

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์ตรวจจับกับระเบิด

# LANDMINE DETECTION ROBOT



โดย

นางสาวณิชชา เซ็นเหลา

นางสาวนิศานาด บรมชนรัตน์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62860

วันเดือนปี..2.3..ส.ค..2549

b. 45.2.629

ก.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ตรวจจับระเบิด  
**LANDMINE DETECTION ROBOT**

ผู้จัดทำ นางสาวณิชา เชนเหลา 45010255

นางสาวนิศานาท บรมธนรัตน์ 45010407



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หุ่นยนต์ตรวจจับระเบิด

## Landmine Detection Robot

โดย

นางสาวณิชา เชนเหลา 45010255

นางสาวนิศานาถ บรมธนรัตน์ 45010407

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. เกียรติศักดิ์ คมวัชระ

### บทคัดย่อ

ปฏิญญาพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบที่ใช้ในการตรวจจับระเบิดซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจจับโลหะเป็นอุปกรณ์ตรวจจับระเบิด โดยตัวหุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหวแบบอัตโนมัติ ผ่านการประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์(microprocessor) และมีอินฟราเรด เซนเซอร์ช่วยในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ในกรณีฉุกเฉินสามารถรับคำสั่งจากผู้ควบคุมผ่านทางรีโมทควบคุม

จากโครงการที่ได้ทำขึ้นจะได้ต้นแบบหุ่นยนต์ตรวจจับระเบิดที่มีราคาไม่แพง แต่สามารถใช้งานโดยมีขีดความสามารถทัดเทียมกับการตรวจโดยใช้มนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หุ่นยนต์ตรวจจับระเบิด

## Landmine Detection Robot

โดย

นางสาวณิชา เซ็นเหลา 45010255

นางสาวนิศานาถ บรมชนรัตน์ 45010407

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. เกียรติศักดิ์ กมวัชระ

### ABSTRACT

This thesis presents a research and development of landmine detection robot prototype which is an autonomous robot, using the metal detector for landmine detecting. The robot operates using a microprocessor, dc motors and various common robotic parts. The landmine detection robot incorporates infrared emitters and receivers for obstacle avoidance. The behaviors that were incorporated into the project allow for the landmine detection robot to perform surveying and mapping robot of an area for obstacles and bombs. In urgently, the user can monitor and control the robot via the remote control.

This robot prototype is not expensive. It has ability equal to human.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูง จาก รศ.ดร. เกียรติศักดิ์ คมวัชระ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ชี้คิดเห็น ให้ความกรุณาเอื้อ เพื่ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พรสุข รติโรจน์อนันต์ ที่ได้ให้ความกรุณา และคำแนะนำที่เป็น ประโยชน์ ตลอดจนให้ความสนใจใฝ่ถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้จัดทำมีความกระ ตือหรือตื่น และทำงานอย่างเป็นระบบมากขึ้น และยังขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ พี่ๆห้องสโตร์ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือต่างๆ และให้ความ สะดวกเกี่ยวกับการเบิกจ่ายเครื่องมืออุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ พี่ที่ห้องธุรการภาคที่คอยประสานงานติดต่ออาจารย์ อีกทั้งยังให้ความ กรุณาในการเบิกจ่ายงบประมาณในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ นายสรายุทธ กล้าพัคตร์ ที่ได้คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนยัง อำนวยความสะดวกในการเดินทางไปทำธุระเกี่ยวกับปริญญาานิพนธ์ยังสถานที่ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ นายแพทย์ภูษงค์ เหล่ารุจิสวัสดิ์ ที่ได้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจ ตลอดช่วงการทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้ความสนับสนุน ให้ โอกาสทางการศึกษา และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้ง ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ โดย เฉพาะอย่างยิ่งนางสาวกมลลา มานะบรรยง, นายฉัฐพงษ์ วาณิชย์เจริญ, นางสาวนุชพร ตั้งศรีวงศ์ และตลอดจนเพื่อนที่อยู่ประเทศเกาหลีใต้ที่คอยเป็นที่ปรึกษาและให้กำลังใจตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

นางสาวณิชชา เชนเหลา

นางสาวนิศานาถ บรมชนรัตน์

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII

<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>4</b>
2.1 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.1.1 ความเหนี่ยวนำ(Inductance)	4
2.1.2 การเหนี่ยวนำในตัวเอง (Self Inductance)	5
2.1.3 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดสองขด	6
2.2 ความรู้ในการสร้างหุ่นยนต์	7
2.2.1 เซนเซอร์	7
2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	9
2.2.2.1 แรงดันในการทำงาน	9
2.2.2.2 สัญญาณนาฬิกา	10
2.2.2.3 คุณสมบัติของ PIC16F877	10
2.2.2.4 โครงสร้างการทำงานภายในของ PIC16F877	12
2.2.2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877	14
2.2.2.6 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล RAM ของ PIC16F877	16
2.2.2.7 รีจิสเตอร์หลักของ PIC16F877	17
2.2.2.8 การทำงานในโหมด PWM	19
2.2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.3.1 โครงสร้างการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	21
2.2.3.2 การจับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	22
2.2.3.3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	24
2.2.3.4 การโมดูเลชันทางความกว้างพัลส์PWM(Pulse Width Modulation)	24
<b>บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ</b>	<b>26</b>
3.1 วงจรตรวจจับวัตถุ	26
3.2 โครงสร้างของคอยล์	27
3.3 วงจรเซนเซอร์	28
3.4 วงจรจับมอเตอร์	31
3.5 โครงสร้างทางเครื่องกล	32
3.6 การออกแบบการขับเคลื่อนของตัวหุ่นยนต์	33
3.6.1 แบบอัตโนมัติ	33
3.6.2 แบบรีโมท	34
<b>บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ</b>	<b>35</b>
4.1 การทดสอบการใช้งานของวงจรตรวจจับวัตถุระเบิด	35
4.2 ผลการทดลอง	35
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	<b>37</b>
5.1 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ	37
<b>ภาคผนวก ก เอกสารไอซี L298</b>	<b>38</b>

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 พื้นที่ที่ยังคงมีกับระเบิดหลงเหลืออยู่	1
1.2 ผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากการค้นหากับระเบิด	2
2.1 ความเหนียวนำ $L$ ของระบบตัวนำ	4
2.2 กฎมือซ้ายแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	5
2.3 การเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน	5
2.4 การเหนียวนำระหว่างขดลวดสองขด โดยอำนาจของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.5 วงจรอินฟราเรดเซนเซอร์	8
2.6 การจัดขาของ PIC 16F877	10
2.7 โครงสร้างการทำงานภายใน PIC16F877	12
2.8 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877	15
2.9 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล RAM และตำแหน่งรีจิสเตอร์ ของ PIC16F877	17
2.10 รีจิสเตอร์ STATUS	18
2.11 รีจิสเตอร์ CCPxCON	18
2.12 การทำงานของโมดูล CCP1 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM	19
2.13 เอาต์พุตของสัญญาณ PWM	20
2.14 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์	22
2.15 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์	23
2.16 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน	23
2.17 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง	24
2.18 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ ของสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่คงที่	25
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุตัวนำ	26
3.2 วงจรตรวจจับวัตถุตัวนำ	27
3.3 การพันคอยล์	28
3.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์	29
3.5 วงจรอินฟราเรดเซนเซอร์	30
3.6 วงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ L298	31
3.7-ก แนวความคิดในการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์และระบบขับเคลื่อนล้อ	32
3.7-ข แนวความคิดในการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์และระบบขับเคลื่อนล้อ	33

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การเชื่อมต่อวงจรรวม	34
4.1 กราฟแสดงสัญญาณที่เกิดจากคอยล์ชูครับและชุดส่งในกรณีที่ไม่มีวัตถุเข้าใกล้	35
4.2 กราฟแสดงสัญญาณที่เกิดจากคอยล์ชูครับและชุดส่งในกรณีที่มีวัตถุเข้าใกล้	36



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของขา PIC16F877	13
2.1(ต่อ) รายละเอียดของขา PIC 16F877	14
2.2 ค่า PCLATH<4:3>ในการเลือก Page ของ PIC16F877	15
2.3 ค่า PRO และPR1 ในการเลือก Bank ของ PIC16F877	16
2.4 ตัวอย่างขนาดความถี่และความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 20 MHz	21
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง	36



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันนี้ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งเป็นผลพวงมาจากการทำสงครามครั้งต่างๆ ที่ผ่านมามีในอดีต นั่นคือ ปัญหาเกี่ยวกับระเบิดที่ยังฝังหลงเหลืออยู่ ถึงแม้ว่าสงครามจะจบสิ้นไปแล้วก็ตาม แม้ว่าจะมีการตามเก็บกู้จากหลายๆ หน่วยงานทั่วโลก และได้มีการกระทำการวางสนธิสัญญาที่จะไม่ใช้กับระเบิดในสงครามก็ตาม แต่ก็ยังมีกับระเบิดที่ยังมีอนุภาพทำลายล้างหลงเหลืออยู่มากมายกว่า 10 ล้านชิ้น ในกว่า 70 ประเทศทั่วโลก ซึ่งได้ถูกกู้ขึ้นมาโดยเฉลี่ยปีละประมาณ 100,000 ชิ้น ในขณะที่เดียวกันก็ได้มีการฝังกับระเบิดเพิ่มขึ้นราวปีละประมาณ 2,500,000 ชิ้น จากผลของการวางกับระเบิดทำให้มีผู้เสียชีวิตมากถึง 10,000 คนต่อปี และบาดเจ็บอีกประมาณ 25,000 คนต่อปี ในจำนวนนี้รวมไปถึงผู้ถูกระเบิดด้วย โดยเฉลี่ยผู้เสียชีวิต 1 คนต่อการถูกระเบิด 5,000 จากปัญหาต่างๆ เหล่านี้นำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงการค้นหาและการถูกระเบิด



รูปที่ 1.1 พื้นที่ที่ยังคงมีกับระเบิดหลงเหลืออยู่

หุ่นยนต์ตรวจจับกับระเบิดนี้จะเป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปตรวจในพื้นที่ที่คนเราไม่สามารถเข้าไปได้ซึ่งอาจเกรงว่าถ้าให้คนเข้าไปจะมีอันตราย ในตัวหุ่นนี้จะเป็นการขับเคลื่อนแบบรatchet โนมัติในระยะไกลๆ ซึ่ง การบังคับแบบส่งสัญญาณบังคับจากคนไปไม่ถึง เมื่อหุ่นยนต์ตรวจจับเจอระเบิดที่เป็นโลหะได้แล้วจะทำเครื่องหมายเป็นตัวปล่อยเบี่ยงลงบริเวณที่หุ่นยนต์ตรวจจับเจอนั่นเองทำให้เราทราบจุดที่มีระเบิดโดยไม่ต้องเสี่ยงเข้าไปค้นหาในพื้นที่นั้นด้วยตนเอง และเป็นการง่ายต่อการเก็บถูกระเบิดอย่างมาก



รูปที่ 1.2 ผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากการค้นหากระบะเบิด

โครงการฉบับนี้เป็นหุ่นยนต์ตรวจหาวัตถุระเบิดชนิดโลหะ โดยจะอาศัยหลักการของอุปกรณ์ตรวจจับโลหะ เพื่อการตรวจจับอาวุธและวัตถุระเบิดต่างๆ เครื่องตรวจจับจะแสดงผลให้ทราบ

## 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.1.1 พัฒนาเทคโนโลยีการตรวจกับระเบิด โดยนำเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และทฤษฎีระบบควบคุม มาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อมนุษย์ รวมไปถึงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และช่วยให้ค่าใช้จ่ายต่ำลง

1.1.2 ออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจกับระเบิด ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และสามารถพัฒนาต่อไปใช้งานได้จริงเชิงปฏิบัติได้

1.1.3 ศึกษาหลักการการทำงานของวงจรตรวจจับโลหะ ในเชิงทฤษฎีเพื่อความเข้าใจในเรื่องของการเหนี่ยวนำโลหะ

1.1.4 มีความรู้และการปฏิบัติในการสร้างหุ่นยนต์ตรวจจับโลหะให้มีประสิทธิภาพขึ้นไป

1.1.5 เพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์ตัวอย่างต่อไปในการศึกษาที่จะสร้างหุ่นยนต์ตรวจจับกับระเบิด

## 1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1 มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของวงจรตรวจจับโลหะ

1.2.2 ได้นำหลักการในการคิดค้นและออกแบบการสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติ

1.2.3 มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการเขียน โปรแกรมให้กับหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ

1.2.4 ได้นำหุ่นยนต์ที่สร้างไปใช้ในทางที่เป็นประโยชน์แก่ส่วนรวมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาวงจรตรวจจับโลหะแล้วนำไปประยุกต์ใช้โดยสร้างเป็นหุ่นยนต์ตรวจจับโลหะ
- 1.3.2 ออกแบบให้หุ่นยนต์ตรวจจับโลหะมีการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติและเคลื่อนที่โดยใช้สัญญาณบังคับในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติไม่ได้
- 1.3.3 ออกแบบให้หุ่นยนต์มีขนาดเล็กพอเหมาะง่ายต่อการเข้าไปยังพื้นที่ที่แคบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีสานามแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรจับมอเตอร์ และวงจรเซนเซอร์

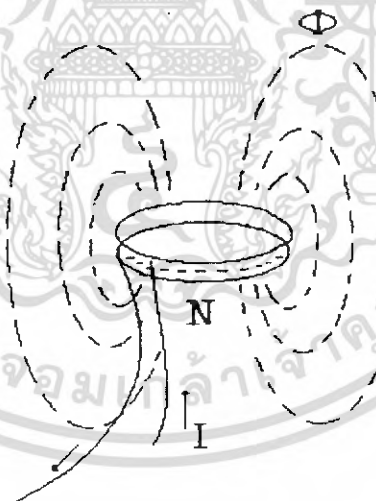
#### 2.1 ทฤษฎีสานามแม่เหล็กไฟฟ้า

##### 2.1.1 ความเหนี่ยวนำ(Inductance)

ความเหนี่ยวนำ  $L$  ของระบบตัวนำอาจจะนิยามได้เป็น อัตราส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องตัวต่อกระแสที่ทำให้เกิดฟลักซ์ สำหรับกระแสสถิตและขดลวด  $N$  ดังแสดงในรูปที่ 2.1

$$L = \frac{N\phi}{I} \quad (2.1)$$

หน่วยของ  $L$  คือ เฮนรี(H) ซึ่ง  $1H = 1 \text{ Wb/A}$  ความนำยังถูกกำหนดได้โดย  $L = \lambda / I$  ซึ่ง  $\lambda$  คือ  $N\Phi$  สำหรับขดลวด  $N$  รอบ



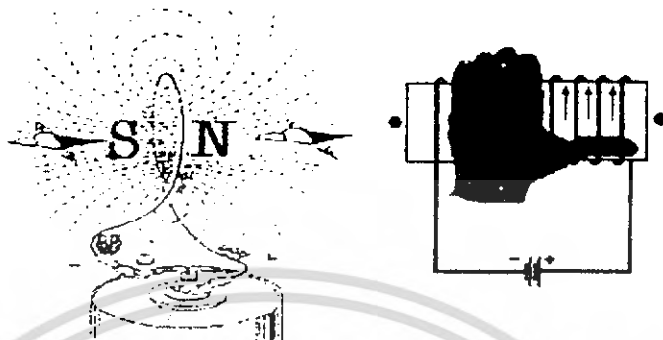
รูปที่ 2.1 ความเหนี่ยวนำ  $L$  ของระบบตัวนำ

ควรระลึกไว้ว่า  $L$  จะเป็นผลของความซึมซาบ (Permeability : ) ของตัวกลาง และเฟกเตอร์เชิงเรขาคณิต มีหน่วยเป็นความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเหนี่ยวนำในตัวเอง (Self Inductance)

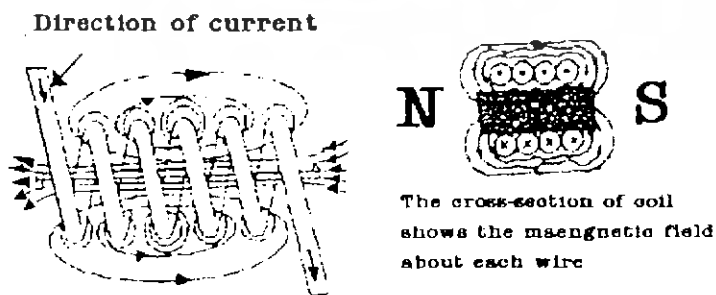
เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลเข้าไปในเส้นลวดตัวนำจะปรากฏว่ามีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆที่เส้นลวดตัวนำนั้น และมีทิศทางตามกฎมือซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กฎมือซ้ายแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

ถ้าเรานำเอาขดลวดตัวนำมาขดเป็นคอยล์ (Coil) เพื่อให้เกิดคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำโดยต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แล้วใช้กฎมือซ้าย ซึ่งจะบอกให้เราทราบว่า นิ้วหัวแม่มือซ้ายจะแสดงทิศทางสนามแม่เหล็กขั้วเหนือของขดลวด (Solenoid) และจำนวนนิ้วที่เหลือทั้ง 4 นิ้ว ที่กำรอบขดลวดจะเป็นทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน (Electron Current)

เมื่อเราทราบว่า ทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า หากเราทำให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดมีทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไป ก็จะมีผลให้สนามแม่เหล็กของขดลวดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กนี้ จะก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นภายในตัวของขดลวดเอง เรียกว่า “Self Inductance” และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้จากผลของการเหนี่ยวนำ เรียกว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ” (Induce Electro Motive Force: Induce E.M.F) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำ แรงนี้จะต่อต้านโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงใดๆของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวด เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ” (Counter Electro Motive Fore : C.E.M.F)



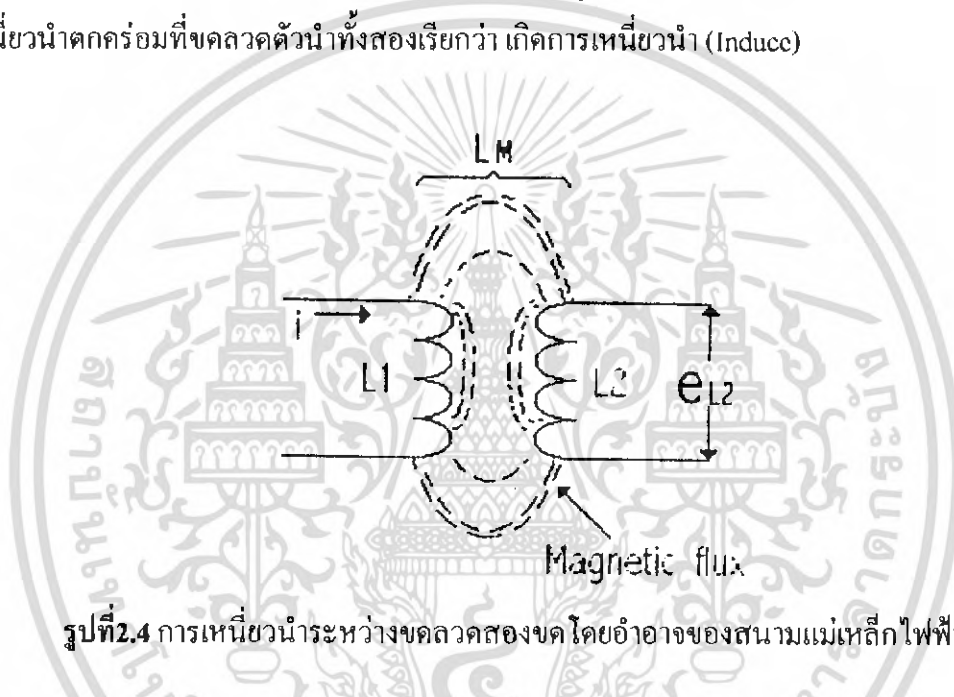
รูปที่ 2.3 การเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดตัวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวดตัวนำนี้ และทิศทางสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางเสริมกันในแต่ละขดลวดตัวนำ ทำให้สนามแม่เหล็กแพร่กระจายออกไปรอบๆตัวของขดลวดนี้ได้

### 2.1.3 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดสองขด

เมื่อเรานำเอาขดลวดตัวนำสองขดมาวางไว้ใกล้กัน และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำขดหนึ่งจะพบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงย่อมทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง และสามารถขุดตัวแต่ละขดลวดตัวนำอีกตัวหนึ่งเมื่อวางอยู่ใกล้ๆ ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกคร่อมที่ขดลวดตัวนำทั้งสองเรียกว่า เกิดการเหนี่ยวนำ (Induce)



รูปที่ 2.4 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดสองขดโดยอำนาจของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.4 แสดงการเหนี่ยวนำระหว่างขดของคอยล์  $L_1$  และ  $L_2$  ที่วางไว้ใกล้ๆกันถ้าเราต่อคอยล์  $L_1$  เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จะปรากฏผล คือมันสามารถทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $e_{L2}$ ) ตกคร่อมที่คอยล์  $L_2$  ได้ ซึ่งเราสังเกตเห็นว่า คอยล์ทั้งสองขดไม่ได้ต่อกัน แต่มันสามารถเชื่อมต่อกันได้ โดยสนามแม่เหล็ก (Magnetic-field)

การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสองนั้นไม่ว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงใดก็ต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้คือ

- ระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง คือถ้าเราวางขดลวดทั้งสอง คือถ้าเราวางขดลวดทั้งสองให้อยู่ใกล้ๆกัน โอกาสของการเหนี่ยวนำก็จะยิ่งมากขึ้น

- แกนที่ใช้สำหรับพันขดลวด ซึ่งจะมีค่าของความซึมซาบ (Permeability) ของแกนที่ต่างกัน เช่น ถ้าใช้แกนเหล็ก จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสองได้ดีกว่าแกนอากาศ

-จำนวนรอบของขดลวดจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำได้มาก ผลที่ตามมาคือ ค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

-จำนวนรอบของขดลวดทั้งสองคือถ้าวงให้ขดลวดทั้งสองตั้งฉากกันผลคือการเหนี่ยวนำจะหักล้างกันหมดไป แต่ถ้าวงให้ขดลวดทั้งสองขนานกัน ผลจะทำให้การเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

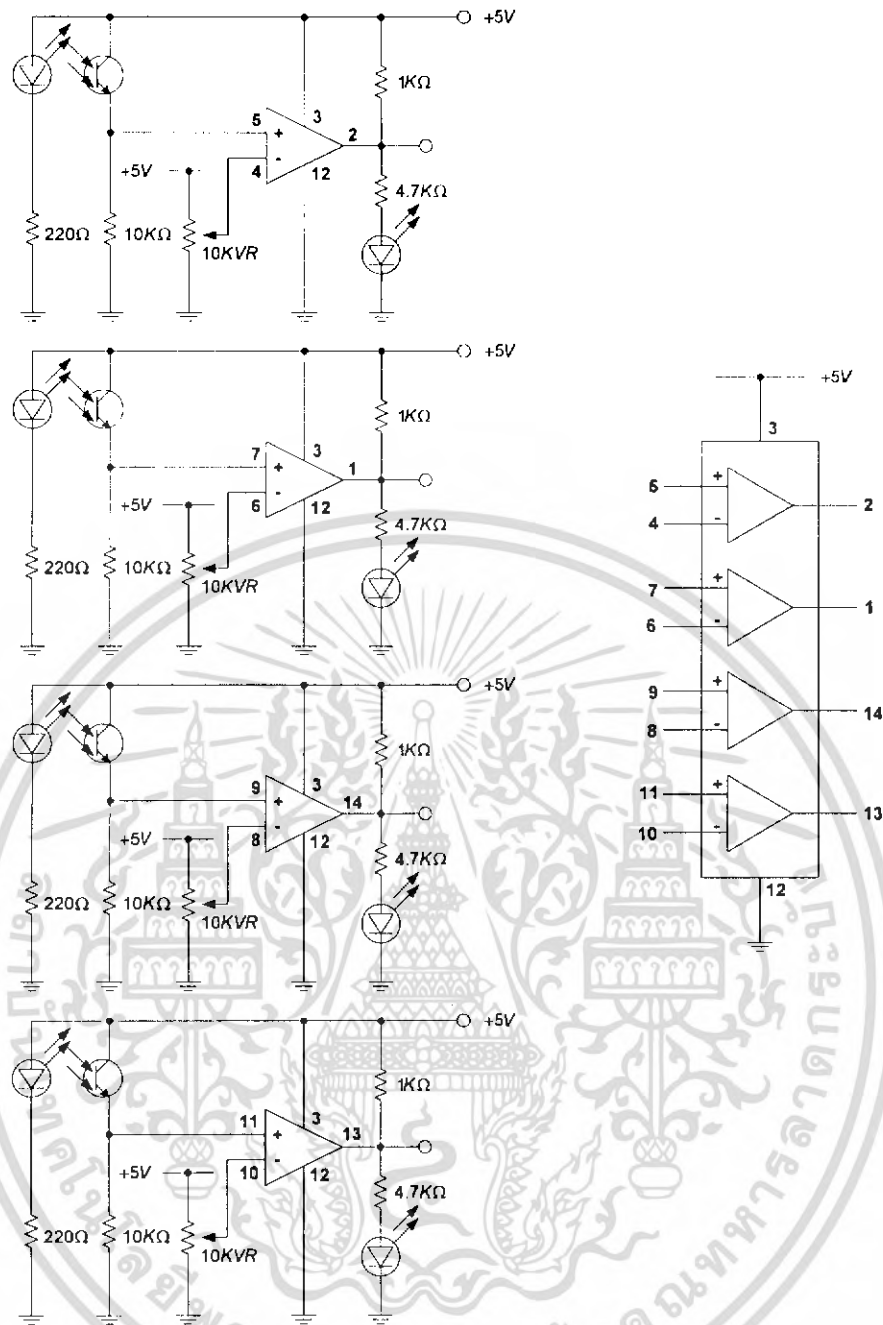
จากปรากฏการณ์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเป็นการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดตัวนำตั้งแต่สองขดขึ้นไป หรืออาจเรียกว่า Mutual Inductance ใช้อักษรย่อ  $L_M$  ค่าการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดตัวนำสองขด ( $L_M$ ) 1 เฮนรี่ คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในขดลวดตัวนำขดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 1 แอมป์/วินาที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำนวน 1 โวลต์ ตกคร่อมที่ขดลวดตัวนำทั้ง 2 ขด ในการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด เส้นแรงแม่เหล็กที่ไม่สามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสองขดเรียกว่า Leakage flux

## 2.2 ความรู้ในการสร้างหุ่นยนต์

ในการสร้างหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติและควบคุมแบบใช้สัญญาณนี้เราจะต้องมีความรู้ในเรื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ วงจรเซนเซอร์ วงจรไดร์ฟมอเตอร์ และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของตัวหุ่นยนต์ตรวจจับโลหะ

### 2.2.1 เซนเซอร์

วงจรเซนเซอร์นี้เราใช้ในตัวหุ่นยนต์เพื่อให้การเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ไม่ไปชนกับวัตถุที่อยู่ด้านข้างซึ่งในโปรแกรมนี้เราเลือกใช้เซนเซอร์แบบอินฟราเรดเซนเซอร์ อินฟราเรดเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ส่งสัญญาณอินฟราเรดออกไปจากตัวส่งสัญญาณ เมื่อเกิดมีวัตถุที่บดบังเข้ามาบังสัญญาณ สัญญาณอินฟราเรดก็จะสะท้อนกลับมาเข้าสู่ตัวรับแล้วนำสัญญาณที่ได้ไปใช้งานในวงจรต่อจากรูปที่ 2.1 นี้ ตัวส่งและตัวรับเซนเซอร์จะอยู่ในด้านเดียวกันนี้



รูปที่ 2.5 วงจรอินฟาเรดเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีการพัฒนาและผลิตออกมาหลายเบอร์คดียกทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. สถาปัตยกรรมแบบ 12-Bit Core (Base-Line) เป็นกลุ่มของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดเล็กมีโครงสร้างของคำสั่งเพียง 12 bits และค่อนข้างมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีหน่วยความจำ RAM และ STACK ค่อนข้างจำกัด
2. สถาปัตยกรรมแบบ 14-Bit Core (Mid-Range) เป็นกลุ่มของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดกลางมีโครงสร้างของคำสั่ง 14 bits มีทั้งแบบที่โปรแกรมได้ครั้งเดียว (OTP : One Time Programmable) และแบบแฟลช (Flash Memory)
3. สถาปัตยกรรมแบบ 16-Bit Core (High-End) เป็นกลุ่มของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในกลุ่มระดับสูงซึ่งได้มีการพัฒนาโครงสร้างสถาปัตยกรรม ทั้งในเรื่องของหน่วยความจำ ความเร็ว และ คุณสมบัติอื่นๆ ที่เหนือกว่าสองกลุ่มที่ผ่านมา มีการจัดวางหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ในเพจ (Page) เดียวกัน ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องรอยต่อของหน่วยความจำ

นอกจากนี้แล้ว PIC ยังแบ่งออกเป็นประเภทของหน่วยความจำอีกด้วย โดยจะมีการจำแนกเป็น 3 ประเภทคือ

1. C เช่น PIC16CXXX คือ มีโครงสร้างหน่วยความจำเป็น EPROM จัดอยู่ในจำพวกอุปกรณ์ OTP แต่สามารถลบได้ด้วยแสง UV
2. CR เช่น PICRXXX คือ มีโครงสร้างหน่วยความจำเป็น ROM จัดอยู่ในจำพวกอุปกรณ์ OTP ไม่สามารถลบได้
3. F เช่น PIC16FXXX คือ มีโครงสร้างหน่วยความจำเป็น FLASH Memory สามารถทำการลบแล้วโปรแกรมซ้ำได้หลายครั้ง

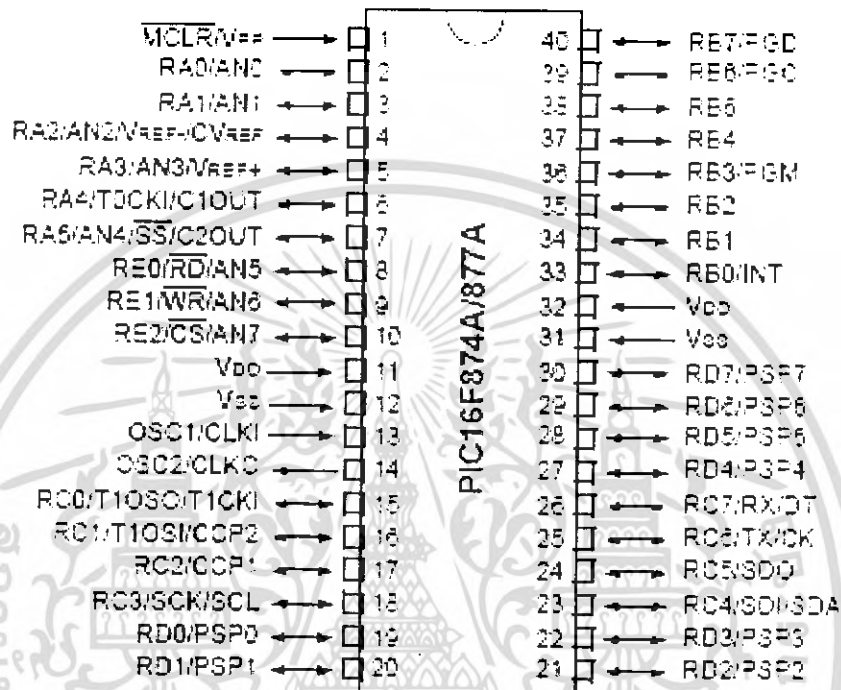
### 2.2.2.1 แรงดันในการทำงาน

ช่วงแรงดันการทำงานของ PIC โดยปกติมาตรฐานแล้วจะอยู่ระหว่าง 4.5-6.0 V แต่จะมีบางเบอร์ที่ออกแบบมาให้สามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันต่ำ ประมาณ 2.5-6 V ได้ ซึ่งจะมีการระบุไว้ให้ทราบ โดยมีการเพิ่มรหัสตัว L เข้าไปในเบอร์ของอุปกรณ์ เช่น PIC16LFXXX เป็นต้น

### 2.2.2.2 สัญญาณนาฬิกา

PIC จะใช้เป็นสัญญาณนาฬิกา โดยมองเป็นลักษณะของวงรอบ(Cycle) ซึ่งระบุเอาไว้ว่า 1 คำสั่งนั้นจะประกอบไปด้วย 1-2 วงรอบ โดยแต่ละวงรอบนั้นจะแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ด้วยเหตุนี้ ความเร็วโดยรวมของ PIC จะเท่ากับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหารด้วย 4

#### 40-Pin PDIP



รูปที่ 2.6 การจัดขาของ PIC 16F877

### 2.2.2.3 คุณสมบัติของ PIC16F877

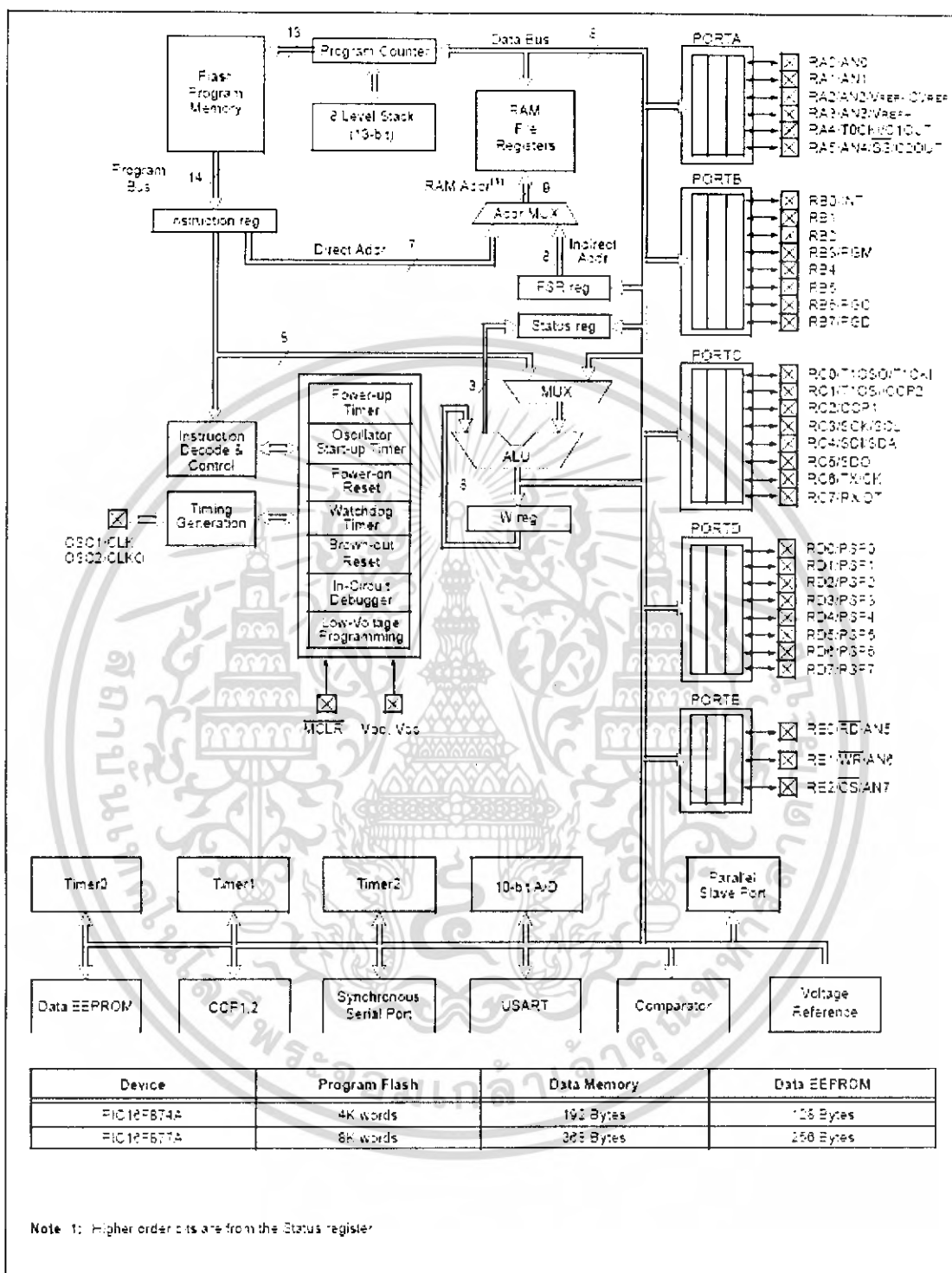
- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set) มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง
- คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle
- ทำงานได้สูงสุดที่ 20 MHz (PIC16F877-20/P)
- สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน
  - โหมด RC ใช้วงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์กำเนิดสัญญาณนาฬิกา
  - โหมด LP ใช้คริสตัลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200 KHz
  - โหมด XT ใช้คริสตัลความถี่ตั้งแต่ 100 KHz – 4 MHz
  - โหมด HS ใช้คริสตัลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20 MHz
- มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต [PORT A (6 bits), B (8 bits), C (8 bits), D (8 bits), E (3 bits)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8 KWord (1 word=14 bits)
- มี RAM ขนาด 368 bytes
- ทำงานแบบ Pipe-line ทำให้ ณ เวลาหนึ่งสามารถทำคำสั่ง Fetch และ Execute ได้พร้อมกัน
- ตอบสนองกับอินเตอร์รัพท์ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง
- มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
- มีระบบ POR (Power On Reset), PWRT (Power Up Timer), OST (Oscillator Start-up timer)
- มีระบบ WDT (Watchdog Timer)
- มีระบบ CP (Code Protection) และสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมด ประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 VDC ได้
- สามารถโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 VDC ถึง 5.5 VDC
- Current Sink และ Current Source ของ PORT อยู่ที่ 25 mA
- มี Timer/Counter 3 ตัว
- มีโมดูล Capture/Compare/PWM 2 ชุด
- มี A/D Converter แบบ 10 bits จำนวน 8 ช่องนำเข้าไปในตัวเอง
- มีระบบ USART สำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม
- มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง BODEN (Brown-Out Detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซต ซึ่พียู BOR (Brown-Out Reset)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 โครงสร้างการทำงานภายในของ PIC16F877



รูปที่ 2.7 โครงสร้างการทำงานภายใน PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของขา PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียด
OSC1/CLKIN	13	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/ counter. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	7	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	33	I/O	TTL/ST	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be soft-ware programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	I/O	TTL	
RB2	35	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	37	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	38	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	39	I/O	TTL/ST	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	I/O	TTL/ST	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI	15	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output
RC2/CCP1	17	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/ output for both SPI and I2C modes.
RC4/SDI/SDA	23	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I2C mode).
RC5/SDO	24	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode)
RC6/TX/CK	25	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

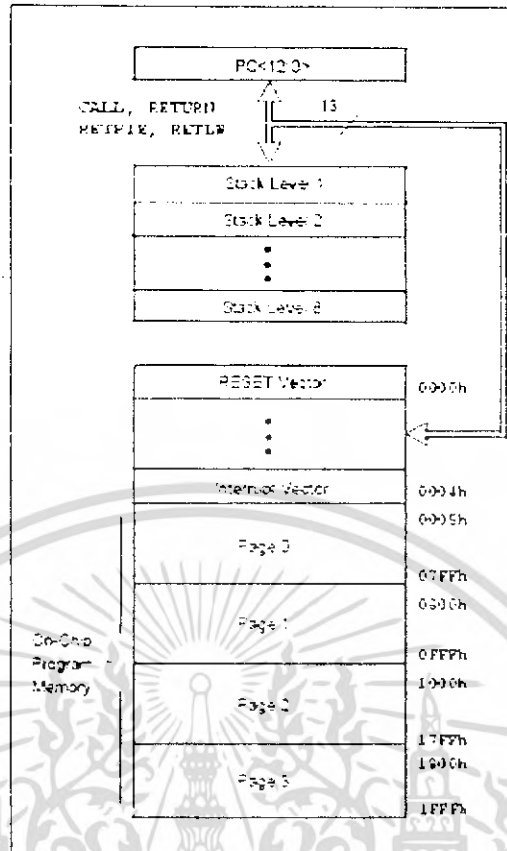
## ตารางที่ 2.1(ต่อ) รายละเอียดของขา PIC 16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียด
RD0/PSP0 RD1/PSP1 RD2/PSP2 RD3/PSP3 RD4/PSP4 RD5/PSP5 RD6/PSP6 RD7/PSP7	19 20 21 22 27 28 29 30	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RE0/RD/AN5 RE1/MR/AN6 RE2/CS/AN7	8 9 10	I/O I/O I/O	ST/TTL ST/TTL ST/TTL	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
VSS	12 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11 32	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

### 2.2.2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877

PIC16F877 จะมีขนาดของ Program Memory ซึ่งสามารถอ้างได้ถึง 8 Kbyte โดย PIC16F877 จะมีขนาดหน่วยความจำเท่ากับ 8 K x 14 bits ซึ่งตำแหน่ง Reset Vector จะอยู่ที่ 0000h และ Interrupt Vector จะอยู่ที่ 0004h

PIC จะแบ่ง Program Memory ออกเป็น Page ซึ่งแต่ละ Page ก็จะมีขนาด 2 Kbytes ซึ่งคำสั่ง CALL และ GOTO สามารถสั่งให้ Program Counter กระโดดจาก Page หนึ่งไปยังอีก Page หนึ่ง ดังนั้นจึงต้องไปควบคุม PCLATH<4:3> (Bit Address ที่ 12 และ 13 ให้ชี้ไปยัง Page ที่ต้องการเสียก่อน หลังจากนั้นจึงเรียกคำสั่ง CALL หรือ GOTO ตามอีกที)



รูปที่ 2.8 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877

การเลือก Page ของหน่วยความจำโปรแกรม จะต้องเลือกในรีจิสเตอร์ PCLATH โดยการระบุตำแหน่งที่บิต 3 และบิต 4

ตารางที่ 2.2 ค่า PCLATH<4:3>ในการเลือก Page ของ PIC16F877

PCLATH<4:3>	Page
00	0
01	1
10	2
11	3

เมื่อใช้คำสั่ง CALL ไปที่ Routine ใด Routine หนึ่งแล้ว แล้วจะใช้คำสั่ง RETURN ในการกลับไปตำแหน่งเดิม การ RETURN กลับไปนั้น ไม่จำเป็นต้องสั่ง PCLATH ขึ้นไปยัง Page ก่อนหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเรียก CALL เพราะค่า Address ดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ใน STACK อยู่แล้วแต่สำหรับคำสั่ง GOTO เวลาข้าม Page จะต้องสั่งให้ PCLATH ชี้ไปยัง Page ที่ต้องการจะไปทุกครั้ง

### 2.2.2.6 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล RAM ของ PIC16F877

PIC16F877 มีหน่วยความจำข้อมูล RAM สำหรับใช้งานทั่วไป 368 bytes และมีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 bits 57 ตัว ดังรูปที่ 2.4 แต่ละ Bank มีขนาดสูงสุด 128 bytes แต่มีการใช้งานได้จริงในแต่ละ Bank ต่างกัน

การเลือก Bank ของหน่วยความจำข้อมูล RAM จะต้องเลือกในรีจิสเตอร์ STATUS โดยการระบุตำแหน่งที่บิต 5 และบิต 6 (RP0, RP1)

ตารางที่ 2.3 ค่า RP0 และ RP1 ในการเลือก Bank ของ PIC16F877

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3



Enable/Disable Watchdog timer, Oscillator Selection bits (กำหนดที่มาของสัญญาณนาฬิกา)  
หน่วยความจำที่ตำแหน่งนี้ จะต้องกำหนดในขณะที่เขียน โปรแกรมลงสู่ Flash Memory ของ PIC

## 2. รีจิสเตอร์ STATUS

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลแสดงสถานะการทำงานของ PIC16F877

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.10 รีจิสเตอร์ STATUS

3. รีจิสเตอร์ W เป็นรีจิสเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญ เพราะในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ W และยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านสถานะของ Output ไปยัง I/O PORT อีกด้วย

4. Program Counter (PC) เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้ระบุ Address ของ Program Memory ที่กำลังทำการประมวลผล ซึ่งจะเป็น Counter ขนาด 13 bits โดยทั่วไปแล้ว Counter ตัวนี้เพิ่มขึ้น 1 ทุกๆครั้งที่มีการประมวลผลคำสั่งเกิดขึ้น 1 ครั้ง ซึ่งค่าที่แสดงก็คือตำแหน่งของคำสั่งต่อไปที่จะทำการประมวลผล แต่เมื่อประมวลผลคำสั่ง JUMP ตัว counter จะมีค่าเท่ากับตำแหน่งที่คำสั่ง JUMP นั้นอ้างอิงถึง

5. Stack เป็นหน่วยความจำสำรองสำหรับเก็บค่าของ PC ขนาด 13 bits โดยเก็บข้อมูลได้ 8 ระดับ โดยเก็บตำแหน่งของ PC เข้าเมื่อมีคำสั่ง CALL และส่งตำแหน่งที่เก็บไว้ออกไปยัง PC เมื่อมีคำสั่ง RETURN โดยการเก็บจะเป็นแบบ LIFO (Last In First Out)

6. PORTA, PORTB,... เก็บค่าสถานะของ PORT นั้นๆ

7. TRISA, TRISB,... ใช้กำหนดทิศทางของ PORT นั้นๆ ว่าขาใดเป็น Input หรือ Output โดยถ้ากำหนดให้เป็น 0 จะเป็น Output ถ้าให้เป็น 1 จะเป็น Input

8. รีจิสเตอร์ CCP1CON และ CCP2CON เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมโมดูล CCP1 และ CCP2 (Address 17h, 1Dh)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.11 รีจิสเตอร์ CCPxCON

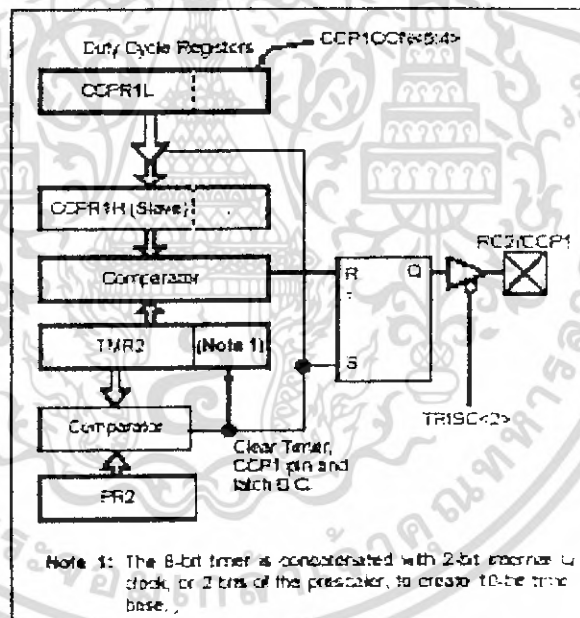
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.8 การทำงานในโหมด PWM

โมดูล CCPx จะกำเนิดสัญญาณโมดูลเลชันทางความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) ความละเอียด 10 บิต สัญญาณ PWM ที่สร้างจะส่งออกทางขา RC2/CCP1 หรือ RC1/T1OSI/CCP2

#### 1 หลักการสร้างสัญญาณ PWM

- กำหนดค่าให้แกรีจิสเตอร์ PR2 เพื่อกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM
- กำหนดค่าเดิวตี้ไซเคิล โดยเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ CCPRxL ร่วมกับบิต 5-4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON
- กำหนดให้ขาพอร์ต RC2/CCP1 หรือ RC1/T1OSI/CCP2 เป็นเอาต์พุตเพื่อเป็นทางออกของสัญญาณ PWM โดยการเคลียร์บิตที่ 2 หรือ 1 ของรีจิสเตอร์ TRISC
- กำหนดให้ค่าปริสเกลเลอร์ของ TMR 2 และเอ็นเนเบิลการทำงานของไมเมอร์ 2
- กำหนดให้โมดูล CCPx ทำงานในโหมด PWM

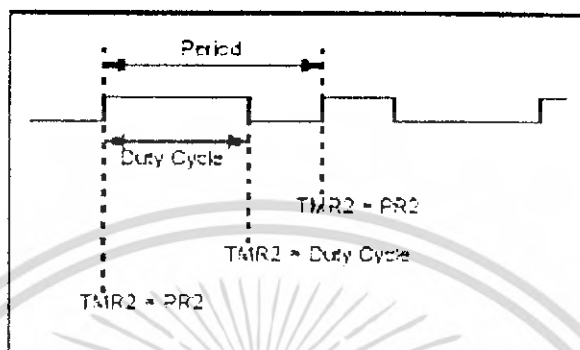


รูปที่ 2.12 การทำงานของโมดูล CCP1 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 ทันทีที่โมดูล CCPx เริ่มทำงานค่าของ TMR2 จะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ PR2 ที่ขาพอร์ต RC2/CCP1 หรือ RC1/T1OSI/CCP2 จะเกิดลอจิก “1” และคลลสถานะอยู่เช่นนั้นแล้ว ค่าของ TMR2 จะเคลียร์แล้วเพิ่มขึ้นใหม่ หลังจากนั้นค่าเดิวตี้ไซเคิลที่กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ CCPRxL และ 2 บิตใน CCPxCON จะถูกถ่ายทอดไปยัง CCPRxH และ 2 บิตในหน่วยความจำพิเศษ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าใน TMR2 และค่าปริสเกลเลอร์ 2 บิต ซึ่งเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเมื่อข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน จะส่งสัญญาณไป ทำให้ขาพอร์ต RC2/CCP1 หรือ RC1/T1OSI/CCP2 กล้ามาเป็นลอจิก “0” และคลสสถานะอยู่เช่นนั้นจนกระทั่งค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2 อีกครั้ง ก็จะเกิดสัญญาณลอจิก “1” เป็นการเริ่มต้นรอบใหม่ของสัญญาณ และจะทำงานวนรอบเช่นนี้จนกระทั่งมีการดิสเอเบิล(disable)



รูปที่ 2.13 เอาต์พุตของสัญญาณ PWM

ค่าคิวิตซ์เกิดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จากการเปลี่ยนค่าที่ CCPxL และ 2 บิตใน CCPxCON แต่ค่าของคาบเวลาหรือความถี่เปลี่ยนแปลงไม่ได้จนกว่าจะหยุดการทำงาน แล้วกำหนดค่าของคาบเวลาลงในรีจิสเตอร์ PR2 ใหม่ ดังนั้นสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจึงสามารถกำหนดค่าคิวิตซ์เกิดได้ตามความต้องการ

2. การกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM ทำได้โดยการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ PR2 (รีจิสเตอร์คาบเวลาของไทมเมอร์ 2) แล้วนำค่าของ PR2 มาคำนวณหาคาบเวลาของสัญญาณ PWM

คาบเวลาของสัญญาณ PWM = (ค่าในรีจิสเตอร์ ๓๒+1) x 4 x  $T_{osc}$  x ค่าปริสเกลเลอร์ของ TMR2

โดยที่  $T_{osc}$  คือคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลักมีหน่วยเป็นวินาที  
ค่ารีจิสเตอร์ทั้งหมดคำนวณในเลขฐานสิบ

ความถี่ของสัญญาณ PWM = 1/คาบเวลาของสัญญาณ PWM

3. การกำหนดค่าคิวิตซ์เกิดของสัญญาณ PWM ทำได้โดยการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ CCPxL ร่วมกับบิต 5-4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON ทำให้สามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณ PWM ได้สูงที่สุดถึง 10 บิต โดย 8 บิตบนจะใช้ข้อมูลรีจิสเตอร์ CCPxL ส่วนใน 2 บิตล่างใช้ข้อมูลในบิต 5-4 ของรีจิสเตอร์ CCP1CON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควิตซ์ไช้เกิดของสัญญาณ PWM  $= (CCPRIL:CCPICON<5:4>)_{10bit} \times T_{osc}$

โดยที่  $T_{osc}$  คือคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลักมีหน่วยเป็นวินาที

ค่าในรีจิสเตอร์ทั้งหมดคำนวณในรูปของฐานสิบ

4. ความละเอียดของ PWM จะขึ้นอยู่กับบิตปริสเกลเลอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ความละเอียดสูงสุดของสัญญาณ PWM จะสัมพันธ์กับความถี่ที่กำหนด ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา และค่าปริสเกลเลอร์

$$\text{ความละเอียด (บิต)} = \frac{\log\left(\frac{f_{osc}}{f_{PWM} \times N}\right)}{\log 2}$$

โดยที่  $f_{osc}$  คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลักมีหน่วยเป็น Hz

$f_{PWM}$  คือความถี่ของสัญญาณ PWM มีหน่วยเป็น Hz

N คือ ค่าปริสเกลเลอร์ในไทเมอร์ 2

สัญญาณ PWM จะมีความละเอียดสูงสุดเมื่อค่าของปริสเกลเลอร์เท่ากับ 1

ตาราง 2.4 ตัวอย่างขนาดความถี่และความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 20 MHz

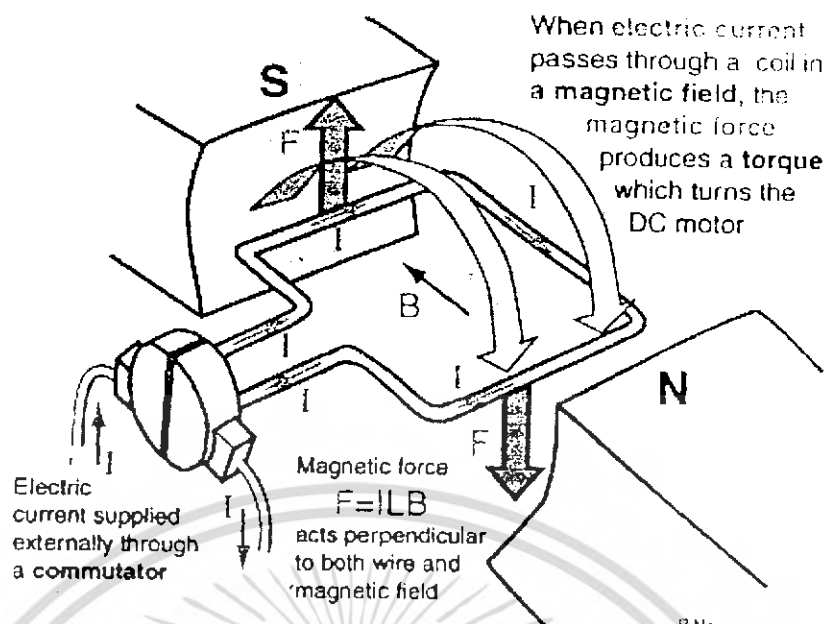
ความถี่ของสัญญาณ PWM (kHz)	1.22	4.88	19.53	78.12	156.3	208.3
ค่าปริสเกลเลอร์ (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
ค่ารีจิสเตอร์ PR2	FFh	FFh	FFh	3Fh	1Fh	17h
ความละเอียดสูงสุด (บิต)	10	10	10	8	7	5.5

### 2.2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

#### 2.2.3.1 โครงสร้างการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์จะหมุนก็ต่อเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเมื่อป้อนแรงดันไฟตรงเข้าที่แปรงถ่านก็จะเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักให้ขดลวดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์

ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นนี้หาได้จาก

$$F = Bil$$

เมื่อ  $F$  = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว (นิวตัน)

$B$  = ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (เทสลา)

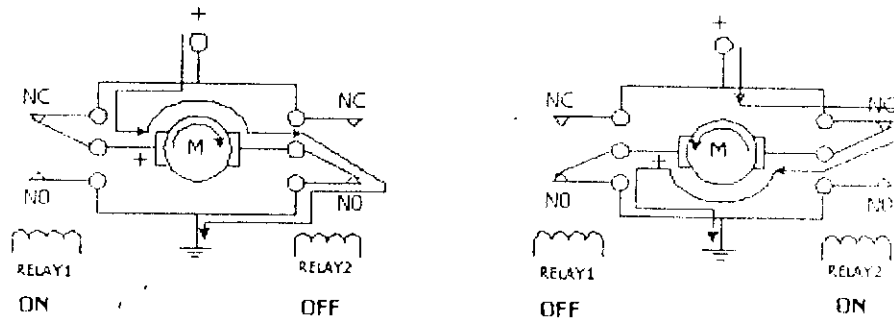
$i$  = กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมแปร์)

$l$  = ความยาวของตัวนำ (เมตร)

แรง  $F$  ที่เกิดขึ้น จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ผ่านในตัวนำนั้นๆ โดย คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นตัวทำให้กระแสไหลผ่านตัวนำไปในทิศทางเดียวตลอดเวลา ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ซึ่งช่วยทำให้เกิดแรงบิดไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

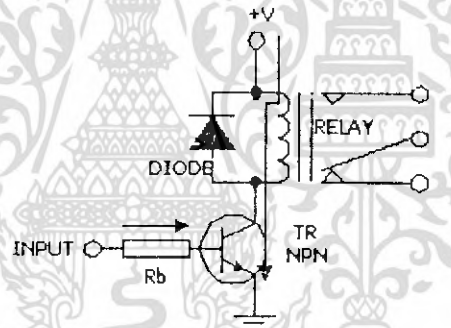
### 2.2.3.2 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟฟ้ากระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต



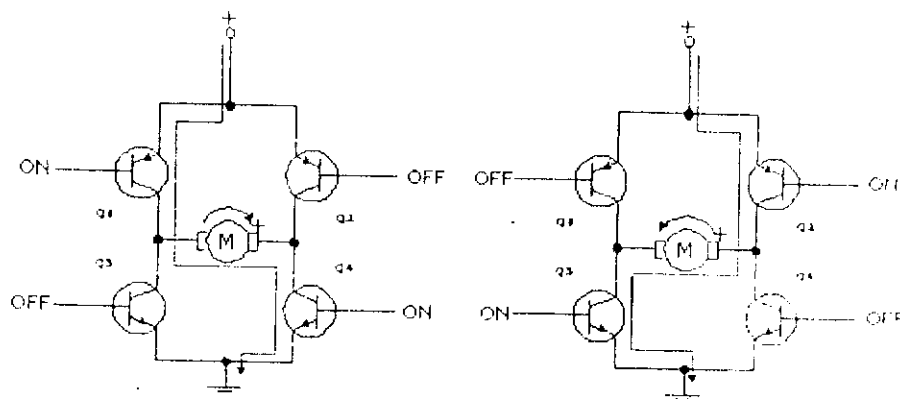
รูปที่ 2.15 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์

จากรูปที่ 2.11 เป็นการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการเปิด-ปิด ที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (ON) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (OFF) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (OFF) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (ON) ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา



รูปที่ 2.16 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน

จากรูปที่ 2.12 เป็นวงจรรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขา เอาต์พุตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขา เอาต์พุตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีส่วนของวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการยุบตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2.17 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

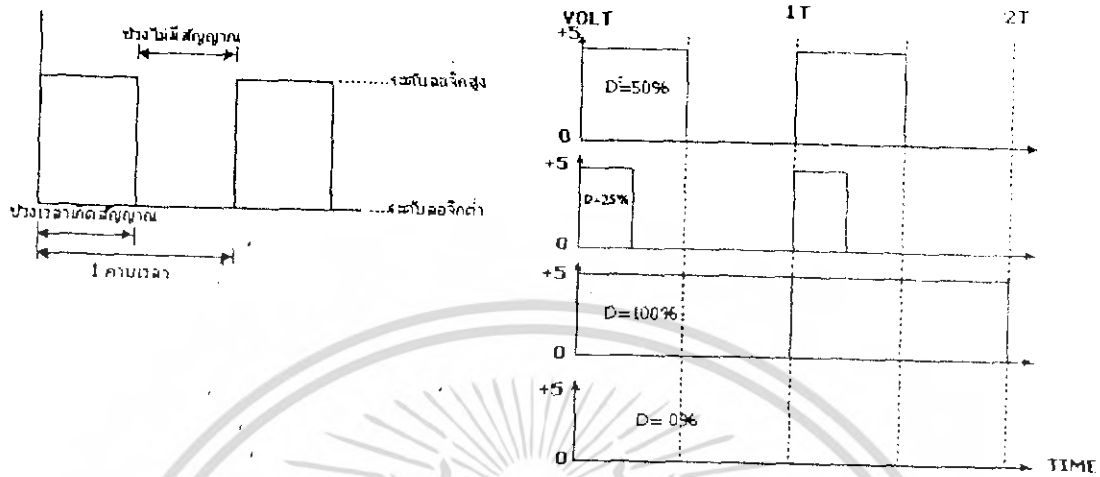
จากรูปที่ 2.13 เป็นวงจรฟูลบริดจ์ ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวที่ทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสถานะการทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านมอเตอร์จากซ้ายไปขวา ทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกันถ้าหากเราทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสถานะการทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

### 2.2.3.3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐาน เช่น การควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับมอเตอร์เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)

### 2.2.3.4 การมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง หรือการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของคิวตี้ไซเคิล (duty cycle) นั่นเอง ซึ่งค่าของคิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จาก ความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากคิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกอยู่สูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูป 2.14 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าคิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าคิวตี้ไซเคิลสามารถ จะหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

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



รูปที่ 2.18 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ ของสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่คงที่

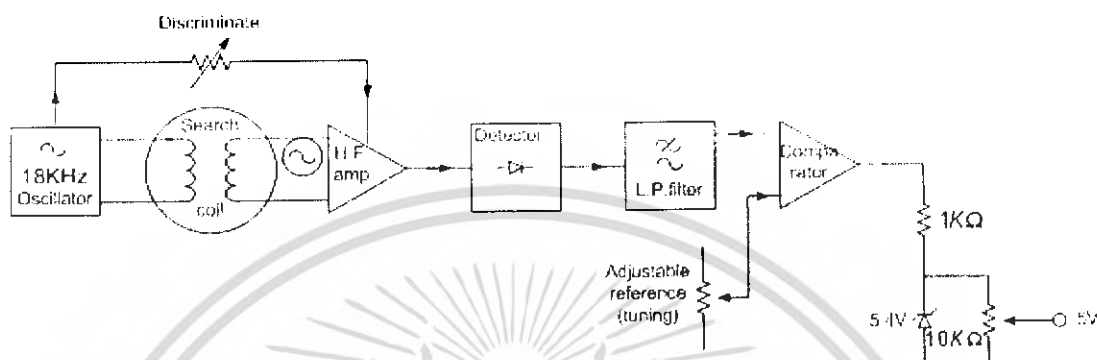


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

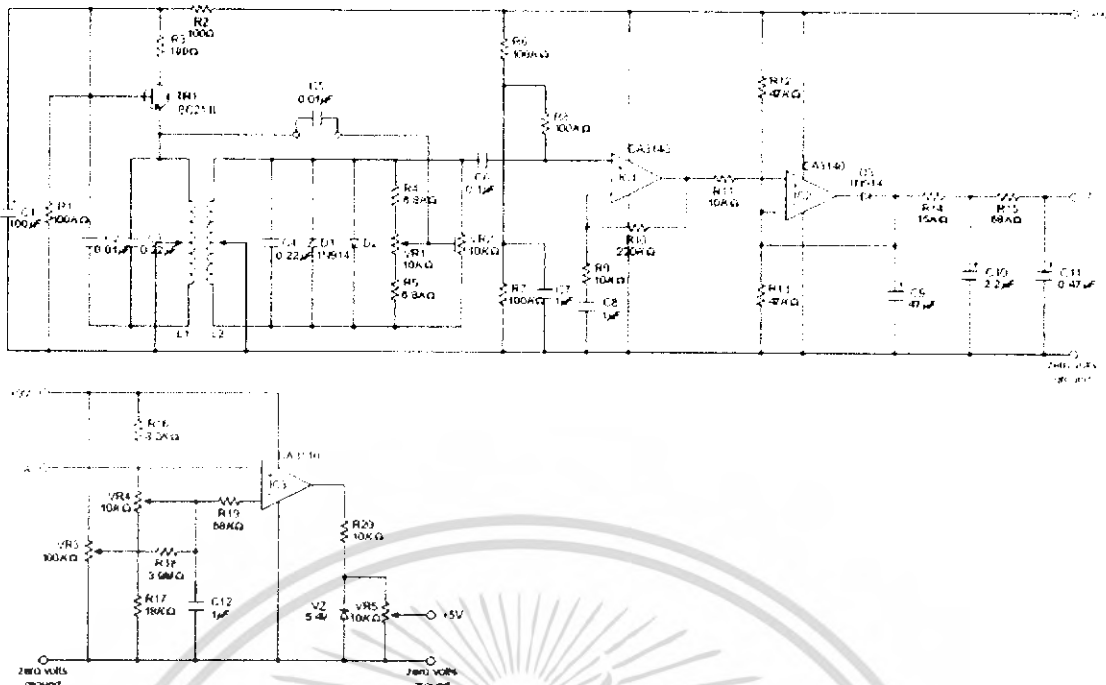
### การคำนวณและการออกแบบ

#### 3.1 วงจรตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุตัวนำ

จากบล็อกไดอะแกรม วงจรกำเนิดความถี่จะขับคอยล์ชุดส่งให้สร้างสนามแม่เหล็ก และส่งความถี่ออกมาประมาณ 18 kHz เส้นแรงแม่เหล็กจะพาดผ่านชุดคอยล์รับ และมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับคอยล์ชุดส่ง ที่เอาท์พุทจะมีการผลิตกระแสเล็กน้อยหรือไม่มี ถ้ามีวัตถุที่มีสารแม่เหล็กเข้ามาในสนามแม่เหล็ก วัตถุนั้นจะไปทำการรบกวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ถูกส่งออกมา ทำให้คอยล์ชุดรับเหนี่ยวนำไม่เท่ากับคอยล์ชุดส่ง ทำให้มีสัญญาณเอาต์พุทเกิดขึ้น ซึ่งสัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรขยาย , วงจรเรียงกระแส , และวงจรกรองกระแส ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้จากที่ได้จากระบบจะเป็นสัญญาณความต่างศักย์ที่เป็นกระแสตรง ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าวัตถุที่มีสารแม่เหล็กเข้าใกล้คอยล์มากขึ้น หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จะส่งผ่านไปยังตัวคอมพาราเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ เมื่อเรที่ตั้งค่าระดับอ้างอิงเรียบร้อยแล้ว ถ้าสัญญาณที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จะทำให้เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์เปลี่ยนสถานะไป



รูปที่ 3.2 วงจรตรวจจับวัตถุคว่ำ

จากรูปวงจรตรวจจับวัตถุ วงจรกำเนิดความถี่ประกอบด้วย TR1 และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ทำการขับเคลื่อนคอยล์ L1 คอยล์ L2 จะทำการรับสัญญาณที่มาจากคอยล์ L1 และถูกส่งไปขยายโดย IC1 และถูกเรียงกระแสโดย IC2 ซึ่งต่อกับตัวตรวจจับแรงดันที่มีค่าเป็นบวก สัญญาณที่ตรวจจับได้ จะตกคร่อมที่ C9 และถูกทำให้เรียบโดย Low Pass Filter ประกอบด้วย R14, R15, C10 และ C11 ต่อจากนั้นจะผ่านไปยัง IC3 ซึ่งเป็นคอมพาราเตอร์ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้ามา กับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งถูกปรับโดย VR3 และ VR4 VR4 จะทำหน้าที่ปรับค่าสัญญาณอย่างรวดเร็ว ส่วน VR3 จะทำการปรับสัญญาณให้เข้าใกล้ค่าที่ต้องการ ซึ่งจะมีผลทำให้การตรวจจับมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สัญญาณที่ออกจากตัวคอมพาราเตอร์จะตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดที่รักษาระดับแรงดันไว้ที่ 5.4 V. VR 5 จะทำการปรับแรงดันก่อนที่จะส่งเข้าตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของรถต่อไป

### 3.2 โครงสร้างของคอยล์

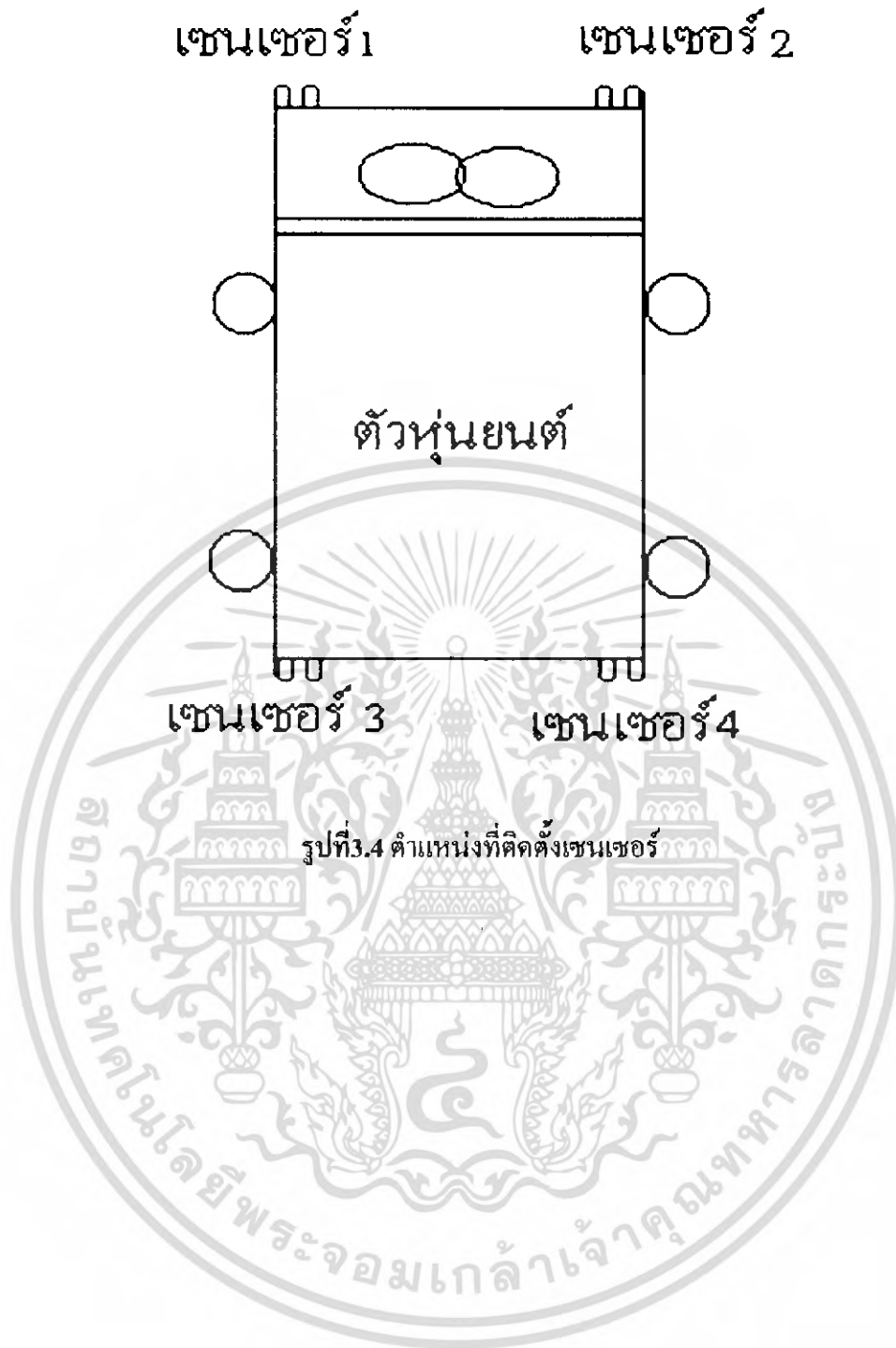
นำขดลวดทองแดงเบอร์ 32 พันเป็นวงกลมรัศมี 3.25 เซนติเมตร จำนวน 50 รอบโดยรอบที่ 25 จะดึงขดลวดออกมาเพื่อทำเป็นกราวด์ ยึดเส้นลวดให้ติดกันโดยการพันลวดทองแดงกระทำแบบนี้ทั้งคอยล์ชุดส่งและคอยล์ชุดรับ นำขดลวดที่ได้มาทาบกันเป็นรูปเลข 8 บนพลาสติกยึดด้วยกาวตราช้างเพื่อความมั่นคง



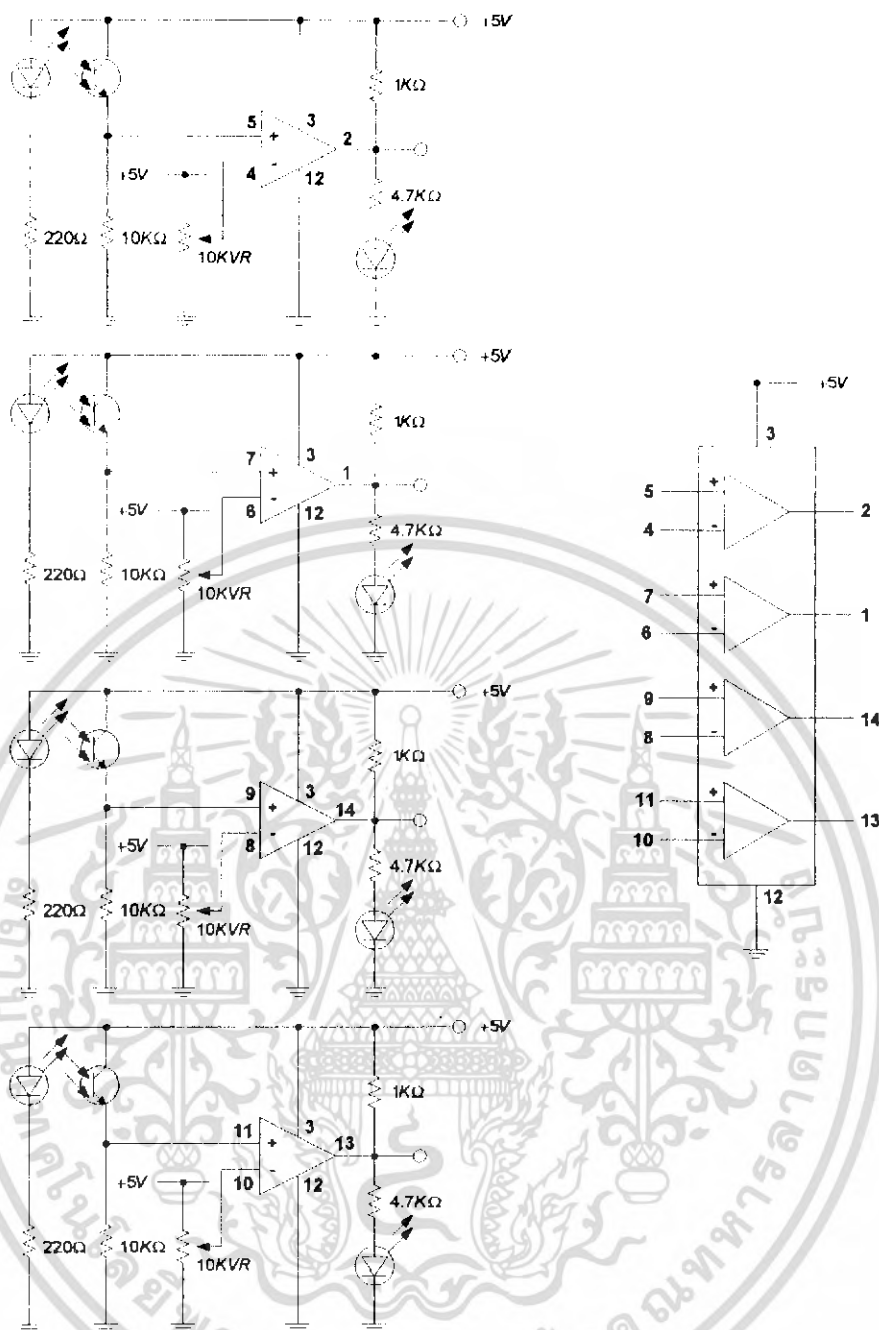
รูปที่ 3.3 การพันคอยล์

### 3.3 วงจรเซนเซอร์

วงจรเซนเซอร์นี้เราใช้ในตัวหุ่นยนต์เพื่อให้การเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ไม่ไปชนกับวัตถุที่อยู่ด้านข้างซึ่งในโปรเจกต์นี้เราเลือกใช้เซนเซอร์แบบอินฟราเรดเซนเซอร์ อินฟราเรดเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ส่งสัญญาณอินฟราเรดออกไปจากตัวส่งสัญญาณ เมื่อเกิดมีวัตถุทึบแสงเข้ามาบังสัญญาณอินฟราเรดก็จะสะท้อนกลับมาเข้าสู่ตัวรับแล้วนำสัญญาณที่ได้ส่งให้กับตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลในการขับเคลื่อนของตัวหุ่นยนต์ ในโครงการนี้ ทางผู้ทำได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ที่ตัวหุ่นยนต์จำนวน 4 จุดด้วยกันซึ่งมีตำแหน่งการติดตั้ง ดังนี้ หน้ามุมขวา หน้ามุมซ้าย หลังมุมขวา และหลังมุมซ้าย ดังรูปที่ 3.4



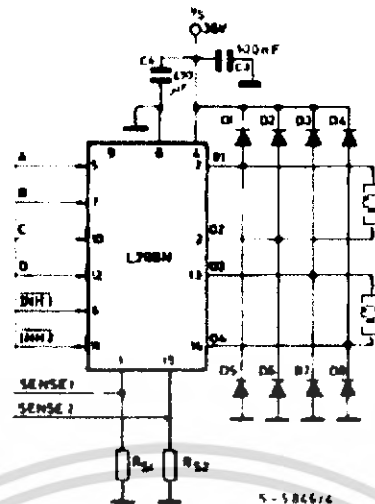
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรอินฟราเรดเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรขับมอเตอร์



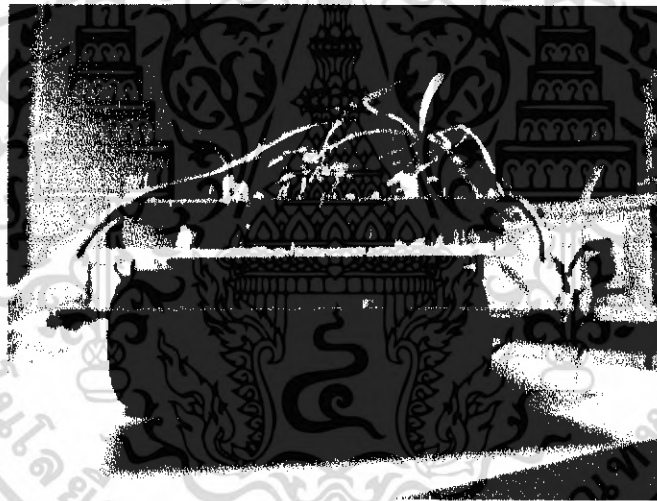
$$R_{S1} = R_{S2} = 0.5 \Omega$$

$$D1 \text{ to } D8 = 2 \text{ A Fast diodes } \begin{cases} V_F \leq 1.2 \text{ V @ } I = 2 \text{ A} \\ t_r \leq 200 \text{ ns} \end{cases}$$

รูปที่ 3.6 วงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ L298D

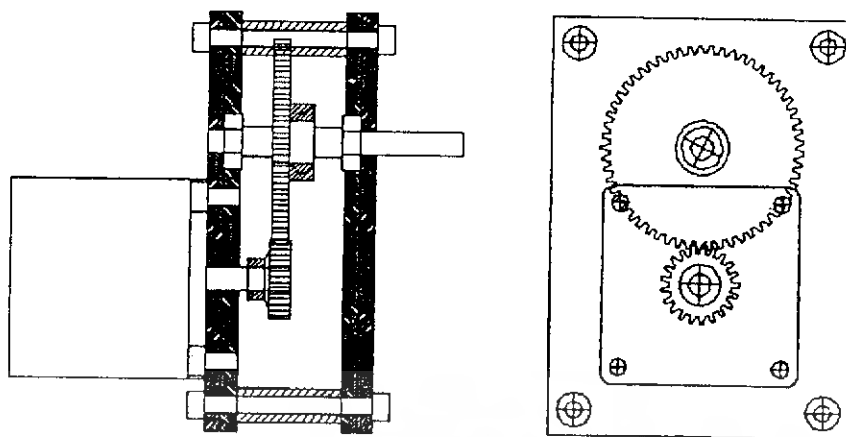
จากรูปที่ 3.6 เมื่อมีสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีสถานะสูงมาที่ขา 5 และขา 6 โดยที่ขา 7 มีสถานะต่ำ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเท่ากับ  $V_C$  มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ในทางกลับกันถ้าขา 6 และ 7 มีสถานะสูง และขา 5 มีสถานะต่ำ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมมอเตอร์  $-V_C$  ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีแรก แต่ในกรณีที่สัญญาณที่ขา 5 และ 7 มีสถานะเหมือนกัน โดยที่ขา 6 ยังมีสถานะสูงอยู่ไม่ว่าจะเป็นสถานะสูงหรือต่ำ แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์จะเป็นศูนย์ ทำให้มอเตอร์ไม่หมุน แต่ถ้าขา 6 มีสถานะต่ำไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม มอเตอร์จะไม่ทำงาน

### 3.5 โครงสร้างทางเครื่องกล



รูปที่ 3.7-ก แนวความคิดในการออกแบบ โครงสร้างหุ่นยนต์และระบบขับเคลื่อนล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7-ข แนวความคิดในการออกแบบ โครงสร้างหุ่นยนต์และระบบขับเคลื่อนล้อ

เงื่อนไขในการพิจารณาการออกแบบ โครงสร้างทางเครื่องกล

1 เนื่องจากใช้ตัวตรวจจับโลหะเป็นอุปกรณ์ตรวจกับระเบิด ดังนั้นเพื่อลดข้อผิดพลาดในการวัด จึงต้องพิจารณาเลือกวัสดุต่างๆ ดังนี้

1.1 ส่วนที่ติดกับชุดคอยล์ตรวจจับโลหะ จะต้องไม่มีความเป็น โลหะ

1.2 โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ต้องมีความเป็น โลหะน้อยที่สุด

2 น้ำหนักของหุ่นยนต์ที่กดลงพื้น ณ จุดต่างๆต้องต่ำ เพื่อลดผลจากการวิ่งทับกับระเบิด จึงทำให้เกิดระเบิดได้ วัสดุที่ใช้จึงต้องเป็น ไม้หรือพลาสติก

3 เพื่อความสามารถในการตรวจจับในพื้นที่ที่มีความขรุขระหรือพื้นที่วิบาก จึงออกแบบหุ่นยนต์ให้เป็นระบบขับเคลื่อน 4 ล้อ

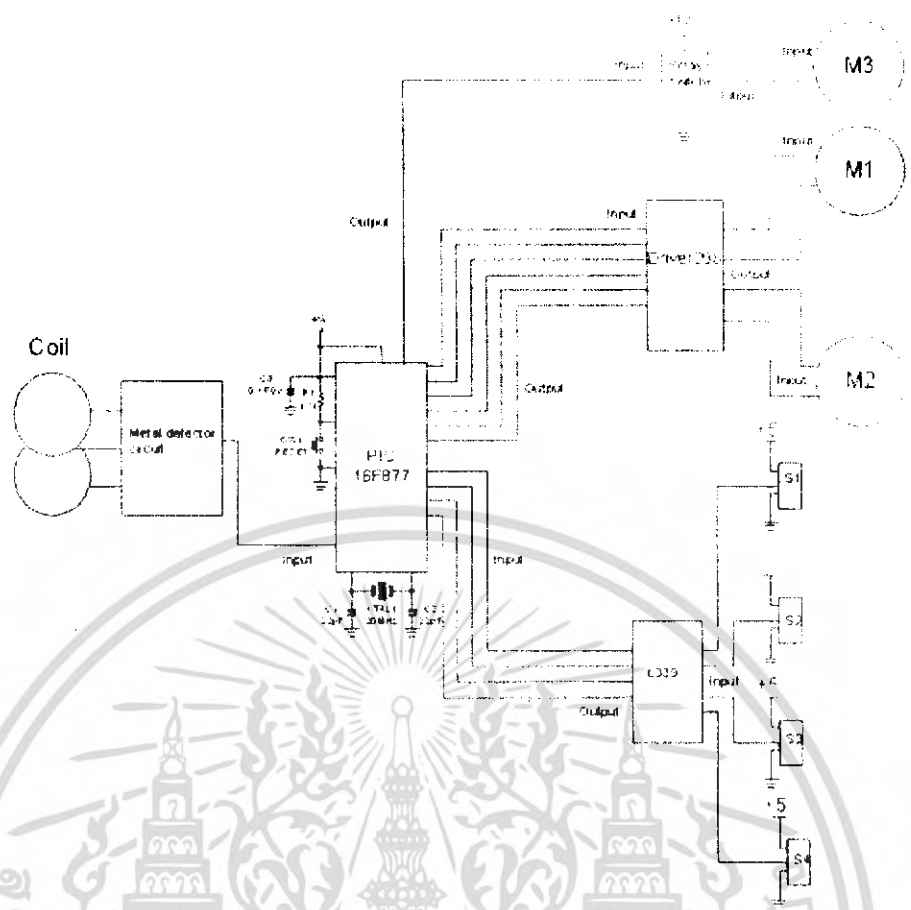
### 3.6 การออกแบบการขับเคลื่อนของตัวหุ่นยนต์

การออกแบบการขับเคลื่อนของตัวหุ่นเราจะออกแบบให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ 2 แบบคือ แบบอัตโนมัติ และแบบควบคุมด้วยรีโมทซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.6.1 แบบอัตโนมัติ

การขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติเป็นการให้หุ่นยนต์สามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวของมันเอง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากวงจรตรวจจับโลหะและวงจรเซ็นเซอร์มาประมวลผล และส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ของล้อและตัวปล่อยแป้ง ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อวงจรรวม

3.6.2 แบบรีโมท

เป็นการเคลื่อนที่แบบสั่งงานผ่านรีโมทบังคับควบคุมการเคลื่อนที่จากตัวผู้ใช้ ซึ่งเราจะใช้การควบคุมแบบรีโมท ในกรณีที่หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติได้ มีหลักการทำงานดังนี้

ตัวส่งสัญญาณจะมีความถี่เดียวกับตัวรับสัญญาณที่ความถี่ 49 เมกะเฮิร์ตเมื่อรีโมทส่งสัญญาณไปยังตัวรับที่ระดับความถี่เดียวกันกับตัวรับ จะทำให้วงจรรีโมททำงานและไปจับมอเตอร์ของล้อตามทีรีโมทส่งสัญญาณออกมา

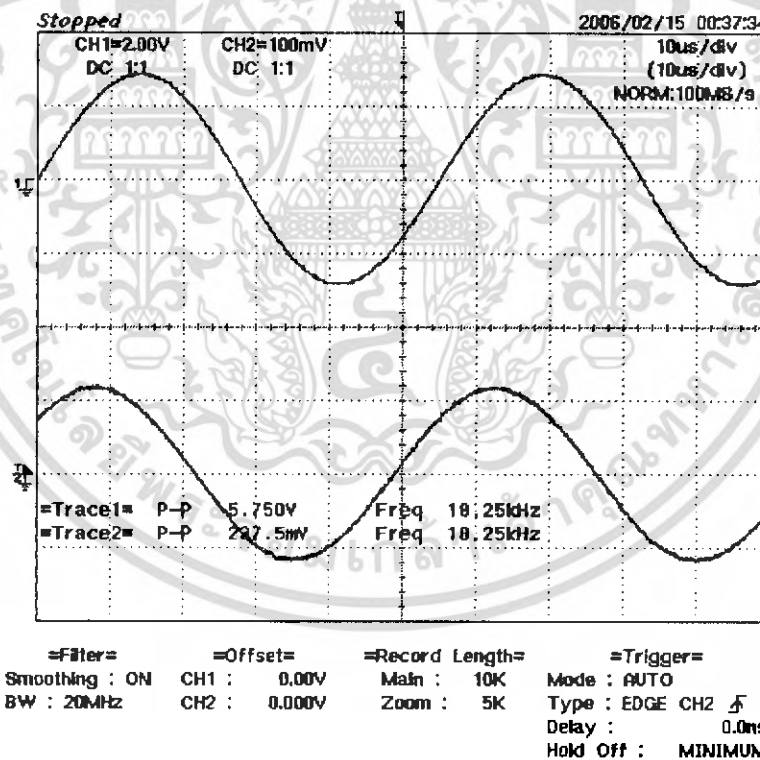
## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบการใช้งานของวงจรตรวจจับวัตถุระเบิด

1. ติดตั้ง SEARCH COIL ให้ขนานกับพื้นและห่างจากพื้นดินประมาณ 4 เซนติเมตร
2. จ่ายกระแสไฟฟ้า DC 9 V.
3. ปรับความไวในการตรวจจับที่ตัวปรับระดับโวลต์อ้างอิง VR 4
4. เมื่อวงจรพร้อมที่จะทำงานในการตรวจจับ เลื่อนตำแหน่งวัตถุเข้าใกล้ SEARCH COIL
5. เมื่อวงจรตรวจจับวัตถุระเบิดตรวจพบวัตถุที่เป็นตัวนำ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ จะมีค่า 5 V
6. การดูแลรักษาทำได้โดย อย่าให้วงจรกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง ไม่ควรเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ อย่าใช้น้ำยาเคมีเช็ด ควรใช้ผ้าแห้งปกติเช็ดทำความสะอาด

#### 4.2 ผลการทดลอง

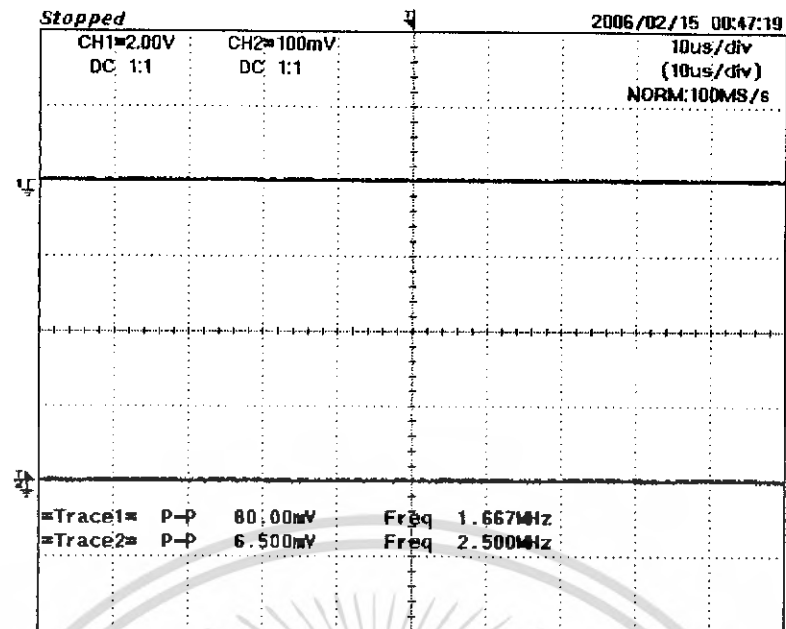


CH1 = สัญญาณจากคอยล์ชุดส่ง

CH2 = สัญญาณจากคอยล์ชุดรับ

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัญญาณที่เกิดจากคอยล์ชุดรับและชุดส่งในกรณีที่ไม่มีวัตถุเข้าใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : 20MHz CH2 : 0.000V Zoom : 5K Type : EDGE CH2  $\checkmark$   
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

CH1 = สัญญาณจากคอยล์ชุดส่ง

CH2 = สัญญาณจากคอยล์ชุดรับ

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสัญญาณที่เกิดจากคอยล์ชุดรับและชุดส่งในกรณีที่มีวัตถุเข้าใกล้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุ	ระยะที่สามารถตรวจจับได้ (ซ.ม.)
สังกะสี	2
อลูมิเนียม	1
เหล็ก	1.5
ทองแดง	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตรวจหาวัตถุระเบิดมีอยู่ด้วยกันหลายตัวแปรดังนี้

1. ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณขดลวด คือ ถ้ามีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณขดลวดมาก จะทำให้ SERCH COIL สามารถตรวจจับวัตถุตัวนำได้ดียิ่งขึ้น
2. ขดลวด ขดลวดทองแดงที่ใช้พันควรจะมีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อลดการสูญเสียกระแส แต่ไม่ควรเลือกให้ขนาดใหญ่มากเกินไปเพราะจะทำให้หนัก และเปลืองพลังงาน การพันขดลวดควรให้มีจำนวนรอบมากพอที่จะสร้างสนามแม่เหล็กให้มีความเข้ม เพื่อไปเหนี่ยวนำวัตถุตัวนำภายนอก รัศมีของขดลวดต้องมีรัศมีกว้างพอ เพื่อที่จะทำให้การค้นหาวัตถุตัวนำทำได้ในบริเวณที่กว้าง
3. ขนาดของวัตถุตัวนำ ถ้าวัตถุมีขนาดใหญ่จะทำให้สามารถตรวจจับได้ระยะไกลกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก
4. ความถี่ที่ผลิต ถ้าความถี่ที่ผลิตออกมาเป็นความถี่ที่สูง จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถค้นหาวัตถุตัวนำได้ในระยะที่ไกลขึ้น แต่ถ้าความถี่ที่ใช้มีค่าสูงเกินไป อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจจับได้ ถ้าในบริเวณนั้นมีแค่ธาตุผสมอยู่มาก

#### 5.1 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ

1. วงจรที่ออกแบบเป็นการค้นหาตัวนำ ซึ่งจะแยกเป็นชนิดของตัวนำที่ใช้ทำวัตถุที่ตรวจพบได้เท่านั้น ไม่สามารถระบุได้ว่าวัตถุนั้นเป็นอะไร หากต้องการแยกแยะให้รู้ว่าวัตถุที่ตรวจพบนั้นเป็นอะไรก็ต้องนำไปพัฒนาเพิ่มเติม โดยต้องคำนึงถึงความถี่ต่างๆ ที่มีผลกระทบกับโลหะแต่ละประเภท

2. การจัดทำชุดขดลวดค้นหาต้องระมัดระวังและคำนึงถึงการส่งผ่านสัญญาณ(Coupling) ค่าความเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดชุดรับ-ส่ง, ทรานส์ระหว่างขดลวดรับ-ส่ง, ความถี่ที่เหมาะสมของชุดขดลวดค้นหา, รูปแบบของเพื่อให้วงจรสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลง หรือรบกวนสนามแม่เหล็กได้มากที่สุด ทำให้ยากต่อการเข้าใจและจัดทำชุดขดลวดค้นหา

3. ค่าความไวของวงจร ยังไม่สามารถตรวจหาหรือแยกแยะโลหะที่มีขนาดเล็กออกจากโลหะที่มีขนาดใหญ่ หรือที่อยู่ระดับลึกมากๆ ได้

4. วงจรที่ออกแบบยังไม่ได้ทดลองในสภาวะที่มีการรบกวนของความถี่ต่างๆ กับตัววงจร จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าจะมีผลกระทบอย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

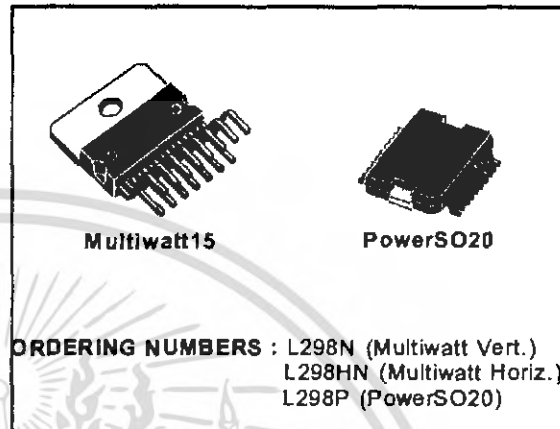
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

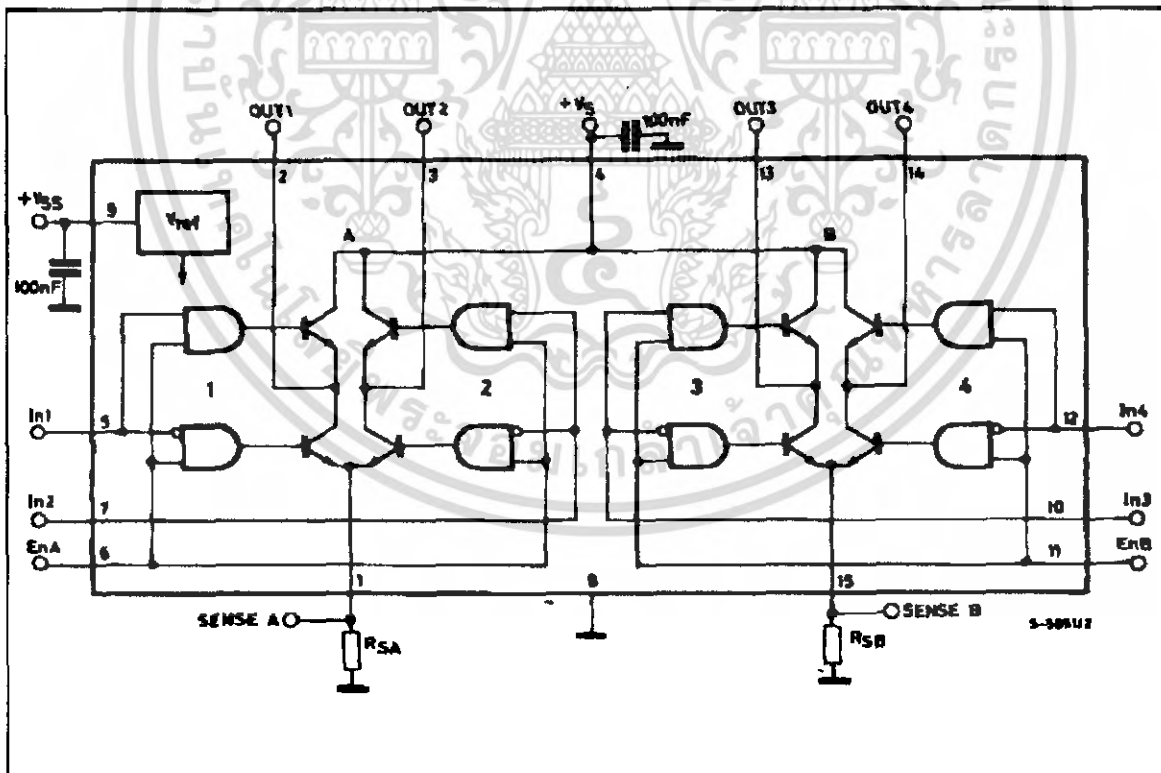
- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

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



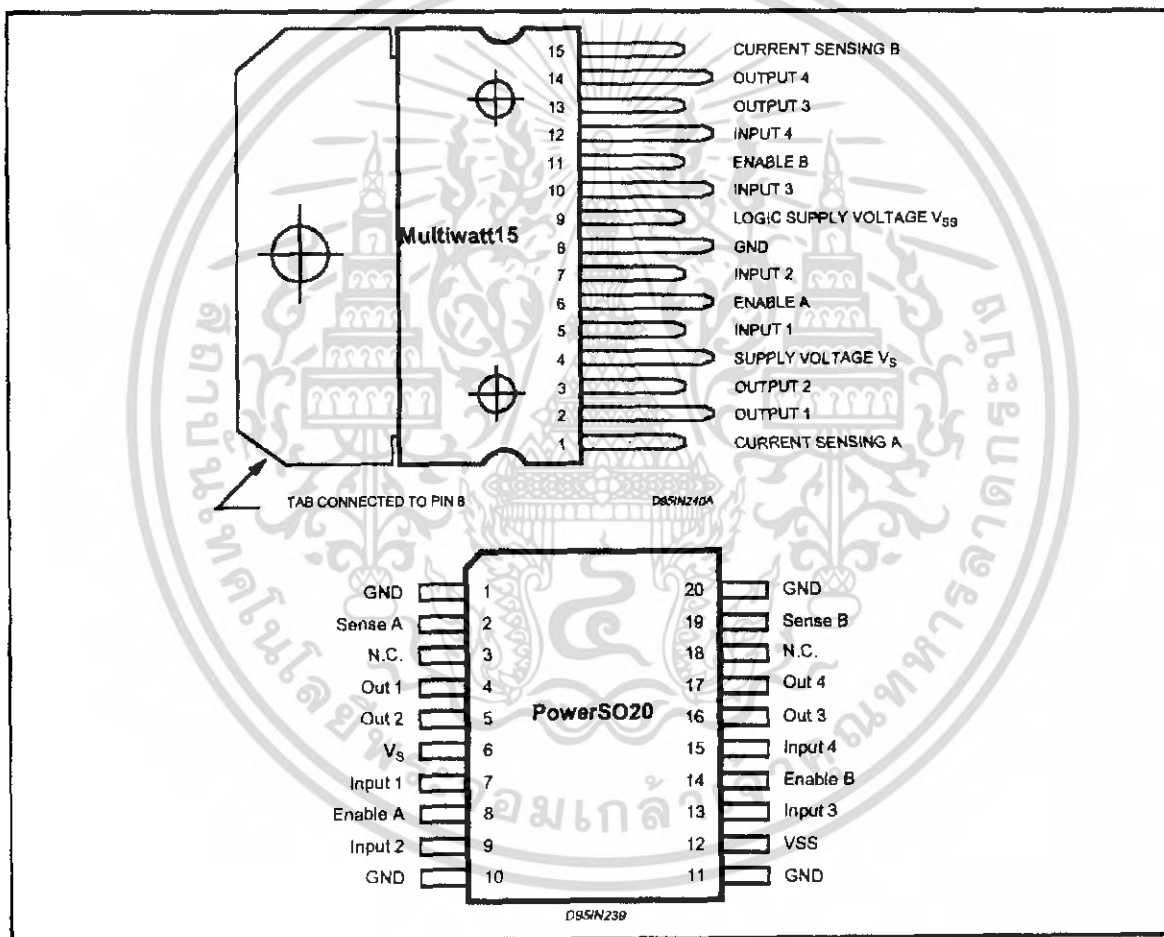
### BLOCK DIAGRAM



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>s</sub>	Power Supply	50	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage	7	V
V <sub>i</sub> , V <sub>en</sub>	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I <sub>o</sub>	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive (t = 100µs)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; t <sub>on</sub> = 10ms)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P <sub>tot</sub>	Total Power Dissipation (T <sub>case</sub> = 75°C)	25	W
T <sub>op</sub>	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
T <sub>stg</sub> , T <sub>j</sub>	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

**PIN CONNECTIONS (top view)**



**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
R <sub>th j-case</sub>	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	°C/W
R <sub>th j-amb</sub>	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	°C/W

(\*) Mounted on aluminum substrate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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. A100nF 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>H</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 mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>i</sub> = X		4	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0	V <sub>i</sub> = L V <sub>i</sub> = H	24 7	36 12	mA mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>i</sub> = X		6	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(H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V <sub>CEsat(L)</sub>	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
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
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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>en(sens)</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 Voltages vs. Output Current.

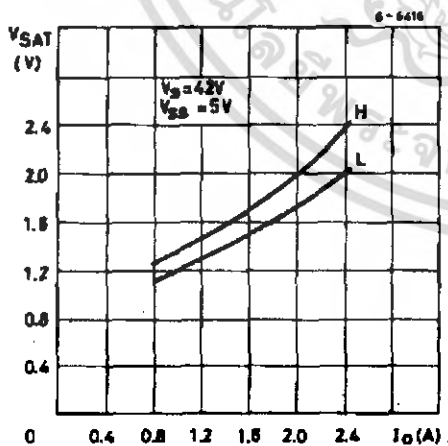
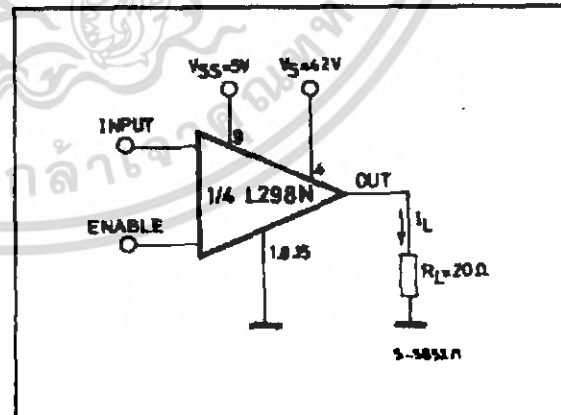


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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



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

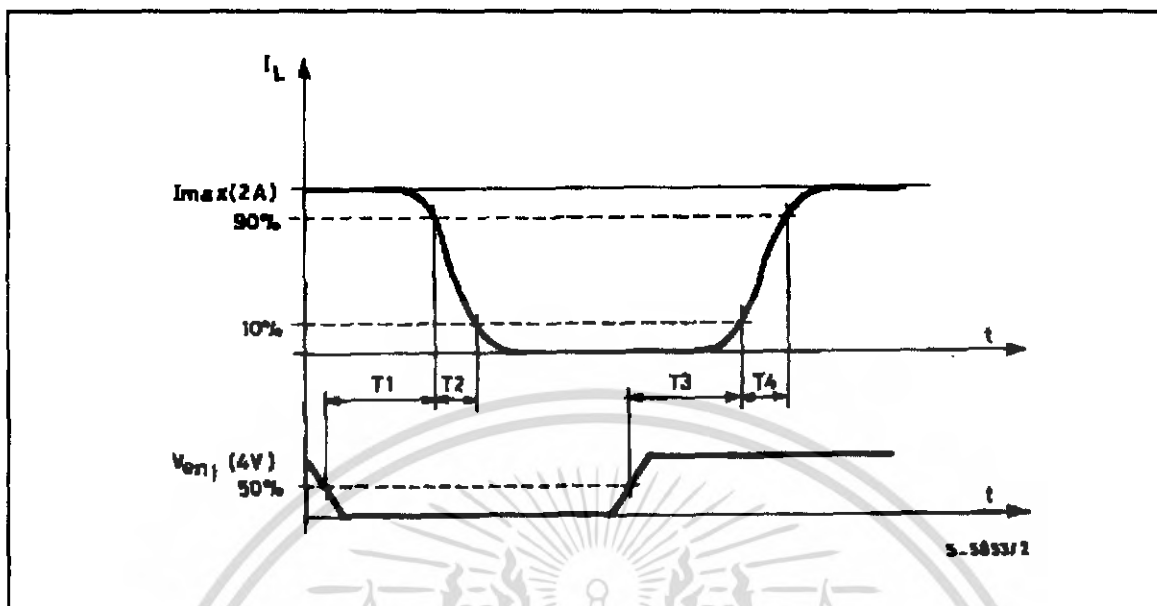
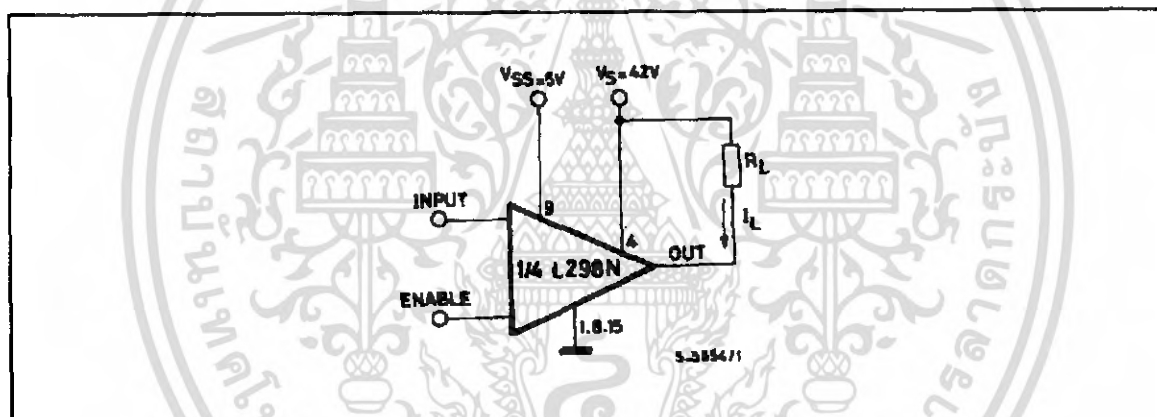


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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.

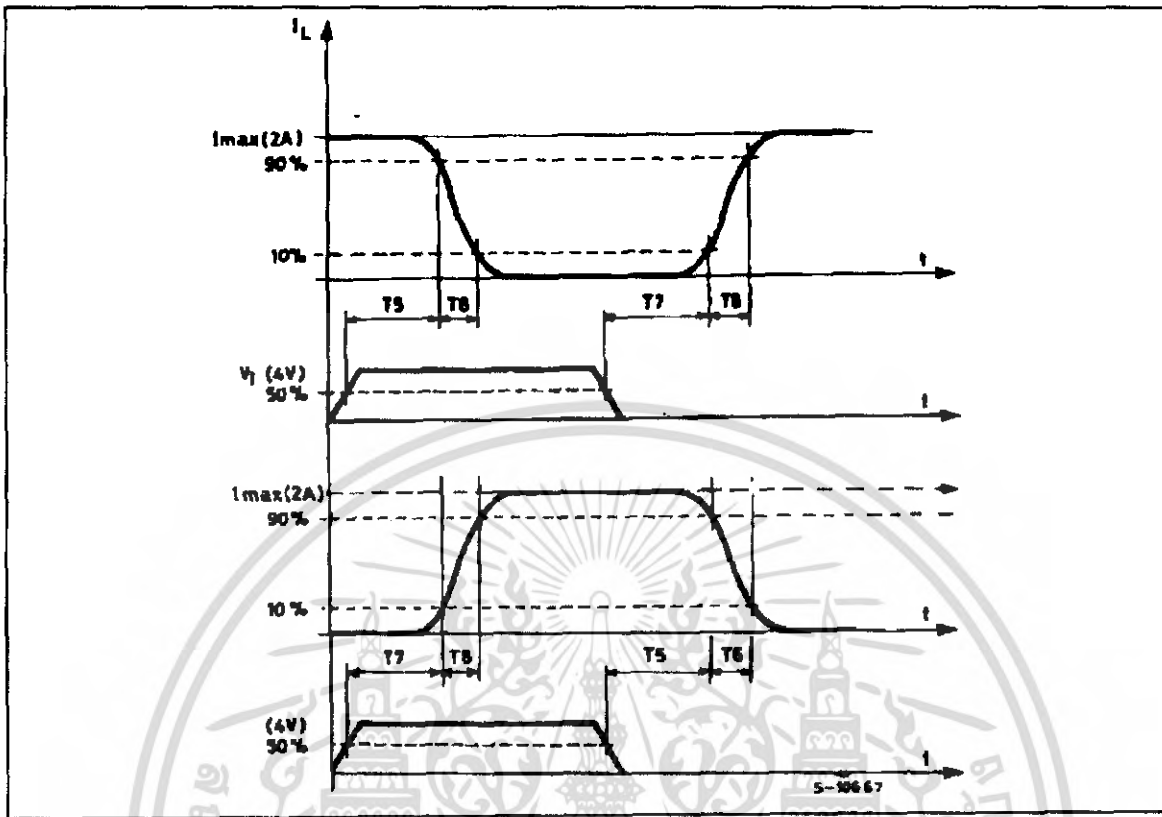
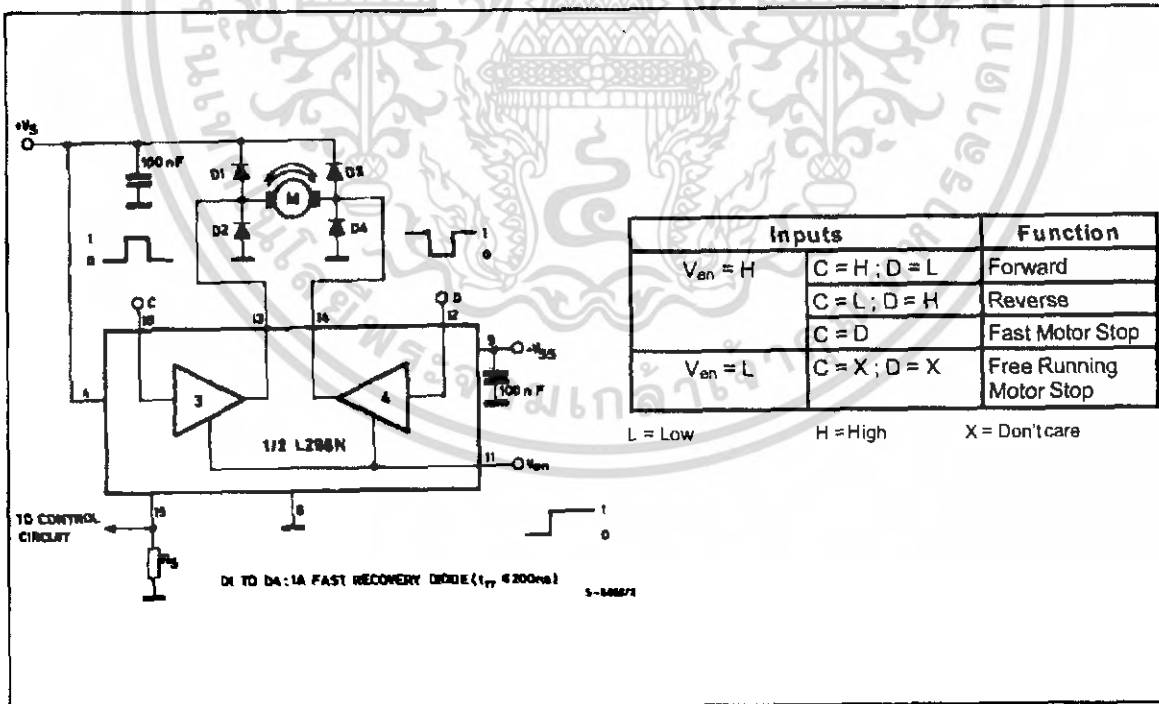
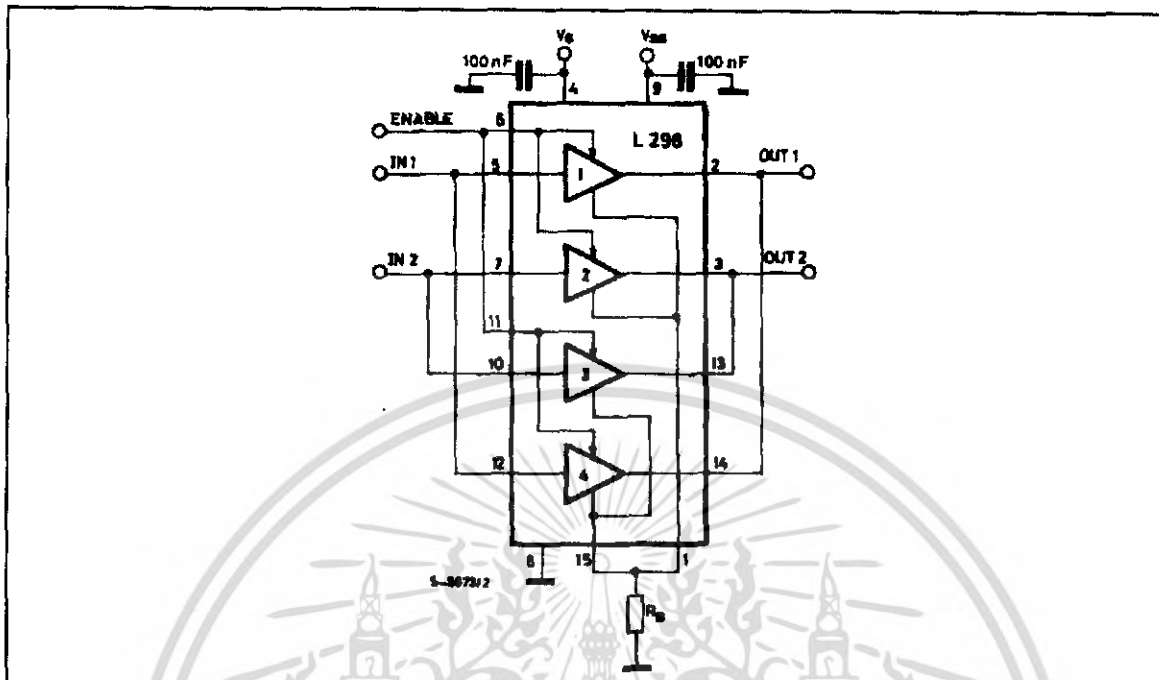


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



**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  $In_1$ ;  $In_2$ ;  $EnA$  and  $In_3$ ;  $In_4$ ;  $EnB$ . 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  $V_F$  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; Schottky diodes would be preferred.

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.

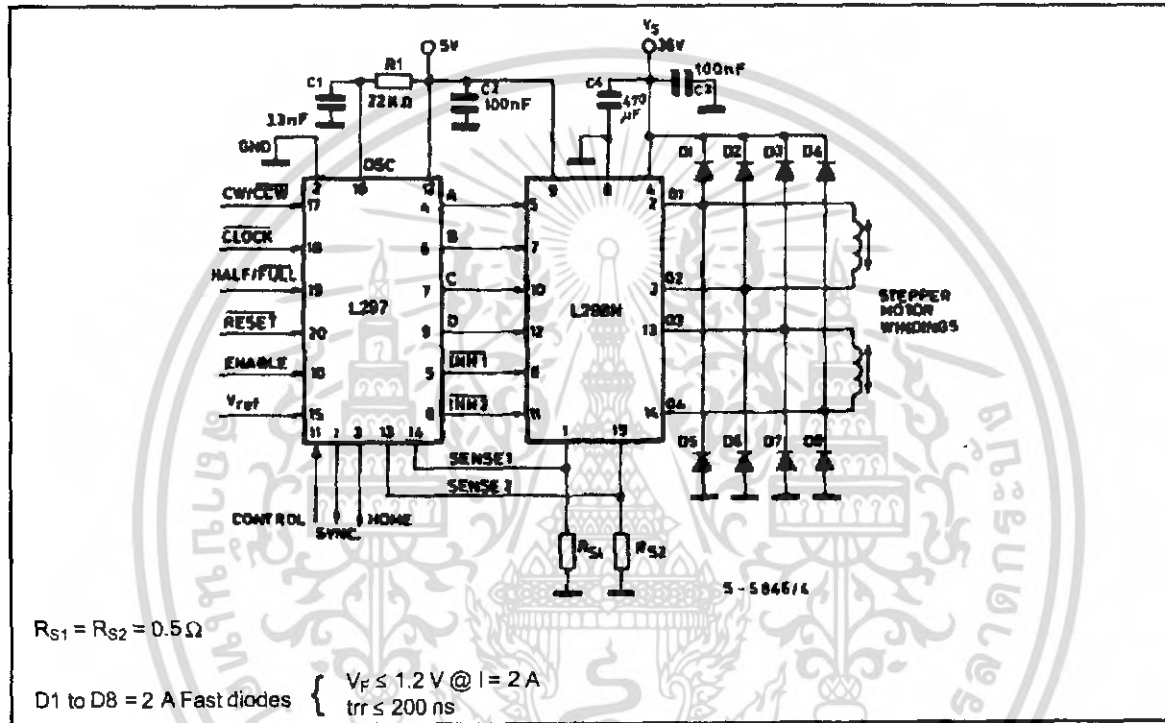


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

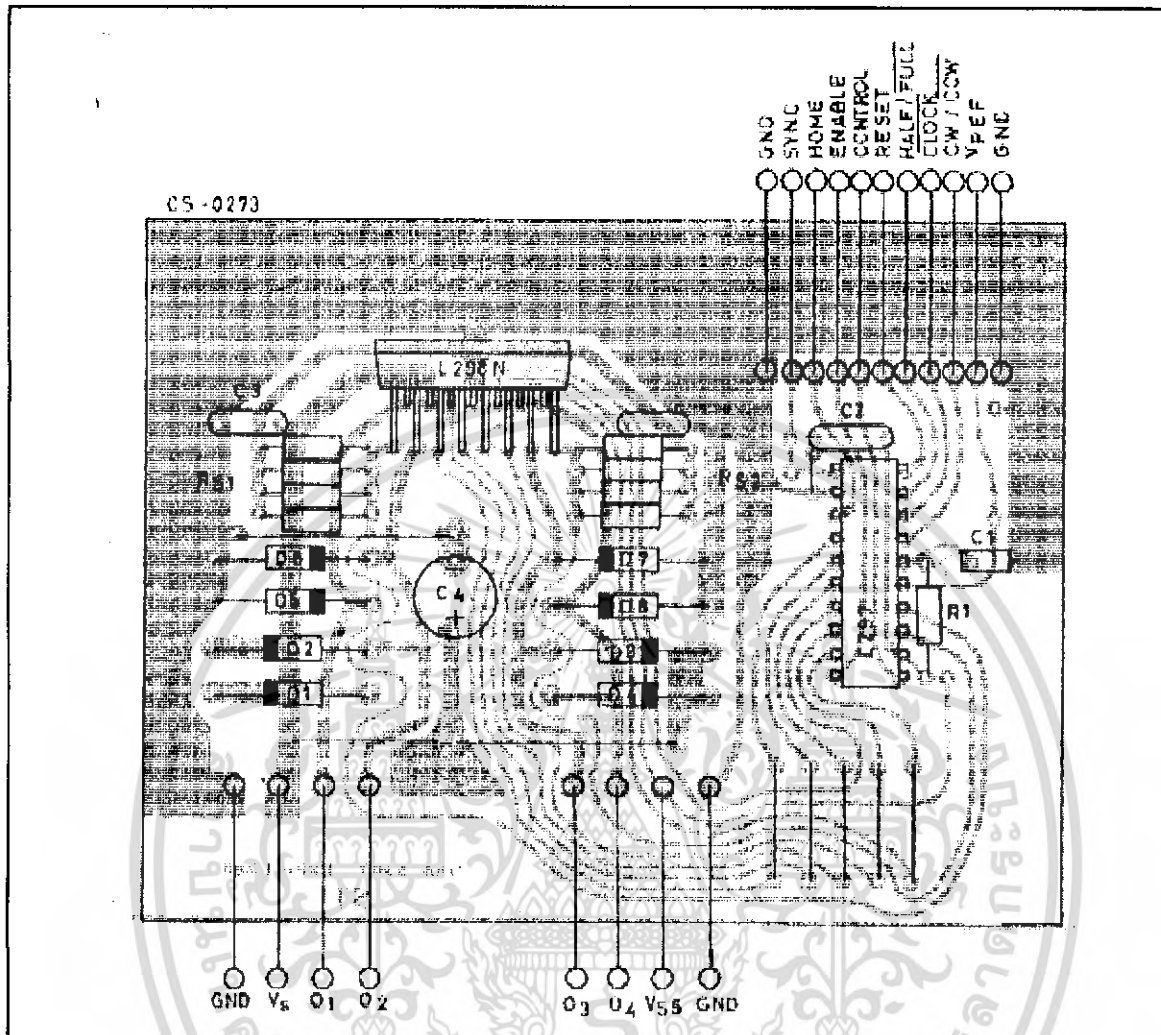


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

