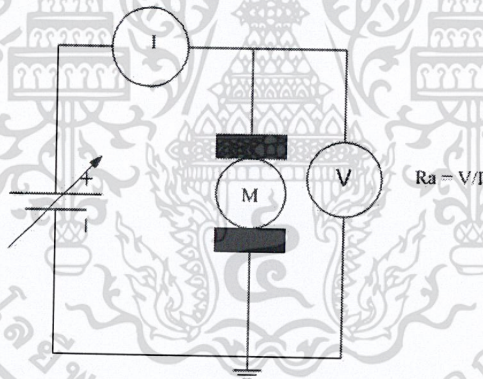
จุดมุ่งหมายในการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์นั้น เพื่อให้ทราบข้อมูลที่จำเป็นและพิจารณาถึงเสถียรภาพการทำงานของระบบสำหรับนำไปประยุกต์การใช้งานตามที่ต้องการ

วิธีการทดสอบที่ใช้ในที่นี้ เป็นวิธีการทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นมาให้เหมาะสมกับผู้ที่มีความรู้เรื่องมอเตอร์สำหรับทดสอบที่จำกัด คือเลือกเอาเฉพาะวิธีง่ายที่สุดทดสอบหรือวิธีการทดสอบที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยาก

เนื่องจากการใช้มอเตอร์ในลักษณะของงานบางอย่าง ต้องคำนึงถึงขีดจำกัดการทำงานของเอาต์พุตซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ เช่น ค่าความร้อน จึงต้องหาค่าพารามิเตอร์สัมพันธ์กับงานที่ใช้อยู่

#### 2.2.7.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ( $R_a$ )

การวัดค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ที่สะดวกที่สุดคือ การเปลี่ยนจากการใช้เครื่องวัดโอห์มมิเตอร์ มาใช้วิธีการวัดด้วยโวลท์-แอมป์มิเตอร์



รูปที่ 2.17 การวัดความต้านทานของอาร์เมเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส

เมื่อทำการเบรกอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ตำแหน่งหนึ่ง จากนั้นจ่ายโวลท์เตจ (Voltage) ตกลงพร้อม ทำการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ สามารถคำนวณค่าความต้านทานจากสมการ

$$R_a = \frac{V}{I_a} \quad (2.3)$$

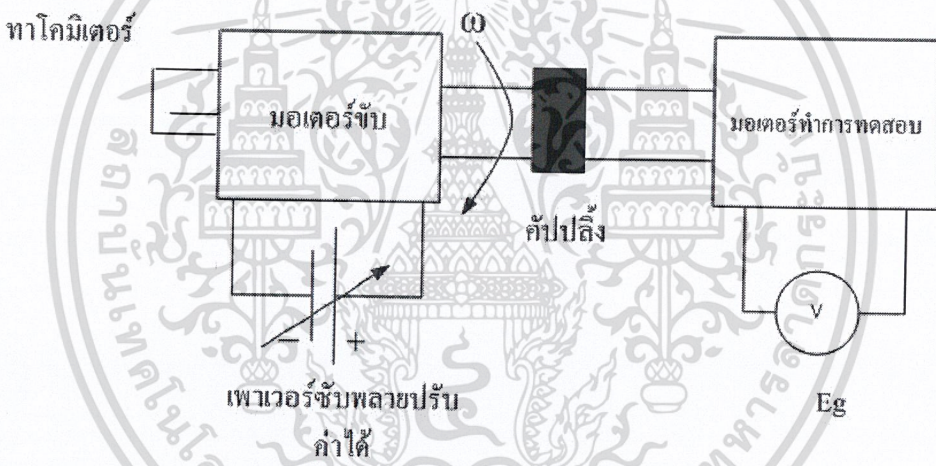
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ทดลองต้องทำการวัดค่ากระแสหลายๆครั้ง จึงหาค่าเฉลี่ย ได้เป็นค่า  $R_a$  ของมอเตอร์ตัวนั้นๆ

การหาค่า  $R_a$  ของมอเตอร์ ทำการจ่าย  $V_{in}(V_{supply})$  ให้แก่มอเตอร์ จากนั้นเบรกมอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ ค่า  $V_a = 0$  จะเกิดค่ากระแส  $I_a$  (A) ขึ้น ทำการบันทึกค่า  $I_a$  จากนั้นเปลี่ยนการจ่าย  $V_{in}$  ทำการทดลองซ้ำและคำนวณหาค่า  $R_a$

### 2.2.7.2 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่ (ค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์)

การวัดค่า Back-emf Constant ( $K_v$ ) สามารถทำได้โดยขับมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบให้หมุนเหมือนเป็นเจนเนอเรเตอร์ (Generator) ด้วยมอเตอร์อีกตัวหนึ่ง และวัดค่าโวลต์เตจที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ที่ทดสอบ ( $V_a$ ) ขณะเดียวกันทำการวัดค่าความเร็วรอบของแกนมอเตอร์ ( $\omega$ ) ด้วย ตัวอย่างวงจรที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.18 วิธีวัดค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์

หาค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$K_v = \frac{V_a}{\omega} \quad (2.4)$$

สามารถหาความสัมพันธ์ของ  $K_t$  และ  $K_v$  ได้จากสมการ

$$K_t = K_v [Nm/A; V/rad^{-1}] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการ  $F(g) \times 9.81 = F(N)$   
สามารถคำนวณค่าทอร์กได้จาก  $T = F \times r$  ; เมื่อ  $r$  มีระยะทางเท่ากับ 0.03 m

### 2.2.8 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อได้เปรียบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. มอเตอร์กระแสตรงมีคุณสมบัติเหมาะสมในการควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ พิสัยของอัตราเร็วมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับ ทำให้สามารถเพิ่มอัตราเร็วให้สูงหรือต่ำกว่าอัตราเร็วปกติ
2. มอเตอร์กระแสตรงมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงมาก เหมาะสมกับงานที่ต้องยกจุดลากและลากงานขับเคลื่อน
3. วิธีการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงง่ายและนุ่มนวลกว่ามอเตอร์กระแสสลับ ที่ทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่ก็ยังพบว่ามอเตอร์กระแสตรงนั้นมีข้อดีข้อมอเตอร์กระแสสลับอยู่หลายประการได้แก่
  1. ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับใช้งานเป็นพิเศษ
  2. สำหรับขนาดแรงม้าที่เท่ากัน มอเตอร์กระแสตรงมีขนาดใหญ่และมีราคาสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ
  3. มีความยุ่งยากในการสตาร์ทมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับ เว้นแต่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่ไม่ต้องมีการสตาร์ทแบบพิเศษ
  4. หมั่นซ่อมบำรุงรักษาเนื่องจากคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) มีการสึกหรอเนื่องมาจากประกายไฟ การสักระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

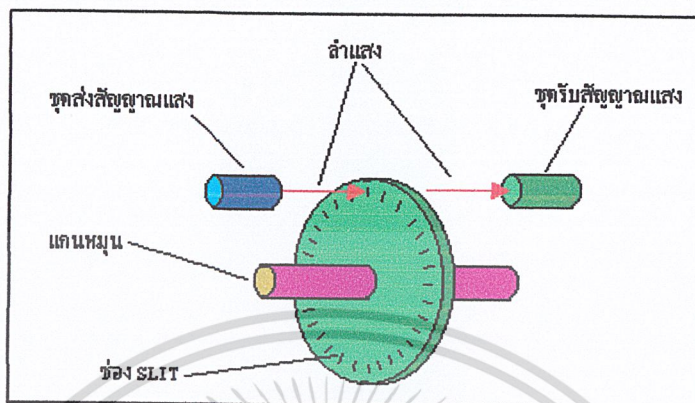
### 2.3 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ โครจงานนี้นำเอา Rotary Encoder เข้ามาใช้ และอ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทาง และตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่าอินพุต โดยหลักการทำงานของ Encoder มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

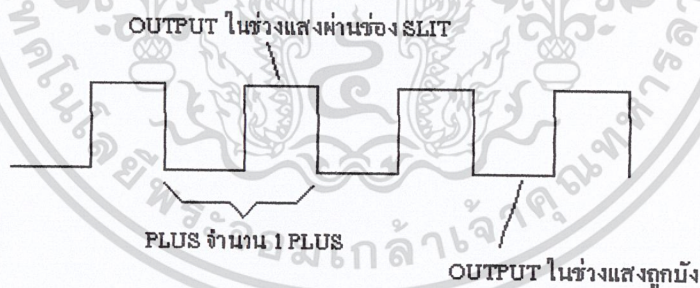
### 2.3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์

Rotary Encoder มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลาง ที่แผ่นกลมมีช่องเล็กๆที่แสงสามารถส่องผ่านได้เป็นจำนวนมาก เรียกช่องนี้ว่าช่อง Slit ซึ่งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้ จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรด ไปยังตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดง Rotary Encoder

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรด ดังนั้นตัวรับแสงอินฟราเรด มีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ (Plus) ตามจังหวะที่แสงผ่านช่อง Slit จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุต ของตัวรับแสงอินฟราเรด มีลักษณะเป็นพัลส์ (Plus) ดังรูปที่ 2.21

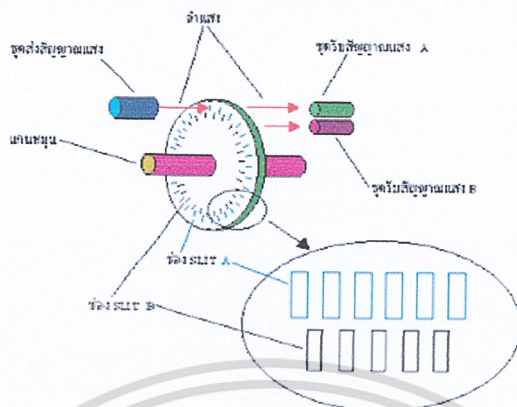


รูปที่ 2.21 แสดงการสร้างพัลส์ (Plus) ของ Rotary Encoder

จำนวนพัลส์ ที่ได้นี้ เป็นตัวที่ชี้บ่งว่ามอเตอร์ หมุนไปกี่องศาหรือกี่รอบ สามารถคำนวณได้จากสมการคือ จำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไป = จำนวนพัลส์ (Plus) ค่าความละเอียดของ Rotary Encoder ค่าความละเอียดของ Rotary Encoder นิยมใช้หน่วยเป็น Plus/ Round หรือ ppr เช่น 1000 ppr หมายถึง เมื่อมอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะมีพัลส์ (Plus) ออกมา 1000 พัลส์ เป็นต้น

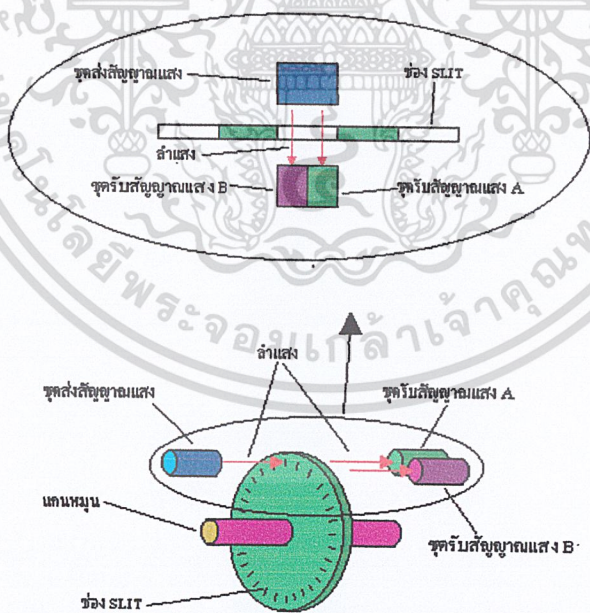
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบการหมุนของมอเตอร์ทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่จะใช้วิธีสร้าง ช่อง Slit เป็น 2 ชุดต่างกันกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงพัลส์ (Plus) ของ Rotary แบบสองเฟส

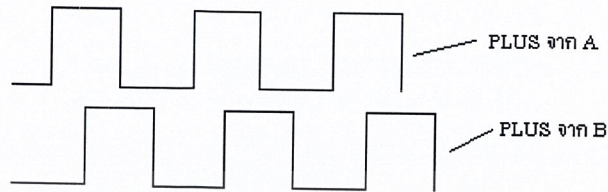
อีกวิธีที่สามารถทำได้คือ ใช้ช่อง Slit เพียง 1 ชุดแต่มีการจัดวางชุดรับสัญญาณแสงดังรูปข้างล่างข้อสำคัญคือจะต้องมีเฟสต่างกัน 90 องศา



รูปที่ 2.23 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ ของ Rotary Encoder

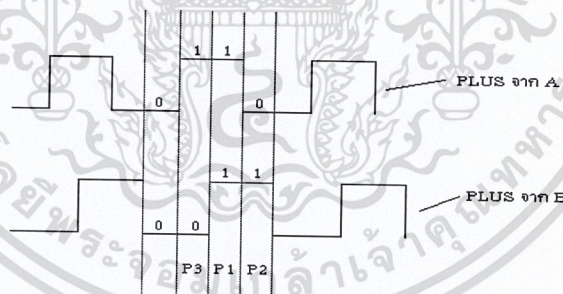
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์มี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์ จาก A และ B จะต่างกันกัน 90 องศาด้วย กล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 บิต คือหนึ่งบิตมาจาก A และอีกหนึ่งบิตมาจาก B ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะพัลส์ (Plus) ของ Rotary Encoder ทั้งสองเฟส

ถ้ากำหนดให้พัลส์ (Plus) ในช่วง High มีค่าเป็น “1” และพัลส์ (Plus) ในช่วง Low มีค่าเป็น “0” สามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้ โดยใช้วิธีการทางดิจิทัล คือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการ Exclusive OR (XOR) กัน โดยการนำบิตทางขวาของค่าเก่ามา XOR กับบิตทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้ ตามตัวอย่างข้างล่าง



รูปที่ 2.25 แสดงความละเอียดของพัลส์ (Plus)

สมมติตอนแรกมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง P1 เพราะฉะนั้นค่าของตัวเลข Binary ที่อ่านได้จาก Encoder จะมีค่าเป็น 11 ถ้าเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หมุนไปที่ตำแหน่ง P3 ทำให้ค่าของตัวเลข Binary ที่อ่านได้จาก Encoder มีค่าเป็น 10 ดังนั้นถ้านำค่าทางขวาที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งถัดมา (10) ซึ่งคือ 1 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0 เพราะฉะนั้นค่า 0 เป็นค่าทำให้ทราบว่ามอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทางกลับกันถ้ามอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง P1 และการค่าไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถัดมามอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง P2 นำค่าทางขวาที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งถัดมา (01) คือ 0 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1 ดังนั้นค่า 1 เป็นค่าที่แสดงว่ามอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และการ XOR ค่าต่างๆ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ

A	B	AX OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

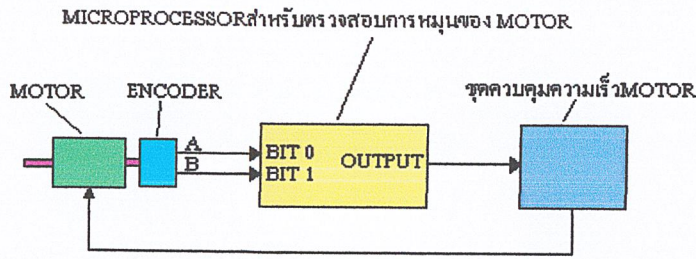
พัลส์ (Plus) ที่ได้จาก Rotary Encoder ถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับวงจรมับพัลส์ (Plus) หรือวงจรรคำนวณเพื่อตรวจสอบว่ามอเตอร์หมุนไปทิศทางใดและอยู่ที่ตำแหน่งใด ดังวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนมากมอเตอร์ที่ใช้ Rotary Encoder มีจำนวนรอบของการหมุนที่ไม่จำกัด ขึ้นอยู่กับความสามารถของวงจรมับพัลส์ (Plus) และวงจรรคำนวณ

ดังนั้นกล่าวได้ว่า Encoder ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือแบบมีค่าเอาต์พุตที่ไม่จำกัด (Incremental Encoder) และแบบที่มีค่าเอาต์พุตที่จำกัด (Absolute Encoder) Incremental Encoder มักจะเป็น Encoder แบบ Rotary Encoder ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าขนาดของเอาต์พุตของ Encoder ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรมับพัลส์และวงจรรคำนวณ

Absolute Encoder ที่พบเห็นส่วนใหญ่เป็นแบบ Potentiometer บางครั้งอาจเป็นแบบ Rotary Encoder ก็ได้ แต่การออกแบบลักษณะของช่อง Slit ที่ต่างไปจาก Rotary Encoder ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น อาจจะมีค่าของเอาต์พุตตั้งแต่ 4 บิตถึง 16 บิต

ในแง่ของการใช้งานพบว่า มอเตอร์ที่มี Encoder แบบ Incremental Encoder นั้น ใช้งานยุ่งยากกว่ามอเตอร์ที่มี Encoder แบบ Absolute Encoder เพราะเอาต์พุตของ Increment Encoder นั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุมมอเตอร์ (Controller) ได้ทันที ต้องต่อผ่านวงจรมับพัลส์ (Plus) และวงจรรคำนวณที่ยุ่งยากก่อนถึงต่อเข้ากับ Controller ได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมี Microprocessor เช่น Microcontroller ตระกูล PIC เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้แทนวงจรมับพัลส์ (Plus) และวงจรรคำนวณได้ทำให้การใช้งานมีความง่ายขึ้น ดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



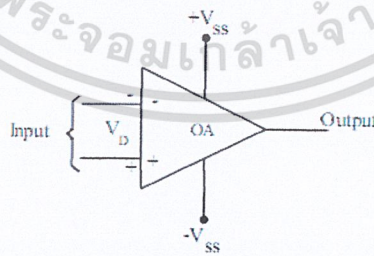
รูปที่ 2.26 แสดง Block Diagram ของ Rotary Encoder

## 2.4 ออปแอมป์ (Op-Am)

ออปแอมป์ (Operation Amplifier, Op-Am) หรือวงจรรขยายเชิงดำเนินการ เป็นอุปกรณ์วงจรรวมหรือไอซี ประเภทเชิงเส้น (Linear Integrated Circuit) มีการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ออปแอมป์ออกแบบครั้งแรกในปี 1948 เพื่อช่วยปฏิบัติการด้านคณิตศาสตร์ในเครื่องอะนาลอกคอมพิวเตอร์ (Analog Computer) ใช้ชื่อว่า Operational Amplifier หมายถึง วงจรรขยายดำเนินการ นอกจากนี้ออปแอมป์ได้ถูกนำไปใช้ในงานประยุกต์ต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากเป็นวงจรรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมาก การออกแบบและวิเคราะห์วงจรที่ใช้ออปแอมป์สามารถทำได้ง่าย

งานประยุกต์ที่ใช้ออปแอมป์พบในวงจรเครื่องวัด, วงจรแสดงผล และวงจรรอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมกระบวนการ, วงจรปรับสัญญาณ, วงจรสื่อสาร, ระบบเตือนภัย, วงจรรอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์, ด้านวิทยาศาสตร์ และระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้นจะเห็นได้ว่าออปแอมป์ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง จึงเรียกออปแอมป์ได้ว่าเป็นวงจรรขยายเชิงเส้นอเนกประสงค์

### 2.4.1 ออปแอมป์ในอุดมคติ

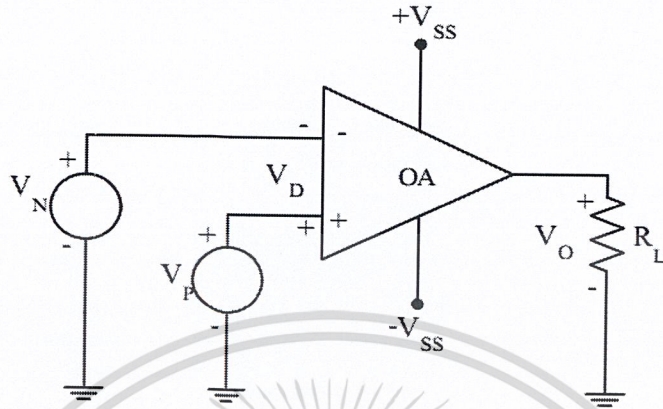


รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

สัญลักษณ์ของออปแอมป์เป็นดังรูป 2.27 ใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงคือ  $+V_{SS}$  และ  $-V_{SS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายให้กับออปแอมป์ ส่วนใหญ่จะใช้ไม่เกิน  $\pm 15$  V ทางด้านอินพุต มี 2 ขั้วคือ อินพุตทางลบและอินพุตทางบวก



รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์การต่อใช้งานของออปแอมป์

จากรูป 2.28 จะเห็นว่า เอาต์พุต  $V_O$  ที่ออกจากออปแอมป์ผ่านตัวต้านทาน  $R_L$  ลงกราวด์ (Ground) และอินพุตทางลบ แทนขั้วของ  $V_P$  อินพุตทางลบแทนด้วยขั้วของ  $V_N$  ผลต่างระหว่างทั้งสองขั้วของออปแอมป์เป็น  $V_D$

$$V_D = V_P - V_N \quad (2.7)$$

ในออปแอมป์อุดมคตินั้น สามารถหาอัตราขยาย ( $\mu$ ) ได้จาก

$$\mu = \frac{V_O}{V_D} \quad (2.8)$$

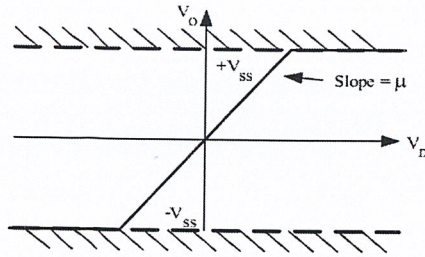
จากสองสมการข้างต้น จะได้ว่า

$$V_O = \mu(V_P - V_N) \quad (2.9)$$

#### 2.4.2 คุณสมบัติของออปแอมป์

คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแสดงดังรูป 2.29 อัตราขยายเป็นไปตามสมการ (2.7) และแรงดันเอาต์พุตไม่เกินค่าของแรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ ( $+V_{SS}$  และ  $-V_{SS}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 กราฟแสดงลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติ

ในออปแอมป์แบบอุดมคตินั้น มีคุณลักษณะพื้นฐานอยู่ 4 แบบคือ

1. แรงดันเอาต์พุตไม่เกินแรงดันที่จ่ายให้กับออปแอมป์ จากกราฟดังรูป 2.29 ทำให้ทราบว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากออปแอมป์นั้นมีค่าไม่เกินแรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์คือ

$$-V_{SS} \leq V_o \leq +V_{SS}$$

2. อัตราขยายมีค่าเป็นอนันต์ ( $\mu = \infty$ ) ในทางอุดมคติ ออปแอมป์จะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ ในทางปฏิบัติอัตราขยายจะไม่เป็นอนันต์ แต่มีค่าสูงมาก ตั้งแต่ 20,000 ถึง 2,000,000 เท่า
3. ขาอินพุตทั้งสองเสมือนเชื่อมติดกัน ( $V_D = 0$ ) จากสมการที่ (2.8) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V_D = \frac{V_o}{\mu} \tag{2.9}$$

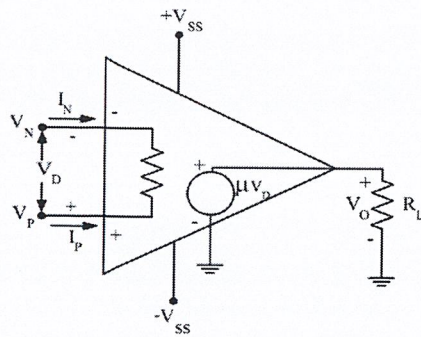
เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นอนันต์และ  $V_o$  มีค่าไม่เกิน  $+V_{SS}$  ทำให้  $V_D = 0$  คือไม่มีผลต่างของแรงดันระหว่างขา  $V_p$  และขา  $V_n$

4. กระแสของอินพุตทั้งสองเป็นศูนย์ ( $I_N = I_p = 0$ ) เนื่องจาก ความต้านทานภายใน ( $R_i$ ) ของออปแอมป์มีค่าสูงมาก ( $\infty$ ) ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขาทั้งสองมีค่าเป็น 0

สามารถสรุปเป็นสมการได้ ดังนี้

1.  $-V_{SS} \leq V_o \leq +V_{SS}$
2.  $\mu = \infty$
3.  $V_D = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

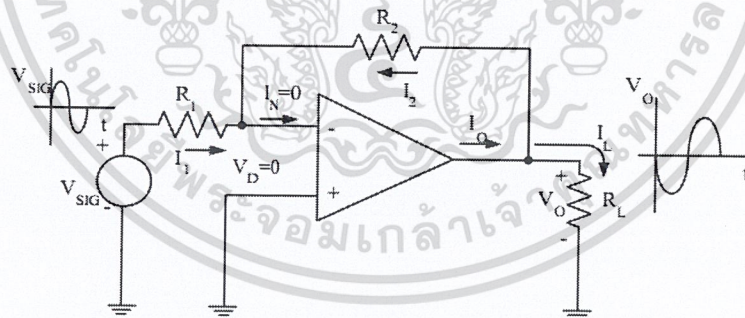


รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ

#### 2.4.3 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายแบบกลับเฟส มีการต่อ  $R_1$  และ  $R_2$  ดังรูป 2.30 เพิ่มเข้ามา โดย  $R_2$  ต่อแบบป้อนกลับทางลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำเอาต์พุตที่ได้ต่อเข้ากับตัวต้านทาน  $R_2$  นำไปเข้าที่ขาอินพุตทางลบ (เรียกว่าการป้อนกลับทางลบ) วงจรขยายแบบกลับเฟส มีอัตราขยายเท่ากับ

$$A_V = \frac{V_O}{V_{SIG}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.10)$$

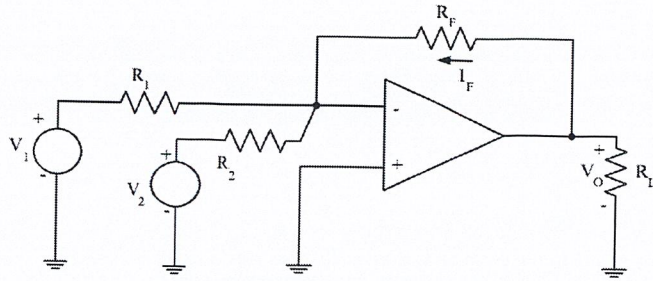


รูปที่ 2.31 วงจรขยายแบบกลับเฟส

#### 2.4.4 วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรที่ใช้บวกสัญญาณอินพุตหลาย ๆ สัญญาณเป็นเอาต์พุตเดียว

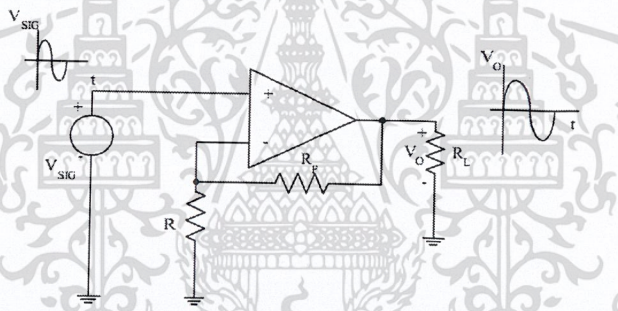
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 วงจรบวกสัญญาณ

2.4.5 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส มีเฟสเดียวกันกับอินพุตที่เข้ามา โดยขาอินพุตถูกป้อนเข้าอินพุตขาบวกแต่ RF ยังคงต่อเข้าทางอินพุตขาลบ ดังรูป 2.32



รูปที่ 2.32 วงจรขยายแบบกลับเฟส

กำหนดให้  $I_1 = \frac{V_{SIG}}{R}$  และ  $I_F = \frac{V_O - V_{SIG}}{R_F}$

เมื่อ  $I_N = 0$  ทำให้  $I_1 = I_F$  จะได้

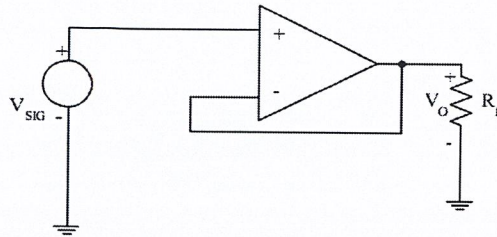
$$\frac{V_{SIG}}{R} = \frac{V_O - V_{SIG}}{R_F} \tag{2.11}$$

นั่นคือ อัตราขยายสำหรับวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $A_V$  การใช้งานเพื่อ  $\frac{V_O}{V_{SIG}}$  ศึกษาเท่านั้น ไม่  $\frac{R_F}{1 + \frac{R_F}{R}}$  อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (2.12)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.6 วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ถ้าให้  $R$  มีค่ามาก และ  $R_F$  มีค่าน้อยมาก จะได้วงจรดังรูป 2.34

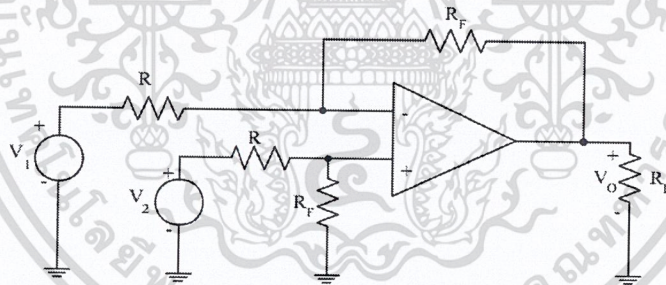


รูปที่ 2.34 วงจรขยายตามแรงดัน

วงจรถังรูป เรียกว่า วงจรขยายตามแรงดัน มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ใช้เชื่อมต่อสองวงจรเข้าด้วยกันเนื่องจากมีความต้านทานอินพุตสูงมาก และมีความต้านทานเอาต์พุตต่ำ

### 2.4.7 วงจรลบสัญญาณ (Difference Amplifier)

วงจรที่สัญญาณเอาต์พุตเป็นผลจากการลบกันของสัญญาณอินพุตทั้งสอง

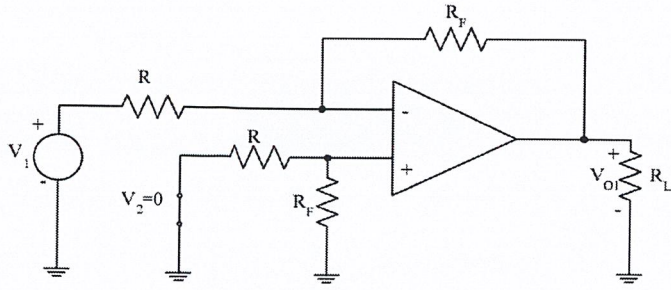


รูปที่ 2.35 วงจรลบสัญญาณ

เริ่มแรก ให้  $V_2 = 0$  วงจรกลายเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ได้  $V_{O1}$  คือ

$$V_{O1} = -\frac{R_F}{R} V_1 \quad (2.13)$$

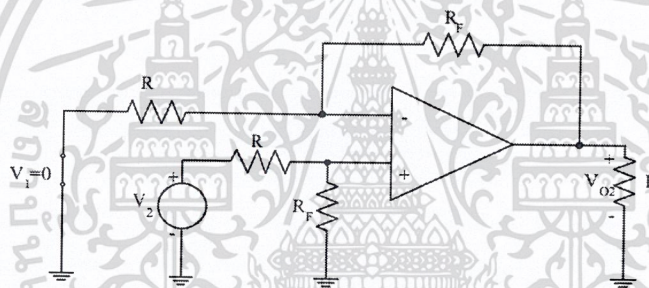
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 พิจารณา  $V_1$  ให้  $V_2 = 0$

ให้  $V_1 = 0$  จะได้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส คือ  $V_{02}$  ได้สมการดังนี้

$$V_{02} = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \left(\frac{R_F}{R + R_F}\right) V_2 \tag{2.14}$$



รูปที่ 2.36 พิจารณา  $V_2$  โดยให้  $V_1 = 0$

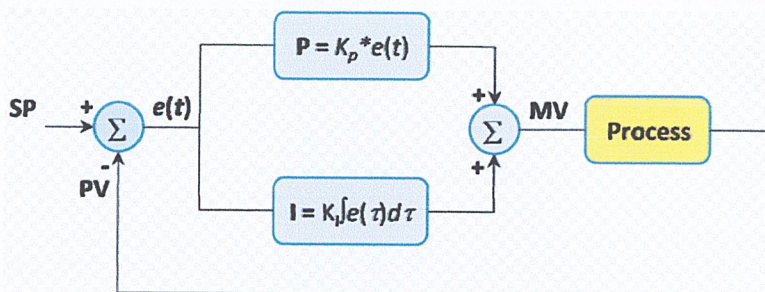
ดังนั้น  $V_o = V_{01} + V_{02}$  คือ

$$V_o = \frac{R_F}{R} (V_2 - V_1) \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ตัวควบคุม PI Controller ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

### 2.5.1 Proportional Integral Mode of Control (PI-Control)



รูปที่ 2.37 Proportional Integral Control

สามารถหาเอาต์พุตของ Controller ได้จากสมการ

$$K_p \Delta + K_i \int \Delta dt$$

(2.16)

เมื่อ  $\Delta$  คือ SP-PV

**ข้อดีของตัวควบคุมแบบ PI Control**

- ขจัด steady-state error ได้
- การให้ค่า Gain ที่สูงขึ้น ทำให้ได้ผลตอบสนองที่ไวขึ้น

**ข้อด้อยของตัวควบคุมแบบ PI Control**

- การใช้ค่า Gain สูง อาจทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งตัวได้
- ระบบจะมี Order ที่สูงขึ้น และอาจทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์

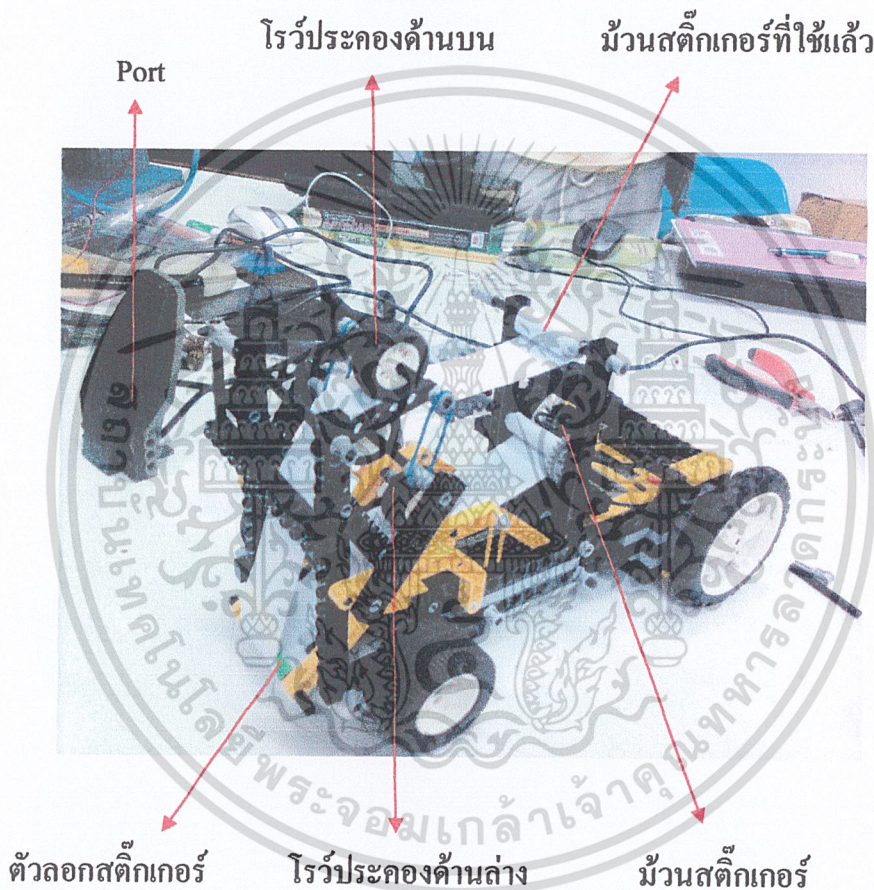
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 ส่วนแมคคานิกส์ (Mechanic)

เริ่มจากออกแบบโครงสร้างรถจากการประกอบเลโก้ (Lego) เป็นแบบจำลอง และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมควบคุมรถให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่และการลอกของสติกเกอร์ แสดงดังรูปที่ 3.1



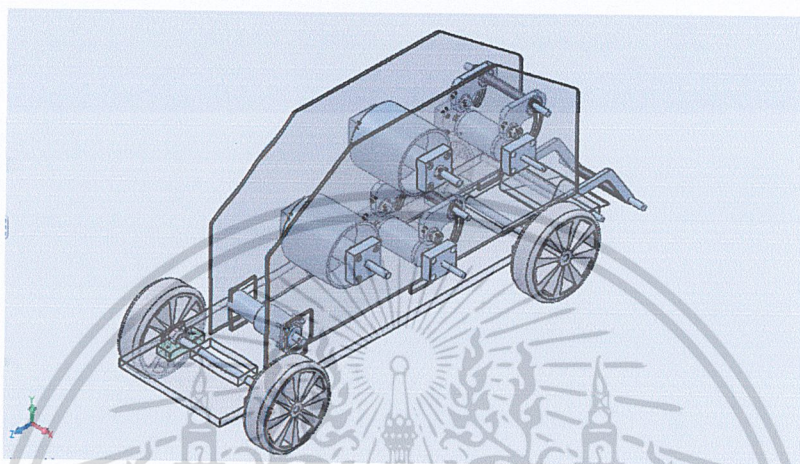
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบโครงสร้างรถโดยการประกอบเลโก้แบบจำลองด้าน Isometric

จากการประกอบเลโก้ (Lego) พบว่า การทำงานของโครงสร้างเครื่องติดสติกเกอร์คือ เมื่อหมุนม้วนเก็บแผ่นสติกเกอร์ด้านล่าง แผ่นสติกเกอร์เคลื่อนที่มาที่แท่งลอกสติกเกอร์ แท่งลอกสติกเกอร์ทำการลอกสติกเกอร์ออกมาจากแผ่น จากนั้นได้ฐานของตัวรถมีล้อทำหน้าที่กดสติกเกอร์ให้เรียบ เมื่อรถเคลื่อนที่ ล้อนี้จะกดทับสติกเกอร์ลงบนพื้นทันที ส่วนโร้วประคองทั้งบนและล่าง

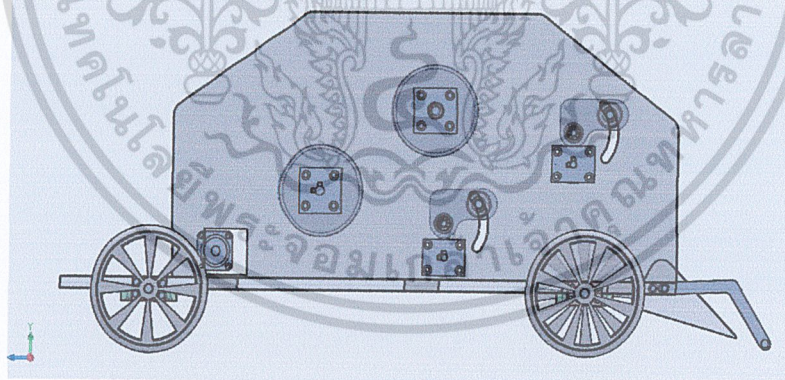
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยในการตรึงแผ่นสติกเกอร์ เพื่อให้เกิดองศาเหมาะสมและเกิดความตึงผิวที่ง่ายต่อการลอก ถ้าไม่มีการใช้งานตัวรีดพร้อมล้อจะเก็บขึ้น ไปได้านบนเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน

การเคลื่อนที่ของรถ ทำการเขียนโปรแกรมลงในโปรแกรมของเลโก้ พบว่ารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ต่อมาทำการออกแบบโครงสร้างรถเท่าขนาดจริงด้วย Program Solidworks จากนั้นสร้าง Drawing นำไปตัดแผ่นอะกลีคตามชิ้นส่วนที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.2-3.4

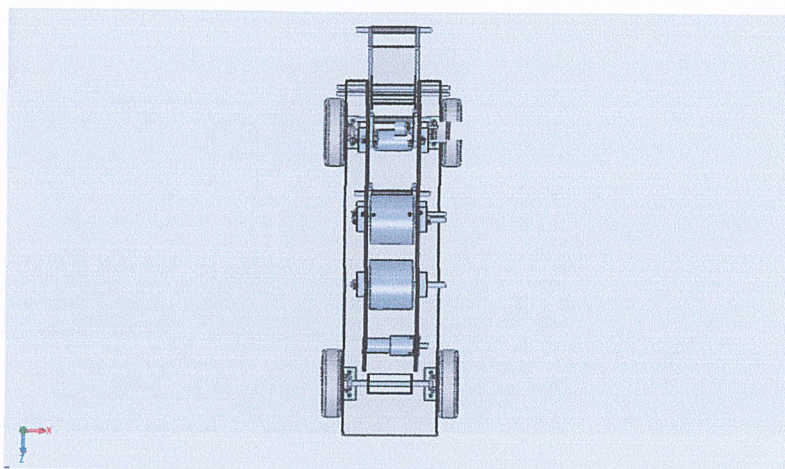


รูปที่ 3.2 โครงสร้างรถด้าน Isometric



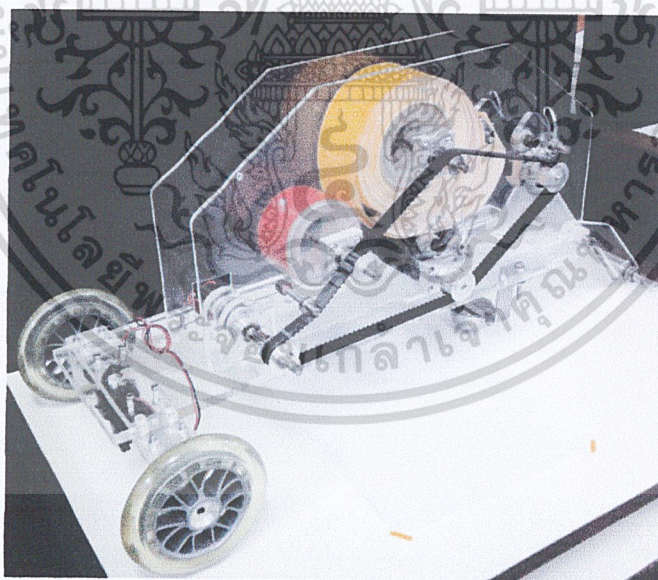
รูปที่ 3.3 โครงสร้างรถด้าน Right

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



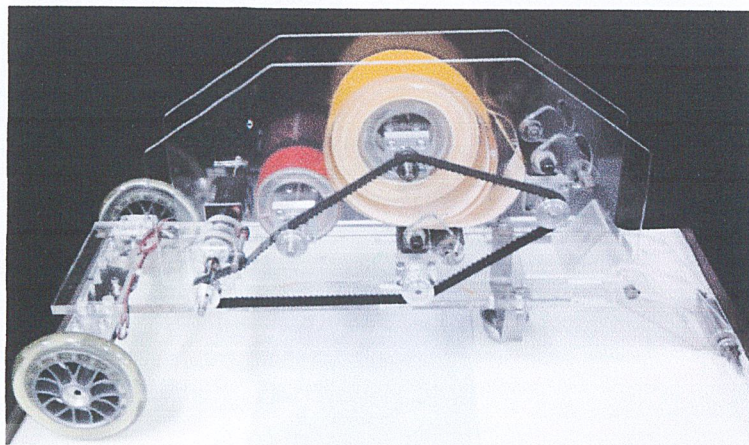
รูปที่ 3.4 โครงสร้างรถด้าน Top

จากนั้นนำชิ้นส่วนอุปกรณ์ทั้งหมดประกอบเป็นตัวรถ เริ่มจากเตรียมแผ่นอะคริลิกที่ตัดมา ประกอบเป็นโครงรถ ติดตั้งเพลา โรลเลอร์ แกนสติกเกอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ หมุนม้วนสติกเกอร์ ประกอบเข้าด้วยกัน ด้านล่างรถติดตั้งมอเตอร์ 2 ตัวที่ล้อหน้าอย่างละหนึ่งตัว ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีเอ็นโค้ดเดอร์ แสดงดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ประกอบโครงสร้างรถด้าน Isometric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



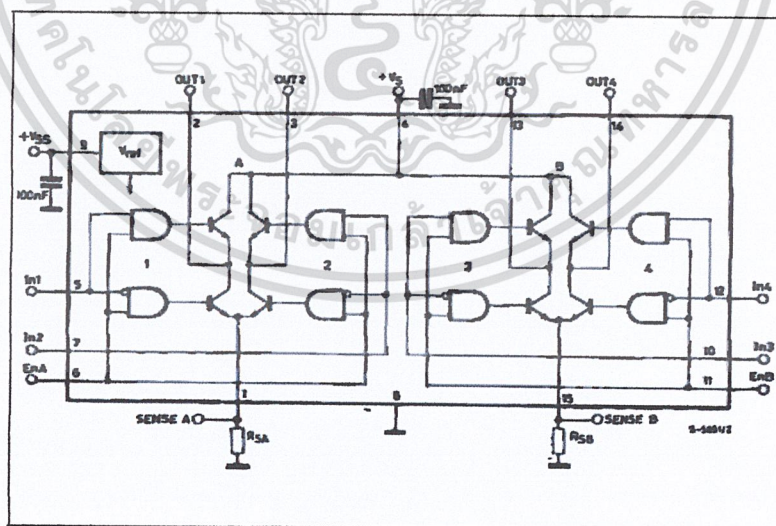
รูปที่ 3.6 ประกอบ โครงสร้างรถด้าน Right

## 3.2 ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic)

### 3.2.1 Driver motor control

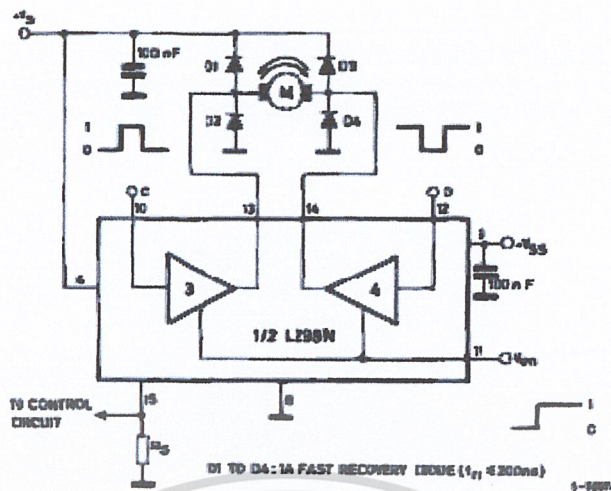
#### 3.2.1.1 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge)

ออกแบบวงจรใช้ IC L298N ขับมอเตอร์ เนื่องจาก IC ที่ใช้เป็นแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge) ภายในหนึ่ง IC สามารถขับมอเตอร์ได้สองตัว นอกจากนั้น มีขาพอร์ตที่ใช้ควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์เพื่อต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้ควบคุมความเร็วและทิศทางได้



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรภายในไอซี L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการต่อวงจรเข้ากับมอเตอร์

ตารางที่ 3.1 การต่อใช้งานของ IC เข้ากับมอเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อมอเตอร์หนึ่งตัว

ชื่อ	ขา	การเชื่อมต่อ
Enable A	6	ไมโครคอนโทรลเลอร์
Out1 ; Out2	2;3	ต่อเข้ากับมอเตอร์
Vs	4	ไฟสำหรับจ่ายให้มอเตอร์
Input1 ; Input2	5;7	ไมโครคอนโทรลเลอร์
Vss	9	ไฟเลี้ยงวงจร +5 V
Gnd	8	กราวด์

### 3.2.1.2 การควบคุมมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์ใช้สัญญาณ PWM เข้ามาควบคุมความเร็ว การควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ทำได้สองแบบคือ Control Type 1 และ Control Type 2 ลักษณะการต่อควบคุมและสัญญาณ ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การควบคุมมอเตอร์โดยใช้สัญญาณ PWM

ขา	Input					
	Control Type 1			Control Type 2		
	Forward	Reward	Stop	Forward	Reward	Stop
Input 1	PWM	0	X	1	0	X
Input 2	0	PWM	X	0	1	X
Enable	1	1	0	PWM	PWM	0

### 3.2.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current Sensor)

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Current Sensor) ที่ไหลผ่าน เพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ต่อไป ตามทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การตรวจจับกระแสไฟฟ้านั้น สามารถใช้ IC วัดได้โดยตรงและให้เอาต์พุตมาตรฐานคือ เซ็นเซอร์ตระกูลของ ACS75x เป็นอุปกรณ์ที่ให้ค่าที่แม่นยำสำหรับตรวจวัดในอุตสาหกรรมยานยนต์ เชิงพาณิชย์ ระบบการสื่อสาร แหล่งพลังงาน การปกป้องจากกระแสไฟฟ้าที่เกินไปในวงจร รวมไปถึงการควบคุมมอเตอร์ โครงการนี้ได้ศึกษาและนำมาใช้งานคือ ACS754



รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างภายนอกของ ACS754

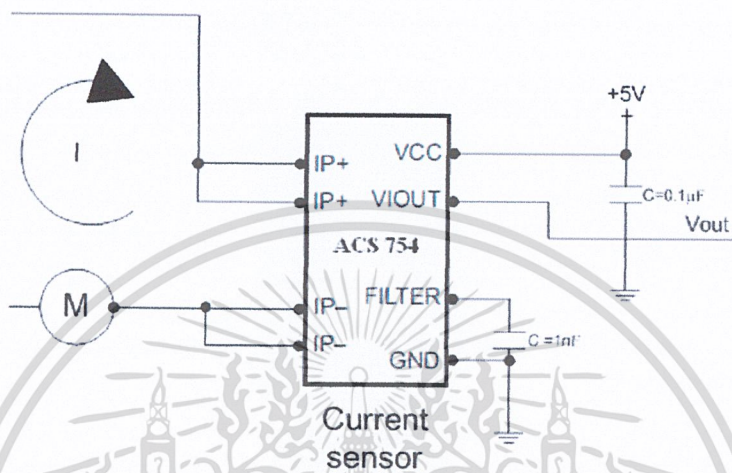
#### 3.2.2.1 ลักษณะเด่นของ ACS 754 และประโยชน์การใช้งาน

- ใช้ไฟเลี้ยง +5 V
- มีความต่างศักย์ 3 kV<sub>RMS</sub> ระหว่างขา 4 กับ 5
- ความถี่ 35 kHz
- สูญเสียกำลังงานน้อยมาก (มีความต้านทาง 100  $\mu\Omega$ )
- เสถียรภาพสูงด้านขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีขนาดเล็ก
- แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง
- มีความน่าเชื่อถือสูง

### 3.2.2.2 วงจรตรวจวัดกระแสที่ต่อใช้งาน



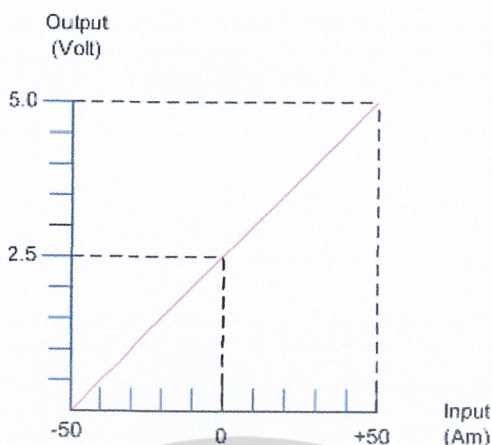
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรที่ต่อใช้งานของ ACS754

วงจรรูปที่ 3.10 เมื่อต่อใช้งาน ได้ค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุต ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุต

Current (A)	Vout (V)
+50	5
0	2.5
-50	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต

จากตารางจะได้ค่าความไว (Sensitivity) ดังนี้

$$S = \frac{\Delta v}{\Delta I}$$

$$100A = 5V$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้นจะได้ค่าความไว

$$= 5V/100A$$

$$= 0.05 V/A$$

ดังนั้น

$$0.05A = 1V$$

จากสมการ

$$\Delta I_a = \Delta V_{\text{out current sensor}} / 0.05$$

$$\Delta I_a = I_a - I_{a0}$$

$$; I_{a0} = 0A$$

$$\Delta V = V_{\text{out current sensor}} - V_{\text{out 0V}}$$

$$; V_{\text{out 0V}} = 2.5V$$

$$I_a = (V_{\text{out current sensor}} - V_{\text{out}}) / 0.05 \tag{3.1}$$

แทนค่าสมการที่ 1 ลงในสมการที่ 2 จะได้

$$\frac{V_{\text{reg}} - V_{\text{out opam}}}{\text{Gain}} + V_{\text{reg}} = V_{\text{out current sensor}} \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{a\_motor\_sticker} = \frac{(V_{out\_current\_sensor} - V_{out\_0A})}{sensitivity} \quad (3.3)$$

$$I_{a\_motor\_sticker} = \frac{\left( \left( \frac{V_{reg} - V_{out\_opam}}{Gain\_opam} + V_{reg} \right) - V_{out\_0A} \right)}{sensitivity} \quad (3.4)$$

เมื่อกำหนดให้  $V_{reg} = 2.5 \text{ V}$

$V_{out\ 0A} = 2.5 \text{ V}$

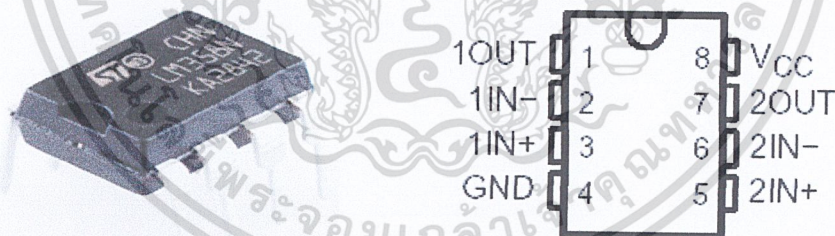
ดังนั้นค่าความไว  $= 0.05 \text{ V/A}$

เนื่องจากมอเตอร์ใช้ไม่เกิน 3 A ดังนั้นทำการขยายสัญญาณเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการต่อไป

### 3.2.3 การออกแบบวงจรขยาย

#### 3.2.3.1 การเลือกใช้ OP-AM

โครงงานนี้ ศึกษาออปแอมป์และนำออปแอมป์เบอร์ LM 358 มาใช้งาน โดยมี 4 อินพุตและ 2 เอาต์พุต ภายในประกอบด้วยวงจรถดเซตความถี่สูง 2 วงจรซึ่งแยกเป็นอิสระออกจากถูกออกแบบให้สามารถใช้งานในย่านแรงดันไฟฟ้าที่กว้างประมาณ  $-0.3 \text{ V}$  ถึง  $32 \text{ V}$  และให้ค่าแรงดันสูง แสดงดังรูปที่ 3.12



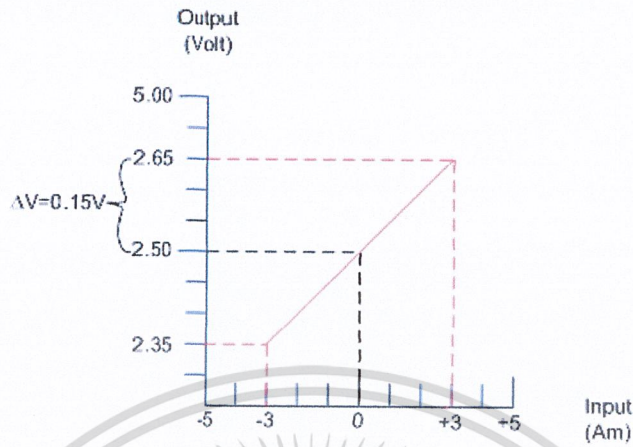
รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างภายนอกและภายในของ LM 358

#### 3.2.3.2 ลักษณะของสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตและคำนวณอัตราขยาย

เนื่องจากสัญญาณอินพุต ต้องการขยายมากจากตัวตรวจจับกระแส และมีแรงดันที่น้อยมาก ดังนั้นจึงทำการขยายเพื่อให้ได้ขนาด 0-5V เพื่อนำไปใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

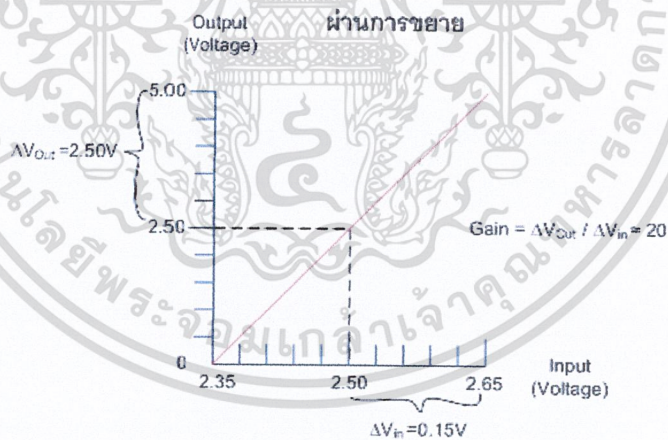
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของเซ็นเซอร์ คือ  $0.05\text{V/A}$  กระแสที่วัดสูงสุด คือ  $\pm 3\text{A}$  แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงสูงสุดไม่เกิน  $\pm 0.15\text{V}$  ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ตามย่านการใช้งาน  $\pm 3\text{A}$

ถ้าต้องการวัดกระแส  $-3\text{A} - 3\text{A}$  ได้เอาต์พุต  $0-5\text{V}$  ต้องทำการขยายแรงดันจากเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตของอปแอมป์

จากความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของอปแอมป์นำมาคำนวณอัตราขยาย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

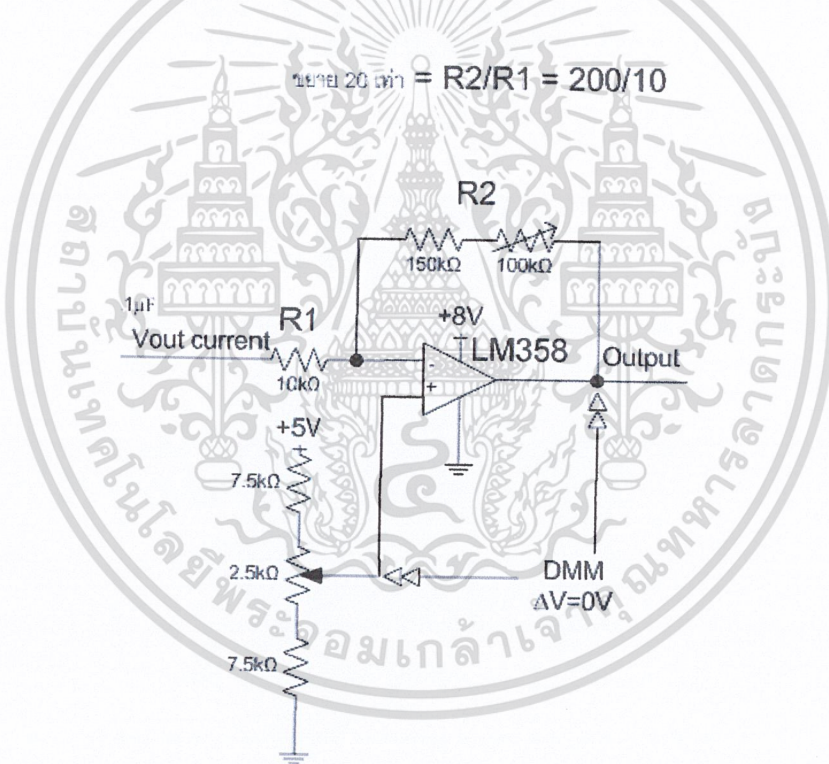
$$\text{Gain} = \frac{\Delta v_{out}}{\Delta v_{in}} \quad (3.5)$$

$$\text{Gain} = \frac{2.50 \text{ V}}{0.15 \text{ V}}$$

$$\text{Gain} = 16.7 \text{ เท่า}$$

### 3.2.3.3 การออกแบบวงจรขยาย

เมื่อทำการหาอัตราขยายเรียบร้อยแล้วจึงทำการออกแบบวงจร โดยชนิดวงจรที่ใช้คือ วงจรขยายแบบแรงดันแตกต่างกัน โดยให้แรงดันอ้างอิงเท่ากับ แรงดันกึ่งกลางของของเซ็นเซอร์ คือ 2.5V จากการคำนวณได้อัตราขยาย 16 เท่า แต่นำมาใช้ประมาณ 20 เท่า



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรที่ต่อใช้ในการขยายเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการวงจรจะได้

$$\frac{V_{in} - V_{reg}}{R_1} = \frac{V_{reg} - V_{out}}{R_2} \quad (3.6)$$

$$\frac{R_2}{R_1} (V_{in} - V_{reg}) = V_{reg} - V_{out} \quad (3.7)$$

$$\frac{R_2}{R_1} (V_{in} - V_{reg}) - V_{reg} = -V_{out} \quad (3.8)$$

$$V_{reg} - \frac{R_2}{R_1} (V_{in} - V_{reg}) = V_{out} \quad (3.9)$$

กำหนดให้

$$\frac{R_2}{R_1} = G$$

$$V_{reg} - G(V_{in} - V_{reg}) = V_{out} \quad (3.10)$$

$$V_{reg} - G(V_{in} - V_{reg}) = V_{out} \quad (3.11)$$

กำหนดให้

$$V_{in} = V_{out\_current\_sensor} \quad (3.12)$$

$$V_{out} = V_{out\_opam} = V_{ANO} \quad (3.12)$$

$$V_{reg} - G(V_{out\_current\_sensor} - V_{reg}) = V_{out\_opam} \quad (3.13)$$

จะได้สมการขยายแรงดันดังนี้

$$\frac{V_{reg} - V_{out\_opam}}{G} + V_{reg} = V_{out\_current\_sensor} \quad (3.14)$$

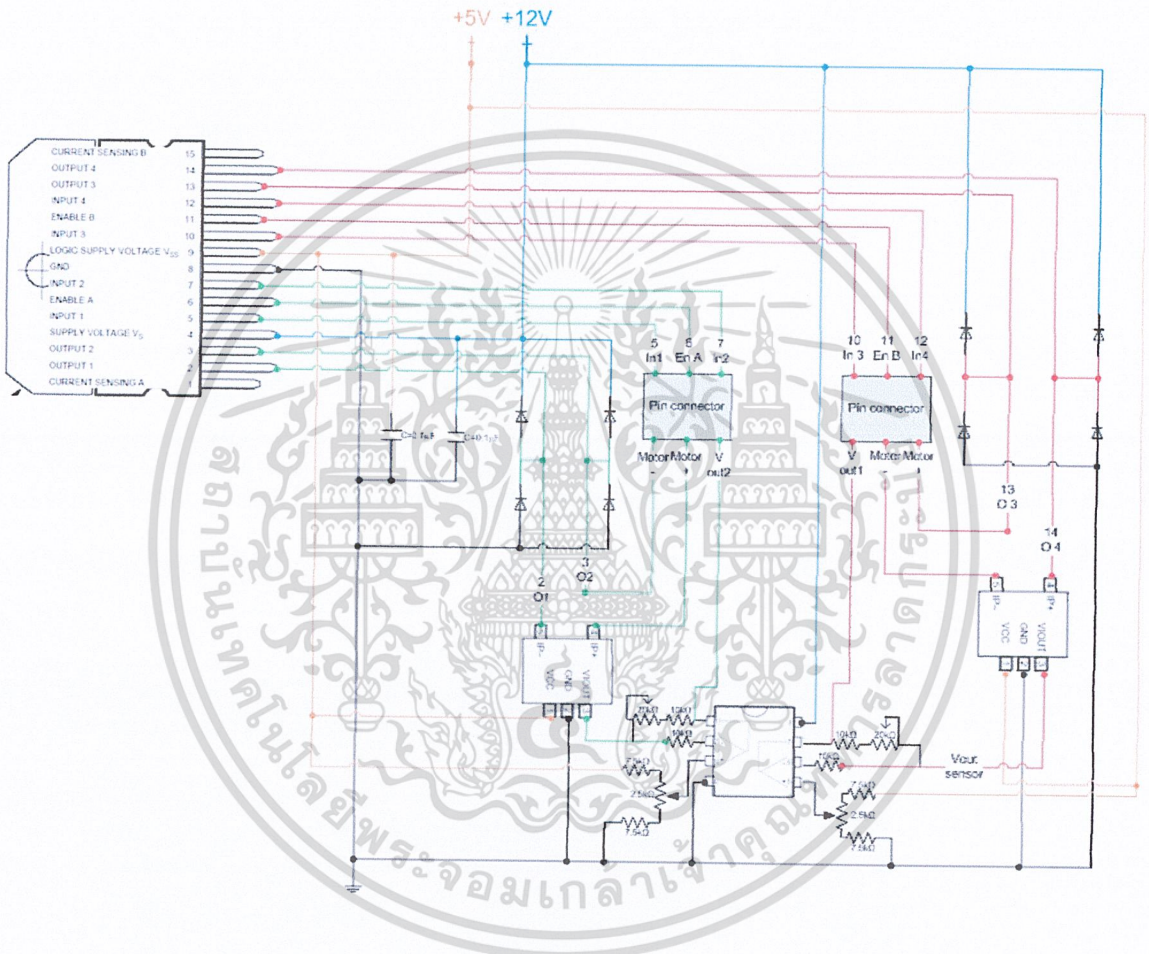
จากสมการเมื่อทราบค่าแรงดันที่ออกจากวงจรขยาย ทำให้ทราบค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ ค่ากระแสที่ทราบสามารถคำนวณค่าแรงดันที่ตกคร่อมกับมอเตอร์สามารถควบคุมความเร็วได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์

#### 3.2.4.1 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว

จากการออกแบบข้างต้นนำมาใช้ควบคุมมอเตอร์ เช่น ออกแบบวงจรขยาย เคอร์เรนท์เซ็นเซอร์ (Current Sensor) มอเตอร์ และวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง นำมารวมวงจรกันเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งแผงวงจรและเชื่อมต่อสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์และมอเตอร์ ได้ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงไดอะแกรมของวงจรควบคุมมอเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2.5 วงจรแหล่งจ่าย

#### 3.2.5.1 การคำนวณหากระแสและแรงดัน

จากการออกแบบวงจรที่ใช้ทั้งหมดนำมาคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันที่ใช้ทั้งหมดดังตารางที่ 3.4

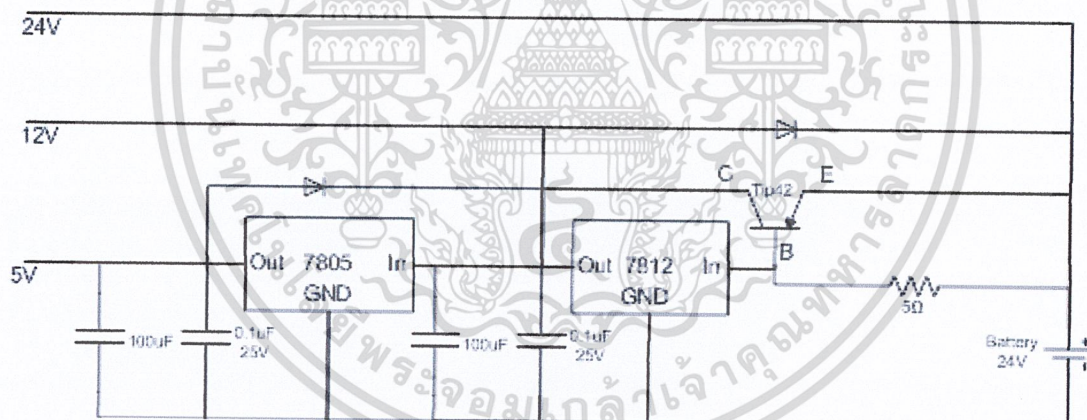
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและแรงดัน

อุปกรณ์	จำนวน	แรงดันที่ใช้ (V)	กระแสสูงสุดที่ใช้ (A)
มอเตอร์ขับเคลื่อน	2	24	2
มอเตอร์ล็อกสติ๊กเกอร์	1	24	1
วงจรรขยาย	1	12	<<
วงจรขับมอเตอร์	2	5	<<
ตัวตรวจจับกระแส	3	5	<<
บอร์ด	1	12	<<
ไมโครคอนโทรลเลอร์			
แรงดันและกระแสที่ใช้		5,12,24 V	4 A

### 3.2.5.2 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย

แหล่งจ่ายที่ใช้คือแบตเตอรี่ขนาด 24V มีวงจรปรับแรงดันให้เป็น 12V และ 5V ใช้เร็กกูเลเตอร์ (Regulator) เบอร์ 7812 และ 7805 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรแหล่งจ่าย

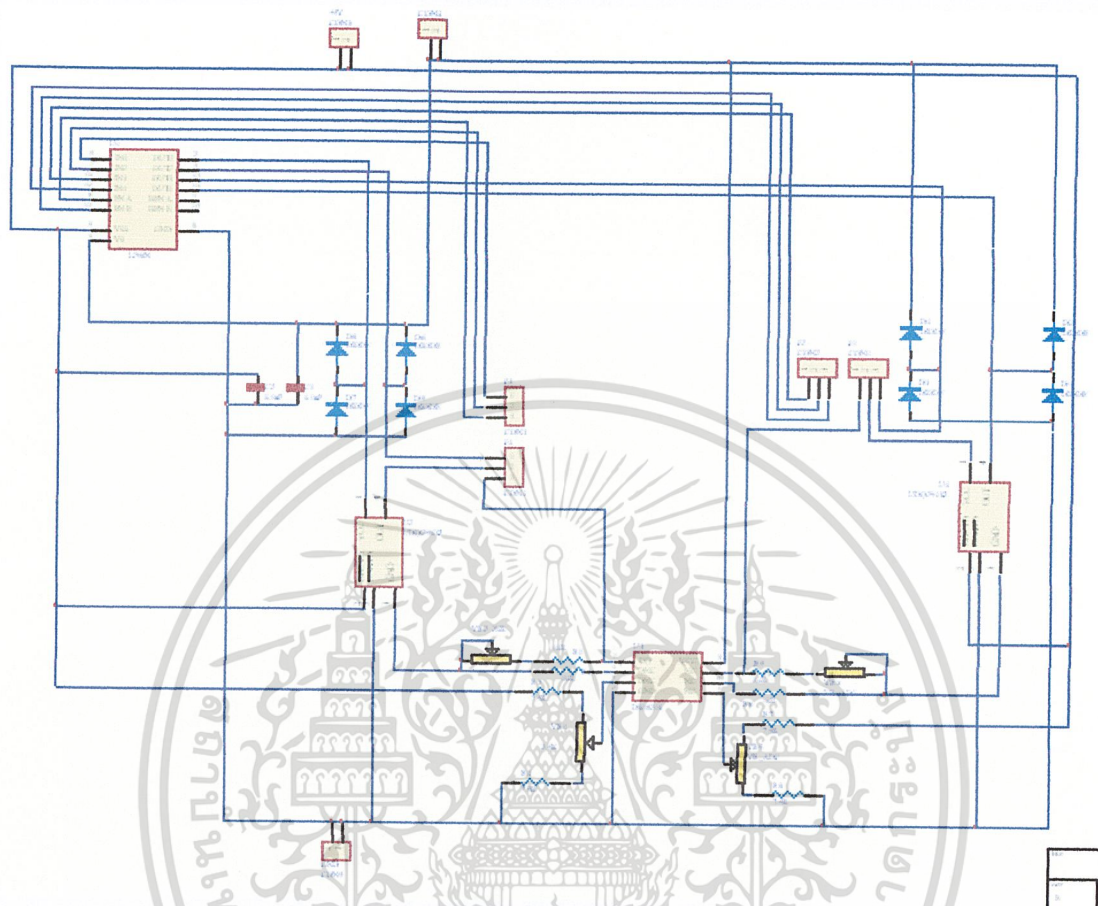
### 3.2.6 การนำวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวและวงจรแหล่งจ่ายไปออกแบบลายวงจรพิมพ์

การนำวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวและวงจรแหล่งจ่ายไปออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB)

ด้วย Program Protel 99SE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6.1 ออกแบบลายวงจรพิมพ์วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว ขั้นแรกต้องสร้างรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร ดังรูปที่ 3.18

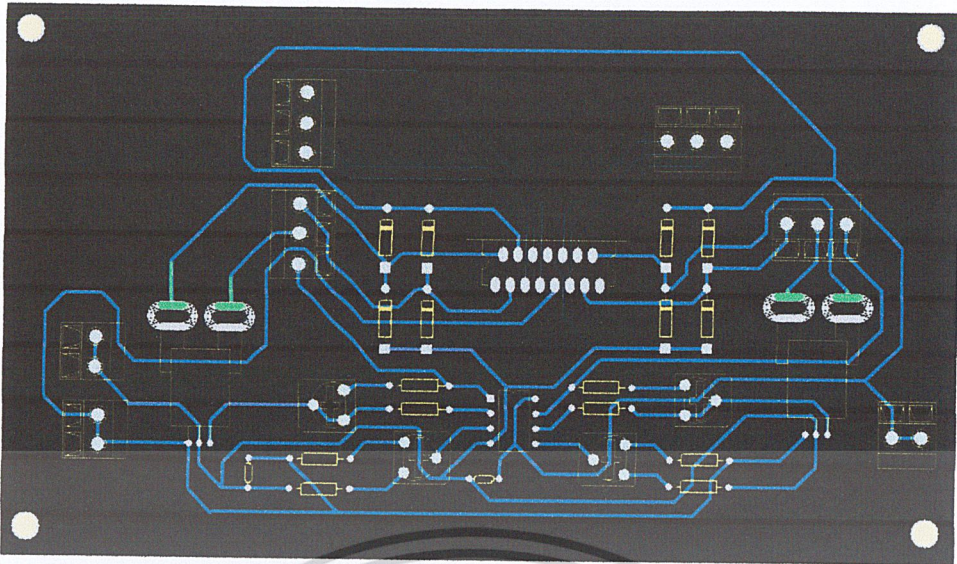


รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวในไฟล์ Schematic

เมื่อออกแบบวงจรไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นออกแบบลายทองแดงคือขั้นตอนการนำวงจรในไฟล์ Schematic มาในไฟล์ PCB

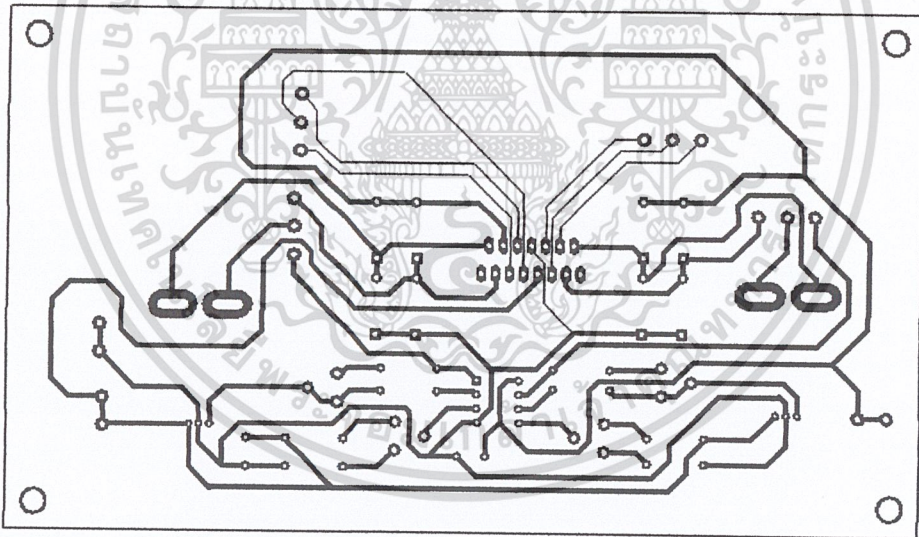
เมื่อนำเข้ามาภายในไฟล์ PCB และใส่ฟุตพริ้น (Foot Print) ให้กับอุปกรณ์ทุกตัว จากนั้นเป็นการอัปเดต (Update) PCB พร้อมกับตรวจสอบความผิดพลาด เพื่อนำวงจรไฟฟ้าเข้ามาสร้างลายวงจรพิมพ์ หลังจากอัปเดต (Update) PCB เข้ามาแล้วให้นำอุปกรณ์มาจัดเรียงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทำการเดินลายทองแดง พร้อมทั้งตั้งค่าจุดบัดกรีเป็นขั้นตอนสุดท้าย จึงได้ลายวงจรพิมพ์ ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการทำ Auto Route ของวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว

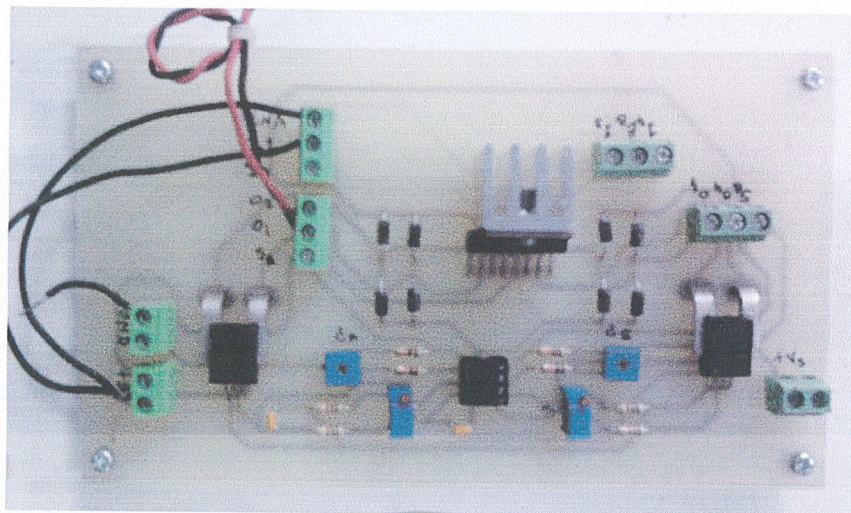
จากนั้น Print PCB ตามลายวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงลายวงจร PCB ของวงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว

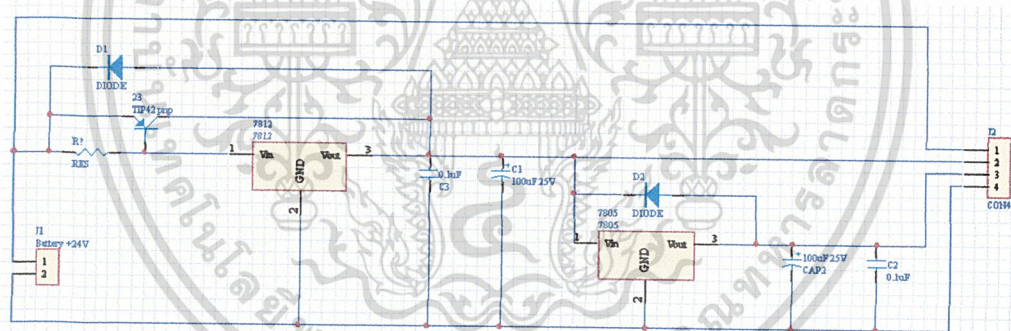
ขั้นตอนสุดท้ายนำอุปกรณ์ทุกตัวบัดกรีลงบนบอร์ด (Board) วงจรขับและวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วงจรควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว

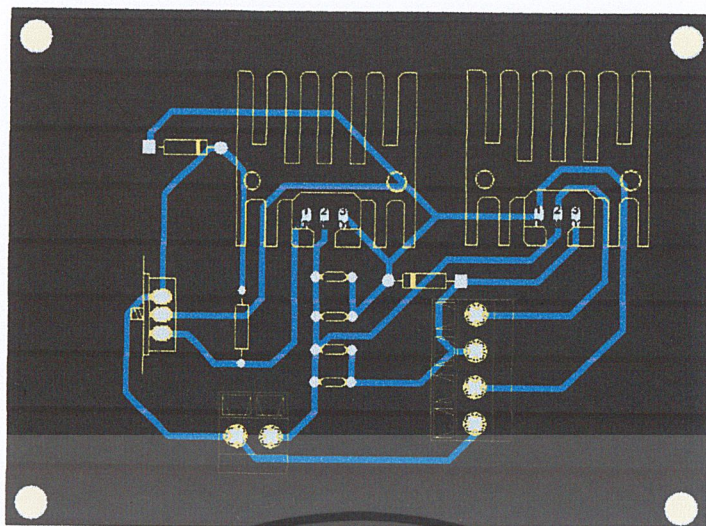
3.2.6.2 ออกแบบลายวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่าย  
ขั้นแรกสร้างรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรแหล่งจ่ายในไฟล์ Schematic

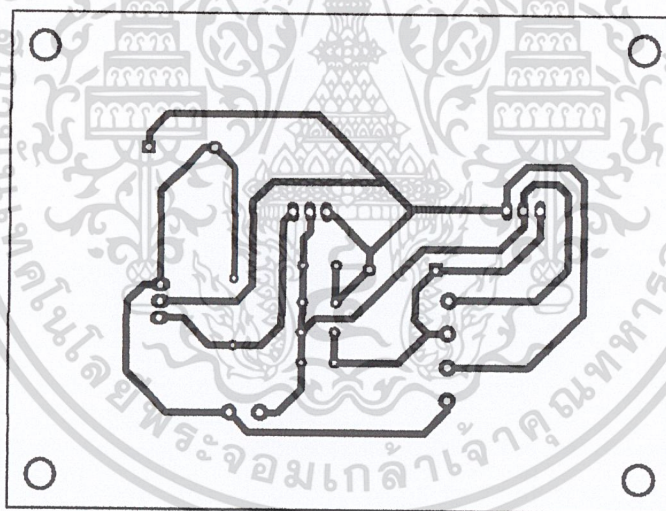
เมื่อออกแบบวงจรไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนในรูปที่ 3.18 และ 3.19 จะได้ลายวงจรพิมพ์ ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนการทำ Auto Route ของวงจรแหล่งจ่าย

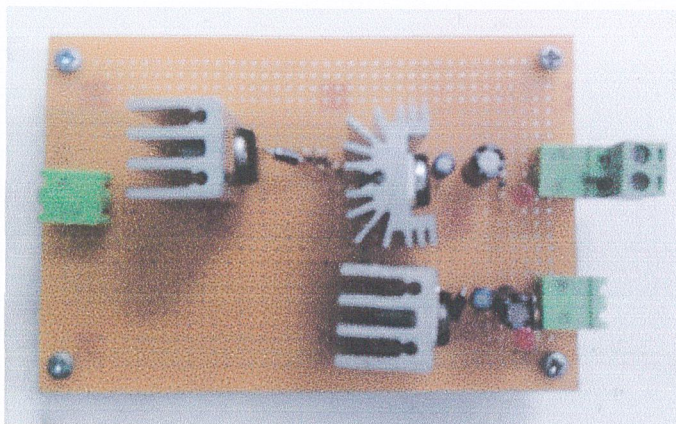
จากนั้นเป็นการ Print PCB ตามลายวงจรแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงลายวงจร PCB ของวงจรแหล่งจ่าย

ขั้นตอนสุดท้ายนำอุปกรณ์ทุกตัวมาบัดกรีลงบนบอร์ด (Board) วงจรแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 วงจรแหล่งจ่าย

### 3.2.7 การหาค่าพารามิเตอร์เพื่อนำค่ามาใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.2.7.1 การหาค่าอัตราส่วนค่าแรงดันเอาต์พุตเซ็นเซอร์ต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ( $K_v$ )

ทำการจ่าย  $V_{in}(V_{supply})$  ให้แก่มอเตอร์ จากนั้นเบรกมอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ ค่า  $V_a = 0$  จะเกิดค่ากระแส  $I_a$  (A) ขึ้น ทำการบันทึกค่า  $I_a$  จากนั้นเปลี่ยนการจ่าย  $V_{in}$  ทำการทดลองซ้ำและคำนวณหาค่า  $V_{out}$

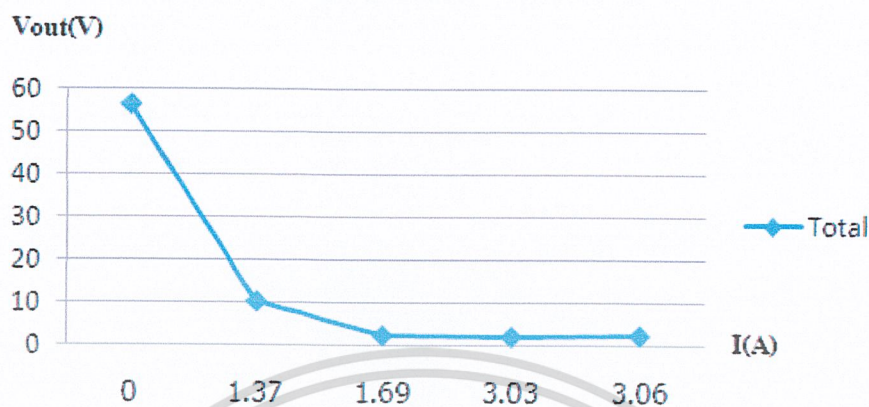
ตารางที่ 3.5 ผลการวัดค่ากระแสกับแรงดันเอาต์พุตที่ตำแหน่งล้อขวา

$V_{in}$ (V)	I (A)	$V_{out}$ (V)
12	1.69	2.44
24	3.06	2.40
0	0	56.20
-12	1.37	10.32
-24	3.03	21.59

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $I(A)$  กับ  $V_{out}(V)$   
(ลื้อขวา)



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V)$  กับ  $I(A)$  (ลื้อขวา)

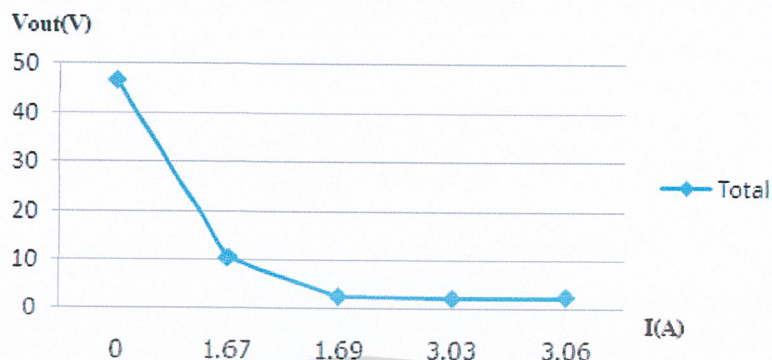
ตารางที่ 3.6 ผลการวัดค่ากระแสกับแรงดันเอาต์พุตที่ตำแหน่งลื้อซ้าย

$V_{in}(V)$	$I(A)$	$V_{out}(V)$
12	3.06	2.40
24	1.69	2.44
0	0	46.60
-12	1.67	10.32
-24	3.03	2.15

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V)$  กับ  $I(A)$   
(ล้อย้าย)



รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V)$  กับ  $I(A)$  (ล้อย้าย)

3.2.7.2 อัตราส่วนค่า PDC ต่อ Terminal Voltage ( $K_{PV}$ )

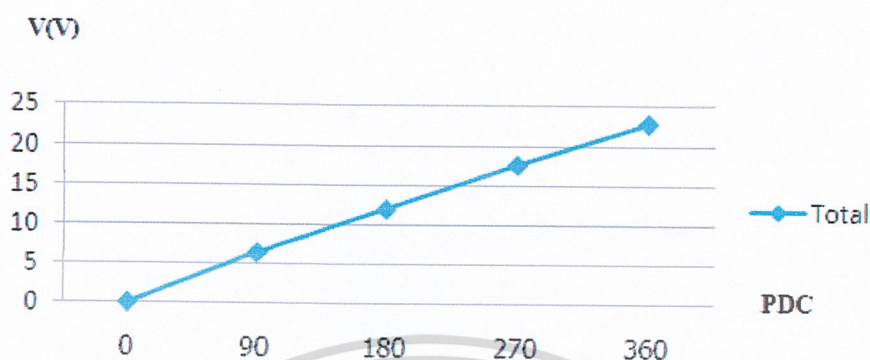
ตารางที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ  $V(V)$  ล้อยาว

PDC	V(V)
360	22.81
270	17.58
180	11.93
90	6.34
0	0.0003

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ V(V) (ลื้อขวา)



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ V(V) (ลื้อขวา)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ 0.0627

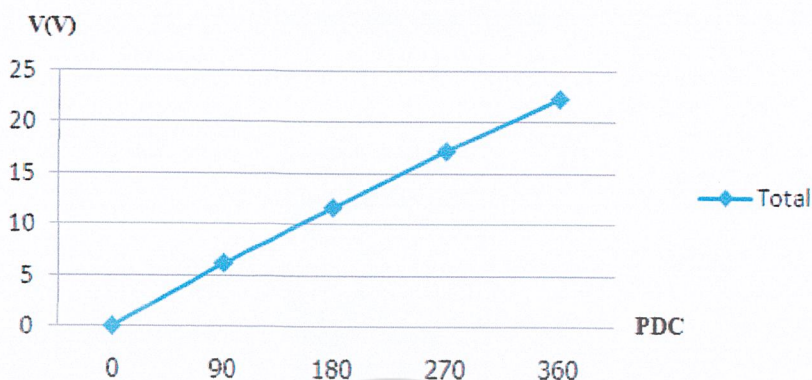
ตารางที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ V(V) ลื้อข่าย

PDC	V(V)
360	22.23
270	17.14
180	11.64
90	6.17
0	0.0028

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ V(V) (ล้อซ้าย)



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ V(V) (ล้อซ้าย)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ 0.0611

#### 3.2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับค่า $\omega$ (rad/sec)

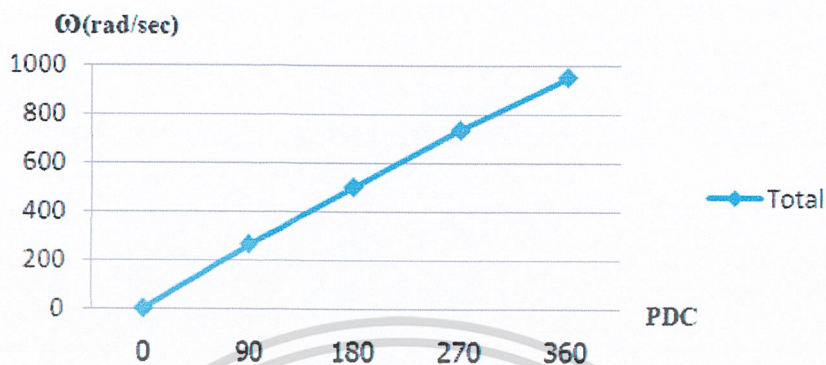
ตารางที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ  $\omega$ (rad/sec) ถ้อยหา

PDC	$\omega$ (rpm)	$\omega$ (rad/sec)
360	9085	951.378
270	7013	734.399
180	4768	499.303
90	2520	263.893
0	0	0

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ  $\omega$ (rad/sec)  
(ถ้อยขาว)



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ  $\omega$ (rad/sec) (ถ้อยขาว)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ 24.944

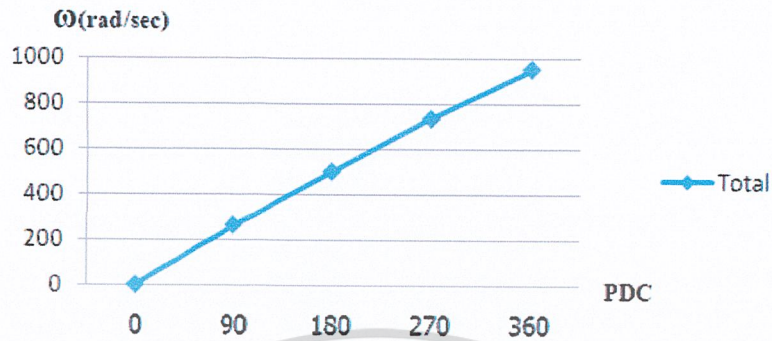
ตารางที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ  $\omega$ (rad/sec) ถ้อยขาว

PDC	$\omega$ (rpm)	$\omega$ (rad/sec)
360	8855	927.293
270	6788	710.837
180	4613	483.072
90	2434	254.887
0	0	0

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับ  $\omega$ (rad/sec)  
(ถ้อยซ้ำ)



รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับ  $\omega$ (rad/sec) (ถ้อยซ้ำ)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ 24.166

### 3.2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า I(A) กับ Vout(V)

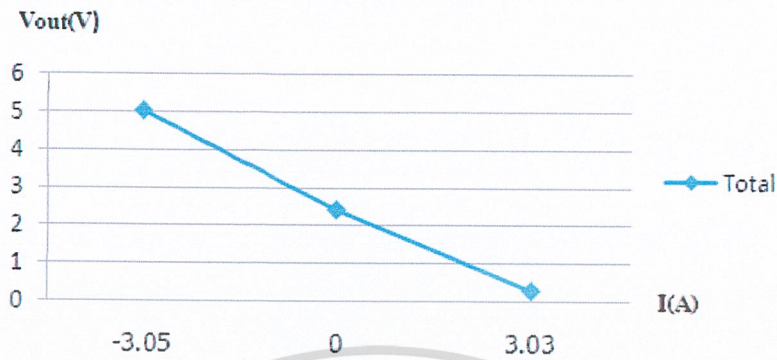
ตารางที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I(A) กับ Vout(V) ถ้อยซ้ำ

I(A)	Vout(V)
-3.05	5.01
0	2.43
3.03	0.31

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I(A) กับ Vout(V)  
(ลื้อขวา)



รูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I(A) กับ Vout(V) (ลื้อขวา)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ  $-0.875 \text{ V/A}$

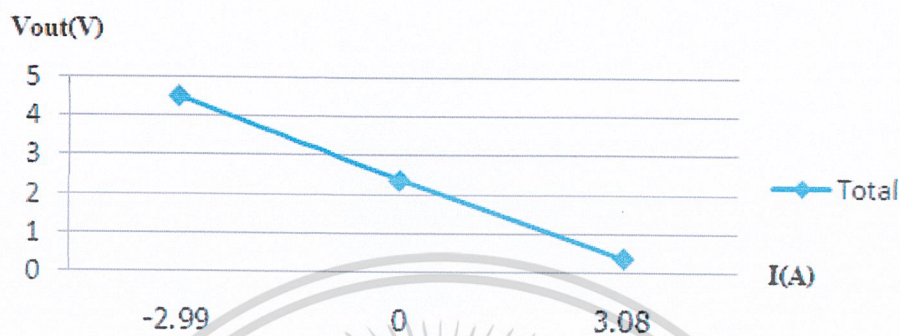
ตารางที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I(A) กับ Vout(V) ลื้อซ้าย

I(A)	Vout(V)
-2.99	4.50
0	2.37
3.08	0.38

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I(A)$ กับ $V_{out}(V)$ (ล้อซ้าย)



รูปที่ 3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $I(A)$  กับ  $V_{out}(V)$  (ล้อซ้าย)

จากกราฟได้ค่าความชันเท่ากับ  $-0.712 \text{ V/A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนคอนโทรลและโปรแกรมมิ่ง (Control & Programing)

#### 3.3.1 การจัดการขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

จากการออกแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดแล้ว จากนั้นทำการเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นต้องทำการจัดการขาของสัญญาณให้เหมาะสมตามคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 3.13 ตารางแสดงสัญญาณอินพุตต่างๆที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์	อินพุต			
	ชื่อ	สัญญาณ	ขา	
วงจรถ่วงจับกระแสมอเตอร์ ด้านขวา	Output current sensor right	Analog 0-5V	2	AN0/RB0
วงจรถ่วงจับกระแสมอเตอร์ ด้านซ้าย	Output current sensor left	Analog 0-5V	3	AN1/RB1
ตัวตรวจจับกระแสมอเตอร์ลอค สติ๊กเกอร์	Output current sensor sticker	Analog 0-5V	4	AN2/RB2
ตัวตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่	Set point movement speed	Analog 0-5V	8	AN6/RB6
ตัวตั้งความเร็วการลอคสติ๊กเกอร์	Set point feed speed	Analog 0-5V	9	AN7/RB7
เอ็นโค้ดเดอร์มอเตอร์ขวา	Right channel A	Plus	6	QEA/RB4
	Right channel B	Plus	7	QEB/RB5
เอ็นโค้ดเดอร์มอเตอร์ซ้าย	Left channel A	Plus		
	Left channel B	Plus		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

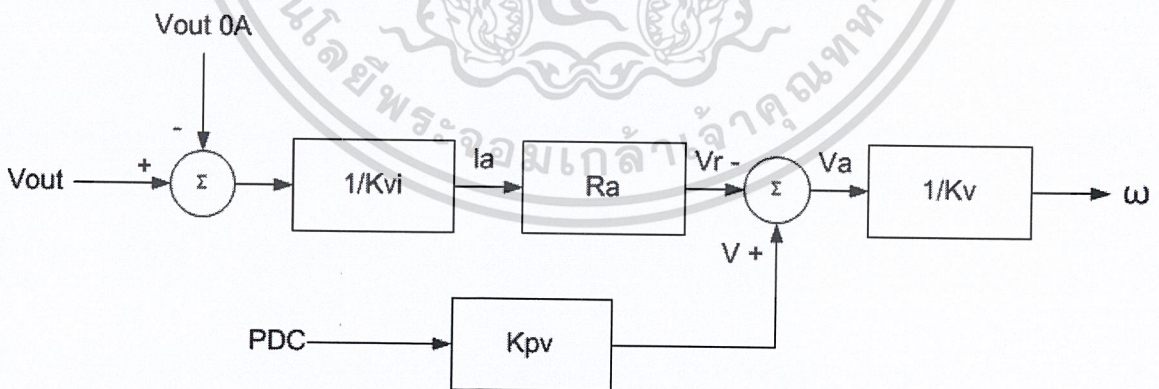
ตารางที่ 3.14 ตารางแสดงสัญญาณเอาต์พุตต่างๆที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์	เอาต์พุต			
	ชื่อ	สัญญาณ	ขา	
วงจรมอเตอร์ล้อขวา	Input 1	PWM or Logic	38	PWM1L/RE0
	Input 2	PWM or Logic	37	PWM1H/RE1
	Enable A	Logic	30	RF0/+5V
วงจรมอเตอร์ล้อซ้าย	Input 3	PWM or Logic	36	PWM2L/RE2
	Input 4	PWM or Logic	35	PWM2H/RE3
	Enable B	Logic	29	RF1/+5V
วงจรมอเตอร์ล้อสติกเกอร์	Input 1	PWM or Logic	34	PWM3L/RE4
	Input 2	PWM or Logic	33	PWM3H/RE5
	Enable A	Logic	26	RF2/+5V

### 3.3.2 การควบคุมมอเตอร์

#### 3.3.2.1 การคำนวณหาอัตราเร็วเชิงมุม

การคำนวณค่าอัตราเร็วเชิงมุมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทราบค่าอัตราเร็วเชิงมุม ณ เวลานั้น จากทฤษฎีมอเตอร์ต้องทราบค่าแรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้วของมอเตอร์ (V) และค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ( $I_a$ ) ณ ขณะนั้น



รูปที่ 3.34 แสดงไดอะแกรมคำนวณหาอัตราเร็วของล้อแต่ละข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันมอเตอร์ ณ เวลาใดๆหา โดยทำการสอบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDC กับค่าแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ (V) เมื่อทราบค่าความสัมพันธ์ระหว่าง PDC กับแรงดันที่ตกคร่อมขั้วมอเตอร์ ( $K_{pv}$ ) จากนั้นเมื่อป้อนค่า PDC ใดๆออกไปจะทราบค่าแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ได้

ค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ( $I_a$ ) หาโดยทำการสอบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์กับแรงดันเอาต์พุต ( $V_{sensor}$ ) ที่ได้จากออปแอมป์ ทำให้ทราบค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่ากระแส ( $K_{vi}$ ) เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าแรงดันจากพอร์ตอนาล็อก (Port Analog) ที่ได้จากเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ ( $V_{sensor}$ ) สามารถทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ( $I_a$ ) ได้

จากนั้นทำการสอบเทียบหาค่าคงที่ระหว่าง PDC กับแรงดันตกคร่อม ( $K_{pv}$ ) และค่าคงที่ระหว่างแรงดันเอาต์พุต จากออปแอมป์กับค่ากระแสที่ได้ ( $K_{vi}$ ) เมื่อได้ค่าคงที่ทั้งสองแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราเร็วเชิงมุมต่อไป

สมการคำนวณหาค่าอัตราเร็วเชิงมุม ณ ขณะนั้นๆ ของมอเตอร์แต่ละข้างได้ หาได้ดังนี้

$$\omega = \frac{\left[ PDC * K_{pv} - \left( \frac{V_{sensor} - V_{sensor_{0A}} * R_A}{K_{vi}} \right) \right]}{K_v} \quad (3.15)$$

เมื่อ

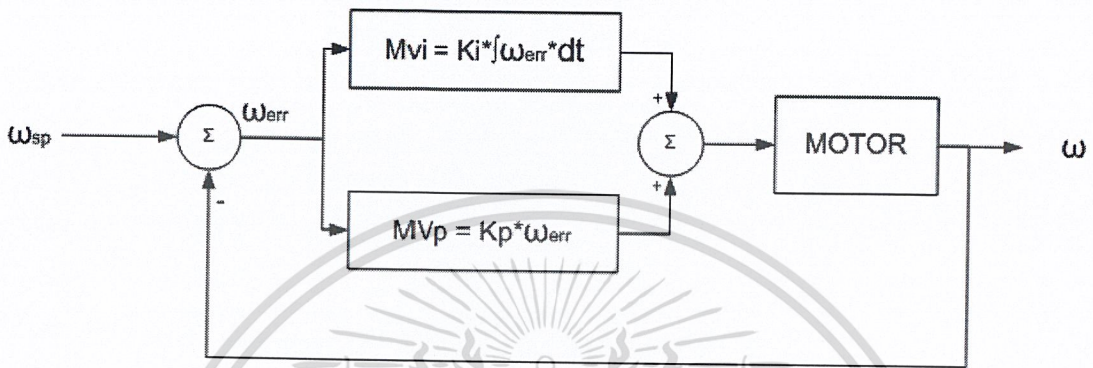
$\omega$	=	อัตราเร็วเชิงมุม (rad/sec)
PDC	=	ค่าดีวตีไซเคิล (Duty Cycle)
$K_{pv}$	=	อัตราส่วนค่า PDC ต่อ Terminal Voltage (PDC / V)
$K_v$	=	ค่าคงที่แรงดันไฟฟ้า (V·sec/rpm)
$R_A$	=	ความต้านทานอาเมเจอร์ ( $\Omega$ )
$V_{sensor}$	=	แรงดันเอาต์พุตจากตัวตรวจวัดกระแส (V)
$V_{sensor_{0A}}$	=	แรงดันเอาต์พุตจากตัวตรวจวัดกระแส ที่ 0 A (V)
$K_{vi}$	=	อัตราส่วนค่าแรงดันเอาต์พุตเซ็นเซอร์ต่อกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ (V/A)

เมื่อหาค่าอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ขณะนั้นๆได้ สามารถนำไปควบคุมมอเตอร์ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ความเร็วของมอเตอร์นั้นเป็นไปตามค่าเป้าหมาย จึงใช้ PI Controller เข้ามาช่วยในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ จากข้างต้นที่ได้กล่าวมานั้น สามารถหาค่าอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ที่แท้จริงได้



รูปที่ 3.35 แสดงไดอะแกรมควบคุมความเร็วของมอเตอร์

จาก Block Diagram จะได้สมการดังนี้

$$\omega_{err} = \omega_{sp} - \omega \quad (3.16)$$

$$MV_i = MV_i + \omega_{err} * T \quad (3.17)$$

$$MV = K_p * \omega_{err} + K_i (MV_i) \quad (3.18)$$

เมื่อ

$\omega_{sp}$  = ค่าเป้าหมายของอัตราเร็วเชิงมุม

$\omega$  = อัตราเร็วเชิงมุมที่ตกลง

$\omega_{err}$  = ค่าความผิดพลาดของอัตราเร็วเชิงมุม

$MV_i$  = เอาต์พุต Integral Controller

$MV$  = เอาต์พุต PI Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 T = ค่าคงที่คาบเวลา  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $K_i$  = ค่าคงที่ปริพันธ์ (Integral)
- $K_p$  = ค่าคงที่สัดส่วน (Proportional)

จากสมการข้างต้นไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์แต่ละข้างให้คงที่ ดังนั้นการควบคุมทิศทางและการเคลื่อนที่ของรถสามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ทั้งสองข้างได้

### 3.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

#### 3.3.3.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ( $R_a$ )

ทำการจ่าย  $V_{in}(V_{supply})$  ให้แก่มอเตอร์ จากนั้นเบรกมอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ ค่า  $V_A = 0$  จะเกิดค่ากระแส  $I_a$  (A) ขึ้น ทำการบันทึกค่า  $I_a$  จากนั้นเปลี่ยนการจ่าย  $V_{in}$  ทำการทดลองซ้ำและคำนวณหาค่า  $R_a$

ตารางที่ 3.15 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงที่ตำแหน่งล้อข้างขวา

$V_{in}(V)$	$I_a(A)$	$R_a(\Omega)$
12.00	1.60	7.50
15.00	2.20	6.81
18.00	2.30	7.82
21.00	2.60	8.07
24.00	2.98	8.05

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + B \sum 1 \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ  $I_a$

Y คือ  $V_{in}$

$$\text{จะได้ } \sum xy = 219.72$$

$$\sum x^2 = 28.33$$

$$\sum y = 90$$

$$\sum x = 11.68$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5 วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

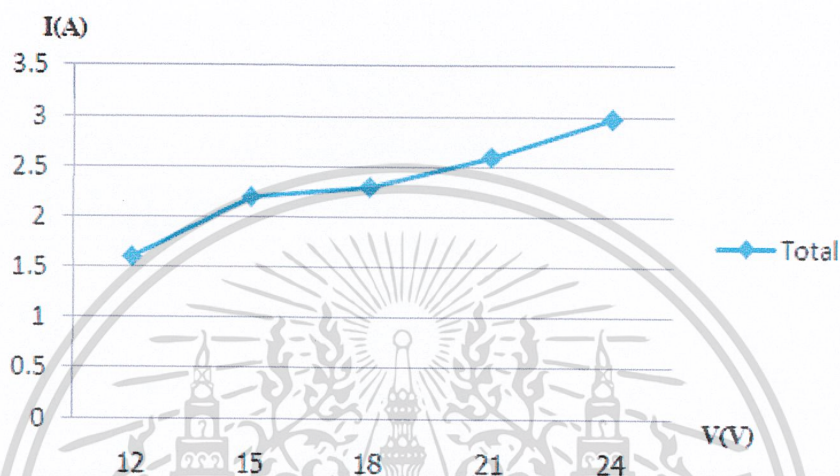
แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

แก้สมการได้ค่า  $A = 8.034$

ดังนั้นค่า  $R_a$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ  $8.034 \Omega$

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

### กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V(V)$ กับ $I(A)$ (ล้อขวง)



รูปที่ 3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V(V)$  กับ  $I(A)$  (ล้อขวง)

ตารางที่ 3.16 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงที่ตำแหน่งล้อข้างซ้าย

$V_{in}(V)$	$I_1(A)$	$R_1(\Omega)$
12.00	1.77	6.77
15.00	2.18	6.88
18.00	2.43	7.04
21.00	2.70	7.77
24.00	2.85	8.42

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + BN \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้  $X$  คือ  $I_a$

$Y$  คือ  $V_{in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

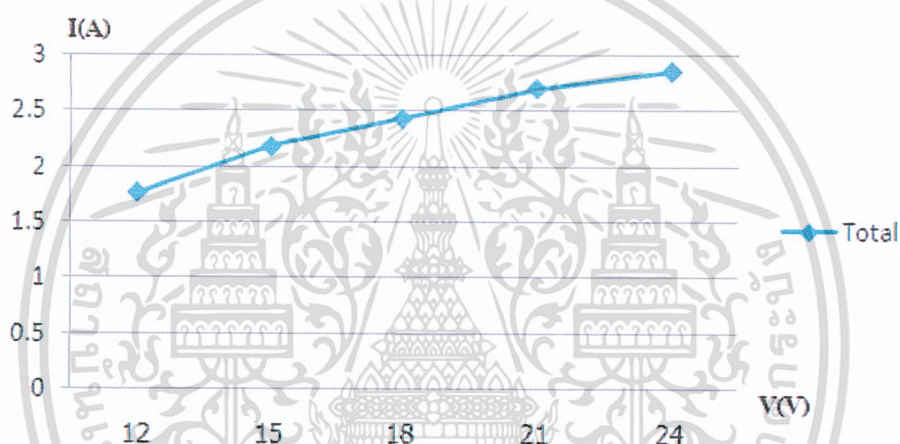
$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \sum xy &= 222.78 \\ \sum x^2 &= 29.20 \\ \sum y &= 90 \\ \sum x &= 11.93 \\ n &= 5 \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{แก้สมการได้ค่า } A = 10.93$$

ดังนั้นค่า  $R_a$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ  $10.93 \Omega$  นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V(V)$  กับ  $I(A)$  (ลือชัย)



รูปที่ 3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V(V)$  กับ  $I(A)$  (ลือชัย)

### 3.3.3.2 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่ (ค่า Back-emf Constant ของมอเตอร์)

การทดลองหาค่า  $K_v$  ของมอเตอร์

ทำการป้อนแรงดันให้แก่มอเตอร์ จากนั้นวัดค่าแรงดันย้อนกลับ ( $V_A$ ) ขณะเดียวกันทำการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยทาคอไมเตอร์ซึ่งมีหน่วยเป็น rpm (รอบต่อนาที) ดังนั้นต้องเปลี่ยนเป็นหน่วย (rad/sec) จากสมการ  $\omega(\text{rpm}) \times \frac{2\pi}{60} = \omega(\text{rad/sec})$  สามารถคำนวณค่า  $K_v$  ได้จากสมการ  $K_v = \frac{V_A}{\omega}$  จากนั้นทำการเปลี่ยนค่า  $V_{in}$  และทดลองซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงที่ตำแหน่งล้อย่างขวา

$V_{in}$	$V_A(V)$	$\omega(rpm)$	$\omega(rad/sec)$	$K_v(V/rad/sec)$
12	0	900	94.24	0
15	0.014	1125	117.80	0.000150
18	0.018	1350	141.37	0.000090
21	0.022	1575	164.93	0.000100
24	0.026	1800	188.49	0.000058

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + B \sum 1 \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ  $\omega$

Y คือ  $V_a$

หาค่า 1.  $\sum xy = 9.1407$

2.  $\sum x^2 = 105473.877$

3.  $\sum y = 0.061$

4.  $\sum x = 706.83$

5.  $n = 5$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

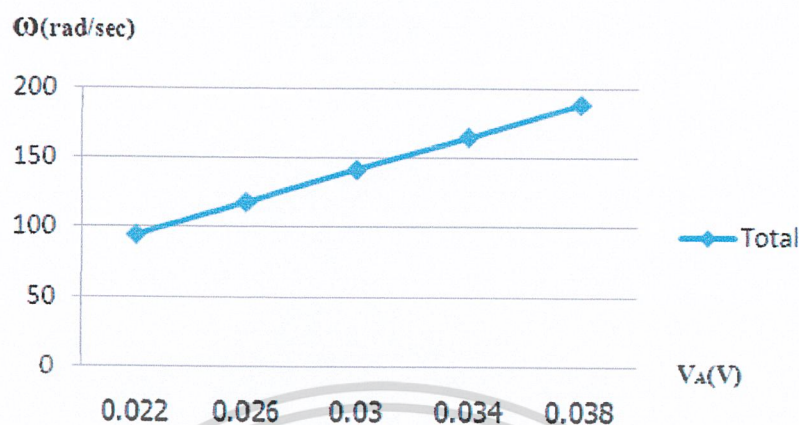
แก้สมการได้ค่า A

ดังนั้นจะได้ค่า  $K_v$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ  $14.93 \times 10^{-3} \frac{\text{volts}}{\text{rad/sec}}$

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_A(V)$  กับ  $\omega(\text{rad/sec})$   
(ข้อ ๖)



รูปที่ 3.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_A(V)$  กับ  $\omega(\text{rad/sec})$  (ข้อ ๖)

ตารางที่ 3.18 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงที่ตำแหน่งล้อย่างซ้าย

$V_{in}$	$V_A(V)$	$\omega(\text{rpm})$	$\omega(\text{rad/sec})$	$K_v(V/\text{rad/sec})$
12	0.022	900	94.24	0.000210
15	0.026	1125	117.80	0.000080
18	0.030	1350	141.37	0.000140
21	0.034	1575	164.93	0.000120
24	0.038	1800	188.49	0.000015

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + BN \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ  $\omega$

Y คือ  $V_a$

หาค่า	1. $\sum xy$	=	9.918
	2. $\sum x^2$	=	105473.877
	3. $\sum y$	=	0.074
	4. $\sum x$	=	706.83
	5. n	=	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

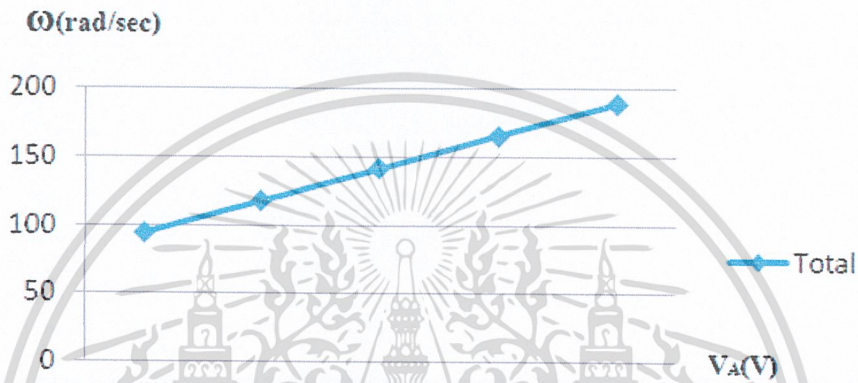
แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

แก้สมการได้ค่า A

ดังนั้นได้ค่าค่า  $K_v$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ  $16.012 \times 10^{-3} \frac{\text{volts}}{\text{rad/sec}}$

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

### กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $V_A$ (V) กับ $\omega$ (rad/sec) (ลือชัย)



รูปที่ 3.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_A$  (V) กับ  $\omega$  (rad/sec) (ลือชัย)

#### 3.3.3.3 การวัดค่าทอร์กคงที่ (Torque Constant; $K_t$ )

ทำการป้อน  $V_m$  แล้ววัดค่า  $I_a$  และแรงดึงของมอเตอร์จากตาชั่ง แต่เนื่องจากตาชั่งมีหน่วยเป็น mg ทำการเปลี่ยนหน่วยให้เป็นนิวตัน

$$\text{จากสมการ } F(g) \times 9.81 = F(N)$$

สามารถคำนวณค่าทอร์กได้จาก  $T = F \times r$  ; เมื่อ  $r$  มีระยะทางเท่ากับ 0.03 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.19 ตัวอย่างตารางการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง (ล้อข้างขวา) เมื่อ  $r = 0.03 \text{ m}$

$V_{in}$	$F(g)$	$F(N)$	$I_a$	$\tau$	$K_t$
3	30	294	0.2	8.82	44.10
4	35	343	0.4	10.29	25.72
6	50	490	0.6	14.70	24.50
7	55	539	0.8	16.17	20.21
8	80	784	1.0	23.52	23.52
11	85	833	1.2	24.99	20.82
12	140	1372	1.4	41.16	29.40
13	145	1421	1.6	42.63	26.64

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + Bn \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ  $I_a$

Y คือ  $\tau$

หาค่า 1.  $\sum xy = 206.976$

2.  $\sum x^2 = 8.16$

3.  $\sum y = 182.28$

4.  $\sum x = 7.2$

5.  $n = 5$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

แก้สมการได้ค่า A

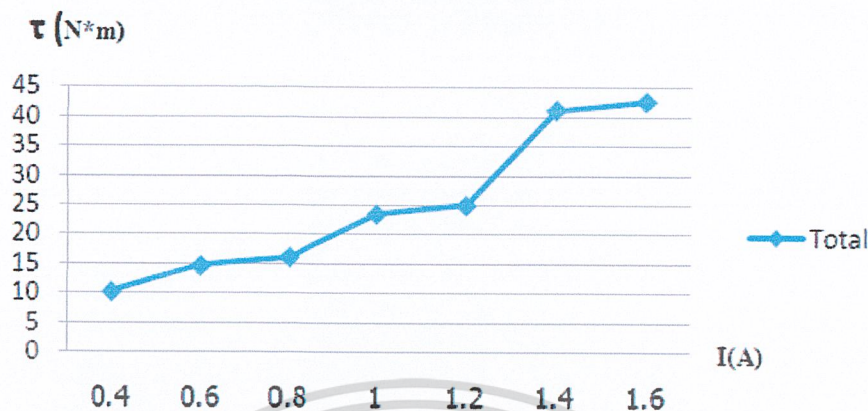
ดังนั้นค่า  $K_t$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ 25.288 Newton-Meter/Ampere

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

$\tau$  (N\*m) กับ  $I$  (A) (ล้อยาว)



รูปที่ 3.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tau$  (N\*m) กับ  $I$  (A) (ล้อยาว)

ตารางที่ 3.20 ตัวอย่างตารางการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง (ล้อยาว) เมื่อ  $r = 0.03$  m

$V_{in}$	F(g)	F(N)	$I_a$	$\tau$	$K_t$
3	30	294	0.2	8.82	44.10
4	35	343	0.4	10.29	25.72
6	45	441	0.6	13.23	22.05
7	60	588	0.8	17.64	22.05
8	80	784	1.0	23.52	23.52
10	80	882	1.2	26.46	22.05
12	135	1323	1.4	39.69	28.35
13	150	1470	1.6	44.1	27.56

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad \dots(1)$$

$$\sum y = A \sum x + BN \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ  $I_a$

Y คือ  $\tau$

หาค่า 1.  $\sum xy = 209.328$

2.  $\sum x^2 = 8.16$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3. \sum y = 183.75$$

$$4. \sum x = 7.2$$

$$5. n = 5$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

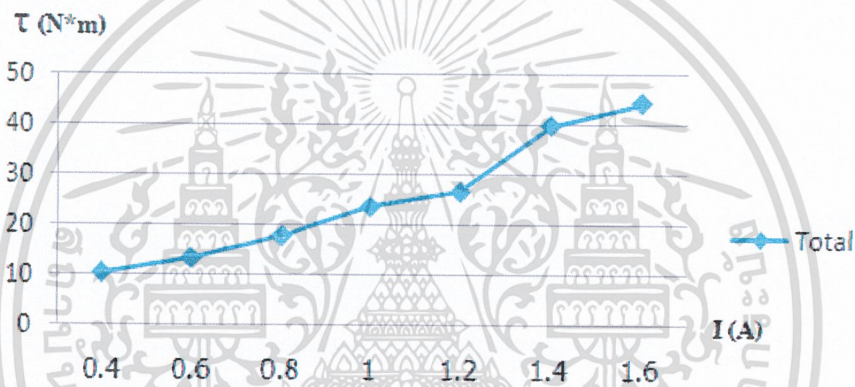
แก้สมการได้ค่า A

ดังนั้นค่า  $K_t$  ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ 25.233 Newton-Meter/Ampere

นำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tau$  (N\*m) กับ I (A)

(ล้อซ้าย)



รูปที่ 3.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tau$  (N\*m) กับ I (A) (ล้อซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.3.4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นในไมโครคอนโทรลเลอร์

การเริ่มต้นในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทำการกำหนดค่าต่างๆให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมควบคุมใช้งาน โมดูล (Module) ต่างๆได้

#### ค่าเริ่มต้นไมโครคอนโทรลเลอร์

Fosc (XTAL)	=	7.37728 MHz
Fcy	=	1.8432 MHz
Tcy	=	0.5425 us
T	=	8.6806 us

#### ค่าเริ่มต้นโมดูล MCPWM

Fpwm	=	10 kHz
Prescaler	=	1
Posrscaler	=	1
Tpwm	=	360
PWM Resolution	=	9.526 bit

#### ค่าเริ่มต้นโมดูล TIMER 1

Prescaler	=	1
Ttimer1	=	200 ms
Period	=	368640

#### 3.3.4.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรม

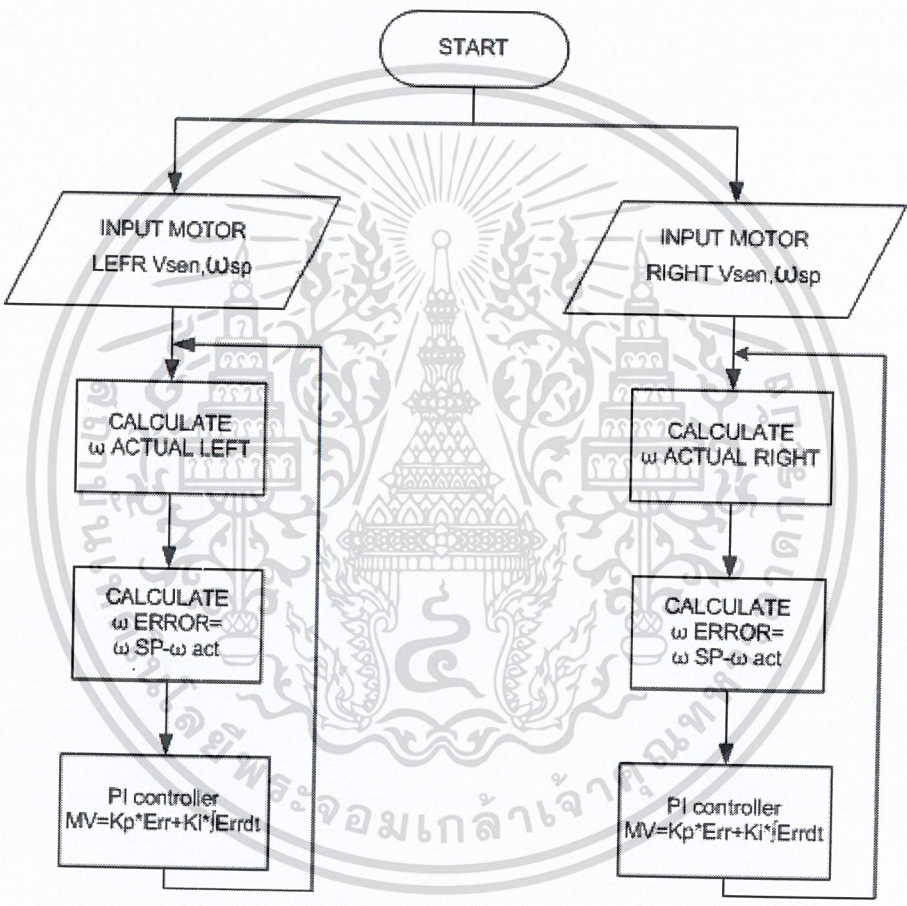
ในการคำนวณหาค่าอัตราเร็วเชิงมุม การควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น สามารถนำค่ามาภายในโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้น ทำการคำนวณภายในโมดูล (Module) ของ Interrupt Timer เพื่อให้เกิดการคำนวณค่าได้ในเวลาที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.3 การควบคุมระบบ

ทำการควบคุมความเร็วมอเตอร์แต่ละข้างให้มีความเร็วที่เท่ากัน ทำให้วิถีการเคลื่อนที่ของรถเป็นแนวเส้นตรง จากนั้นอ่านค่าตำแหน่งที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) เมื่อถึงระยะที่ต้องการ มอเตอร์จะทำการลอคสติกเกอร์ต่อไป

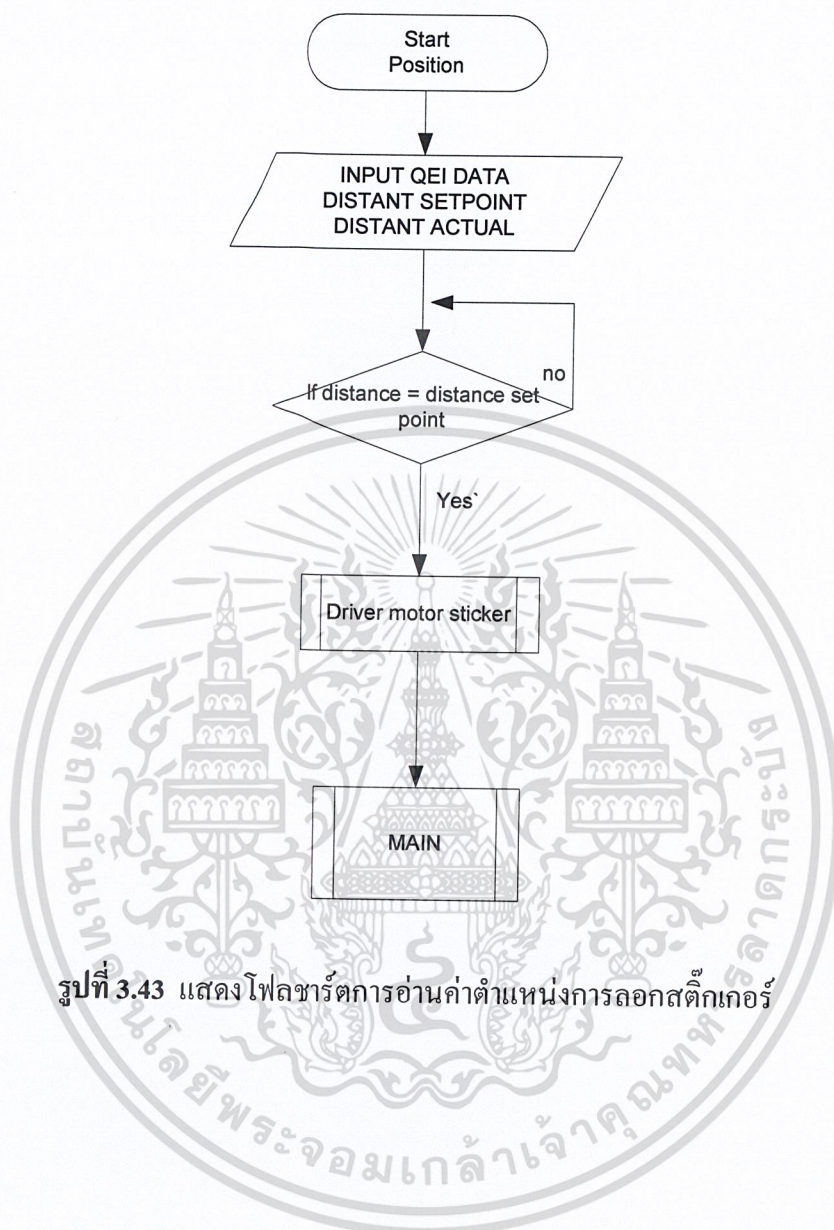
#### 3.3.4.3.1 โฟลชาร์ตควบคุมความเร็วมอเตอร์แต่ละข้าง



รูปที่ 3.42 แสดงโฟลชาร์ตควบคุมความเร็วมอเตอร์แต่ละข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.3.2 โพลซาร์ตการอ่านค่าตำแหน่งการลอกสติ๊กเกอร์



รูปที่ 3.43 แสดงโพลซาร์ตการอ่านค่าตำแหน่งการลอกสติ๊กเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง

#### 4.1 การหาค่ากระแส

##### 4.1.1 การคำนวณทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทางทฤษฎี

$V_{reg}$	2.5	V
Gain	17	เท่า
$V_{out\_at\_0A}$	2.5	V
Sensitivity	0.05	V/A

ดังนั้นได้ค่ากระแสทางทฤษฎีตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสทางทฤษฎี

$V_{out\ Op-am}$ (V)	$V_{out\ Current\ Sensor}$ (V)	$I_{a-Motor\_Sticker}$ (A)
0.00	2.65	2.94
1.25	2.57	1.47
2.50	2.50	0
3.75	2.43	-1.47
5.00	2.35	-2.94

##### 4.1.2 ผลที่ได้จากการสอบเทียบ

เมื่อทดสอบต้องทำการปรับแต่งให้ได้เอาต์พุตตามมาตรฐาน เนื่องจากแรงดันของแบตเตอรี่ไม่คงที่ ส่งผลให้การสอบเทียบของเซ็นเซอร์ไม่เป็นไปตามทฤษฎี การคำนวณค่ากระแสในไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องชดเชยค่ามาก

การควบคุมทิศทางรถเคลื่อนที่ของรถ เมื่อทำการทดลองให้รถเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงพบว่า ทิศทางการเคลื่อนที่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นค่อนข้างมาก เนื่องจากการหาค่าพารามิเตอร์เกิดความคลาดเคลื่อน ส่วนของเมคคานิกส์เกิดข้อผิดพลาด ต้องทำการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งของแมคคานิกส์ (Mechanic) ออกแบบรถเคลื่อนที่ตามตำแหน่ง และตัวลอคสติกเกอร์ ส่วนที่สองอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) ควบคุมการลอคสติกเกอร์ ออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง วงจรควบคุมมอเตอร์ และวงจรแหล่งจ่าย ส่วนสุดท้ายคือส่วนของคอนโทรลกับโปรแกรมมิ่ง (Control & Programming) ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของรถพบว่า การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงนำไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มีโมดูล MCPWM สร้างสัญญาณพัลส์วิดท์โมดูเลชัน (Plus Width Modulation: PWM) สามารถเพิ่มและลดความเร็วได้ การเพิ่มและลดความกว้างของสัญญาณพัลส์ให้กว้างขึ้นหรือแคบลง ส่งผลกับการเพิ่มค่ากระแสหรือลดค่ากระแสให้กับมอเตอร์ ถ้าสัญญาณพัลส์มีความกว้างเต็มที่จะไม่สามารถเพิ่มความเร็วได้อีกในระบบควบคุมความเร็วสามารถกำหนดความเร็วให้คงที่หรือเปลี่ยนค่าได้ตามที่ต้องการได้

และโครงการนี้อาจมีการพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน และเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 5.2 ปัญหา

1. ส่วนของรถเคลื่อนที่ตามตำแหน่ง ผู้ทำโครงการขาดความชำนาญในการเขียน Program Solidworks การออกแบบส่วนประกอบหลายๆ ส่วนต้องปรับแก้หลายครั้ง
2. ส่วนประกอบของรถเคลื่อนที่ตามตำแหน่ง บางชิ้นหาซื้อค่อนข้างยากหรือไม่มีจำหน่ายทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงาน
3. ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้ทำโครงการไม่ชำนาญการใช้งาน dsPIC โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจากการศึกษาด้วยตนเอง การทำงานของ dsPIC จึงเกิดความผิดพลาด
4. ส่วนอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับวงจรต่างๆ ผู้ทำโครงการยังไม่มี ความชำนาญ ต้องทำการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] นคร ภัคดีชาติ. คู่มือทางการทดลองเบื้องต้น *dsPIC Microcontroller* ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ *MPLAD C30*. บริษัท อิน โนเวทิฟ เอกเพอริเมนต์ จำกัด, 2550
- [2] ศิวะ หงส์นภา. การควบคุมและประยุกต์ใช้งานดีซีไดรฟ์. บริษัท กู๊ดวิลดีโด้เรกซัน จำกัด, 2547
- [3] ศิวะ หงส์นภา. ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(วงจรรภาคกำลัง). สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2543
- [4] โยชิโน เปรมปราณีรัชต์. ระบบเซ็นเซอร์และอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลเลอร์. สำนักพิมพ์ Japan International Cooperation Agency (JICA), 2553
- [5] รศ.สัมพันธ์ หาญชเล. เครื่องจักรกลไฟฟ้า เล่ม 2, 2537
- [6] ผศ.พิชิต ถ้ายอง. เครื่องกลไฟฟ้า, 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<p30f4011.h>
#include<stdio.h>
#include<pwm.h>
#include<adc10.h>
#include<timer.h>
#include<math.h>
#include<qei.h>

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT); //disable SW & mon disabled & XT
w/PLL 1x
_FWDT(WDT_OFF); //watchdog timer off

//===== variable =====
//----- analog module -----
unsigned int result[3], start, order_AN;
unsigned int result_AN0, result_AN1, result_AN2;

//----- variable motor -----
float Vss = 0;
int test = 1;

//---- motor left ----
float W_L = 0;
float Ia_L = 0;
float Ra_L = 10.93;
float Kv_L = 0.002584;
float Kpw_L = 24.166;
float Kpv_L = 0.0611;
float Kvi_L = -0.712;

float Vsen_M_L;
float Vsen_M_L0 = 2.555;//v

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float          W_R    = 0;
float          Ia_R   = 0;
float          Ra_R   = 8.034;
float          Kv_R   = 0.00307;
float          Kpw_R  = 24.944;
float          Kpv_R  = 0.0627;
float          Kvi_R  = -0.875;

float          Vsen_M_R;
float          Vsen_M_R0 = 2.529; //V

//----- variable PI controller -----
float          W_sp= 8900; //25%
PDC1/PDC2=90/ sp=2200

//50% PDC1/PDC2=180 sp=4500
//75% PDC1/PDC2=270/ sp=6700
//100% PDC1/PDC2=360 sp=8900

float          Tcy = 0.000000543;

float          Kp_R   =0.075;
float          Ki_R   =2;
float          W_err_R   =0;
float          MV_R   =0;
float          Integral_R=0;
float          COMP_PDC1 =0;
float          Force_PDC1=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 float Kp\_L =0.09;
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float          Ki_L    =2;
float          W_err_L    =0;
float          MV_L    =0;
float          Integral_L=0;
float          COMP_PDC2=0;
float          Force_PDC2=0;

```

```
//----- variable QEI -----
```

```

unsigned int   C_p = 0;
unsigned int   C_p_sp = 0 ;
unsigned int   X_sp = 1000;
int           wait;

```

```
//-----hardware note -----
```

```

// Fosc (XTAL)      : 7.3728 MHz
// PLLx             : 1
// Fcy              : (Fosc/4)*PLLx = 1.842 MHz
// Tcy              : 1/[(Fosc*PLLx)/4] = 0.543 us = 0.000000543
// T                : (4*prescaler)/(Fosc*PLLx) = 0.543 us

```

```
// PWM -----
```

```

// Fosc (XTAL)      : 7.3728 MHz
// Fcy              : (Fosc/4)*PLLx = 7.3728 MHz
// prescaler        : 1
// postscaler       : 1
// Fpwm             : 10 kHz
// Tpwm(period)     : (Fcy/[Fpwm*prescaler])-1
//                  : (1843200/[10*16])-1
// PTPER            : 183

```

```
// PWM Resolution   : [log(Fosc/Fpwm)]/[log2] bit
```

```
// Duty 0-100%     : 0-183
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// timer1 Interup-----cal motor sticker
//-----Motor control sticker
void_ISR_T1Interrupt(void)
{
//----- cal Ia -----
    Ia_R = (Vsen_M_R - Vsen_M_R0)/Kvi_R;
    Ia_L = (Vsen_M_L - Vsen_M_L0)/Kvi_L;

//----- cal W actual -----
    W_R = ((PDC1*Kpv_R)-(Ia_R*Ra_R))/Kv_R; //RPM
    W_L = ((PDC2*Kpv_L)-(Ia_L*Ra_L))/Kv_L; //RPM

//----- PI controller -----
//-- PI control right
    W_err_R = W_sp - W_R;
    Integral_R = (Integral_R + (W_err_R*Tcy));
    MV_R = ((Kp_R*W_err_R) + Ki_R*Integral_R);

//-- PI control left
    W_err_L = W_sp - W_L;
    Integral_L = (Integral_L + (W_err_L*Tcy));
    MV_L = ((Kp_L*W_err_L) + Ki_L*Integral_L);

    if(MV_R>0 && MV_R<0)
    {
        COMP_PDC1 = MV_R;
    }

    if(MV_L>0 && MV_L<0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

//-- control direction Right --
    if(W_sp>0)
    {
        Force_PDC1 = PDC1+COMP_PDC1;
        //M_R_foward
        OVDCONbits.POVD1H=1; OVDCONbits.POVD1L=0;
        //M_R reward
        //OVDCONbits.POVD1H=0; OVDCONbits.POVD1L=1;
        PDC1 = Force_PDC1;
    }

//-- control direction Left --
    if(W_sp>0)
    {
        Force_PDC2 = PDC2+COMP_PDC2;
        //M_L_foward
        OVDCONbits.POVD2H=0; OVDCONbits.POVD2L=1;
        //OVDCONbits.POVD2H=1; OVDCONbits.POVD2L=0;
        PDC2 =Force_PDC2;
    }

    _T1IF = 0;    // Clear Timer1 Interrupt flag
}

```

//===== TIMER 1 ===== calculate motor sticker

void Timer1\_Init(void)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้ศึกษาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    unsigned int config, period;

    CloseTimer1();                // Close Timer1

    ConfigIntTimer1(T1_INT_ON);   // Config Int Timer1

    // Timer1 Control Register (T1CON) Bit Defines
    config = T1_ON &                // Timer1 ON
            T1_IDLE_STOP &          // stop operation during sleep
            T1_GATE_OFF &          // Timer Gate time accumulation
disabled
            T1_PS_1_1 &            // Prescaler 1:1
            T1_SYNC_EXT_OFF &      // Do not synch external clk input
            T1_SOURCE_INT;          // Internal clock source

    period = 405;                  // Set PR1 Register    23041= 200ms

    OpenTimer1(config,period);     // Open Timer1
}

//=====MCPWM=====

```

```

void Init_MCPWM(void)

```

```

{
    PTCON = 0;
    PTPER = 183;                //0-360
    SEVTCMP = 0;
    PWMCON1 = 0X0FFF;
    PWMCON2 = 0X0002;
    OVDCON = 0X0000;

```

```

    PDC1 = 0;

```

```

    PDC2 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PDC3 = 0;
    }

//=====ADC10=====

```

```

void Init_ADC(void)

```

```

{
    unsigned int config1, config2, config3;
    unsigned int configport, configscan;
    unsigned int channel;

```

```

    CloseADC10(); // Turn off A/D

```

```

// Configure ADCON1 register

```

```

config1 = ADC_MODULE_OFF & // ADON A/D Converter oFF
          ADC_IDLE_CONTINUE & // A/D Operate in Idle mode
          ADC_FORMAT_FRACT & // A/D data format integer flote no sing
          ADC_CLK_AUTO & // sampling/conversion (Auto convert)
          ADC_SAMPLE_SIMULTANEOUS & // sequence sampling
          ADC_AUTO_SAMPLING_ON & // Auto sampling Select
          ADC_SAMP_ON; // sample / hold amplifiers are sampling

```

```

// Configure ADCON2 register

```

```

config2 = ADC_VREF_AVDD_AVSS & // Vref+ is AVdd and Vref- is AVss
          ADC_SCAN_ON & // Do Scan Input
          ADC_CONVERT_CH0 & // A/D channels utilised
          ADC_SAMPLES_PER_INT_4 & // interrupt at 4th sample
          ADC_ALT_BUF_OFF & // Buffer 16-word buffer
          ADC_ALT_INPUT_OFF; // use MUXA only

```

```

// Configure ADCON3 register

```

```

config3 = ADC_SAMPLE_TIME_3 & // A/D Auto Sample Time 3 Tad

```

```
ADC_CONV_CLK_SYSTEM & // Clock Source Clock derived from system clock
ADC_CONV_CLK_3Tcy2; // A/D Conversion Clock Select bits
```

```
// port an ADPCFG register
```

```
configport = ENABLE_AN0_ANA & // RB0/AN0 analog port
             ENABLE_AN1_ANA; // RB1/AN1 analog port
```

```
// Configure ADCSSL register
```

```
configscan = SKIP_SCAN_AN2 & // scan for AN0-AN1
             SKIP_SCAN_AN3 &
             SKIP_SCAN_AN4 &
             SKIP_SCAN_AN5 &
             SKIP_SCAN_AN6 &
             SKIP_SCAN_AN7;
```

```
OpenADC10(config1, config2, config3, configport, configscan); // configures the ADC
```

```
// Configure ADCHS register
```

```
channel = ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN0 & // A/D Chan 0 pos i/p sel for SAMPLE A
is AN0
```

```
ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN1 & // A/D Chan 0 pos i/p sel for SAMPLE A is
AN1
```

```
ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN2 & // A/D Chan 0 pos i/p sel for
SAMPLE A is AN2
```

```
ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF; // A/D CHA, CHB, CHC neg input is VREF
```

```
SetChanADC10(channel); // set channel configuration
```

```
}
```

```
//=====QEI=====
```

```
//QEI Interrup
```

```
void Init_Qei(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//function on motor sticker
    _QEIIIF = 0;
}

void Init_QEI(void)
{
    // Enable QEI Interrupt and Priority to "1"
    ConfigIntQEI(QEI_INT_PRI_1 & // Setting the priority 1
        QEI_INT_ENABLE // Set the Interrupt enable bit
    );

    OpenQEI(QEI_DIR_SEL_CNTRL & // Control/Status Bit, QEICON<11>, Defines Timer
        Counter (POSCNT) Direction
        QEI_INT_CLK & // Internal clock (FOSC/4)
        QEI_INDEX_RESET_DISABLE & // Index Pulse does not reset Position Counter
        QEI_CLK_PRESCALE_256 & // QEI 1:256 prescale value
        QEI_GATED_ACC_DISABLE & // QEI Timer gated time accumulation enabled
        QEI_LOGIC_CONTROL_IO & // QEI logic controls state of I/O pin
        QEI_INPUTS_NOSWAP & // QEI Phase A and Phase B inputs not swapped
        QEI_MODE_x4_MATCH & // x4 mode with position counter reset by match
        (MAXCNT)
        QEI_IDLE_CON, // QEI Discontinue module operation when device enters a idle
mode.
        0 // configures the Digital Filters (DFLTCON)
    );

    //POSCNT = 0; // Set Position Counter Register
    MAXCNT = 0xFFFF; // Set Maximum Count Register
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดโดยไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

//=====main=====

```

int main (void)
{
//-----Open module

Init_MCPWM();          //call MCPWM Module
PTCONbits.PTEN = 1;   //enable MCPWM

Init_ADC();            //call ADC
ADCON1bits.ADON = 1;  //enable ADC
ConvertADC10();       //Convert ADC
ADCON1bits.SAMP = 1;  //start sampling

Timer1_Init();        //call timer

Init_QEI();           //call QEI

while(1)
{
//-----read analog

for(order_AN=0;order_AN<3;order_AN++)
{
result[order_AN] = ReadADC10(order_AN);
}

result_AN0 = result[0];          //current sensor motor right
result_AN1 = result[1];          //current sensor motor left
result_AN2 = result[2];

//----- convert to value display 100%=65472----
Vsen_M_R = (result_AN0/13094);
Vsen_M_L = (result_AN1/13094);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PDC3=0;

//

}

}

return 0;

}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ACS754xCB-050**

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with High Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

## Discontinued Product

These parts are no longer in production. The device should not be purchased for new design applications. Samples are no longer available.

Date of status change: May 3, 2010

### Recommended Substitutions:

For existing customer transition, and for new customers or new applications, refer to the [ACS758](#).

**NOTE:** For detailed information on purchasing options, contact your local Allegro field applications engineer or sales representative.

*Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, revisions to the anticipated product life cycle plan for a product to accommodate changes in production capabilities, alternative product availabilities, or market demand. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.*

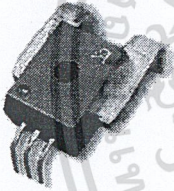
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with High Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Features and Benefits

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- 3 kV<sub>RMS</sub> isolation voltage between terminals 4/5 and pins 1/2/3 for up to 1 minute
- 35 kHz bandwidth
- Automotive temperature range
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: 100  $\mu\Omega$  internal conductor resistance
- Ratiometric output from supply voltage
- Extremely stable output offset voltage
- Small package size, with easy mounting capability
- Output proportional to AC and DC currents

### Package: 5 pin package (leadform PFF)



### Description

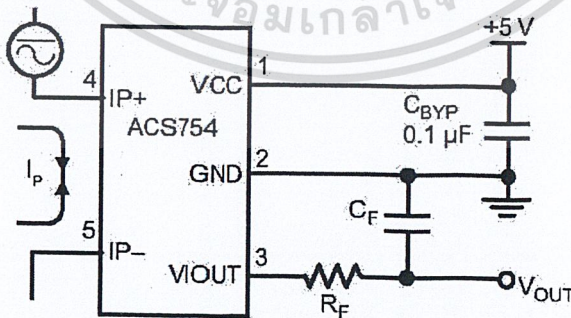
The Allegro ACS75x family of current sensor ICs provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{CC}/2$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is typically 100  $\mu\Omega$ , providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS754 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_P$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

**ACS754xCB-050**

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with High Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

**Description (continued)**

5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 1 through 3). This allows the ACS75x family of sensor ICs to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The device is fully calibrated prior to shipment from the factory. The ACS75x family is lead (Pb) free. All pins are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

**Selection Guide**

Part Number	T <sub>OP</sub> (°C)	Primary Sampled Current, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity Sens (Typ.) (mV/A)	Package		Packing <sup>1</sup>
				Terminals	Signal Pins	
ACS754LCB-050-PFF <sup>2</sup>	-40 to 150	±50	40	Formed	Formed	Bulk, 170 pieces/bag

<sup>1</sup>Contact Allegro for additional packing options.

<sup>2</sup>Variants in production but has been determined to be LAST TIME BUY. This classification indicates that the variant is obsolete and notice has been given. Sale of the variant is currently restricted to existing customer applications. The variant should not be purchased for new design applications because of obsolescence in the near future. Samples are no longer available. Status date change November 2, 2009. Deadline for receipt of LAST TIME BUY orders is April 30, 2010. Recommended substitute: ACS758LCB-050B-PFF-T.

**Absolute Maximum Ratings**

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		16	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-16	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		16	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Maximum Basic Isolation Voltage	V <sub>ISO</sub>		353 VAC, 500 VDC, or V <sub>pk</sub>	V
Maximum Rated Input Current	I <sub>IN</sub>		200	A
Output Current Source	I <sub>OUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>OUT(SINK)</sub>		10	mA
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range L	-40 to 150	°C
		Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

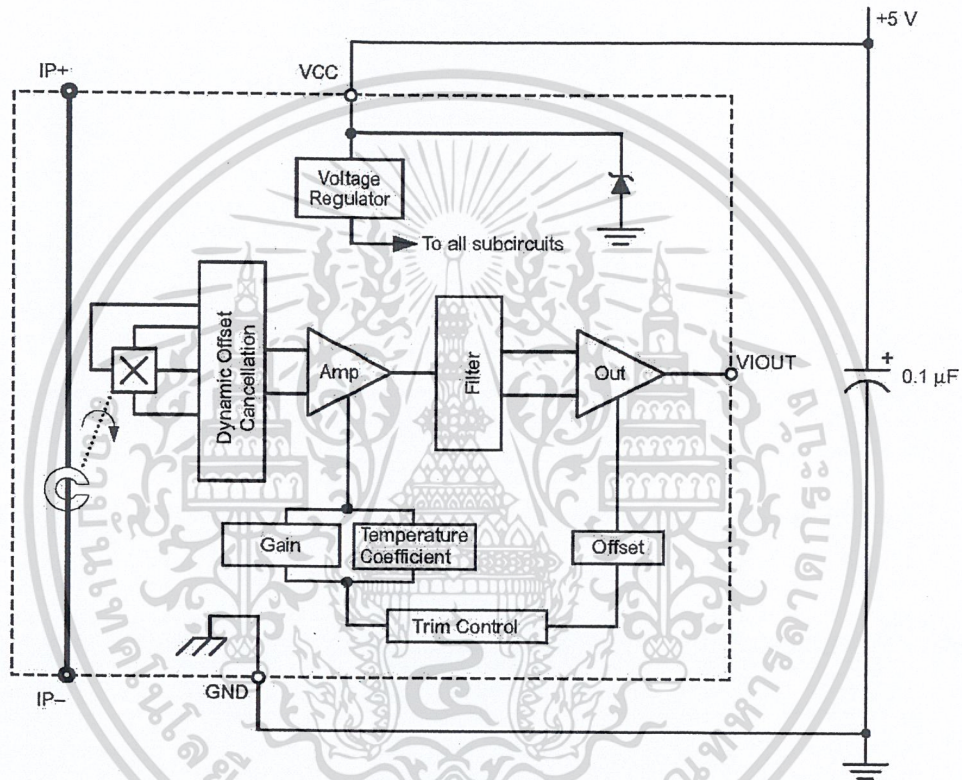


TÜV America Certificate Number: U8V 04 11 54214 001	Fire and Electric Shock EN60950-1:2001
---	---

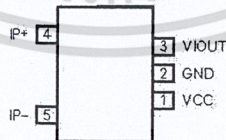


Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1	VCC	Device power supply pin
2	GND	Signal ground pin
3	VIOUT	Analog output signal pin
4	IP+	Terminal for current being sampled
5	IP-	Terminal for current being sampled

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS, over operating ambient temperature range unless otherwise stated**

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Primary Sampled Current	$I_P$		-50	-	50	A
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6.5	8	10	mA
Output Resistance	$R_{OUT}$	$I_{OUT} = 1.2$ mA	-	1	2	$\Omega$
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	$V_{OUT}$ to GND	-	-	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	$V_{OUT}$ to GND	4.7	-	-	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$I_P = \pm 100$ A; $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	100	-	$\mu\Omega$
		Pins 1-3 and 4-5; 60 Hz, 1 minute	3.0	-	-	kV

**PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -20°C to +85°C,  $V_{CC} = 5$  V unless otherwise specified**

Propagation time	$t_{PROP}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	4	-	$\mu\text{s}$
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	12	-	$\mu\text{s}$
Rise time	$t_r$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	11	-	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	40	-	mV/A
		Over full range of $I_P$	37.8	-	42.0	mV/A
Noise	$V_{NOISE}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , no external filter	-	65	-	mV
Linearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 1.5$	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(0)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	$V_{OE}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-20	-	20	mV
Magnetic Offset Error	$I_{ERROM}$	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	$\pm 0.1$	$\pm 0.40$	A
Total Output Error (Including all offsets)	$E_{TOT}$	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.0$	-	%
		Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 5.0$	%

**PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -40°C to +150°C,  $V_{CC} = 5$  V unless otherwise specified**

Propagation time	$t_{PROP}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	4	-	$\mu\text{s}$
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	12	-	$\mu\text{s}$
Rise time	$t_r$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	11	-	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	40	-	mV/A
		Over full range of $I_P$	36.0	-	42.8	mV/A
Noise	$V_{NOISE}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , no external filter	-	65	-	mV
Linearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 1.8$	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(0)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	$V_{OE}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-35	-	35	mV
Magnetic Offset Error	$I_{ERROM}$	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	$\pm 0.1$	$\pm 0.40$	A
Total Output Error (Including all offsets)	$E_{TOT}$	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.0$	-	%
		Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 9.9$	%

## Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens).** The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise ( $V_{NOISE}$ ).** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity ( $E_{LIN}$ ).** The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}} \quad V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT\_half-scale \text{ amperes}} \quad V_{IOUT(Q)})} \right] \right\}$$

where

$\Delta$  gain = the gain variation as a function of temperature changes from 25°C,

% sat = the percentage of saturation of the flux concentrator, which becomes significant as the current being sampled approaches full-scale  $\pm I_P$ , and

$V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}}$  = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale  $\pm I_P$ .

**Symmetry ( $E_{SYM}$ ).** The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following equation is used to derive symmetry:

$$100 \left( \frac{V_{IOUT\_+ \text{ full-scale amperes}} \quad V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} \quad V_{IOUT\_ \text{ full-scale amperes}}} \right)$$

**Quiescent output voltage ( $V_{IOUT(Q)}$ ).** The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{IOUT(Q)} = 2.5$  V. Variation in  $V_{IOUT(Q)}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim, magnetic hysteresis, and thermal drift.

**Electrical offset voltage ( $V_{OE}$ ).** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes.

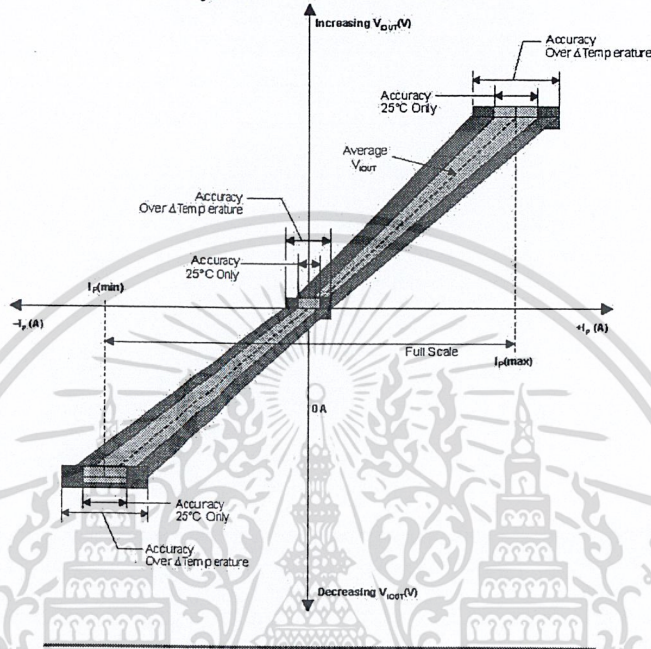
**Magnetic offset error ( $I_{ERROM}$ ).** The magnetic offset is due to the residual magnetism (remnant field) of the core material. The magnetic offset error is highest when the magnetic circuit has been saturated, usually when the device has been subjected to a full-scale or high-current overload condition. The magnetic offset is largely dependent on the material used as a flux concentrator. The larger magnetic offsets are observed at the lower operating temperatures.

**Accuracy ( $E_{TOT}$ ).** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

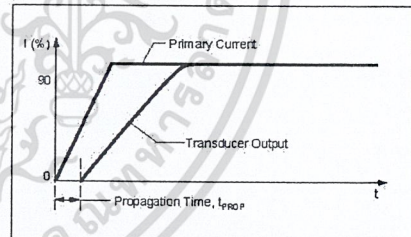
- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

Output Voltage versus Sampled Current  
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

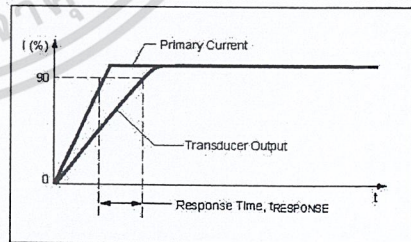


Definitions of Dynamic Response Characteristics

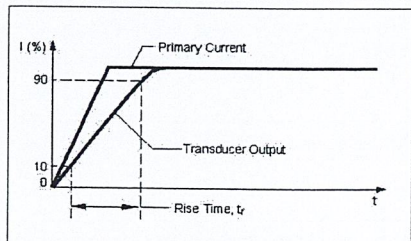
**Propagation delay ( $t_{PROP}$ ).** The time required for the device output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



**Response time ( $t_{RESPONSE}$ ).** The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the device reaches 90% of its output corresponding to the applied current.

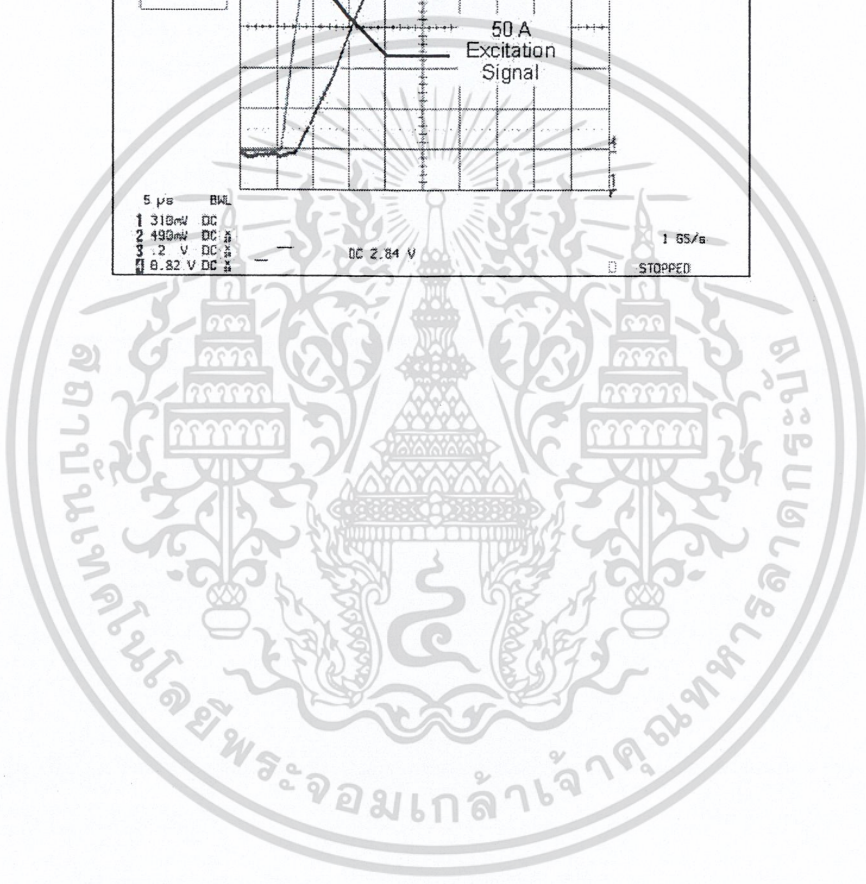
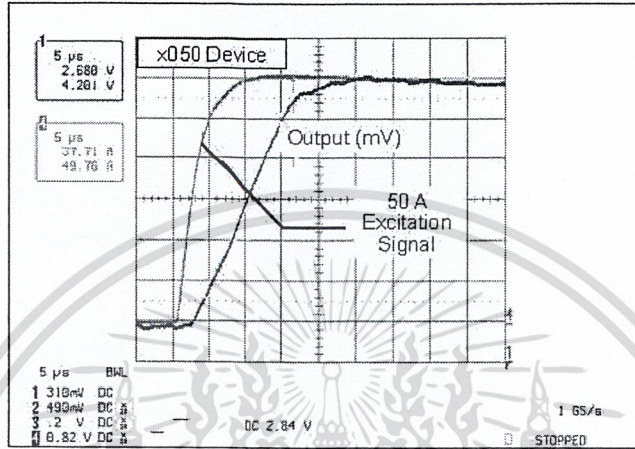


**Rise time ( $t_r$ ).** The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which  $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{RESPONSE}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.

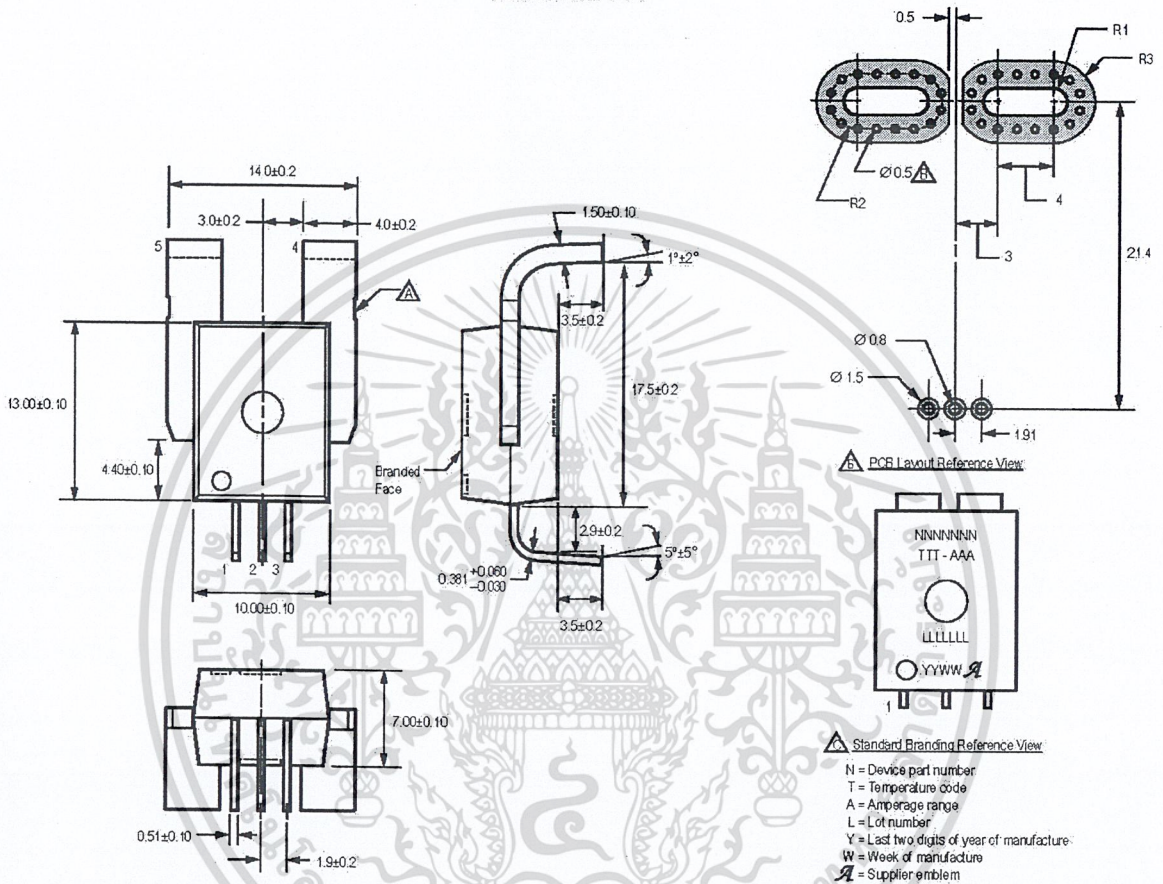


Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with High Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Step Response  
No external filter,  $T_A=25^\circ\text{C}$



Package CB, 5-pin package  
Leadform PFF



Copyright ©2004-2010, Allegro MicroSystems, Inc.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



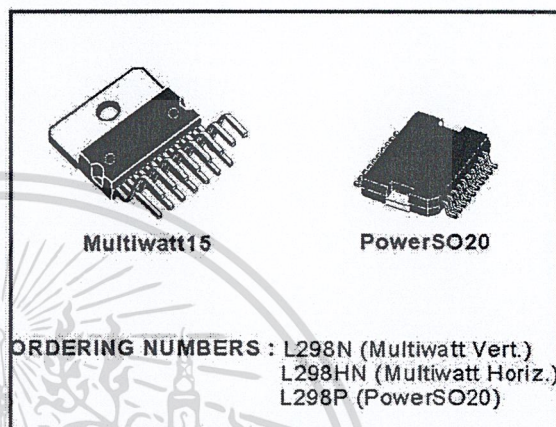
Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000, [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



L298

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

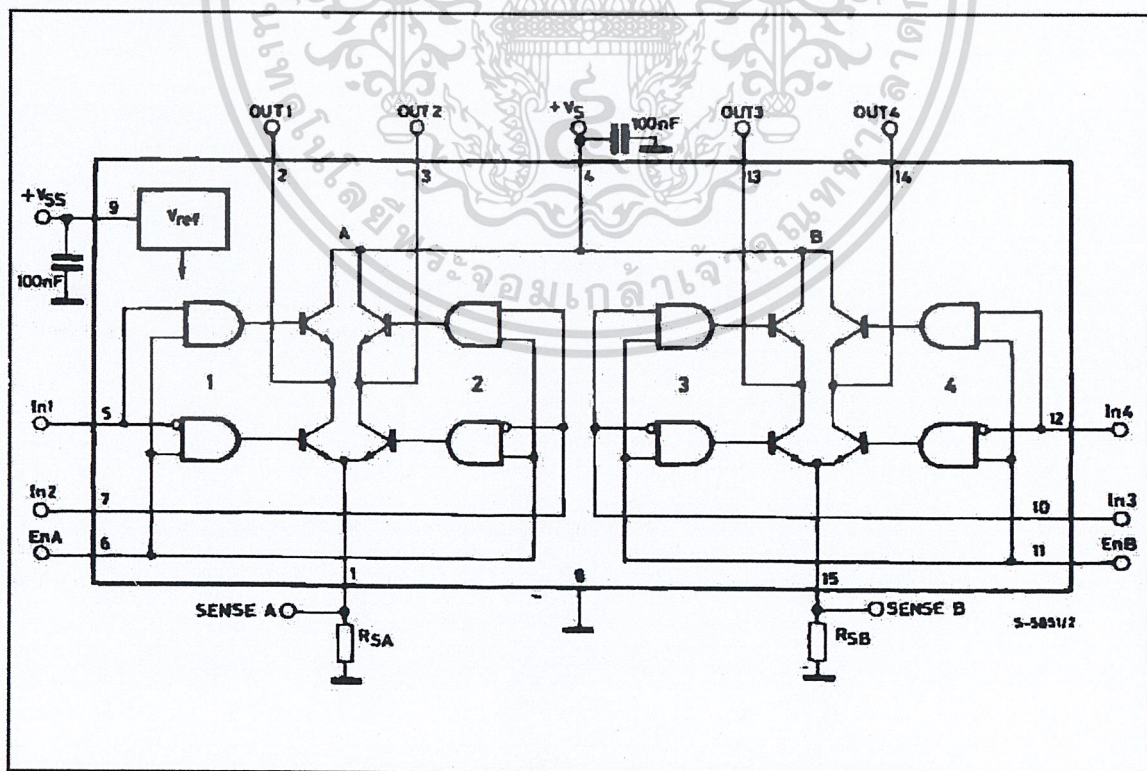


### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-

nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

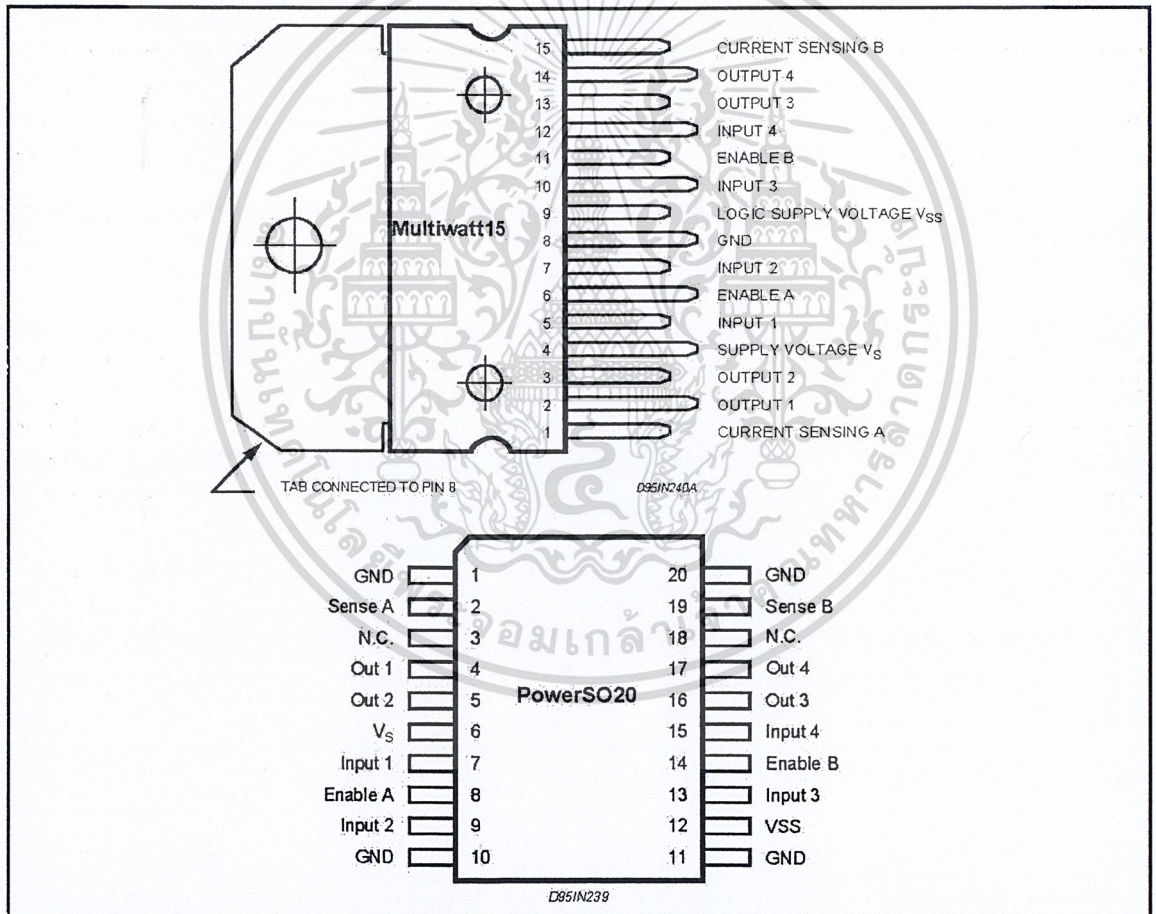
### BLOCK DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ )	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off, $t_{on} = 10ms$ )	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

## PIN CONNECTIONS (top view)



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(\*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>S</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V <sub>SS</sub>	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V, T<sub>j</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>S</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0 V <sub>i</sub> = L V <sub>i</sub> = H		13 50	22 70	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = L V <sub>i</sub> = L V <sub>i</sub> = H V <sub>i</sub> = X		24 7	36 12	mA
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>IL</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = L			-10	μA
I <sub>IH</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat</sub> (H)	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V <sub>CEsat</sub> (L)	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T <sub>1</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		1.5		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.2		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		2		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.7		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.7		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		1.6		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.2		μs
f <sub>c</sub> (V <sub>I</sub> )	Commutation Frequency	I <sub>L</sub> = 2A		25	40	KHz
T <sub>1</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		3		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		1		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.3		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.4		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		2.2		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.35		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V<sub>sen</sub> min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

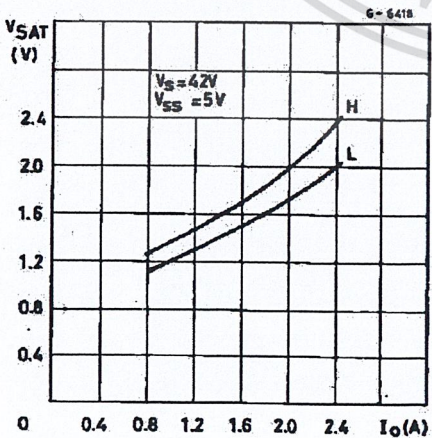
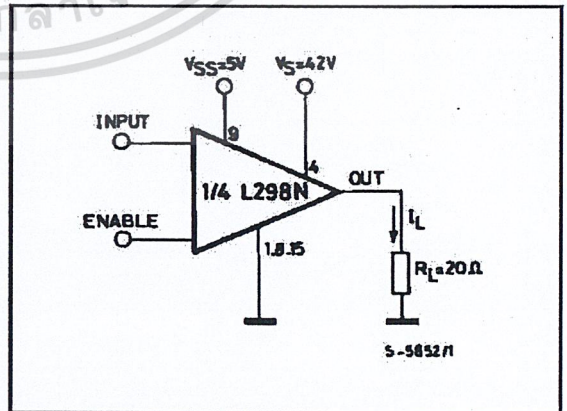


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
 For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

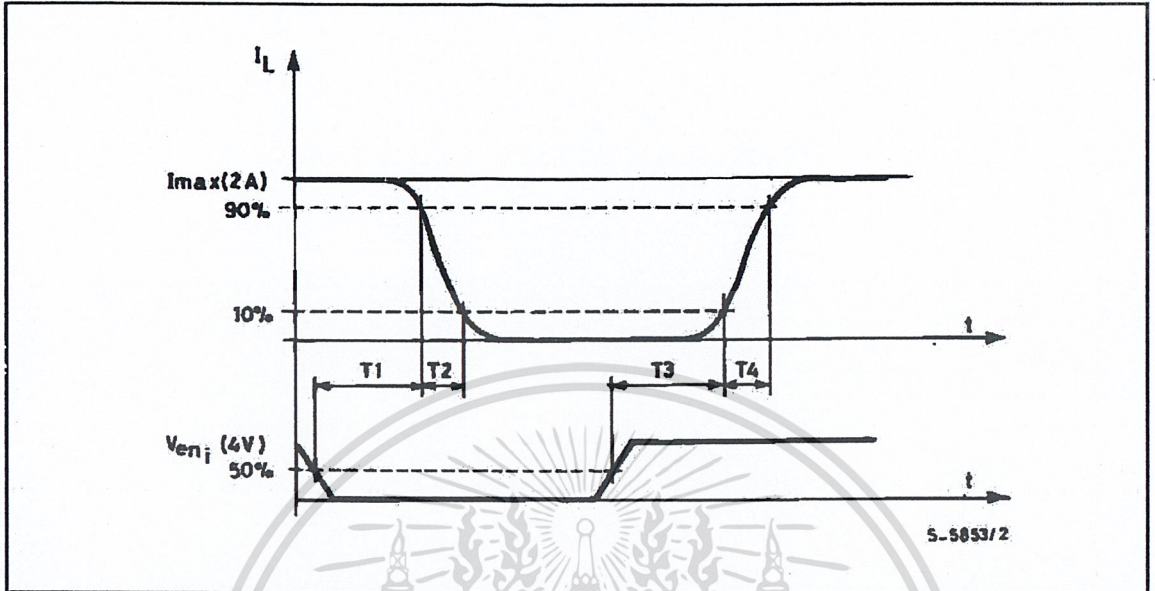
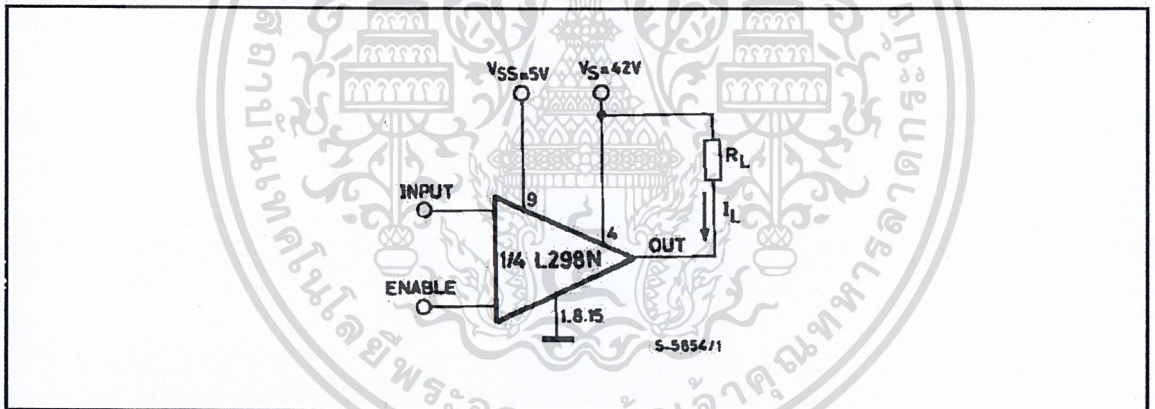


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

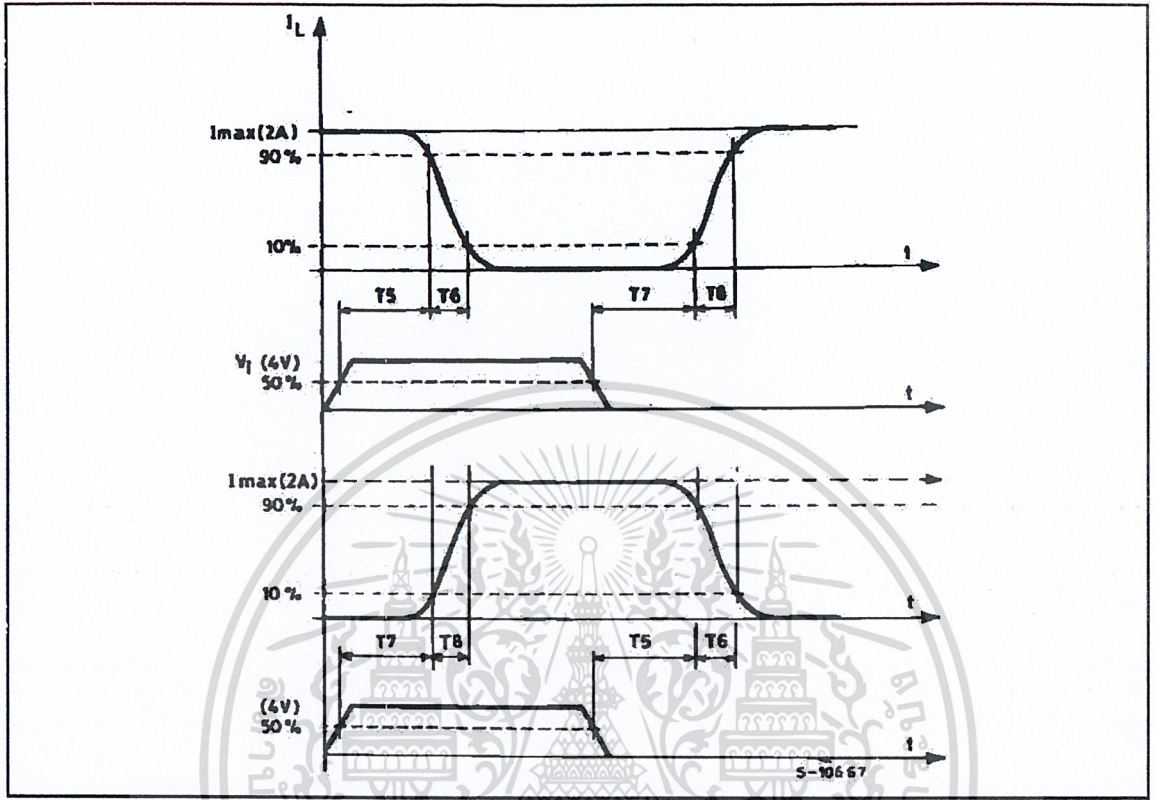
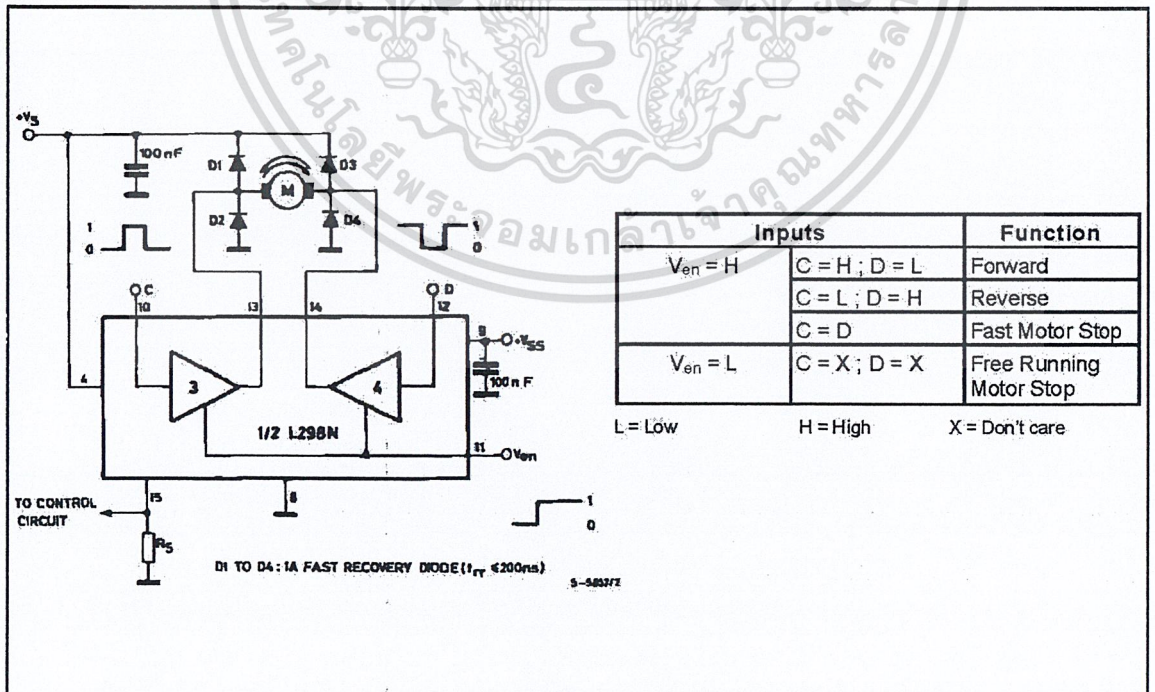
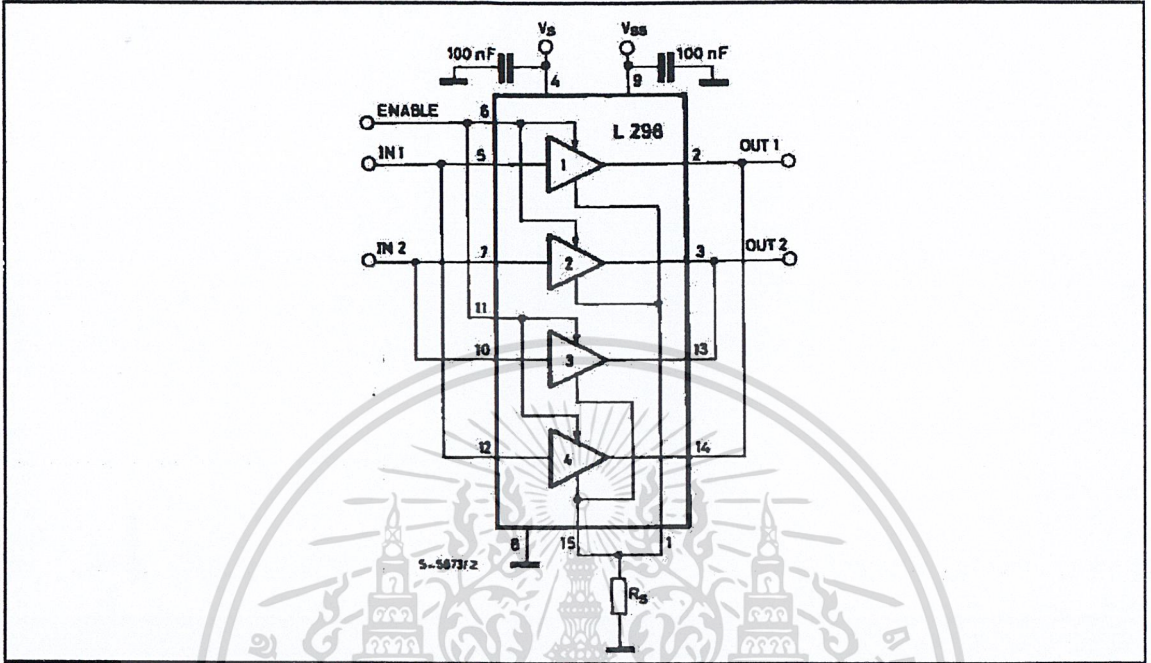


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



**Figure 7 :** For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



## APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor ( $R_{SA}$  ;  $R_{SB}$ ) allows to detect the intensity of this current.

### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

### 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_s$  and  $V_{ss}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_s$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

### 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $t_{rr} \leq 200$  nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

**L298**

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

**Figure 8 :** Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

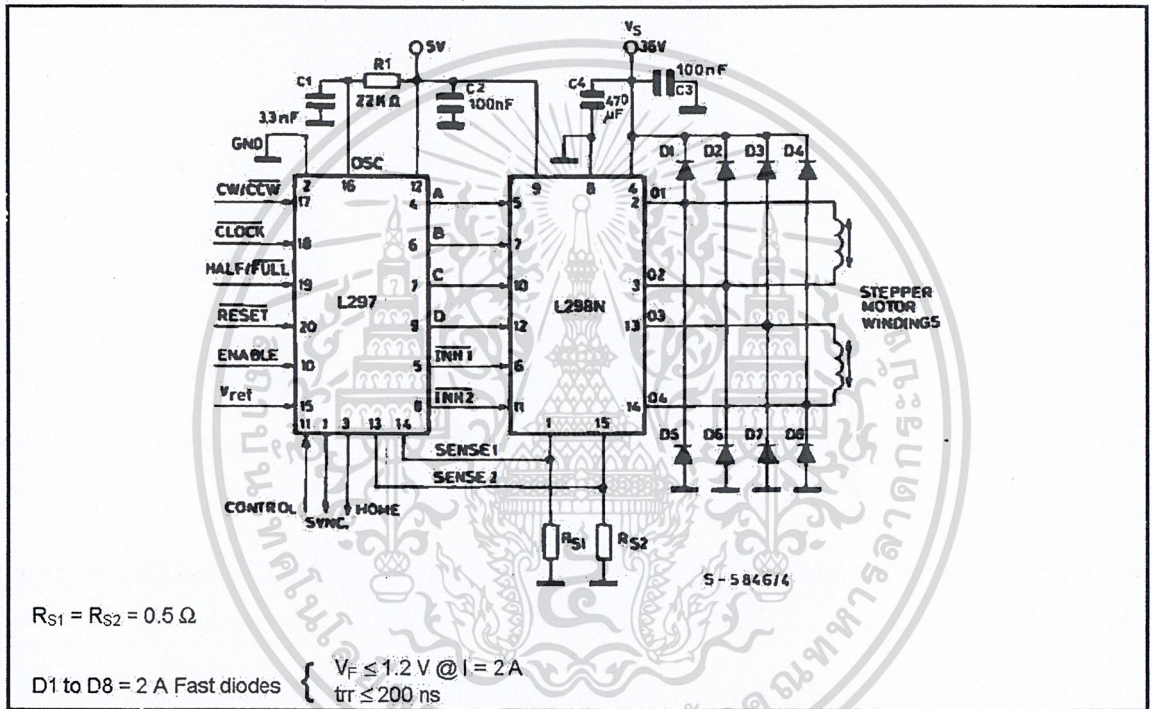


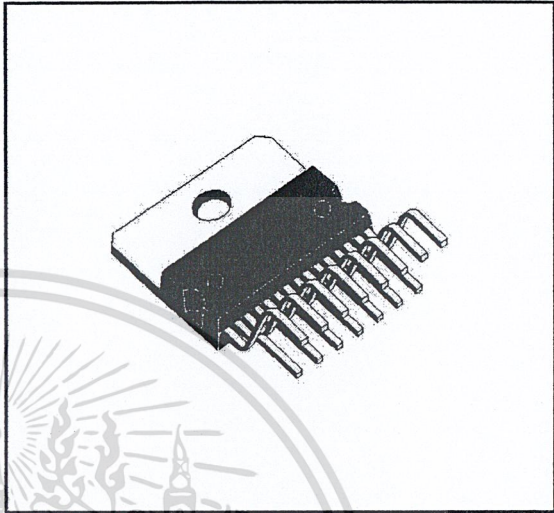
Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.



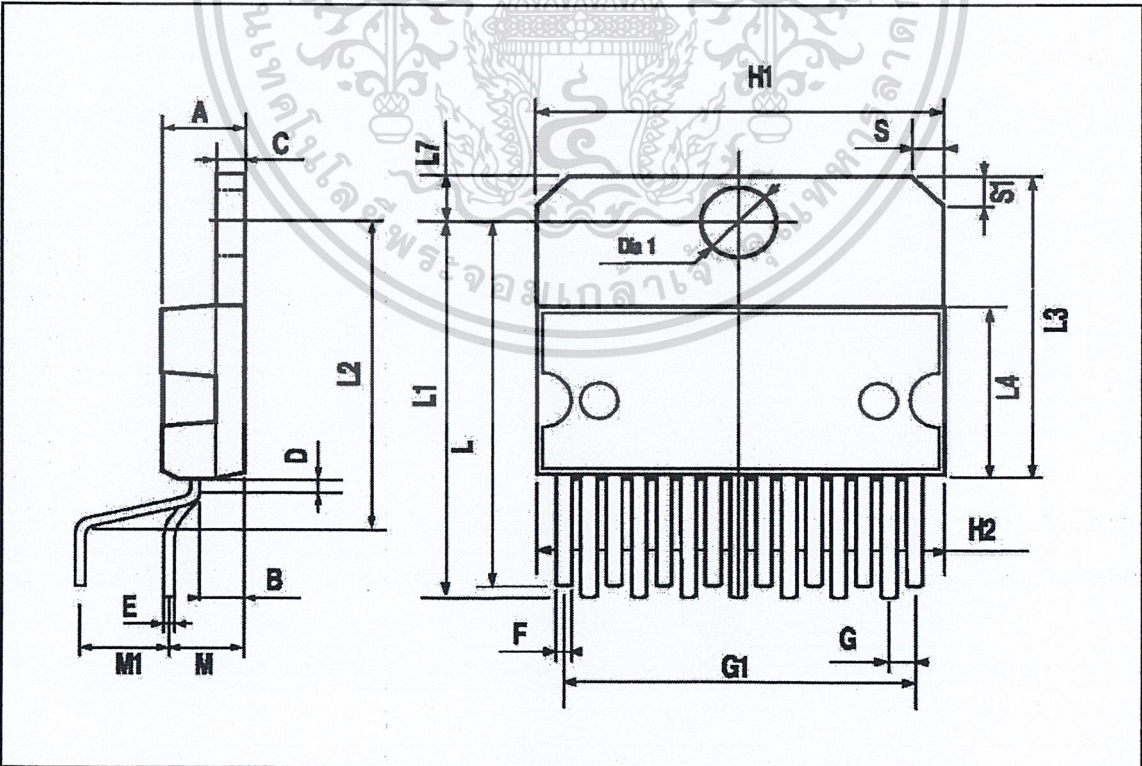
L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

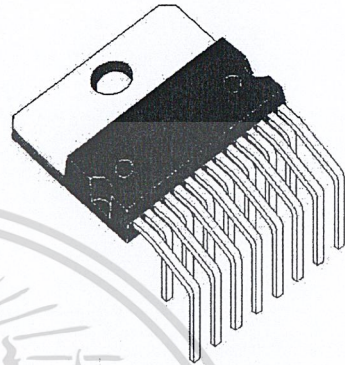


Multiwatt15 V

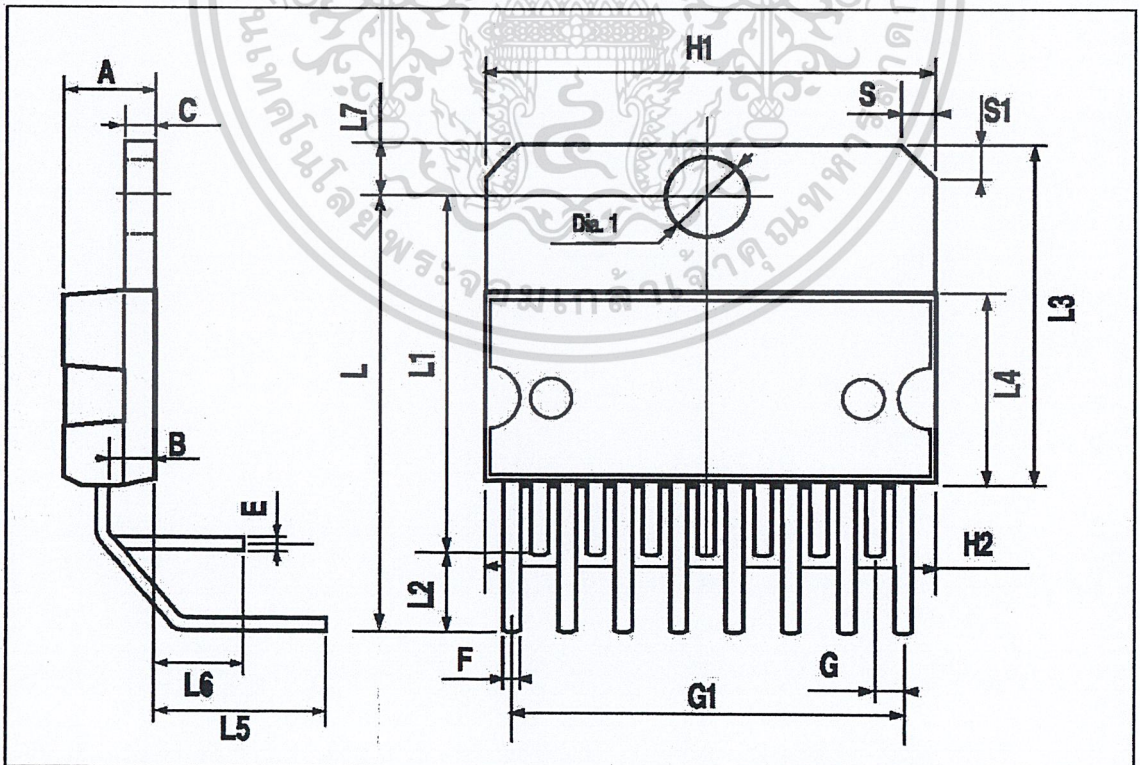


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

## OUTLINE AND MECHANICAL DATA

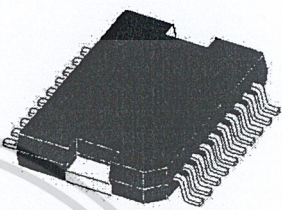


**Multiwatt15 H**



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

### OUTLINE AND MECHANICAL DATA

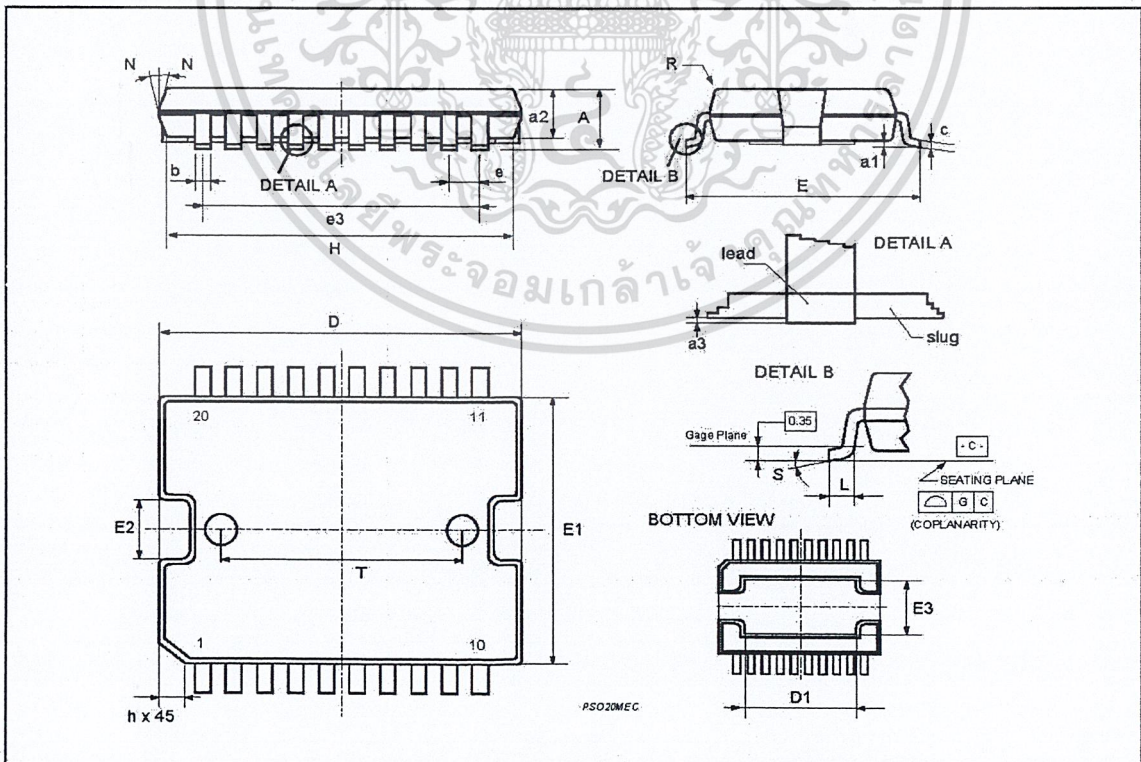


JEDEC MO-166

---

PowerSO20

(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.  
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").  
 - Critical dimensions: "E", "G" and "a3"





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
 © 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -  
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.  
<http://www.st.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
 13/13  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM158/LM258/LM358/LM2904

## Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

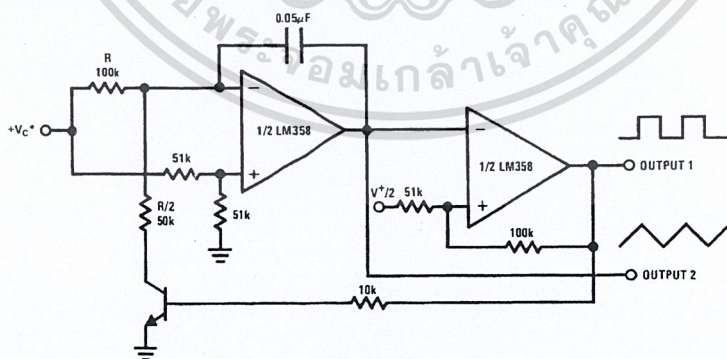
### Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply: 3V to 32V
  - or dual supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ ) — essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

### Absolute Maximum Ratings (Note 9)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/

Distributors for availability and specifications.

	LM158/LM258/LM358	LM2904
	LM158A/LM258A/LM358A	
Supply Voltage, V <sup>+</sup>	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	830 mW	830 mW
Metal Can	550 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW
micro SMD	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) V <sup>+</sup> ≤ 15V and T <sub>A</sub> = 25°C	Continuous	Continuous
Input Current (V <sub>IN</sub> < -0.3V) (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	-0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

### Electrical Characteristics

V<sup>+</sup> = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), T <sub>A</sub> = 25°C	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, (Note 6)	20	50		45	100		45	150		nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0	V <sup>+</sup> -1.5		0	V <sup>+</sup> -1.5		0	V <sup>+</sup> -1.5		V
Supply Current	Over Full Temperature Range R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps V <sup>+</sup> = 30V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26V) V <sup>+</sup> = 5V	1	2		1	2		1	2		mA
		0.5	1.2		0.5	1.2		0.5	1.2		mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### Electrical Characteristics

V<sup>+</sup> = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), T <sub>A</sub> = 25°C		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, (Note 6)		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0		V <sup>+</sup> -1.5	0		V <sup>+</sup> -1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps V <sup>+</sup> = 30V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26V) V <sup>+</sup> = 5V		1	2		1	2	mA
			0.5	1.2		0.5	1.2	mA

### Electrical Characteristics

V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	50	100		25	100		50	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> -1.5V	70	85		65	85		70	85		dB
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), (Note 8)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		10	20		mA
	V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, (Note 2), V <sup>+</sup> = 15V	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 5)		4			5			7		mV
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		7	15		7	20		7		μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>		30			75			100		nA
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		10	200		10	300		10		pA/°C
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0		V <sup>+</sup> -2	0		V <sup>+</sup> -2	0		V <sup>+</sup> -2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

**Electrical Characteristics** (Continued)V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = +15V (V <sub>O</sub> = 1V to 11V) R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25			15			25			V/mV
Output Voltage	V <sub>OH</sub> V <sup>+</sup> = +30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	26			26			26			V
Swing	V <sub>OL</sub> V <sup>+</sup> = 5V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	5 20			5 20			5 20			mV
Output Current	Source V <sub>IN+</sub> = +1V, V <sub>IN-</sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 20			10 20			10 20			mA
	Sink V <sub>IN-</sub> = +1V, V <sub>IN+</sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 15			5 8			5 8			mA

**Electrical Characteristics**V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	25 100			25 100			V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> - 1.5V	65 85			50 70			dB
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65 100			50 100			dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), (Note 8)	-120			-120			dB
Output Current	Source V <sub>IN+</sub> = 1V, V <sub>IN-</sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C	20 40			20 40			mA
	Sink V <sub>IN-</sub> = 1V, V <sub>IN+</sub> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V	10 20			10 20			mA
	V <sub>IN-</sub> = 1V, V <sub>IN+</sub> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12 50			12 50			μA
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, (Note 2), V <sup>+</sup> = 15V	40 60			40 60			mA
Input Offset Voltage	(Note 5)	9			10			mV
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	7			7			μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>	150			45 200			nA
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	10			10			pA/°C
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>	40 500			40 500			nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0 V <sup>+</sup> -2			0 V <sup>+</sup> -2			V

**Electrical Characteristics** (Continued) $V^+ = +5.0V$ , (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ( $V_O = 1V$ to $11V$ ) $R_L \geq 2 k\Omega$	15			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_{OH}$ $V^+ = +30V$ (LM2904, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2 k\Omega$ 26			22			V
	$V_{OL}$ $V^+ = 5V$ , $R_L = 10 k\Omega$	$R_L = 10 k\Omega$ 27 28			23 24			V
Output Current	Source $V_{IN}^+ = +1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$	10 20			10 20			mA
	Sink $V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$	5 8			5 8			mA

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a  $+125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $120^\circ C/W$  for MDIP,  $182^\circ C/W$  for Metal Can,  $189^\circ C/W$  for Small Outline package, and  $230^\circ C/W$  for micro SMD, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a  $+150^\circ C$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 2:** Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of  $+15V$ , continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the  $V^+$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ ).

**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM358/LM358A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2904 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .

**Note 5:**  $V_O = 1.4V$ ,  $R_C = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V, and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) at  $25^\circ C$ . For LM2904,  $V^+$  from 5V to 26V.

**Note 6:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than  $0.3V$  (at  $25^\circ C$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ C$ ), but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage ( $+26V$  for LM2904), independent of the magnitude of  $V^+$ .

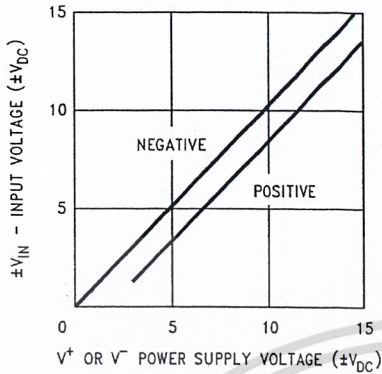
**Note 8:** Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 9:** Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

**Note 10:** Human body model,  $1.5 k\Omega$  in series with  $100 pF$ .

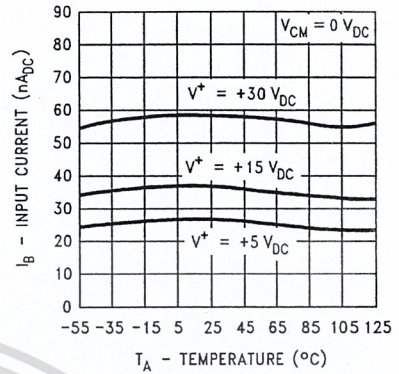
## Typical Performance Characteristics

Input Voltage Range



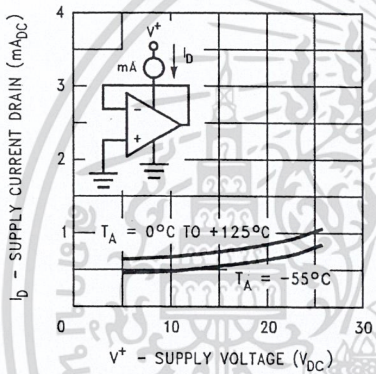
00778734

Input Current



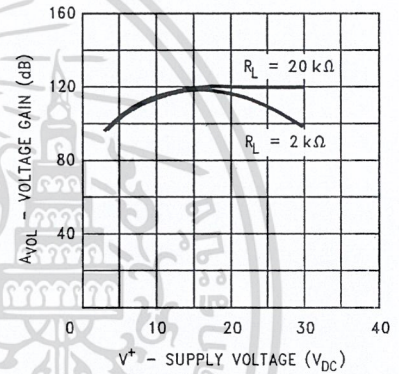
00778735

Supply Current



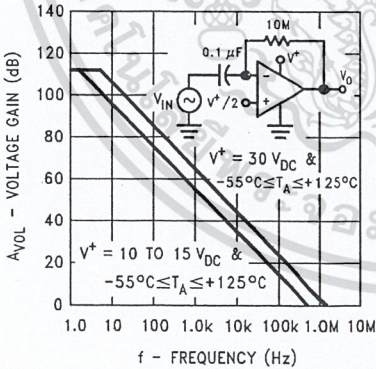
00778736

Voltage Gain



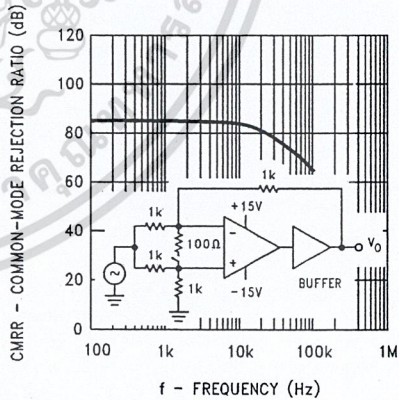
00778737

Open Loop Frequency Response



00778738

Common-Mode Rejection Ratio



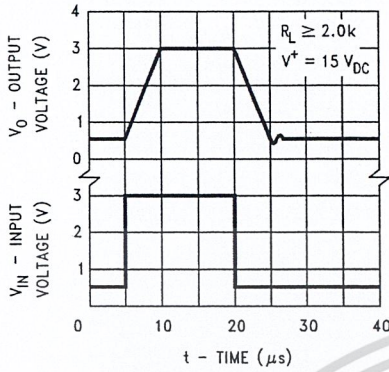
00778739

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

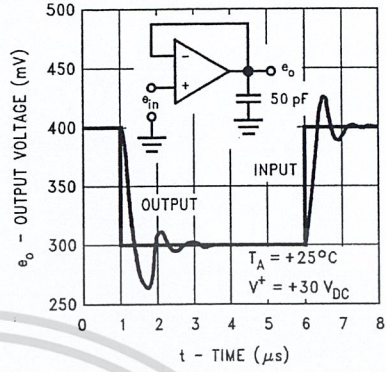
# Typical Performance Characteristics (Continued)

Voltage Follower Pulse Response



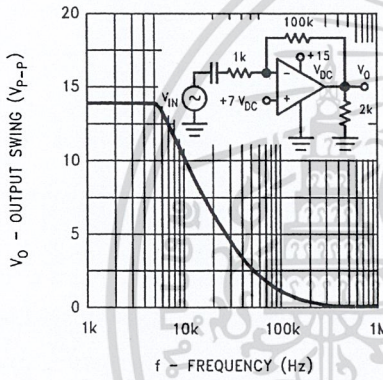
00778740

Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



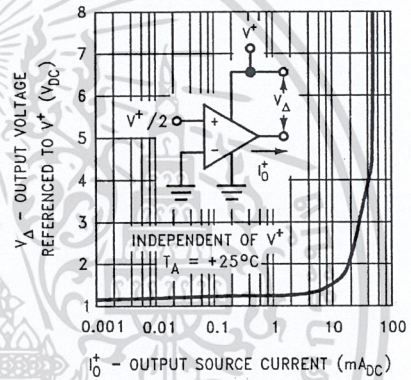
00778741

Large Signal Frequency Response



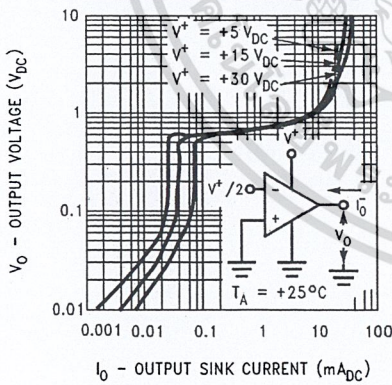
00778742

Output Characteristics Current Sourcing



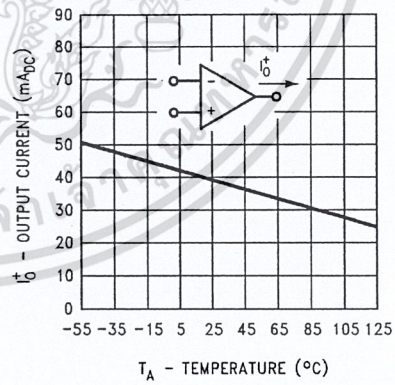
00778743

Output Characteristics Current Sinking



00778744

Current Limiting

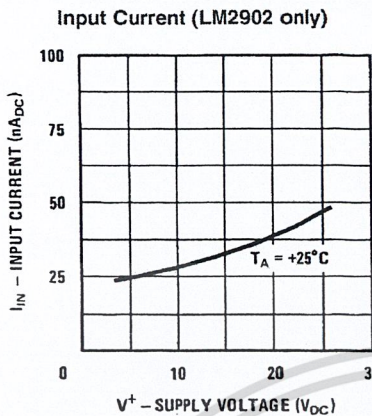


00778745

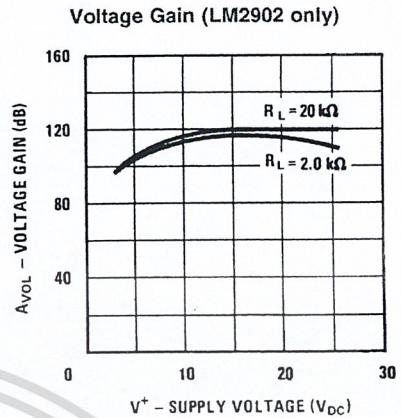
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีกรณาเบเซ

## Typical Performance Characteristics (Continued)



00778746



00778747

### Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of  $0 V_{DC}$ . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At  $25^\circ\text{C}$  amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of  $2.3 V_{DC}$ .

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

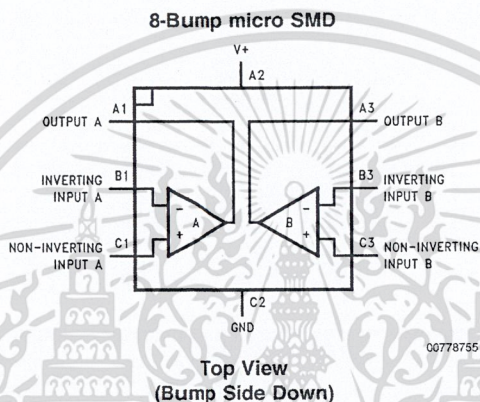
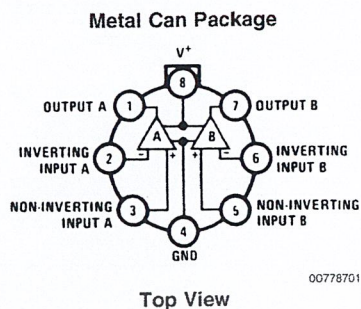
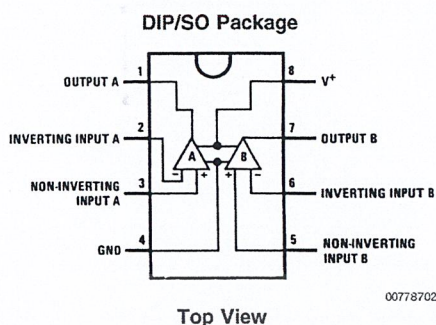
Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of  $50\text{ pF}$  can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of  $3 V_{DC}$  to  $30 V_{DC}$ .

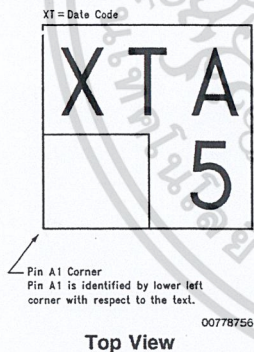
Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at  $25^\circ\text{C}$  provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of  $V^+/2$ ) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

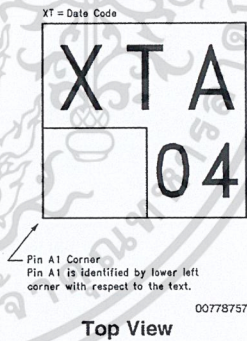
## Connection Diagrams



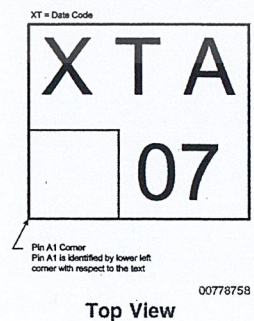
LM358BP micro SMD Marking Orientation



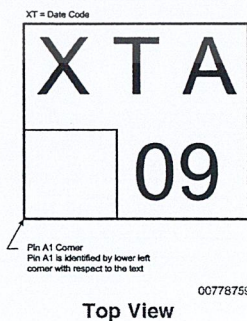
LM2904BP micro SMD Marking Orientation



LM358TP micro SMD Marking Orientation



LM2904ITP micro SMD Marking Orientation



## Ordering Information

Package	Temperature Range				NSC Drawing
	-55°C to 125°C	-25°C to 85°C	0°C to 70°C	-40°C to 85°C	
SO-8			LM358AM LM358AMX LM358M LM358MX	LM2904M LM2904MX	M08A
8-Pin Molded DIP			LM358AN LM358N	LM2904N	N08E
8-Pin Ceramic DIP	LM158AJ/883(Note 11) LM158J/883(Note 11) LM158J LM158AJLQML(Note 12) LM158AJQMLV(Note 12)				J08A
TO-5, 8-Pin Metal Can	LM158AH/883(Note 11) LM158H/883(Note 11) LM158AH LM158H LM158AHLQML(Note 12) LM158AHLQMLV(Note 12)	LM258H	LM358H		H08C
8-Bump micro SMD			LM358BP LM358BPX	LM2904IBP LM2904IBPX	BPA08AAB 0.85 mm Thick
8-Bump micro SMD Lead Free			LM358TP LM358TPX	LM2904ITP LM2904ITPX	TPA08AAA 0.50 mm Thick
14-Pin Ceramic SOIC	LM158AWG/883				WG10A

Note 11: LM158 is available per SMD #5962-8771001

LM158A is available per SMD #5962-8771002

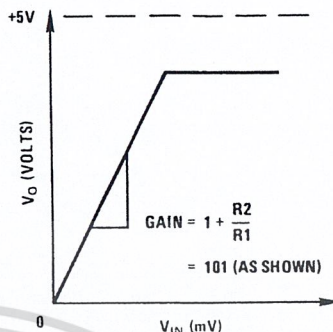
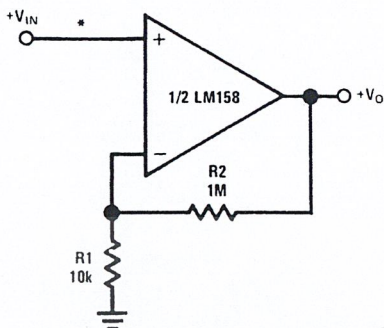
Note 12: See STD.Mil DWG 5962L87710 for Radiation Tolerant Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## Typical Single-Supply Applications

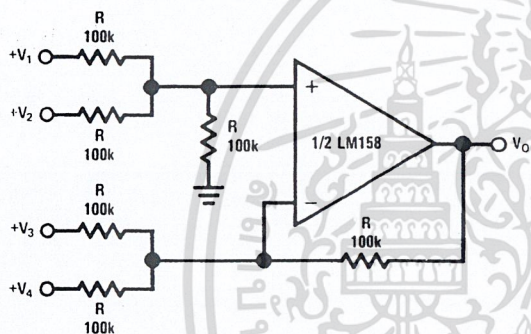
( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ )

### Non-Inverting DC Gain (0V Output)

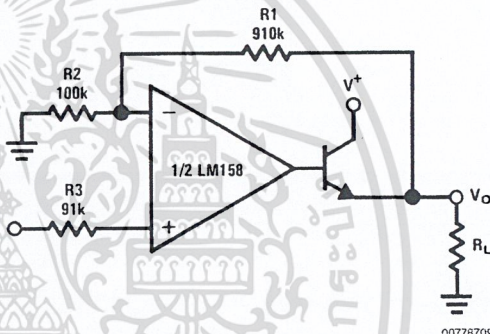


\*R not needed due to temperature independent  $I_{IN}$

### DC Summing Amplifier ( $V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq 0 V_{DC}$ )



### Power Amplifier



Where:  $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$   
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$  to keep  $V_O > 0 V_{DC}$

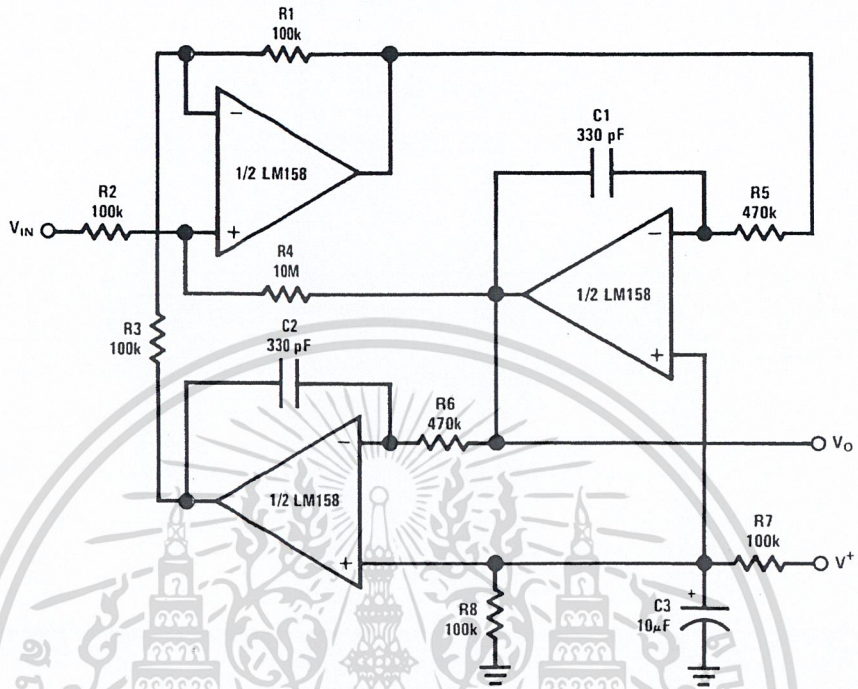
$V_O = 0 V_{DC}$  for  $V_{IN} = 0 V_{DC}$   
 $A_v = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

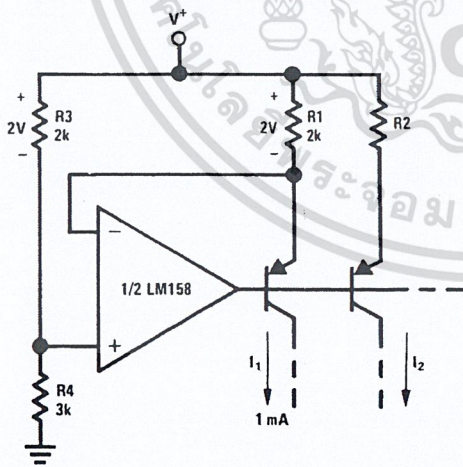
"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 50$   
 $A_v = 100 \text{ (40 dB)}$

00778710

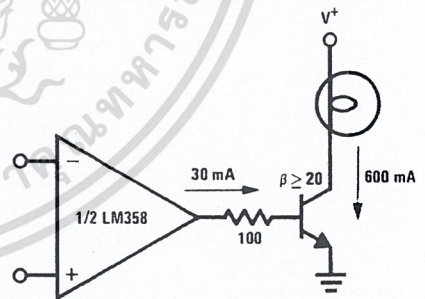
Fixed Current Sources



$$I_2 = \left( \frac{R_1}{R_2} \right) I_1$$

00778711

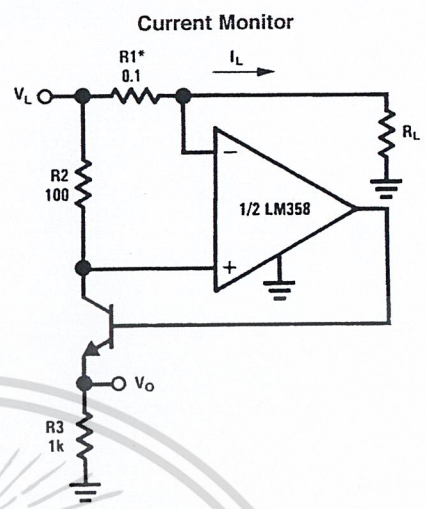
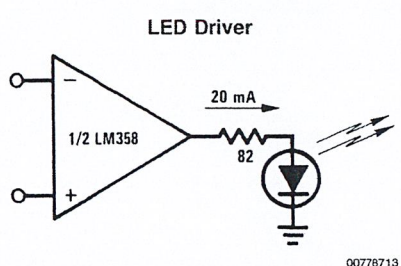
Lamp Driver



00778712

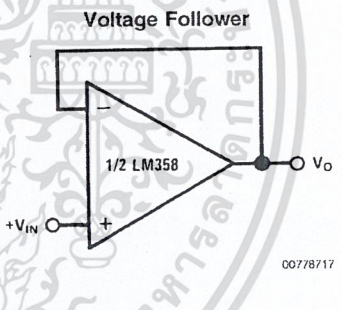
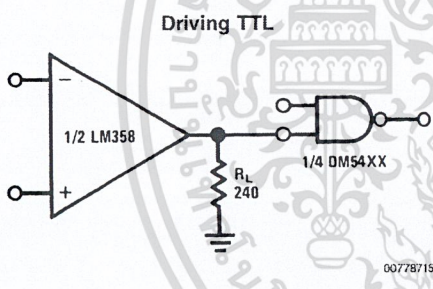
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

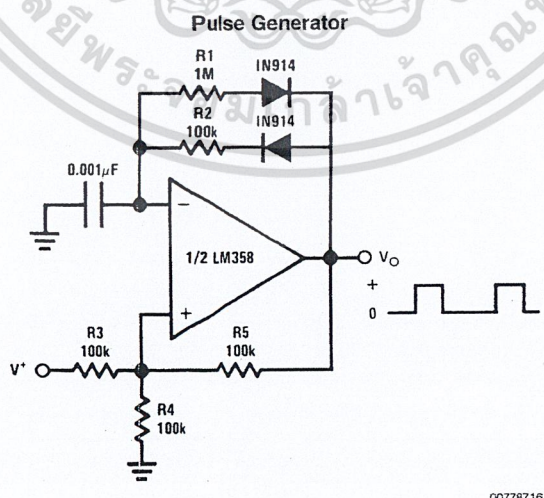


$$V_O = \frac{1V(I_L)}{1A}$$

\*(Increase R1 for  $I_L$  small)  
 $V_L \leq V^+ - 2V$



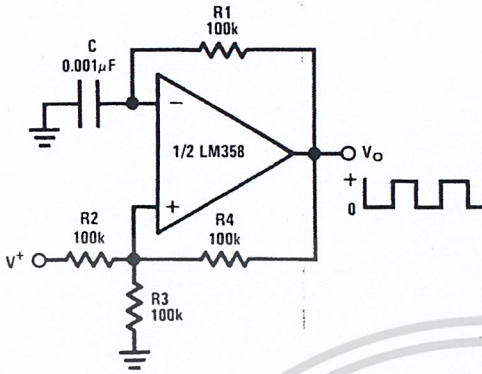
$$V_O = V_{IN}$$



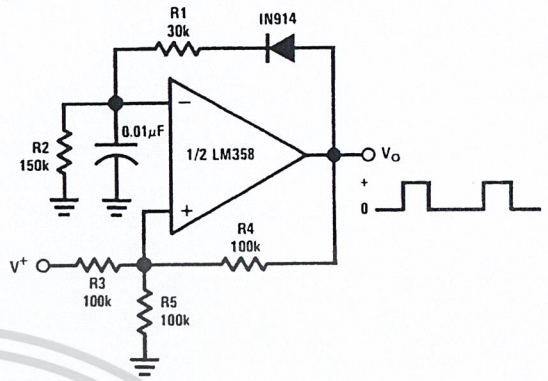
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเราใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปลงญาติให้บ้างไปใช้ประโยชน์ด้วยเราดี

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Squarewave Oscillator



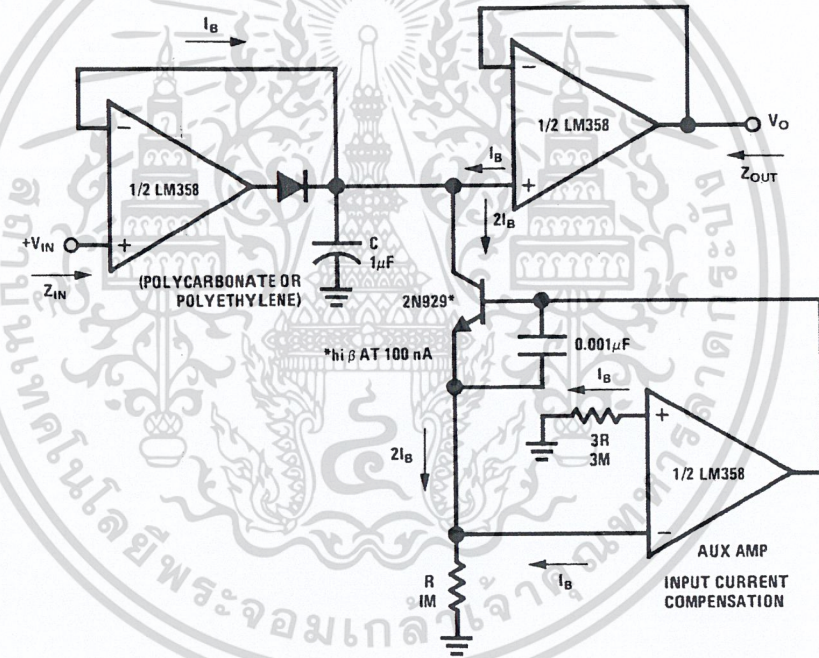
Pulse Generator



00778718

00778719

Low Drift Peak Detector



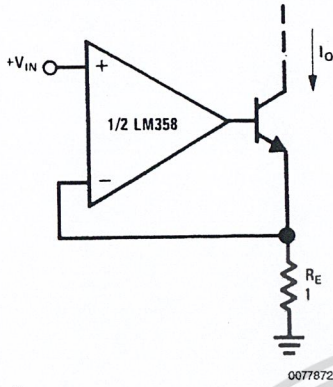
HIGH  $Z_{IN}$   
LOW  $Z_{OUT}$

00778720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

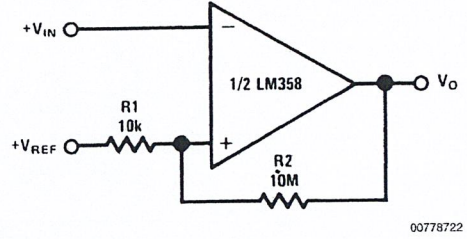
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

High Compliance Current Sink



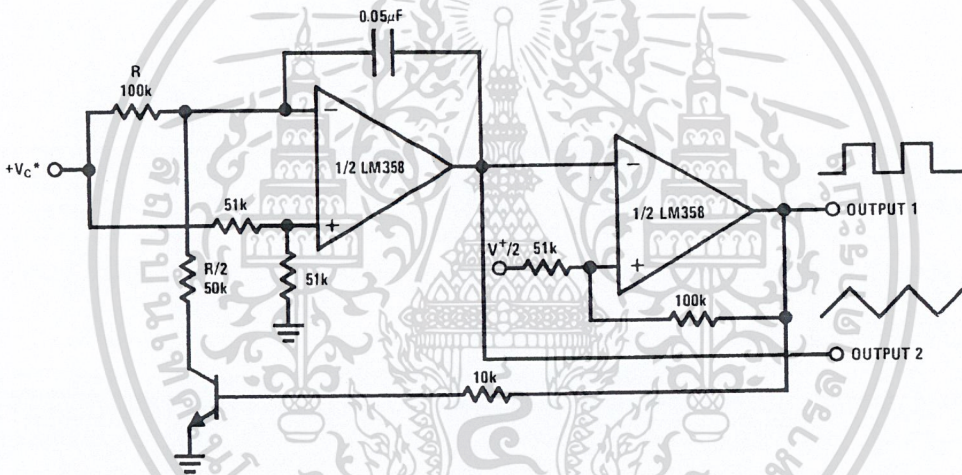
$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$   
(Increase  $R_E$  for  $I_O$  small)

Comparator with Hysteresis



00778722

Voltage Controlled Oscillator (VCO)

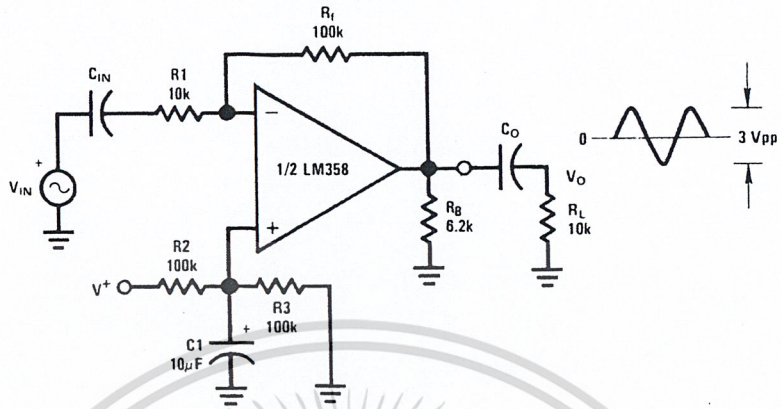


\*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE:  $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5V_{DC})$

00778723

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

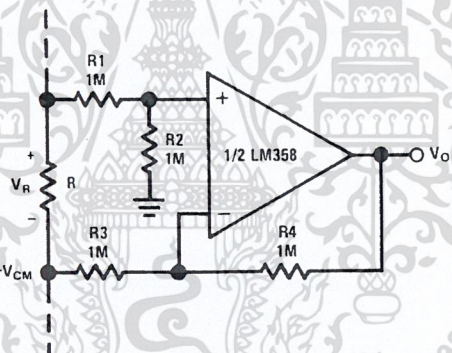
AC Coupled Inverting Amplifier



00778724

$$A_V = \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{As shown, } A_V = 10)$$

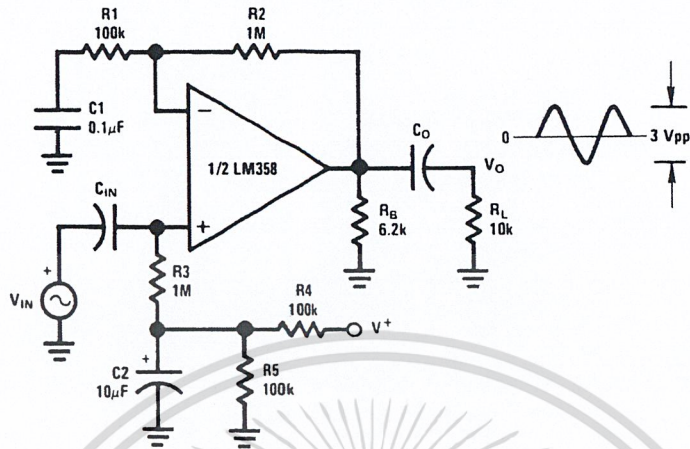
Ground Referencing a Differential Input Signal



00778725

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

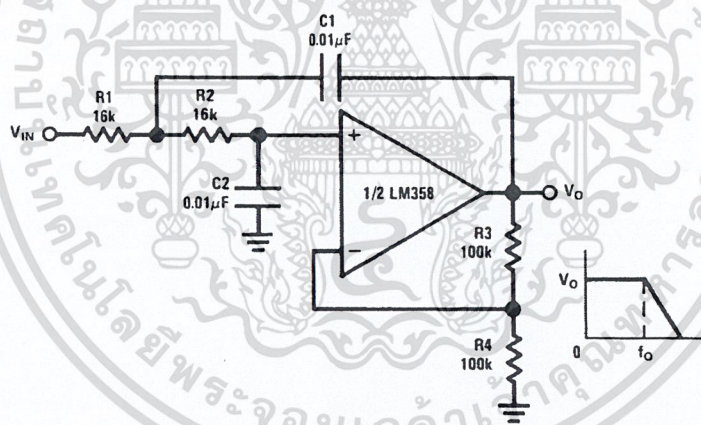
AC Coupled Non-Inverting Amplifier



$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$A_v = 11$  (As Shown)

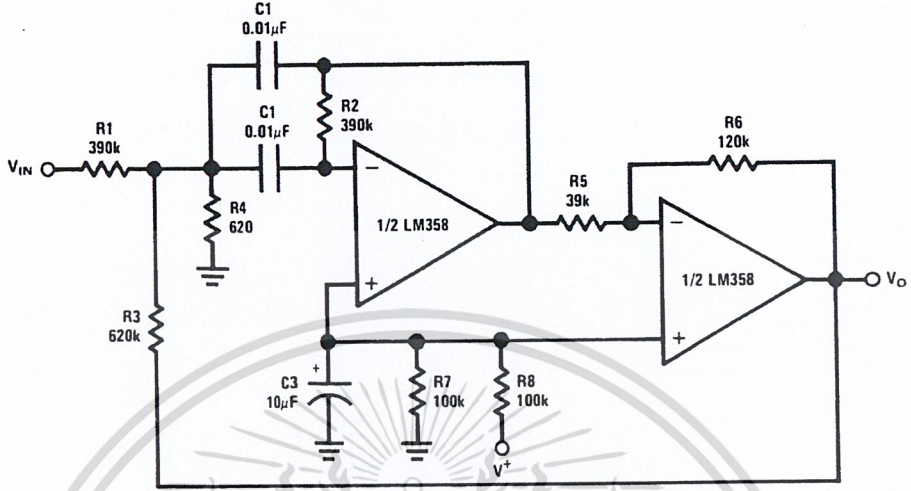
DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 1$   
 $A_v = 2$

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

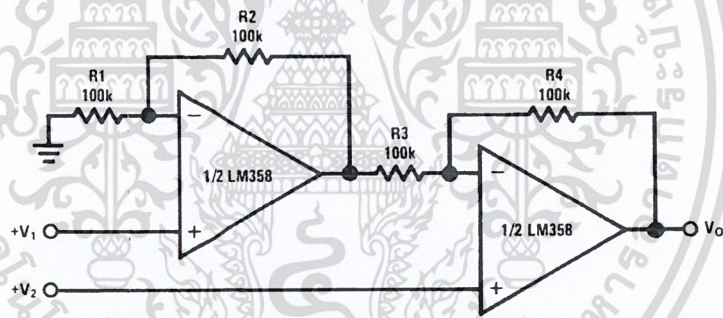
Bandpass Active Filter



00778728

$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 25$

High Input Z, DC Differential Amplifier



00778729

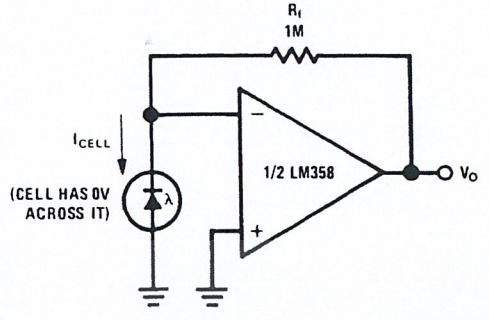
For  $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$  (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As Shown:  $V_O = 2 (V_2 - V_1)$

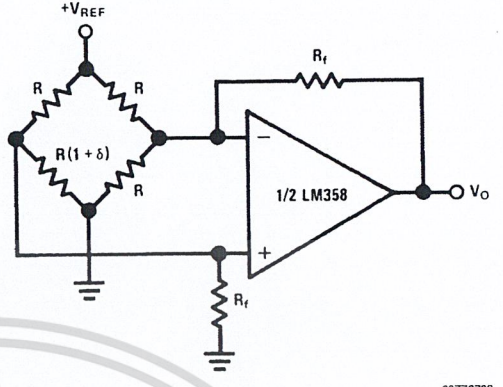
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Photo Voltaic-Cell Amplifier



00778730

Bridge Current Amplifier

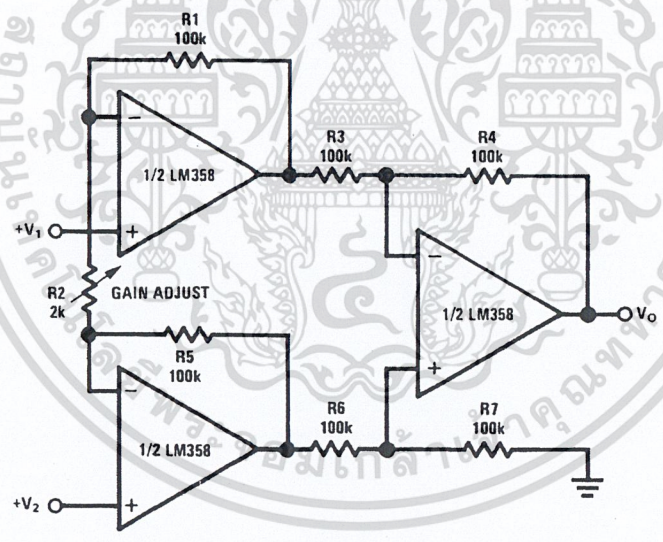


00778733

For  $\delta \ll 1$  and  $R_f \gg R$

$$V_O = V_{REF} \left( \frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



00778731

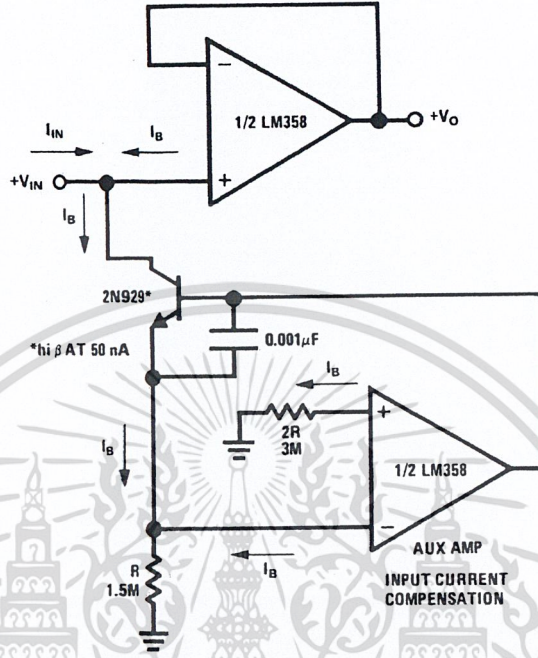
If  $R_1 = R_5$  &  $R_3 = R_4 = R_6 = R_7$  (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

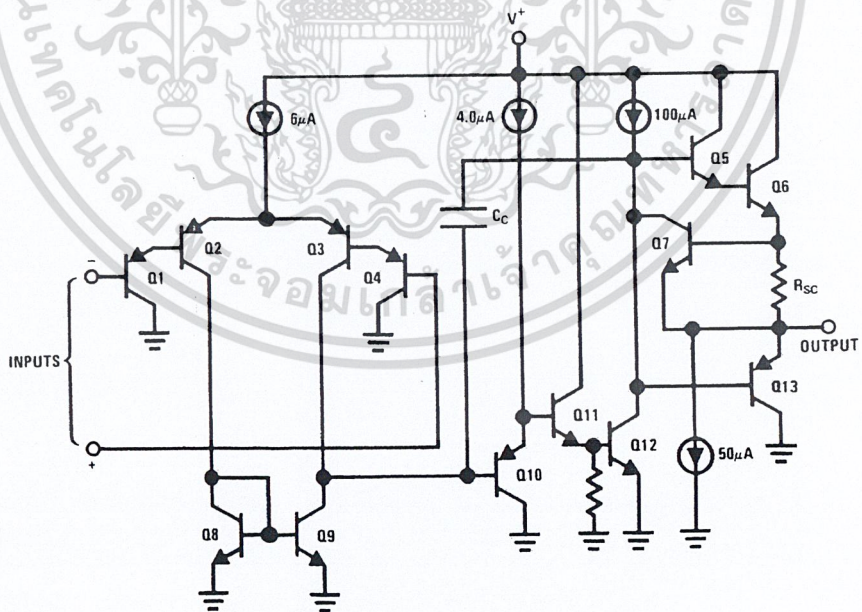
As shown  $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



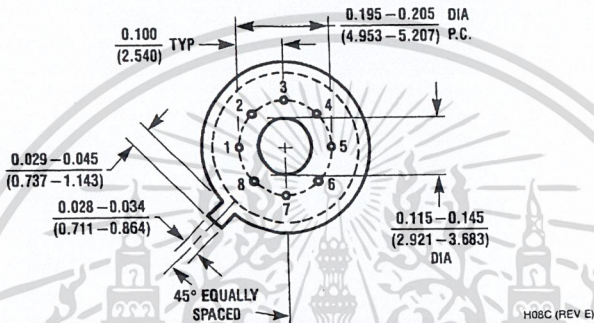
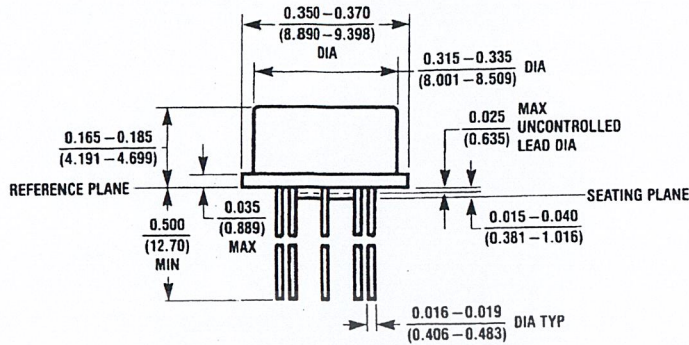
Schematic Diagram (Each Amplifier)



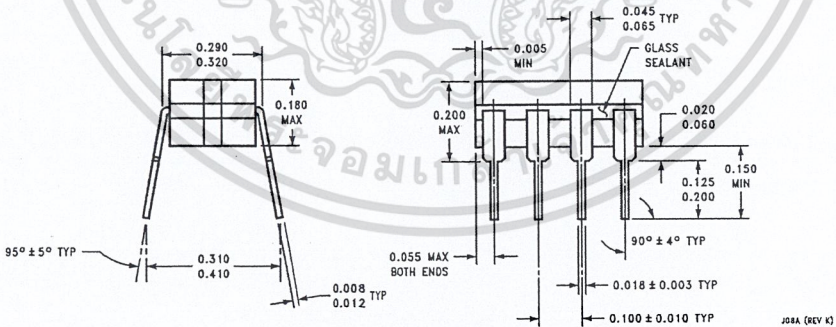
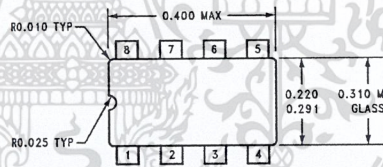
00778703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted



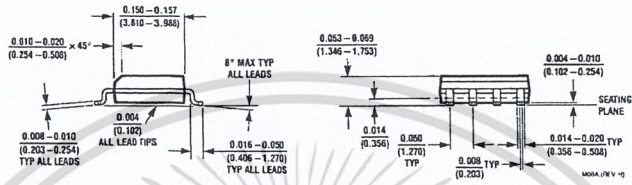
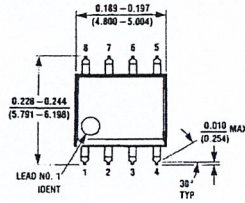
**Metal Can Package (H)**  
NS Package Number H08C



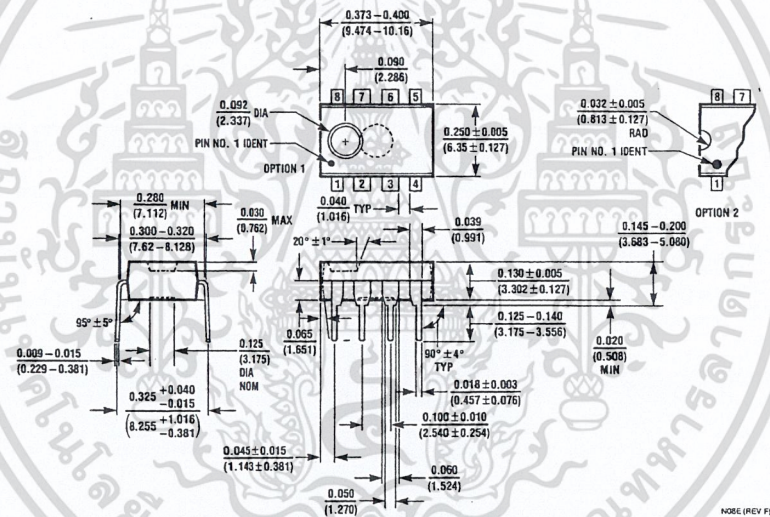
**Cerdip Package (J)**  
NS Package Number J08A

J08A (REV K)

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



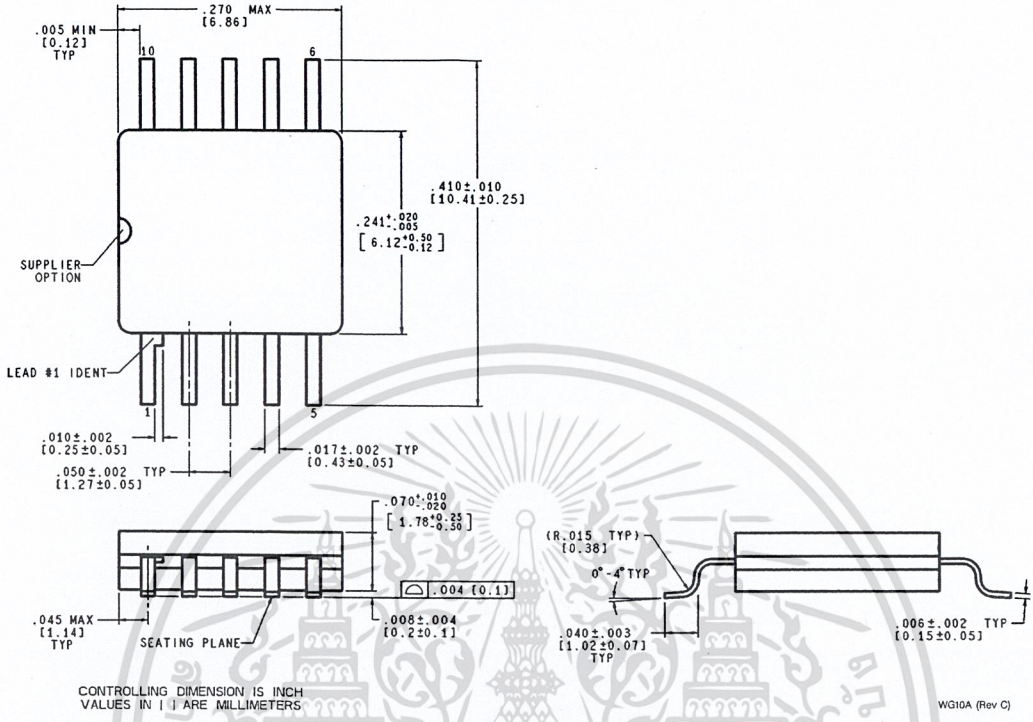
**SOIC Package (M)**  
NS Package Number M08A



**Molded Dip Package (N)**  
NS Package Number N08E

NO8E (REV F)

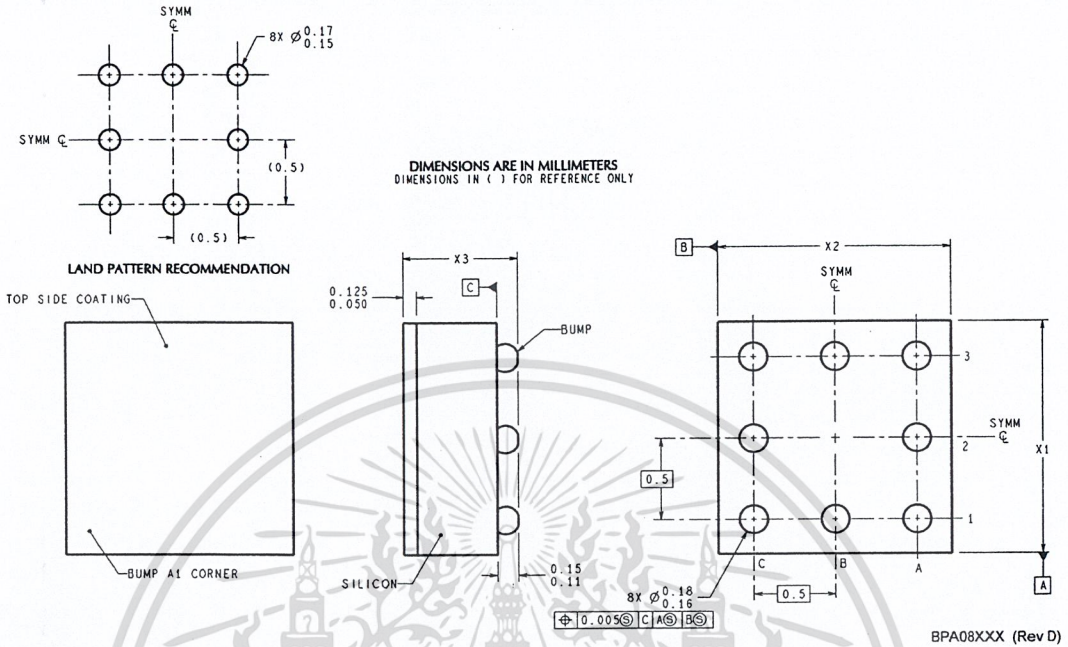
**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Order Number LM158AWG/883  
NS Package Number WG10A

WG10A (Rev C)

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

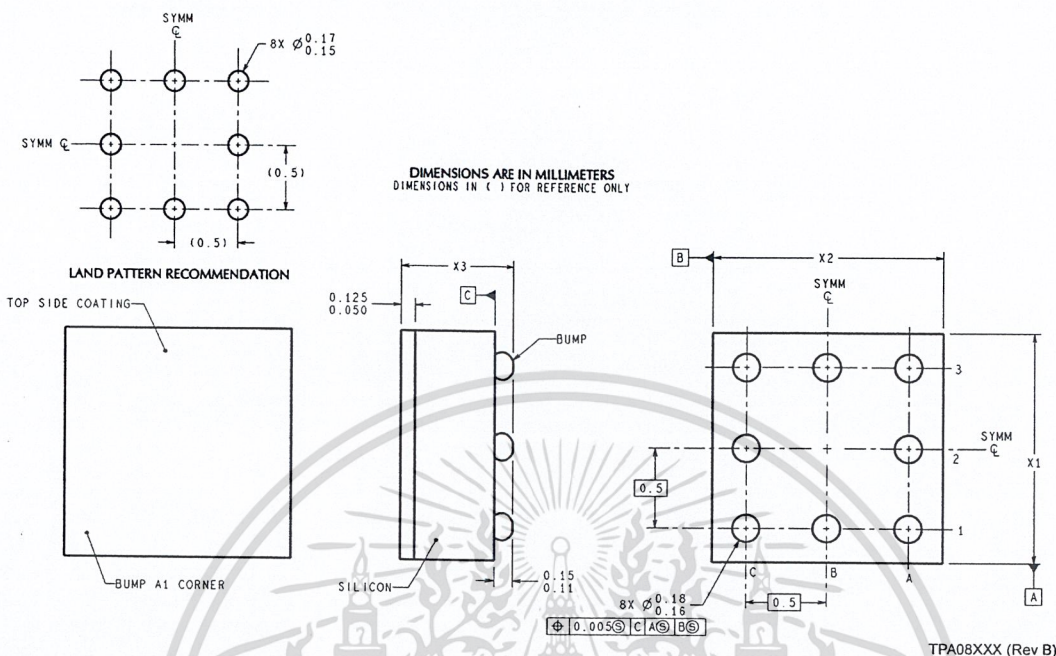


NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. 63Sn/37Pb EUTECTIC BUMP
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
4. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X<sub>1</sub> IS PACKAGE WIDTH, X<sub>2</sub> IS PACKAGE LENGTH AND X<sub>3</sub> IS PACKAGE HEIGHT.
6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

**8-Bump micro SMD**  
**NS Package Number BPA08AAB**  
**X<sub>1</sub> = 1.285 X<sub>2</sub> = 1.285 X<sub>3</sub> = 0.850**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
3. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
4. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X<sub>1</sub> IS PACKAGE WIDTH, X<sub>2</sub> IS PACKAGE LENGTH AND X<sub>3</sub> IS PACKAGE HEIGHT.
5. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

**8-Bump micro SMD Lead Free  
NS Package Number TPA08AAA  
X<sub>1</sub> = 1.285 X<sub>2</sub> = 1.285 X<sub>3</sub> = 0.500**

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at [www.national.com](http://www.national.com).

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor manufactures products and uses packing materials that meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

Leadfree products are RoHS compliant.

**National Semiconductor**  
Americas Customer Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

[www.national.com](http://www.national.com)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้