หุ่นยนต์ช่วยการทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวด์

Machine On Over Head Ground Wire

นายชุมพรชัย วรอาจ รหัส 40362303

นายภานุ ทองม่วง รหัส 40362386

นายไพศาล เฟื่องวาณิชย์ รหัส 40362717

นางสาวเกษราภรณ์ ศุภรัตนอังกูร รหัส 40362675

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ... 26 เม.ย. 2544
เลขทะเบียน วศ 4400/86
เลขเรียกหนังสือ ... TJ 211 ... 2543
มหาวิทยาลัยนเรศวร 17618

IAC43910

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2543

ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงาน : หุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

Performance : Machine on Overhead Ground Wire

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายชุมพรชัย วรอาจ รหัส 40362303

นายภานุ ทองม่วง รหัส 40362386

นายไพศาล เพื่องวาณิชย์ รหัส 40362717

นางสาวเกษราภรณ์ ศุภรัตนอังกูร รหัส 40362675

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. สมชาย โชคมาวิโรจน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ. มุฑิตา สงฆ์จันทร์

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์สมชาย โชคมาวิโรจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์แคทรียา อัคสูงเนิน)

.....กรรมการ

(อาจารย์สมยศ เกียรติวาณิชวิไล)

หัวข้อโครงงาน	: **หุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์**		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: **นายชุมพรชัย**	**วรอาจ**	**รหัส 40362303**
	นายภานุ	**ทองม่วง**	**รหัส 40362386**
	นายไพศาล	**เฟื่องวาณิชย์**	**รหัส 40362717**
	นางสาวเกษราภรณ์	**ศุภรัตนอังกูร**	**รหัส 40362675**
อาจารย์ที่ปรึกษา	: อ. สมชาย โชคมาวิโรจน์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: อ. แคทรียา อัดสูงเนิน		
สาขา	: วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	: วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	: 2543		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานเรื่องหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ซึ่งมีความสามารถในการทำลายสายป่านของว่าวและโครงว่าวที่ขึ้นไปติดอยู่กับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ให้หลุดลงมาด้วยการใช้ไฟเผา หุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์นี้ได้ถูกทำการศึกษา ประดิษฐ์ และคิดค้นขึ้นเพื่อแบ่งเบาภาระหน้าที่ของบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานในส่วนนี้ โดยลักษณะของหุ่นยนต์เป็นกล่องสี่เหลี่ยม มีล้อ 3 ล้ออยู่ในแนวเดียวกันโดยมีล้อกลางเป็นล้อขับเคลื่อน ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์กระแสตรง ระบบส่งถ่ายกำลังใช้โซ่ซึ่งมีอัตราการทดสอบเป็น 1 : 1 ระบบทำลายสายป่านของว่าวใช้โซลินอยด์เป็นตัวกดวาล์วไฟแช็ค ส่วนเปลวไฟจะเกิดจากการสปาร์คของคอลย์หัวเทียนรถมอเตอร์ไซด์ และการควบคุมหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ จะควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล ซึ่งจะสามาร๔สั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า, ข้างหลัง และสั่งจุดไฟได้

Project Title	:	Machine on Overhead Ground Wire		
Name	:	Mr.Chumpornchai	Wora-art	ID. 40362303
		Mr.Panu	Tongmuangi	ID. 40362386
		Mr.Paisan	Fuengwanichngaim	ID. 40362717
		Miss Ketsaraporn	Supparattanaungkool	ID. 40362675
Project Advisor	:	Mr.Somchay Chokmawiroj		
Co-Project Advisor	:	Miss Cattareeya Adsoongnaern		
Field of Study	:	Electrical Engineering		
Department	:	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	:	2000		

Abstract

Project of Machine on Overhead Ground Wire. Machine on overhead ground wire can destroy the rope – yarn and the form of a kite. Which they are attached on overhead ground wire. They are destroyed by burning. Machine on overhead ground wire is invented to share the duty of the personnel who work with this machine. The machine on overhead ground wire is a box of a re ractangle shape which has three wheels in the same line. The middle line can drive this vehicle. The power system uses direct current motor. The transmission system uses the chain. The rate of movement is 1:1 The system of destroying the rope – yarn and the form of a kite using solenoid to force the lighter to work. The occurring of the flame derived from the spark of sparking plus and we use remote control to control the machine on overhead ground wire which it can move ahead, behind and light a lighter.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้านี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อ.สมชาย โชคมาวิโรจน์ , อ.เดชทลียา อัดสูงเนิน ครูช่างภาควิชาอุตสาหการและครูช่างภาคไฟฟ้า และเพื่อนทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษาในการทำโครงงานวิศวกรรมนี้ทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์และเพื่อนทุกท่านที่มีส่วนช่วยทำให้โครงงานนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายชุมพรชัย วรอาจ
นายภานุ ทองม่วง
นายไพศาล เฟื่องวาณิชย์
นางสาวเกษราภรณ์ ศุภรัตนอังกูร

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญกราฟ	ฌ
ลำดับสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 แรง	4
2.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor)	11
2.3 แบตเตอรี่	13
2.4 สายโอเวอร์เฮดกราวน์	19
2.5 โซลินอยด์	22
2.6 การประยุกต์ทฤษฎี	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	28
3.1 การออกแบบและส่วนประกอบของหุ่นยนต์	28
3.2 สรุปโครงสร้างของหุ่นยนต์	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบและรายละเอียดของวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในหุ่นยนต์	34
3.4 การเลือกวัสดุสำหรับสร้างหุ่นยนต์	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 วิธีการทดลอง	39
4.2 ผลการทดลอง	40
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 สรุปผลโครงงาน	42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 แนวทางการพัฒนา	42
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	
ประวัติผู้ทำโครงงาน	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 2.1 ทอร์คที่ใช้ในการเริ่มการเคลื่อนที่	27
ตารางที่ 4.1 อัตราเร็วเฉลี่ยในกรณีต่างๆ	40
ตารางที่ 4.2 ความยาก – ง่ายในการคิดตั้งหุ่นยนต์	40

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลภายนอกของแรง P	5
รูปที่ 2.2 ผลภายในของแรง P	5
รูปที่ 2.3 แรงที่กระทำกับวัตถุเกร็ง	5
รูปที่ 2.4 การรวมแรง	6
รูปที่ 2.5 การรวมแรง	6
รูปที่ 2.6 การรวมแรง	6
รูปที่ 2.7 การรวมแรง	7
รูปที่ 2.8 กรณีพิเศษของการรวมแรง	8
รูปที่ 2.9 ทิศทางแรงกระทำ	9
รูปที่ 2.10 ทิศทางของแรงลัพธ์ R	9
รูปที่ 2.11 ผลบวกของแรง R1 , R2 และ R3	9
รูปที่ 2.12 มอเตอร์แบบต้อขนาน	12
รูปที่ 2.13 มอเตอร์แบบต่ออนุกรม	12
รูปที่ 2.14 เป็นเซลล์แบบพื้นฐานแสดงถึงอาโนด คาโถดและอิเล็กทรอไลท์	14
รูปที่ 2.15 เป็นการทำงานของเซลล์แบบพื้นฐาน ในกรณีนี้ใช้ทำให้หลอดไฟสว่าง	14
รูปที่ 2.16 ผลของความต้านทานภายในซึ่งมีผลกระทบต่อ การทำงานของวงจรที่ภาวะกระแสสูง ๆ	15
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว - กรด แผ่นอาโนดและคาโทด จะวางสลับกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน	16
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว – กรดที่มีการปิดผนึกโดยจะไม่ปล่อยอิเล็กทรอไลท์ออกมา	16
รูปที่ 2.19 การประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว - กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ ขนาด 1.1 - 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่	17

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.20 อุปกรณ์ต่อสาย SuSpension OHG ในแบบต่าง ๆ	20
รูปที่ 2.21 Vibration Damper & Spacer	22
รูปที่ 2.22 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์	22
รูปที่ 2.23 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เมื่อมีกระแสผ่านขดลวด	23
รูปที่ 2.24 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในขดลวดที่มีกระแสไหล	23
รูปที่ 2.25 การเพิ่มเหล็กอ่อนเข้ามาเพื่อเพิ่มความเข้ม ของสนามแม่เหล็ก	23
รูปที่ 2.26 การเติมสปริงเชื่อมต่อเนื่องให้แน่ใจว่า โซลินอยด์จะดูดได้เต็มที่	25
รูปที่ 2.27 แสดงการใช้ข้อต่อมาช่วยให้แกนกระทุ้งเคลื่อนที่	25
รูปที่ 2.28 แรงกระทำในกรณีที่ 1	26
รูปที่ 2.29 แรงกระทำในกรณีที่ 2	26
รูปที่ 2.30 แรงกระทำในกรณีที่ 3	26
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์	28
รูปที่ 3.2 การวางตำแหน่งภาควงจรไฟฟ้า	28
รูปที่ 3.3 การวางตำแหน่งล้อ	29
รูปที่ 3.4 ลักษณะของการติดตั้งล้อและเพลา	29
รูปที่ 3.5 การวางตำแหน่งภาคทำลายเชือกว่าว	30
รูปที่ 3.6 ภาคขับเคลื่อน	30
รูปที่ 3.7 การวางมอเตอร์และแบตเตอรี่	31
รูปที่ 3.8 แบบหุ่นยนต์ด้านหน้า	31
รูปที่ 3.9 แบบหุ่นยนต์ด้านข้าง	32
รูปที่ 3.10 แบบหุ่นยนต์ด้านบน	33
รูปที่ 3.11 วงจรจุดประกายไฟ	34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12 การต่อวงจรต่างๆของหุ่นยนต์ 35

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง F กับ P	9
กราฟที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะช่วงชัก	24

ลำดับสัญญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	แรงลัพธ์ของความเร่งสมบูรณ์ของอนุภาค	m/s^2
E_a	แรงดันเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์	Volt (V)
F	แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาค	Newton (N)
I_a	กระแสอาร์เมเจอร์	Ampere (A)
I_f	กระแสสนาม	Ampere (A)
m	มวล	Kilogram (Kg)
N	ความเร็วรอบ	rpm
P	กำลัง	Watt (W)
R_a	ความต้านทานอาร์เมเจอร์	Ohm (Ω)
R_f	ความต้านทานของสนาม	Ohm (Ω)
T_e	แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าบนอาร์เมเจอร์	Nt – m
T_m	แรงบิดของมอเตอร์	Nt – m
V	แรงดัน	Volt (V)
ω	ความเร็วเชิงมุม	Ω^{-1}
Φ	ฟลั๊กแม่เหล็ก	

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ในปัจจุบันต้องใช้แรงงานคนขึ้นไปทำงานเท่านั้นซึ่งเป็นงานที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากเป็นการปฏิบัติงาน เนื่องจากเป็นการทำงานบนที่สูง ลักษณะงานที่ปฏิบัติอยู่เสมอคือ

1. การดึงตัวไวเบอร์ชั่นแดมเปอร์ (Vibration Damper) สายโอเวอร์เฮดกราวน์ที่หลุดออกจากตำแหน่งที่ยึดไว้กลับเข้ามาที่เดิม

2. การตัดเชือกว่าวที่ขึ้นไปพันอยู่บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องปีนขึ้นไปอยู่บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ แล้วไต่ตัวไปตามสายเพื่อที่จะได้ไปทำการตัดเชือกว่าวที่ขึ้นไปพันอยู่ หรือทำการดึงไวเบอร์ชั่นแดมเปอร์ (Vi bration Damper) บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ที่หลุดออกไปกลับเข้ามาเพื่อที่จะติดตั้งกลับเข้าไปใหม่ เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทำการศึกษา ประดิษฐ์ คิดค้น และพัฒนาหุ่นยนต์ที่มีความสามารถช่วยผู้ปฏิบัติงานในการดึงตัวถ่วงสายโอเวอร์เฮดกราวน์ที่หลุดออกไปกลับเข้ามาหาผู้ปฏิบัติงานที่ปลายยอดของเสาไฟฟ้าและช่วยในการตัดเชือกว่าวที่ขึ้นไปพันอยู่บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ได้อีกด้วย ซึ่งหุ่นยนต์นี้สามารถช่วยลดการเกิดอันตรายที่จะเกิดต่อผู้ปฏิบัติงานในส่วนนี้ได้เป็นอย่างมาก และยังเพิ่มความสะดวกสบายในการทำงานทางด้านนี้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างหุ่นยนต์ที่ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ ในการดึงไวเบอร์ชั่นแดมเปอร์ (Vibration Damper) บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ที่หลุดออกไปกลับมา

2. เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างหุ่นยนต์ที่ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ในการตัดเชือกว่าวที่ขึ้นไปพันบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำความรู้ในส่วนนี้ไปพัฒนาให้ก้าวหน้าต่อไป

1.3 ขอบข่ายของงาน

1. ศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

2. ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ โดยใช้เครื่องควบคุมระยะไกลในการบังคับ

3. ทดลองการนำไปใช้งานจริงบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

4. วิเคราะห์ปัญหาและสรุปผลการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน						
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสายโอเวอร์เฮด-กราวน์และหาสถานที่ติดตั้งสายโอเวอร์เฮดกราวน์	←	→					
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการยึดเกาะ การเคลื่อนที่บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์และศึกษาเกี่ยวกับเฟืองและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	←	→	→	→			
3. ศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์กระแสตรงและระบบการยกการดึงตัวถ่วงสายโอเวอร์เฮดกราวน์	←	→	→	→			
4. ออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์และจัดซื้ออุปกรณ์ และหาข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนอื่น ๆ		←	→	→	→		
5. เริ่มการสร้างชิ้นงานตามที่ออกแบบการทดลองไว้ ทดลองและศึกษาปัญหาเพื่อปรับปรุงชิ้นงานให้ได้ตามวัตถุประสงค์			←	→	→	→	→
6. ดำเนินการติดตั้งและทดลองในสถานที่จริง วิเคราะห์ปัญหาและสรุปผลการทำงาน						←	→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้หุ่นยนต์ช่วยทำงานที่สามารถช่วยทำงานได้บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์จริง
2. ได้ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ที่สามารถนำไปพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ต่อไป

1.6 งบประมาณ

ค่าวัสดุและค่าอุปกรณ์รวมเป็นเงิน 10,000 บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

โครงงานนี้มีความจำเป็นจะต้องใช้ความรู้ทางทฤษฎีพื้นฐานต่างๆหลายเรื่องเช่น แรง มอเตอร์กระแสตรง ฯลฯ ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ และใช้ในการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ประดิษฐ์หุ่นยนต์ ซึ่งหลักการและทฤษฎีที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 แรง

2.1.1 กฎของนิวตัน (Newtion's laws)

เซอร์ไอแซคนิวตัน (Sir Isaac Newton) เป็นบุคคลแรกที่ได้กล่าวถึงพื้นฐานของกฎการเคลื่อนที่ของอนุภาคได้อย่างถูกต้อง โดยได้พิสูจน์และเป็นที่ยอมรับกันมานาน กฎต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

กฎข้อที่1 อนุภาคจะยังคงหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ต่อไปในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ถ้าแรงที่มากระทำต่ออนุภาคนั้นอยู่ในภาวะที่สมดุล

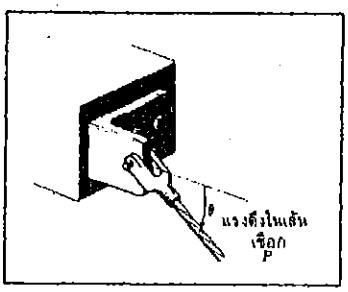
กฎข้อที่2 ความเร่งของอนุภาคเป็นสัดส่วนกับแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อมัน และมีทิศทางไปทางเดียวกันกับแรงลัพธ์นั้นด้วย สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$F = ma$$

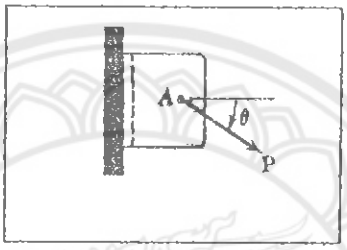
กฎข้อที่3 แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาของวัตถุที่กระทำต่อกันจะมีขนาดเท่ากัน อยู่ในแนวเดียวกันแต่มีทิศตรงกันข้าม

2.1.2 แรง (Force)

แรงเป็นปริมาณเวคเตอร์ เพราะผลของมันขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางที่มันกระทำ และแรงยังสามารถรวมกันได้ตามกฎของสี่เหลี่ยมด้านขนาน (parallelogram low) ในรูปที่ 2.1 แรงตึงในเส้นเชือก P ที่กระทำต่อแผ่นยึด แสดงไว้ด้วยเวคเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับ P ผลของแรงต่อแผ่นยึดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของ P มุม θ และตำแหน่งของจุดกระทำ A เมื่อสิ่งหนึ่งในทั้งสามสิ่งนี้เปลี่ยนไป ผลที่มีต่อแผ่นยึดนี้จะเปลี่ยนไปด้วย เช่น แรงภายในตัวน็อตที่ดึงแผ่นยึดให้ติดกับฐาน หรือความเค้นภายในเนื่องแผ่นยึดจะเปลี่ยนไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการคิดเรื่องการกระทำของแรงแล้วจะต้องรู้ให้ครบทั้งสามสิ่งคือ ขนาด ทิศทาง และจุดกระทำ



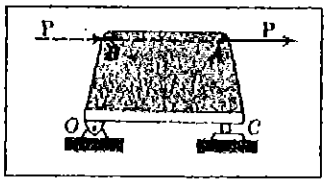
รูปที่ 2.1 ผลภายนอกของแรง P



รูปที่ 2.2 ผลภายในของแรง P

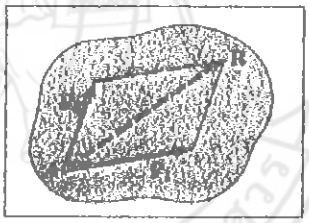
แรงที่กระทำต่อวัตถุมีได้ 2 ลักษณะคือ แบบสัมผัสกันโดยตรง (direct physical contact) และแบบส่งแรงไปกระทำในระยะห่าง (remote action) แรงดึงดูดที่เนื่องจากมวลของวัตถุ แรงทางไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กเป็นแบบส่งแรงไปกระทำในระยะห่าง นอกเหนือจากนี้แล้วการประยุกต์ของแรงเป็นแบบสัมผัสกันโดยตรง

ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุสามารถแบ่งออกได้ 2 ประการคือ ผลภายนอกและผลภายใน ในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 ตามลำดับ ผลภายนอกของแรง P คือ แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อแผ่นยึดโดยฐานและน็อต ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมี 2 ชนิด คือ แรงกระทำ (applied force) และแรงปฏิกิริยา (reactive force) ผลภายในของแรง P ที่มีต่อแผ่นยึดคือ ความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นในเนื้อของแผ่นยึด ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ

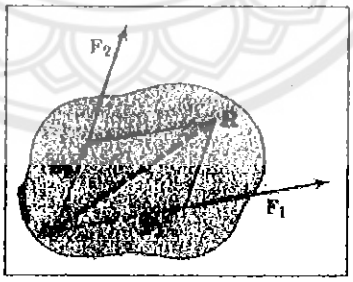


รูปที่ 2.3 แรงที่กระทำกับวัตถุเกร็ง

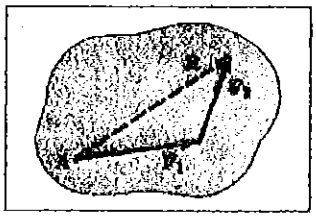
ในการคำนวณสำหรับวัตถุที่คิดเป็นวัตถุเกร็ง (rigid body) ซึ่งต้องการทราบเพียงแต่ผลลัพธ์ภายนอกทั้งหมดของแรง (net external effects) เท่านั้น ในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องจำกัดให้แรงกระทำที่จุดใดจุดหนึ่งในรูปที่ 2.3 แรง P ที่กระทำต่อแผ่นเกร็งอาจจะกระทำที่จุด A หรือ B หรือที่จุดใด ๆ ในแนวแรงที่กระทำก็ได้ และผลลัพธ์ภายนอกทั้งหมดของแรง P ยังคงเหมือนเดิม ผลภายนอกของแรงคือ แรงที่ฐานรับ (bearing support) กระทำต่อแผ่นที่จุด O และแรงที่ลูกกลิ้ง (roller support) กระทำต่อแผ่นที่จุด C ข้อสรุปนี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักของความสามารถในการเลื่อนตำแหน่งได้ของแรง (principle of transmissibility) ซึ่งกล่าวว่า แรงสามารถให้กระทำที่จุดใด ๆ ก็ได้ในเส้นตรงของแนวแรงโดยไม่ทำให้ ผลภายนอก ของแรงที่กระทำต่อ วัตถุเกร็งเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อต้องการทราบเพียงผลภายนอกของแรงที่กระทำต่อวัตถุเกร็งเท่านั้นก็สามารถคิดแรงให้เป็นเวคเตอร์เลื่อนไถล (sliding vector) ได้ และสิ่งที่จำเป็นและเพียงพอในการกำหนดแรงคือ ขนาด ทิศทาง และเส้นแนวแรง คิดเฉพาะที่เกี่ยวกับวัตถุเกร็งเท่านั้น ดังนั้นแรงเกือบทั้งหมดจึงสามารถคิดให้เป็นเวคเตอร์เลื่อนไถล



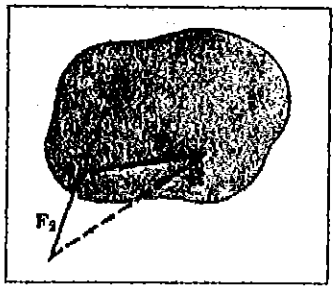
รูปที่ 2.4 การรวมแรง



รูปที่ 2.5 การรวมแรง



รูปที่ 2.6 การรวมแรง



รูปที่ 2.7 การรวมแรง

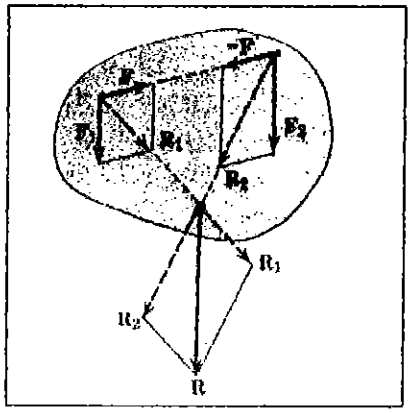
แรงอาจจะเป็นแรงรวม (concentrated) หรือแรงกระจาย (distributed) ก็ได้ แต่ความเป็นจริงแล้วแรงจะต้องกระจายบนพื้นที่ที่แน่นอนอันหนึ่ง ซึ่งหมายความว่าจะต้องเป็นแรงกระจาย แต่ถ้าขนาดของพื้นที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดส่วนอื่น ๆ ของวัตถุ แรงนั้นสามารถคิดให้เป็นแรงรวมกระทำที่จุดได้ แรงอาจจะกระจายบนพื้นที่ เช่น พวกผิวสัมผัสทั้งหลาย หรือแรงอาจจะกระจายในปริมาตรก็ได้เช่น แรงดึงดูดของโลกหรือแรงดึงดูดของแม่เหล็ก น้ำหนักของวัตถุเป็นแรงที่โลกดึงดูดมวลสาร และจะกระจายทั่วไปในปริมาตรของวัตถุ และสามารถคิดให้เป็นแรงรวมกระทำที่จุดศูนย์ถ่วง (center of gravity) ได้

ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงหาได้จากการพิจารณาความสมมาตร (symmetry) ของวัตถุ ถ้าตำแหน่งไม่ชัดเจนก็ต้องใช้วิธีการคำนวณหา

การวัดขนาดของแรงอาจทำได้โดย การเปรียบเทียบกับแรงที่รู้ขนาดแล้ว เช่น โดยใช้ตาชั่ง (mechanical balance) หรือโดยการคิดคำนวณจากส่วนที่ยืดของวัสดุ (elastic element) หน่วยมาตรฐานของแรงในระบบ SI คือนิวตัน (N)

จากกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน เมื่อมีแรงกระทำจะต้องมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามด้วยเสมอ แน่ใจว่าแรงใดในคู่นี้ที่จะต้องคิด แรงต่างๆ จะปรากฏชัดเมื่อได้แยกวัตถุที่จะคิดออกจากวัตถุอื่น ๆ และเขียนเป็นผังวัตถุอิสระ (free – body diagram) ซึ่งแสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุ (ไม่ใช้แรงที่กระทำโดยวัตถุ) ข้อผิดพลาดที่คิดแรงในแต่ละคู่นี้จะเกิดขึ้นได้ง่าย ถ้าไม่พิจารณาความแตกต่างระหว่างแรงกระทำและแรงปฏิกิริยา

แรง F_1 และ F_2 ตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง แรงคู่นี้เรียกว่า แรงร่วมจุด (concurrent forces) สามารถรวมกันได้ตามกฎของสี่เหลี่ยมด้านขนานในระนาบที่เกิดจากแรงทั้งสอง ผลลัพธ์คือ R ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.8 กรณีพิเศษของการรวมแรง

ถ้าแรงคู่นี้อยู่ในระนาบเดียวกันแต่กระทำคนละตำแหน่งดังรูปที่ 2.5 ด้วยหลักของความสามารถในการเลื่อนตำแหน่งได้ของแรง แรงคู่นี้สามารถเลื่อนมาตามเส้นแนวแรงที่กระทำ และรวมกันได้แรงลัพธ์ R ที่จุดตัดกัน แรงลัพธ์ R นี้ สามารถแทนแรง F_1 และ F_2 ได้โดยไม่ทำให้ผลภายนอกของแรงที่กระทำต่อวัตถุเปลี่ยนไป ในการรวมกันนี้อาจจะใช้การรวมแรงของรูปสามเหลี่ยมก็ได้ แต่จำเป็นต้องเลื่อนเส้นแนวแรงกระทำของแรงหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในรูปที่ 2.7 แรงสองแรงรวมกันถึงแม้จะได้ขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ R แต่จะไม่ได้เส้นแนวแรงเพราะว่าแรงลัพธ์ R ที่ได้นี้ไม่ได้ผ่านจุด A ฉะนั้นควรหลีกเลี่ยงการรวมแรงแบบนี้ การรวมกันของสองแรงนี้เขียนในรูปทางคณิตศาสตร์ได้โดยสมการเวคเตอร์

$$R = F_1 + F_2$$

2.1.3 ความเสียดทานแห้ง

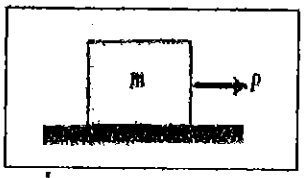
กลไกของความเสียดทานแห้งอย่างง่าย ๆ คือ พิจารณาของแข็งแท่งหนึ่งมีมวล m วางอยู่กับที่บนพื้นราบและถูกกระทำด้วยแรง P ขนานกับพื้นเมื่อพิจารณาผังวัตถุอิสระของแท่งวัตถุนี้จะเห็นว่าการที่วัตถุยังคงอยู่กับที่ได้จะต้องมีแรงมากระทำในทิศทางตรงกันข้ามกับ P ดังนั้นจากสมการของการสมดุลจะได้ว่า

แรงในแนวสัมผัสกับผิวสัมผัส $F = P$

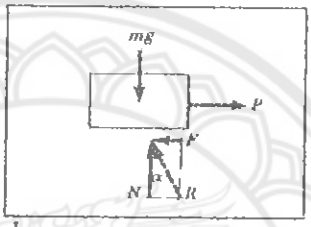
แรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส $N = mg$

เมื่อเพิ่มแรง P ขึ้น แรง F ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และคงมีขนาดเท่ากับ P ตราบเท่าที่แท่งวัตถุยังคงอยู่นิ่ง จนถึงค่าของ P ค่าหนึ่งที่แท่งวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ จากการทดลองได้พบอีกว่าเมื่อแท่งวัตถุเคลื่อนที่ค่าของ F จะลดลงและมีค่าคงที่ไม่ว่า P จะมีขนาดเท่าใด ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้โดยพิจารณาอย่างละเอียดที่ผิวสัมผัส จากรูปที่ 2.11 เห็นได้ว่าแรง F คือผลบวกของแรง R_1, R_2, R_3 ใน

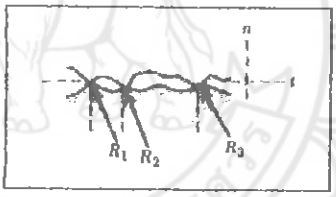
แนว t ทั้งหมด เมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ผ่านกัน ผิวสัมผัสจะเกิดขึ้นที่ส่วนยอดของรอยขรุขระ ทำให้ผลรวมของ R ในแนว t ลดลงและมีผลให้ F ลดลงด้วย



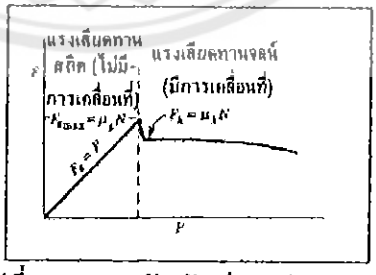
รูปที่ 2.9 ทิศทางแรงกระทำ



รูปที่ 2.10 ทิศทางของแรงลัพธ์ R



รูปที่ 2.11 ผลบวกของแรง R1 , R2 และ R3



กราฟที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง F กับ P

เมื่อได้ทดลองเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง F กับ P ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นช่วงที่วัตถุอยู่นิ่ง ซึ่งจะได้กราฟเส้นตรง $F_s = P$ ส่วนนี้อยู่ในช่วงความเสียดทานสถิตย์ (Static friction) จากการทดลองได้ค้นพบว่า สำหรับผิวสัมผัสต่าง ๆ จะได้ค่า F_s มากที่สุด เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า N คือ

$$F_{s\,max} = \mu_s N$$

μ_s มีค่าคงที่สำหรับผิวสัมผัสแต่ละคู่ เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิตย์ (coefficient of static friction) สมการนี้ใช้ได้เฉพาะเมื่อ F_s มีค่ามากที่สุด (คือ วัตถุกำลังจะเริ่มเคลื่อนที่เท่านั้น

ในช่วงต่อมาคือเมื่อวัตถุเคลื่อนที่แล้ว เรียกว่าอยู่ในช่วงความเสียดทานจลน์ (kinetic friction) และพบว่า

$$F_s = \mu_k N$$

เมื่อ μ_k เป็นสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์ (coefficient of kinetic friction) โดยทั่วไปค่า μ_k จะน้อยกว่า μ_s และค่า μ_k จะน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วมีค่าสูงจะมีอิทธิพลของการหล่อลื่นเนื่องจากฟิล์มของของไหลที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองด้วย

โดยทั่วไปนิยมเขียนสมการข้างต้นทั้งสองเป็นสมการเดียวคือ

$$F = \mu N$$

จะใช้ μ_s หรือ μ_k ก็แล้วแต่สภาวะของความเสียดทานในขณะนั้น และค่า μ_s จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อวัตถุอยู่ในสภาพที่กำลังจะเคลื่อนที่พอดีเท่านั้น

ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานแสดงถึงความหยาบ ความขรุขระของผิวสัมผัสคู่หนึ่ง พร้อมทั้งบอกถึงคุณสมบัติทางเรขาคณิตของพื้นที่ผิวที่สัมผัสกันคู่นั้น การกล่าวถึงสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานของพื้นผิวอันหนึ่งเพียงอันเดียวไม่มีความหมาย

ทิศทางของแรงลัพธ์ R ในรูปที่ 2.10 ที่พื้นรองรับกระทำต่อแท่งวัตถุเมื่อวัดจากแนวแรง N หาได้จากสมการ $\tan\alpha = F/N$ ดังนั้นเมื่อค่าแรงเสียดทานสถิตย์ถึงค่ากำหนด มุม α จะเป็นค่ามุมมากที่สุด ϕ_s ดังนั้น $\tan\phi_s = \mu_s$ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มุม α จะมีค่าเป็น ϕ_k และ$\tan\phi_k = \mu_k$ ซึ่งโดยทั่วไปจะเขียนรวมกันว่า

$$\tan\phi = \mu$$

เมื่อ ϕ_s คือ มุมของความเสียดทานสถิตย์ (angle of static friction) ในขณะที่มุม ϕ_k คือ มุมของความเสียดทานจลน์ (angle of kinetic friction)

อุณหภูมิสูงที่จุดสัมผัสและแรงดึงดูดที่จุดสัมผัส ความแข็งสัมผัสระหว่างผิว สิ่งสกปรก หรือออกไซด์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นต้น

ปัญหาเกี่ยวกับความเสียดทานแห้งที่พบโดยทั่วไปในทางกลศาสตร์มีอยู่ 3 ประเภท คือ

1). วัตถุอยู่ในสภาวะที่จะเริ่มเคลื่อนที่ ในลักษณะนี้ค่าขีดจำกัดของความเสียดทานสถิตย์เป็นสิ่งที่จะนำมาใช้

2). ถ้าไม่ทราบว่าวัตถุอยู่ในสภาวะใด หาค่าแรงเสียดทานได้จากสมการสมดุล หลังจากนั้นเปรียบเทียบระหว่างค่าของแรงเสียดทานนี้กับค่าขีดจำกัดของแรงเสียดทานสถิตย์ซึ่ง $\mu = \mu_s$ จะทราบสภาวะของวัตถุได้ ถ้าแรงที่คำนวณได้น้อยกว่าขีดจำกัด วัตถุยังคงอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง แต่ถ้าแรงนี้มากกว่าค่าขีดจำกัดก็แสดงว่ากำลังเคลื่อนที่ และแรงเสียดทานที่แท้จริงจะเป็นแรงเสียดทานจลน์

3). เป็นเรื่องเกี่ยวกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวสัมผัสทั้ง 2 ดังนั้นในกรณีนี้ใช้ $\mu = \mu_k$

2.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

มอเตอร์กระแสตรง คือ เครื่องจักรไฟฟ้าที่จ่ายพลังงานออกมา เมื่อป้อนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้าเครื่องจักรไฟฟ้า พลังงานกลที่ได้รับจะอยู่ในรูปการหมุนของโรเตอร์ (rotor) ซึ่งทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์ (armeture) E_a และแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า T_e บนอาร์เมเจอร์ดังสมการ

$$E_a = K\Phi\omega \qquad (2.1)$$

$$T_e = K\Phi I_a \qquad (2.2)$$

โดย

$$E_a = V_t - I_aR_a \qquad (2.3)$$

$$T_e = T_m + T_f \qquad (2.4)$$

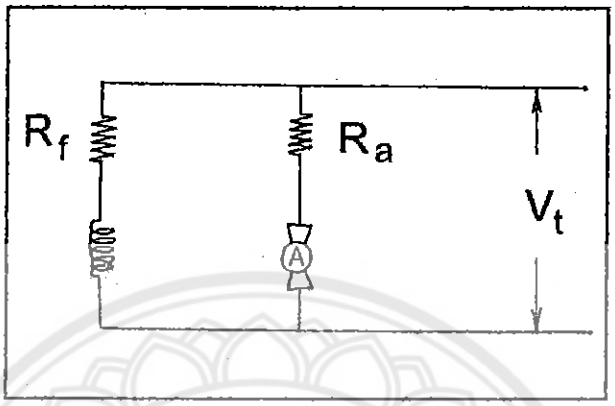
นั่นคือ เมื่อมอเตอร์กระแสตรงทำงาน $E_a < V_t$ และ $T_e > T_m$ การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง กำหนดโดย ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็ว และกระแสอาร์เมเจอร์ดังสมการต่อไปนี้

$$\omega = \frac{V_t - I_aR_a}{K\Phi} \qquad (2.5)$$

$$T_e = I_aE_a \qquad (2.6)$$

สมการ (2.6) คือ กำลังที่สร้างขึ้นโดยขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์

2.2.1 มอเตอร์แบบต่อขนาน (shunt motor) คือ มอเตอร์ที่ขดลวดสนามต่อขนานกับวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 มอเตอร์แบบต่อขนาน

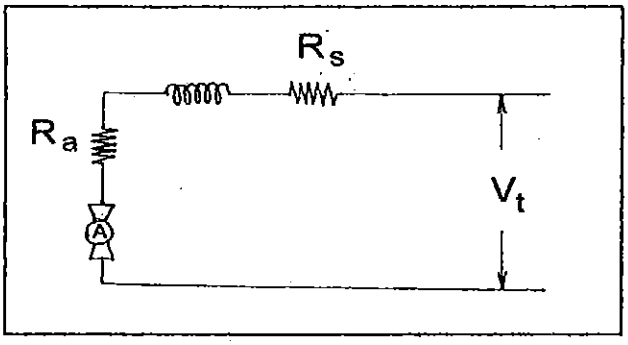
$$I_l = I_a + I_f \qquad (2.7)$$

สำหรับมอเตอร์แบบต่อขนาน ถ้าแรงดันขั้ว (V_t) ที่ป้อนมีค่าคงที่ กระแสสนาม และฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่าคงที่

$$T_a = K\Phi I_a = k' I_a \qquad (2.8)$$

$$\omega = \frac{V_t - I_a R_a}{K\Phi} = K''(V_t - I_a R_a) \qquad (2.9)$$

2.2.2 มอเตอร์แบบต่ออนุกรม (series motor) คือมอเตอร์ที่ขดลวดต่ออนุกรมกับวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ดังรูป 2.13



รูปที่ 2.13 มอเตอร์แบบต่ออนุกรม

เนื่องจากขดลวดสนามของมอเตอร์แบบต่ออนุกรม ต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ดังนั้น กระแสสนามจึงแปรตามกระแสอาร์เมเจอร์ นั่นคือ ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้วเป็นฟังก์ชั่นของกระแสอาร์เมเจอร์ในช่วงที่วงจรแม่เหล็กของมอเตอร์ยังไม่อิ่มตัว ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้วเพิ่มเท่ากับอัตราการเพิ่มของกระแสอาร์เมเจอร์ ดังนั้น

$$T_e = K\Phi I_a = K'I_a^2 \qquad (2.10)$$

$$\omega = \frac{V_t}{K'I_a} - \frac{R_a + R_f}{K'} \qquad (2.11)$$

ความสัมพันธ์ของมอเตอร์แบบต่ออนุกรมตามสมการ 2.10 และ 2.11 สำหรับช่วงที่วงจรแม่เหล็กของมอเตอร์เริ่มอิ่มตัวหรืออิ่มตัวแล้ว ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้วเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่ากระแสอาร์เมเจอร์ หรือเกือบมีค่าคงที่ นั่นคือแรงบิด และความเร็วของมอเตอร์แบบอนุกรมจะเข้าใกล้การทำงานของมอเตอร์แบบต่อขนาน เมื่อวงจรแม่เหล็กของมอเตอร์เกิดการอิ่มตัว

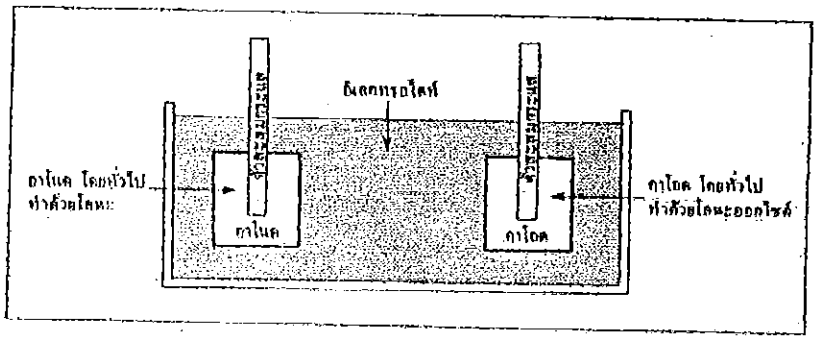
สมการ 2.11 พบว่า ที่แรงบิดโหลดต่ำ ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้วจะต่ำและความเร็วมอเตอร์จะสูงมากจนอาจถึงขีดอันตราย ดังนั้นมอเตอร์แบบต่ออนุกรมจะต้องมีโหลดต่ออยู่เสมอ แรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์แบบต่ออนุกรมจะมีค่าสูงตามสมการ 2.10 เพราะขณะสตาร์ทกระแสอาร์เมเจอร์จะสูงและฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้วจะสูงด้วย ดังนั้นมอเตอร์แบบต่ออนุกรมจึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงบิดสตาร์ทสูง ไม่ต้องการความเร็วคงที่ และภายใต้การทำงานปกติจะมีโหลดต่ออยู่ด้วยเสมอ เช่น งานลากจูง เครน รถไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 แบตเตอรี่

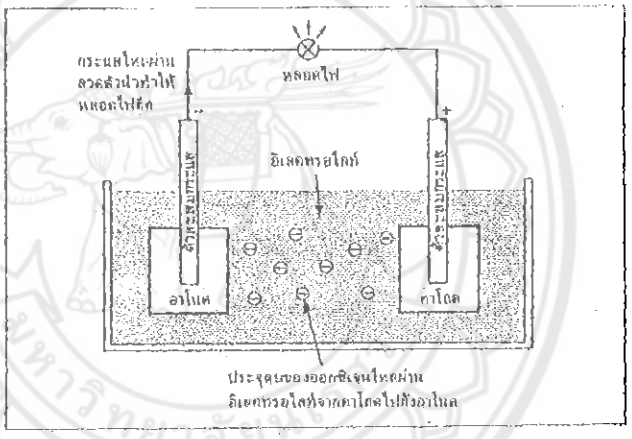
2.3.1 การทำงานของเซลไฟฟ้า

เซลไฟฟ้านั้นสร้างขึ้นได้โดยการนำแท่งตัวนำหรือเรียกว่า แท่งอิเล็กโทรด (electrode) สองแท่งมาจุ่มลงไปในสารละลายที่เรียกว่า อิเล็กทรอไลท์ (electrolyte) แท่งอิเล็กโทรดแท่งหนึ่งจะเรียกว่าอาโนด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ส่วนอีกแท่งหนึ่งเรียกว่า คาโถด ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากออกไซด์ของโลหะ

โลหะที่ใช้เป็นอาโนดนั้นจะเลือกให้มีความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าโลหะที่ใช้เป็นคาโถดถ้านำเอาคาโถดและอาโนดมาวางไว้ด้วยกันอาโนดจะดึงเอาออกซิเจนออกจากออกไซด์ของโลหะซึ่งเป็นคาโถดและทิ้งแท่งคาโถดไว้เป็นโลหะ



รูปที่ 2.14 เป็นเซลล์แบบพื้นฐานแสดงถึงอาโนด คาโถดและอิเล็กทรอไลท์



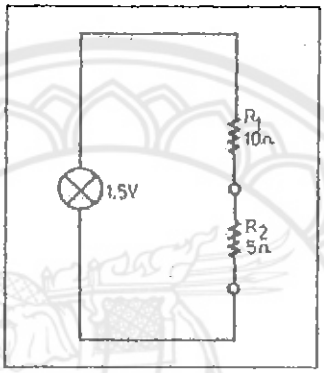
รูปที่ 2.15 เป็นการทำงานของเซลล์แบบพื้นฐานในกรณีนี้ใช้ทำให้หลอดไฟสว่าง

เนื่องจากการใช้อิเล็กทรอไลท์แตกต่างกัน ตลอดจนใช้อาโนดและคาโถดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถผลิตเซลชนิดต่างๆซึ่งมีราคาตลอดจนคุณสมบัติแตกต่างกัน

การสูญเสียอาจจะอยู่ในรูปของความร้อนเนื่องมาจากความต้านทานภายในเซล ตัวเซลจะอุ่นขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานภายในขึ้นอีกและจะมีผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น ทำให้ไปเพิ่มค่ากำลังงานและไปเพิ่มแรงดันที่ตกคร่อมขึ้นอีก วนเวียนกันเป็นวัฏจักรกันไปเรื่อยๆซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้าย ทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อมีกระแสไฟไม่พอเลี้ยงวงจรให้ทำงานต่อไปได้ พลังงานที่สูญเปล่านี้ก็จะไปลดอายุการใช้งานของเซลลง

2.3.2 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลไฟฟ้านั่นก็คือ ค่าความจุของเซล (cell capacity) ซึ่งก็คือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลหนึ่งๆสามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลไฟฟ้าเซลหนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง หมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซล) เซลนี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมป์เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงหรือจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมป์เป็นระยะเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น

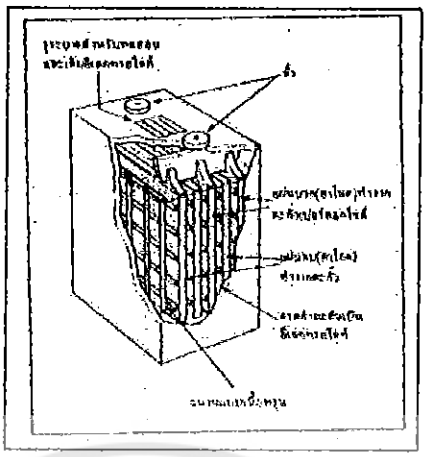


รูปที่ 2.16 ผลของความต้านทานภายในซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรที่ภาวะกระแสสูง ๆ

แต่ถ้ากล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลในรูปมิลลิแอมป์-ชั่วโมง โดยลำพังไม่ได้หมายถึงความจุทั้งหมดของเซล บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลเป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุของเซลด้วย ซึ่งทำได้โดยการคูณค่าความจุกระแสของเซลด้วยค่าแรงดันของเซลซึ่งจากตัวอย่างแรงดันของเซลเท่ากับ1.5โวลท์ ดังนั้นมันจะมีความจุของพลังงานทั้งหมดอยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์-ชั่วโมง เช่น 1,000 × 1.5V = 1500 mWh

2.3.3 เซลแบบตะกั่วกรด (Lead Acid)

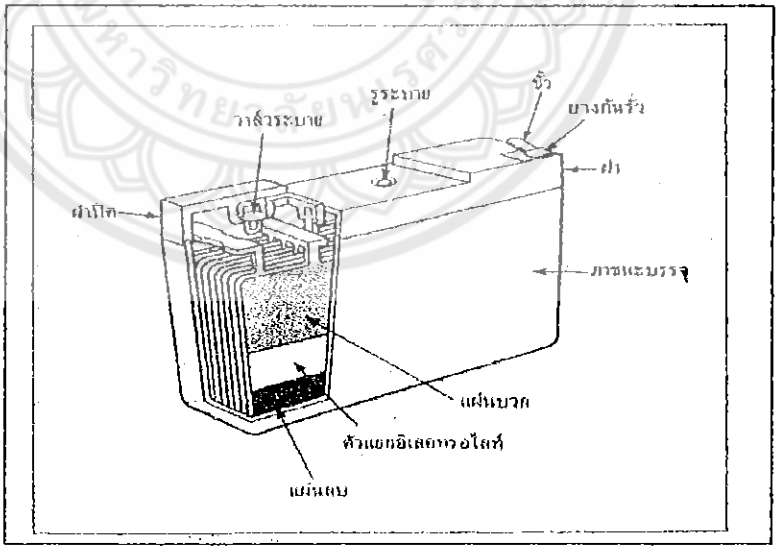
เซลชนิดนี้จัดอยู่ในเซลแบบที่สามารถประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่ได้ ตัวอย่างเซลชนิดนี้แสดงในรูป2.17 ซึ่งเซลจะประกอบด้วยแผ่นคาโดดและแผ่นอาโนดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กทรอไลท์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กทรอไลท์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กทรอไลท์มากเท่าไร ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเซลแบบตะกั่ว - กรด แผ่นอาโนดและคาโทด

จะวางสลับกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน

ที่คาโถดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่ที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่อาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโถดผ่านไปยังวงจรภายนอก



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรดที่มีการปิดผนึก

โดยจะไม่ปล่อยอิเล็กทรอไลท์ออกมา

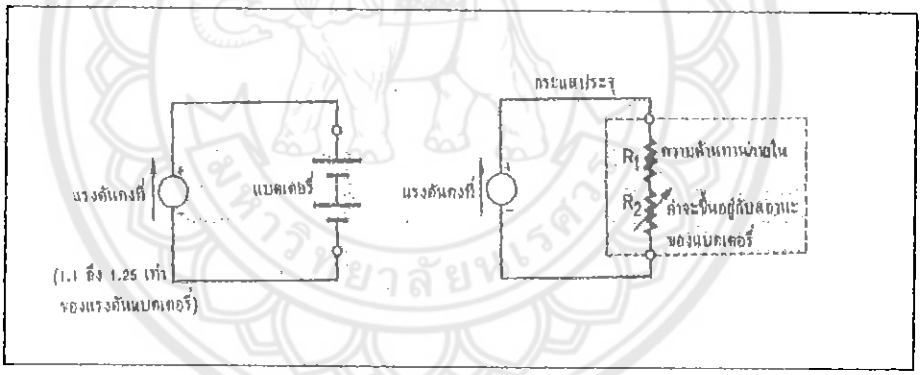
ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กทรอไลท์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโถดกลายเป็นน้ำ) สามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_2 \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$$

ซึ่งแสดงโดยลูกศรสองทิศทางแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโถดไปสู่อาโนด

2.3.4 การประจุไฟกลับเข้าไปใหม่

การประจุเซลแบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถทำได้อย่างง่ายๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันดังเดิม



รูปที่ 2.19 การประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่

ขนาด 1.1 - 1.25 เท่า ของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

2.3.4.1 การประจุทีละน้อย (Trickle Recharge)

ถ้ากระแสในวงจรถูกรักษาไว้ที่อัตราเท่ากับ C/10 (10% ของความจุ)แล้ว เซลที่หมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถจะประจุได้ภายใน 10 ชั่วโมง แต่ความเป็นจริงจะใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมง โดยเผื่อการสูญเสียไว้บ้าง จะใช้เวลาประจุ 12 ถึง 14 ชั่วโมง การประจุทีละน้อยด้วยอัตราขนาดนี้สามารถประจุทิ้งไว้ค้างคืนได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการประจุเซลด้วยอัตราขนาดนี้คือ ถึงแม้ว่าเซลจะถูกประจุเต็มแล้วก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องนำเซลออก เนื่องจากถ้าเราประจุต่อไปก็จะไม่ทำความเสียหายให้แก่เซล เนื่องจากก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ขั้วบวกจะรวมตัวกับขั้วลบ การ

ยกตัวอย่างเช่น เซลมีขนาดความจุ 500 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง ถ้าประจุด้วยอัตรา C/10 ก็เท่ากับ 10% ของความจุ คือ 50 มิลลิแอมป์

2.3.4.2 การประจุอย่างรวดเร็ว (Fast Recharge)

เซลแบบนิแคดนี้สามารถประจุด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าได้ เช่นด้วยอัตรา C/3 (33% ของความจุ) ถึง C/5 (20% ของความจุ) โดยจะต้องเตรียมการตัดการประจุ เมื่อเซลได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้อย่างอัตโนมัติโดยใช้วงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งจะตัดกระแสที่ใช้ในการประจุออก เมื่อแรงดันของเซลเพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงของแรงดันของเซลกับเวลาที่อัตราการประจุเท่ากับ C/4 (25% ของความจุ) วิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะ ถ้าสามารถวัดค่าแรงดันได้อย่างเที่ยงตรงและว่องไว สามารถตัดกระแสที่ใช้ประจุออกก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ปัญหาในการใช้การประจุแบบนี้ก็คือถ้ากระแสที่ใช้ในการประจุค่าสูงๆ นี้ไม่ได้ถูกตัดออกอย่างทันทีเมื่อเซลได้รับการประจุจนเต็มที่แล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นมากเกินจากขั้วบวกนี้จะไม่สามารถรวมตัวกันที่ขั้วลบในปริมาณที่เพียงพอ ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเซลจะระบายก๊าซออกซิเจนออกไปโดยที่ รูระบายที่ปิดไว้จะเปิดออกและปล่อยก๊าซออกซิเจนกับอิเลคทรอไลท์บางส่วนออกมา เนื่องจากเมื่ออิเลคทรอไลท์สูญเสียออกมาจากเซลแล้วก็ไม่สามารถเติมกลับเข้าไปใหม่ได้ดังนั้นความจุของเซลจะลดลงอย่างถาวรก็คือเซลนั้นจะมีความจุน้อยลงตลอดไป

2.3.4.3 การประจุอย่างเร่งด่วน (Super-Fast Recharging)

มีบางกรณีที่ผู้ใช้ต้องการที่จะประจุเซลภายในเวลาเพียง 2-3 นาที ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบินเล็กที่ใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลังจะต้องการประจุเซลที่หมดประจุเพื่อจะนำเครื่องบินนี้บินขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

เป็นไปได้ที่จะประจุเซลอย่างเร่งด่วน ด้วยอัตราการประจุสูงถึง 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยวิธีการต่อไปนี้ คือวัดแรงดันของเซลและตัดกระแสที่ใช้ประจุออกเมื่อแรงดันของเซลขึ้นสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามมีวิธีที่ง่ายกว่า แล้วก็เที่ยงตรงด้วยโดยจากหลักความจริงที่ว่าเซลได้หมดประจุอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะพยายามทำการประจุมันใหม่ ให้ประจุไฟเข้าโดยกำหนดค่ากระแสประจุคงที่ในการประจุตามที่ต้องการ เช่นหลังจากเซลหมดประจุแล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุขนาด 3C (3 เท่าของความจุ) จะถูกป้อนเป็นเวลา 20 นาที หรือจะใช้กระแสในการประจุเป็น 5C (5 เท่าของความจุ) ป้อนเข้าไปเป็นเวลา 12 นาที เป็นต้น แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ดี เช่น สำหรับนักเล่นเครื่องบินจำลองที่มีเพียงแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแบตเตอรี่รถยนต์ก็ตาม ก็เป็นสิ่งที่ควรระวังไว้เนื่องจากการประจุมากเกินไปเพียง 2-3 วินาที อาจจะทำให้เกิดการรั่ว

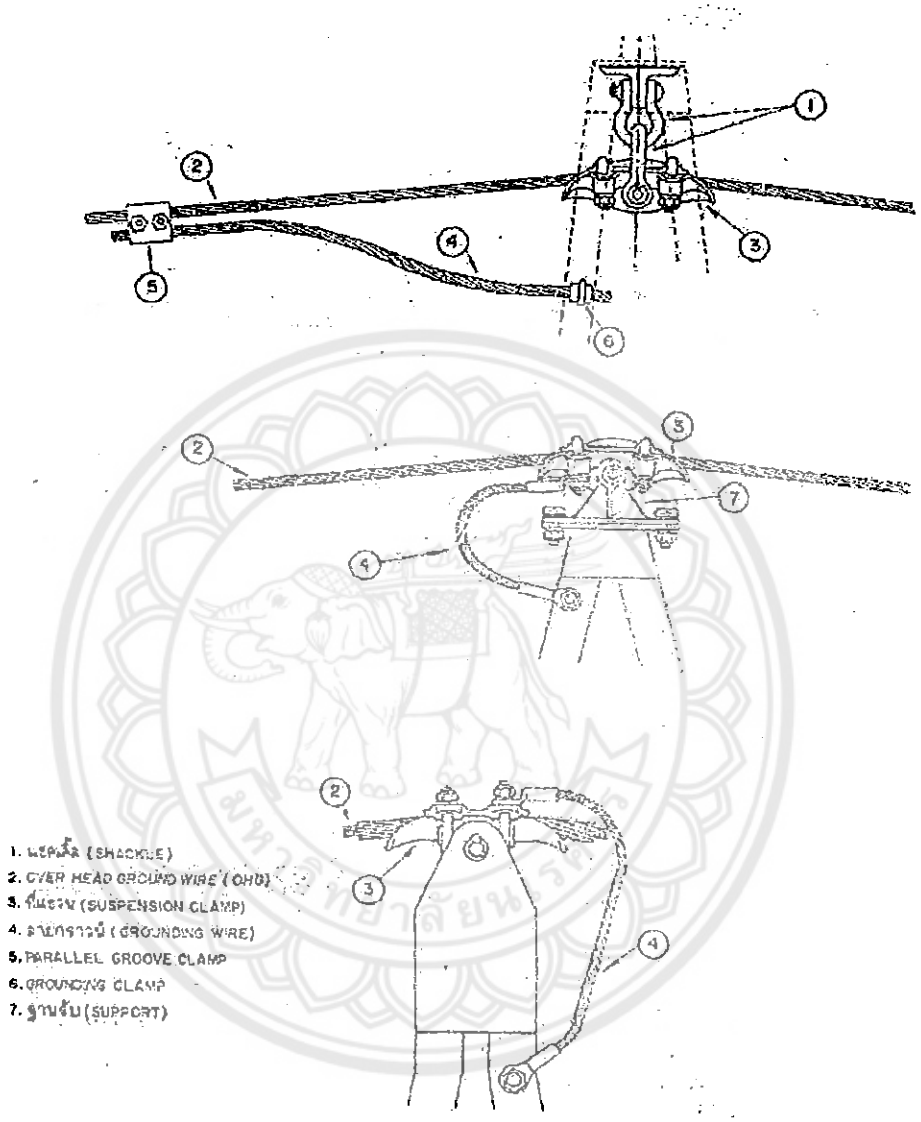
ของเซลได้ กล่าวย่อๆ ก็คือ เมื่อจะใช้วิธีการนี้เซลจะต้องหมดประจุอย่างเต็มที่ และใช้กระแสในการประจุค่าที่แน่นอนเป็นระยะเวลาที่ถูกต้อง

2.4 สายโอเวอร์เฮดกราวน์

นอกจากบนเสาจะมีสายไฟฟ้าที่ใช้ส่งกระแสไฟฟ้าแล้ว ยังมีสายตัวนำซึ่งทำหน้าที่ป้องกันสายไฟฟ้ามิให้เสียหายเนื่องจากถูกฟ้าผ่า สายนี้จะขึงอยู่เหนือเสาไฟฟ้าบนยอดเสามีสายต่อลงดินตามลักษณะการออกแบบ การติดตั้งสายโอเวอร์เฮดกราวน์จะต้องครอบคลุมสายไฟฟ้าทุกเส้นได้ทั้งหมดดังจะเห็นว่าเสาบางแบบจะมีสายโอเวอร์เฮดกราวน์เพียงสายเดียว บางแบบมีสองเส้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการป้องกันฟ้าผ่าสายไฟฟ้า และเนื่องจากสายโอเวอร์เฮดกราวน์เป็นเหล็กจึงมีปัญหาเรื่องการเกิดสนิม ซึ่งเป็นอันตรายต่อสายมาก จึงป้องกันโดยการใช้สายเหล็กอาบสังกะสีหรืออาบอลูมิเนียมเพื่อป้องกันสนิมดังกล่าว

สายโอเวอร์เฮดกราวน์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยเหล็ก 7 เส้น มีใช้หลายขนาด เช่นขนาด 38 ตารางมิลลิเมตร, 50 ตารางมิลลิเมตร และ 55 ตารางมิลลิเมตร

โดยทั่วไปสายโอเวอร์เฮดกราวด์แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ สายเหล็กตีเกลียวอาบสังกะสี (Galvanized Steel Wire Strand), สายเหล็กตีเกลียวอาบอลูมิเนียม (Aluminium Steel Wire Strand), สายเหล็กตีเกลียวเคลือบอลูมิเนียม (Aluminium Clad Steel Wire)



รูปที่ 2.20 อุปกรณ์การต่อสาย Suspension overhead ground ในแบบต่างๆ

2.4.1 อุปกรณ์สำหรับสายโอเวอร์เฮดกราวน์

ที่ปลายสุดของเสาไฟฟ้าจะมีสายโอเวอร์เฮดกราวน์ เพื่อป้องกันฟ้าผ่าอุปกรณ์ของสายส่งที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ขนาด 3/8" (3 หุน) เป็นสายเหล็กอาบสังกะสีดีเกลียว 7 เส้น ส่วนชุดอุปกรณ์ต่อแยกได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบชนิดแขวน (Suspension Type) และแบบชนิดแรงดึง (Tension Type)

2.4.2 ไวเบรชั่นแดมเปอร์ (Vibration Damper)

ใช้ยึดติดกับเสาไฟฟ้าหรือสายโอเวอร์เฮดกราวน์ตรงบริเวณที่ใกล้กับแคลมป์ เพื่อใช้ในการลดแรงสั่นสะเทือนในสายอันเกิดจากแรงลมพัดซึ่งถ้าเกิดให้สายนั้นแกว่งโดยปราศจากการลดแรงสั่นสะเทือนแล้ว สายตรงจุดที่ติดกับซัสเปนชันแคลมป์ชำรุดได้การติดแดมเปอร์จะติดออกจากจุดกึ่งกลางของซัสเปนชันแคลมป์ไปทั้งสองข้าง ส่วนระยะ ขนาด และจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดของสายไฟฟ้าและความยาว

2.4.3 อุปกรณ์คั่นสาย (Spacer)

สำหรับสายไฟฟ้าสองเส้นเป็นชนิดบาร์ฮิงค์ (Bar Hing) ซึ่งสามารถยับตัวตามสบายได้ และชนิด ริกิด (Rigid) ซึ่งมีลักษณะยึดแน่นและแข็ง สำหรับชุดจัมเปอร์ลูป (Jumper Loop) หน้าที่ของสเปซเซอร์ใช้ยึดสายเพื่อไม่ให้สายพันกัน ดังนั้นนอกจากจะมีความแข็งแรงแล้ว สเปซเซอร์ต้องมีความนำไฟฟ้าที่ดีด้วย

อุปกรณ์คั่นสายสำหรับสายสองเส้นจะใช้ชนิด Barsocket หรื อ Hing Type และ ชนิด Rigid Type สำหรับ Jumper Loop ตาม Specification No. C-2 Revision 5 สำหรับงานก่อสร้างสายส่ง ซึ่งจัดทำโดย ฝวศ. กำหนดไว้ดังนี้

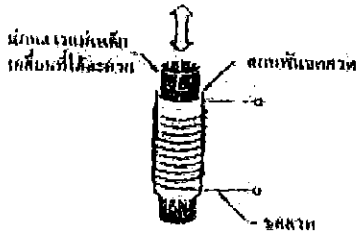
1. Spacer ใช้ยึดกับสายสองเส้นเรียงกันในแนวราบ เพื่อไม่ให้สายแตะกันในขณะใช้งานปกติ จะติดทุกความยาว 80 เมตร
2. Spacer นี้จะต้องทนต่อแรงกด, แรงดัน ซึ่งจะเกิดขึ้นขณะใช้งานปกติ และเมื่อเกิด Fault ในสายส่ง และจะต้องไม่ทำให้สายเสียหายได้
3. Spacer จะต้องยึดกับสายได้แน่นพอ โดยที่เมื่อเกิดการหมุนหรือบิดตัวแล้ว Spacer ยังคงยึดอยู่กับสายเดิมโดยไม่เสียรูป ระยะห่างระหว่างสายยังคงเดิมคือ 40 เซนติเมตร
4. เมื่อสายมีการแกว่งในแนวดิ่ง Spacer จะต้องไม่ทำอันตรายต่อสาย และตัวของ Spacer เองจะต้องไม่เสียหายด้วย
5. Spacer จะต้องต้านทานการหมุนของสายในแนวดิ่งได้ เพื่อป้องกันการดีเกลียว

6. Spacer จะต้องทำให้ไม่เกิดโคโรน่า และคลื่นวิทยุรบกวน
7. Spacer จะต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดการ Spark เมื่อมีการถ่ายเทกระแสระหว่างสาย
8. Spacer จะต้องมีโครงสร้างง่าย ๆ สะดวกต่อการติดตั้งและถอด พร้อมทั้งสามารถติดตั้งและถอดโดยวิธี Hot Line ได้ด้วย
9. Spacer จะทำด้วยวัสดุที่คงทน ใช้งานได้ในสภาวะอากาศเลวร้ายมีมลภาวะส่วนที่มีการสัมผัสทางไฟฟ้าจะต้องทำด้วยอลูมิเนียม

รูปที่ 2.21 Vibration Damper & Spacer

2.5 โซลินอยด์

โครงสร้างของโซลินอยด์ คือ ขดลวดพันรอบๆสารแม่เหล็ก (ดังรูปที่ 2.22) ลักษณะจะคล้ายทรงกระบอก



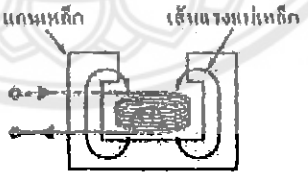
รูปที่ 2.22 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์

โซลินอยด์นำมาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการ โดยเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยตรง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาทางด้านขดลวดจะทำให้แกนสารแม่เหล็กของโซลินอยด์เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งการเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ขัดกลอนประตู นำไปถีบกระเดื่องให้กลไกทำงานหรือหยุดทำงาน ฯลฯ โซลินอยด์มี 2 ชนิดคือโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรงและโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสสลับ

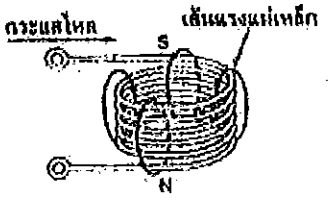
2.5.1 หลักการทำงานของโซลินอยด์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำใด ๆ ก็ตาม จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ (ดังรูปที่ 2.23) ซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวา

รูปที่ 2.23 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวด



รูปที่ 2.24 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดที่มีกระแสไหล



รูปที่ 2.25 การเพิ่มเหล็กอ่อนเข้ามาเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก

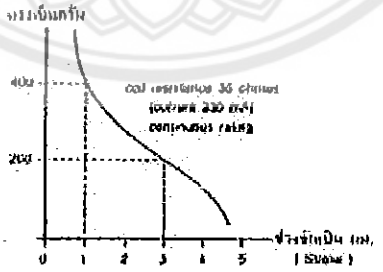
เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นหลาย ๆ วงก็จะเกิดการเสริมกันของสนามแม่เหล็กจากขดลวดแต่ละขด ก่อให้เกิดเป็นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กรวมมีทิศเหนือและทิศใต้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่ง

ในตัวโซลินอยด์ได้มีการนำแกนเหล็กอ่อนเข้ามาใช้เพื่อลดการกระจัดกระจายของสนามแม่เหล็ก (ดังรูปที่ 2.25) ทำให้มีแรงดูดแกนกระทุ้งที่มากขึ้น

ความแตกต่างระหว่างโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรงและโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ โซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีกระแสไหลในขดลวดค่อนข้างคงที่ไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม ส่วนโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสสลับในขณะที่แกนกระทุ้งอยู่นอกขดลวด กระแสจะมีค่าสูงและเมื่อแกนกระทุ้งถูกดูดเข้ามาจนสุดขดลวด กระแสจะลดต่ำลง ซึ่งลักษณะแบบนี้ต้องระวังไม่ให้เกิดการติดขัดของแกนกระทุ้งเพราะถ้าเกิดการติดขัดของแกนกระทุ้งขึ้นแล้วจะทำให้ขดลวดร้อนขึ้นจนเสียหายได้ เนื่องจากมีกระแสไหลข้างในขดลวด

2.5.2 ข้อควรคำนึงในการเลือกใช้โซลินอยด์

1. ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน ถ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับต้องคำนึงถึงความถี่ด้วย
2. ช่วงชักของแกนกระทุ้งในการใช้งาน
3. ขนาดของโหลด
4. ลักษณะการใช้งาน (แบบต่อเนื่อง หรือ แบบเป็นจังหวะ)



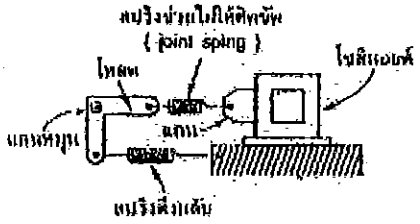
กราฟที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะช่วงชักของโซลินอยด์

2.5.3 ข้อแนะนำในการใช้งานโซลินอยด์

1. ถ้าโซลินอยด์ที่ใช้เป็นประเภทไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องออกแบบกลไกให้มีการดูดแกนกระทุ้งเข้ามาจนสุด เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดเสียหายเนื่องจากการเกิดความร้อนของขดลวดเอง

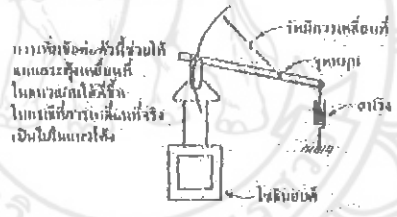
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

25
4400/86
TJ
211
.W618
2543



รูปที่ 2.26 การเติมสปริงเชื่อมต่อเพื่อให้แน่ใจว่าโซลินอยด์จะดูดได้เต็มที่กว่า

2. ต้องออกแบบให้แกนกระทุ้งมีการเคลื่อนที่ในแนวแกนเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้แกนกระทุ้งเกิดการติดขัด



รูปที่ 2.27 การใช้ข้อต่อมาช่วยให้แกนกระทุ้ง

3. ต้องพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งโซลินอยด์อยู่ใกล้หรือติดกับสารแม่เหล็ก เพราะจะทำให้แรงดูดของแกนกระทุ้งลดลง เนื่องจากมีการรั่วไหลของสนามเหล็ก

4. ต้องติดตั้งตัวถังของโซลินอยด์ให้มีความแข็งแรง เพื่อป้องกันการเกิดการสั่น หรือหลุด ในขณะใช้งานเนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับตัวโซลินอยด์

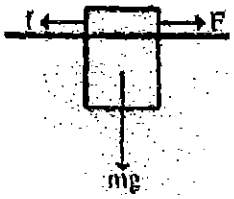
2.6 การประยุกต์ทฤษฎี

2.6.1 แรงกระทำที่กรณีต่าง ๆ

ให้ k คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

z คือค่ามุมซีต้า

2.6.1.1 แรงกระทำในกรณีที่ 1 : หุ่นยนต์เคลื่อนที่ขนานกับพื้น

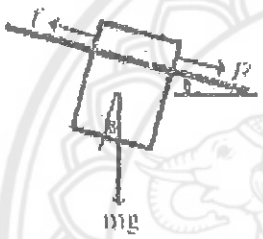


$$F = f = kN$$

$$F = k\,mg$$

รูปที่ 2.28 แรงกระทำในกรณีที่ 1

2.6.1.2 แรงกระทำในกรณีที่ 2 : หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลง



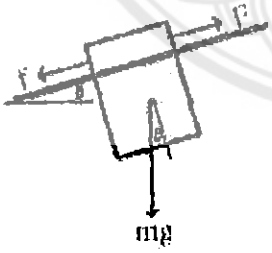
$$F = f - mg * \sin z$$

$$F = k\,mg * \cos z - mg * \sin z$$

$$F = mg\,(k \cos z - \sin z)$$

รูปที่ 2.29 แรงกระทำในกรณีที่ 2

2.6.1.3 แรงกระทำในกรณีที่ 3 : หุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้น



$$F = f + mg * \sin z$$

$$F = k\,mg * \cos z + mg \sin z$$

$$F = mg\,(k \cos z + \sin z)$$

รูปที่ 2.32 แรงกระทำในกรณีที่ 3

2.6.2 การคำนวณทอร์ก

สูตร $T = F * r$

โดยที่ F คือ แรงกระทำที่ได้มาจากการคำนวณกรณีของแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

r คือ รัศมีของล้อที่สัมผัสกับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.03 เมตร

โดยที่ F คือ แรงกระทำที่ได้มาจากการคำนวณกรณีของแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

r คือ รัศมีของล้อที่สัมผัสกับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.03 เมตร

2.6.2.1 ทอร์กที่ใช้ในการเริ่มการเคลื่อนที่

ตารางที่ 2.1ทอร์คที่ใช้ในการเริ่มการเคลื่อนที่

ลักษณะการเคลื่อนที่	ค่าทอร์ก (N.m)
เคลื่อนที่ขนานกับพื้น	3.18
เคลื่อนที่ลง (ทำมุม 20 องศา)	1.81
เคลื่อนที่ขึ้น (ทำมุม 20 องศา)	4.29

2.6.2.2 ทอร์กของมอเตอร์ ขณะเริ่มหมุน

สูตร $T = 9.55 * (P / N)$

โดยที่ $P = IV = (3)(24) = 72$ W

$N = 155$ rpm

ดังนั้น $T = 9.55 * (72 / 155)$

$= 4.43$ N.m

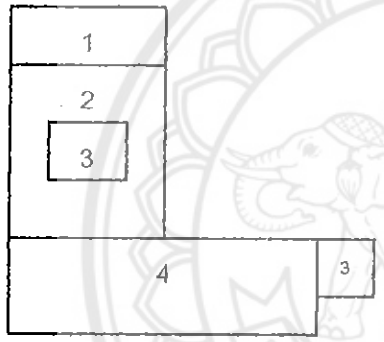
เห็นได้ว่าทอร์กของมอเตอร์ขณะเริ่มหมุนมีค่ามากกว่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ จึงทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้

จากหลักการและทฤษฎีดังที่กล่าวมานี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และเลือกวัสดุอุปการณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์หุ่นยนต์ ดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 3

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

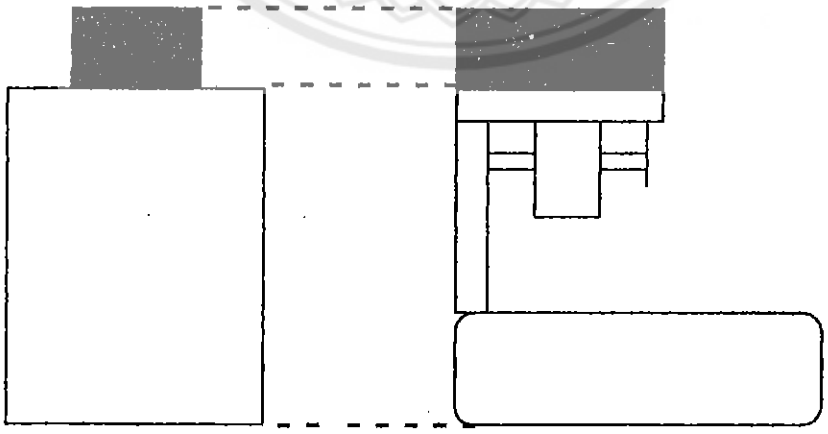
จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นในบทที่ 2 แล้ว ทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้คิดค้น ออกแบบ ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ และเลือกวัสดุที่นำมาใช้ต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การออกแบบและส่วนประกอบของหุ่นยนต์



ส่วนที่ 1 ภาควงจรไฟฟ้า
ส่วนที่ 2 ภาคยึดเกาะสายโอเวอร์เฮดกราวน์
ส่วนที่ 3 ภาคทำลายเชือกว่าว
ส่วนที่ 4 ภาคขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง

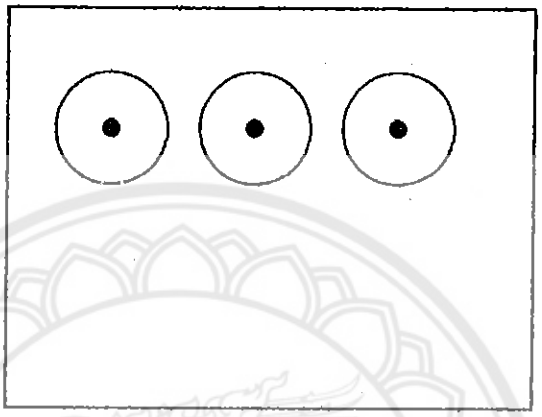
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.2 การวางตำแหน่งภาควงจรไฟฟ้า

ส่วนที่ 1 ภาควงจรไฟฟ้า

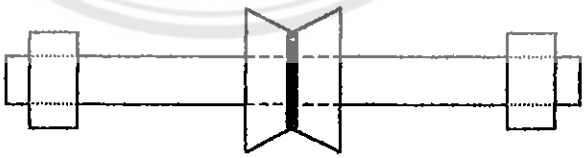
จัดวางไว้ด้านบนสุดของตัวหุ่นยนต์ซึ่งจะรวมวงจรไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดไว้ในส่วนนี้ โดยใช้กล่องพลาสติกเอนกประสงค์เป็นภาชนะบรรจุและยึดติดกับโครงหุ่นยนต์ด้วยน็อตรวม 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 การวางตำแหน่งล้อ

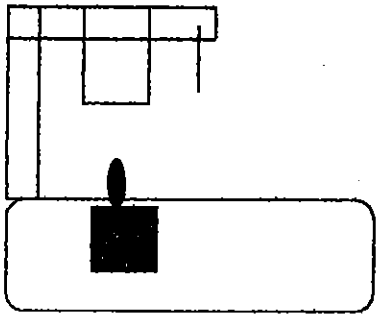
ส่วนที่ 2 ภาคยึดเกาะสายโอเวอร์เฮดกราวน์

จัดวางล้อทั้ง3ให้อยู่ในแนวเดียวกันเนื่องจากล้อทั้งสามทำจากวัสดุชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน จึงจำเป็นต้องวางล้อกลางให้ต่ำกว่าล้อด้านข้างทั้งสองเล็กน้อย เนื่องจากล้อกลางเป็นล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อน เพื่อให้สัมผัสกับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ได้ทุกกรณีไม่ว่าจะเป็นแนวระดับ แนวขึ้น แนวลง



รูปที่ 3.4 ลักษณะของการติดตั้งล้อและเพลา

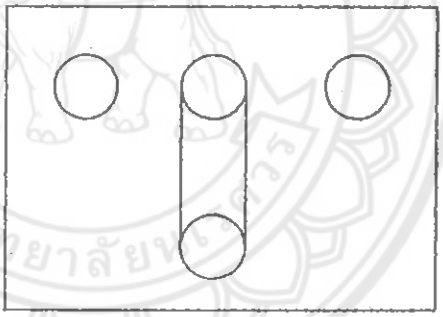
ลักษณะของการติดตั้งล้อจะมีการใช้เพลาเหล็กเป็นแกนกลางโดยมีล้ออยู่ตรงกลาง ส่วนด้านหัวและด้านท้ายจะมีตลับลูกปืน เพื่อให้ล้อหมุนได้สะดวก



รูปที่ 3.5 การวางตำแหน่งภาคทำลายเชือกว่าว

ส่วนที่ 3 ภาคทำลายเชือกว่าว

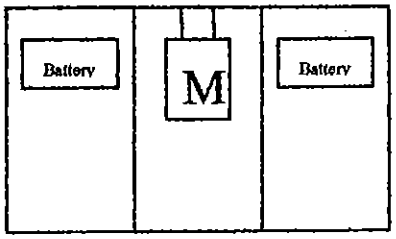
จัดวางให้เปลวไฟที่เกิดขึ้นตรงกับร่องกลางของล้อ และความสูงของเปลวไฟที่เกิดขึ้นต้องสูงพอที่จะไปทำลายสิ่งที่ขึ้นไปติดบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ได้ ซึ่งการปรับความสูงของเปลวไฟสามารถทำได้โดยการปรับวาล์วแก๊สของไฟแช็ค



รูปที่ 3.6 ภาคขับเคลื่อน

ส่วนที่ 4 ภาคขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง

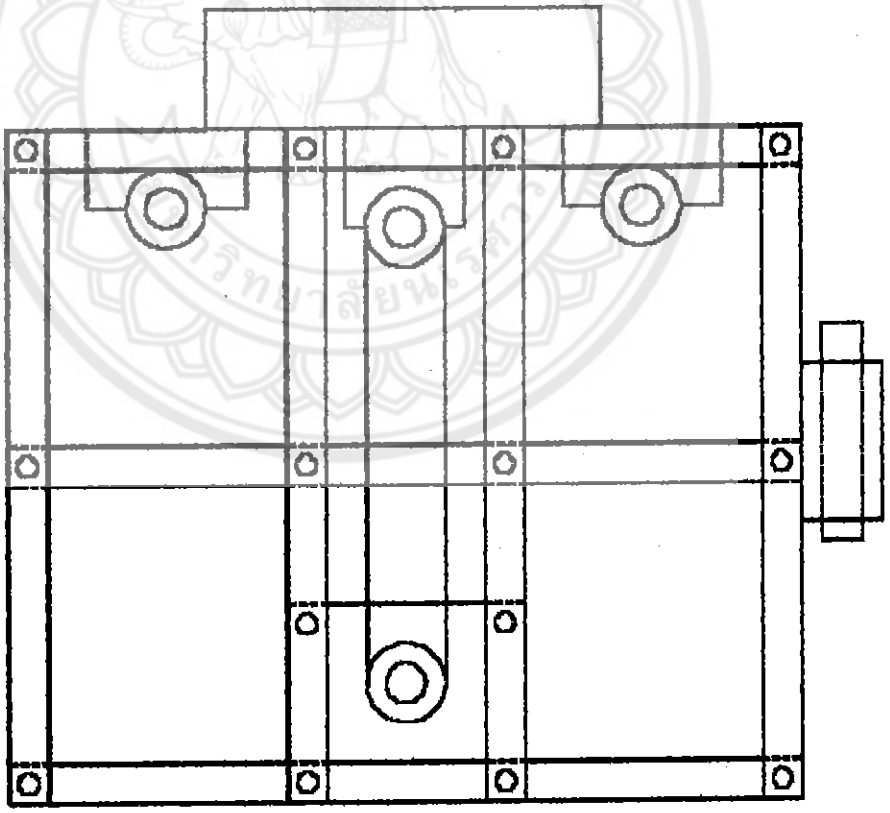
จัดวางมอเตอร์ไว้ด้านล่างและจะมีสเตอร์ของรถจักรยานต์อยู่ในแนวเดียวกันโดยอันหนึ่งอยู่ด้านบน อีกอันหนึ่งอยู่ด้านล่างและจะใช้โซ่จักรยานต์เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์มายังล้อขับเคลื่อน ซึ่งอัตราการส่งกำลังเป็น 1 : 1



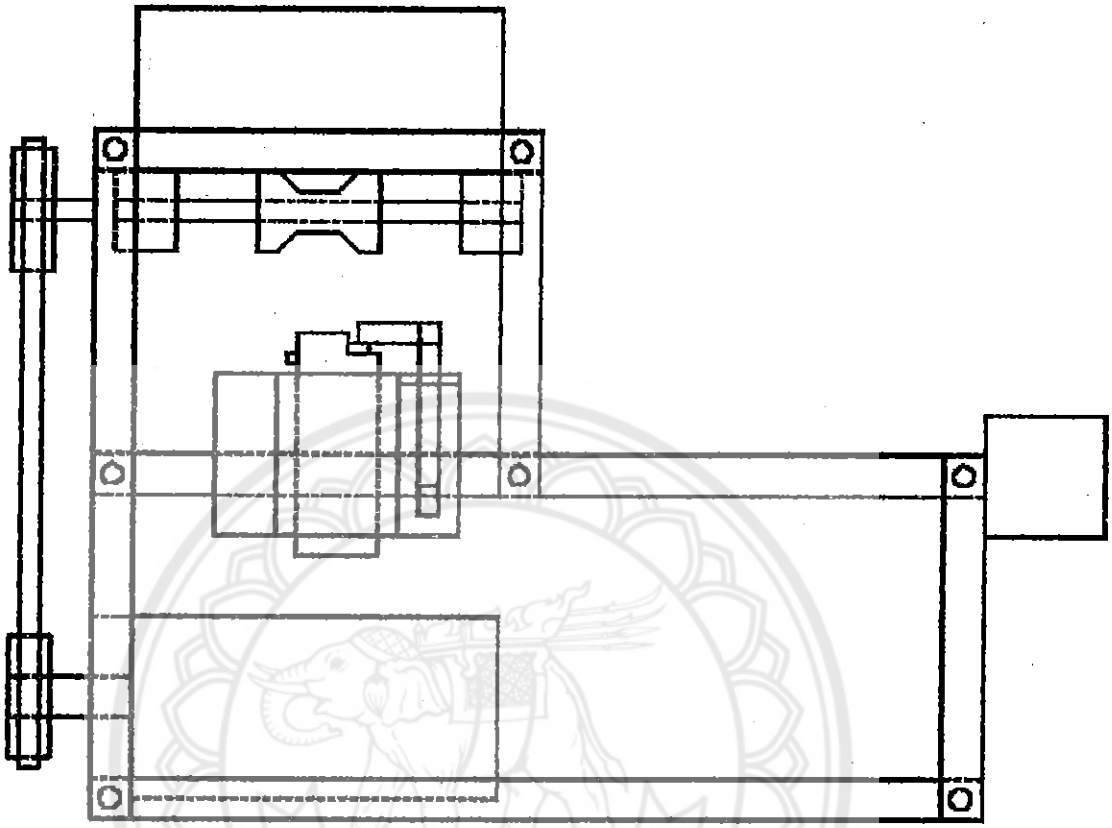
รูปที่ 3.7 การวางมอเตอร์และแบตเตอรี่

จัดวางมอเตอร์ไว้ตรงกลาง ส่วนแบตเตอรี่จะวางไว้ด้านข้างทั้งสอง เพื่อใช้แบตเตอรี่ทั้งสองนี้เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการปรับสมดุลของตัวหุ่นยนต์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะของลมที่แตกต่างกัน

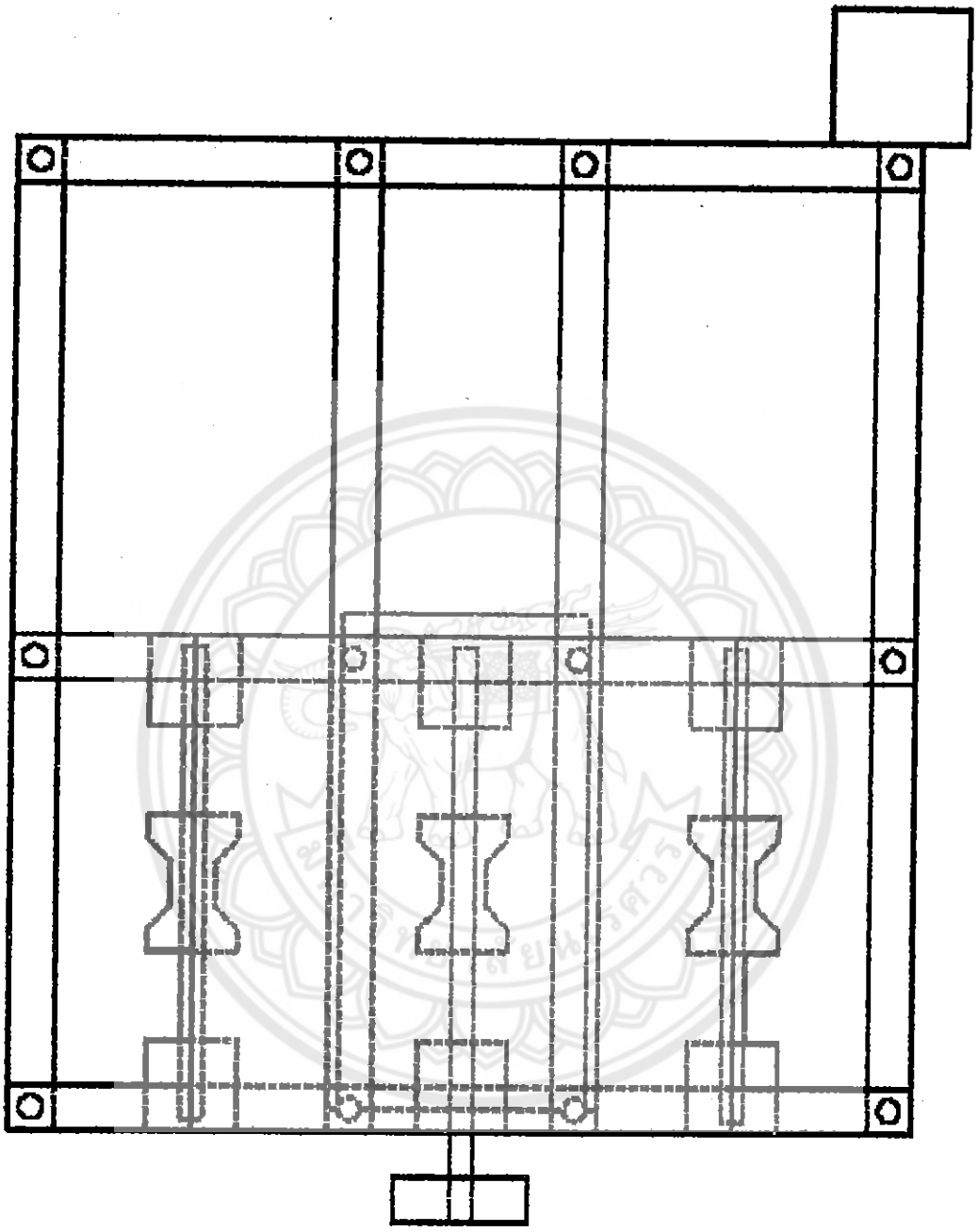
3.2 สรุปแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.8 แบบหุ่นยนต์ด้านหน้า



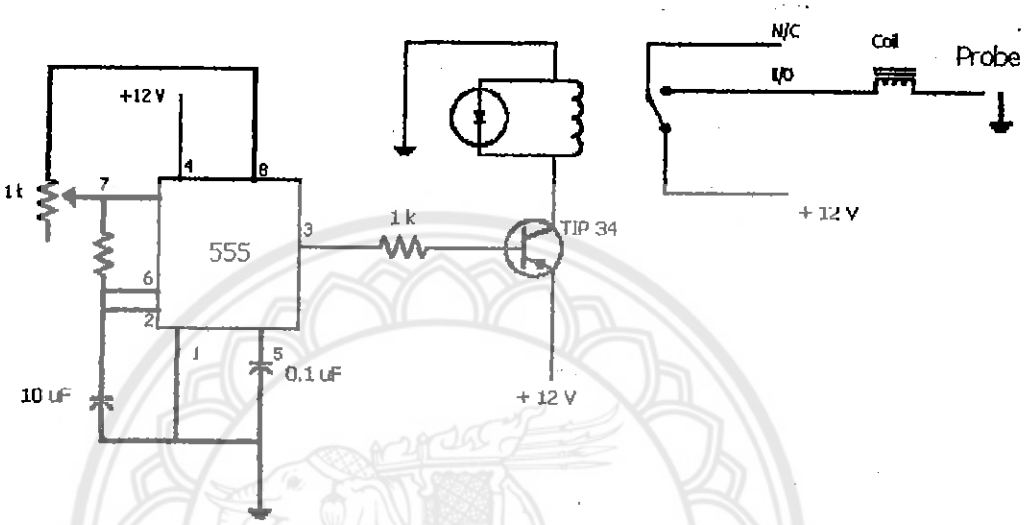
รูปที่ 3.9 แบบหุ่นยนต์ด้านข้าง



รูปที่ 3.10 แบบหุ่นยนต์ด้านบน

3.3 การออกแบบและรายละเอียดของวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในหุ่นยนต์

3.3.1 วงจรจุดประกายไฟ

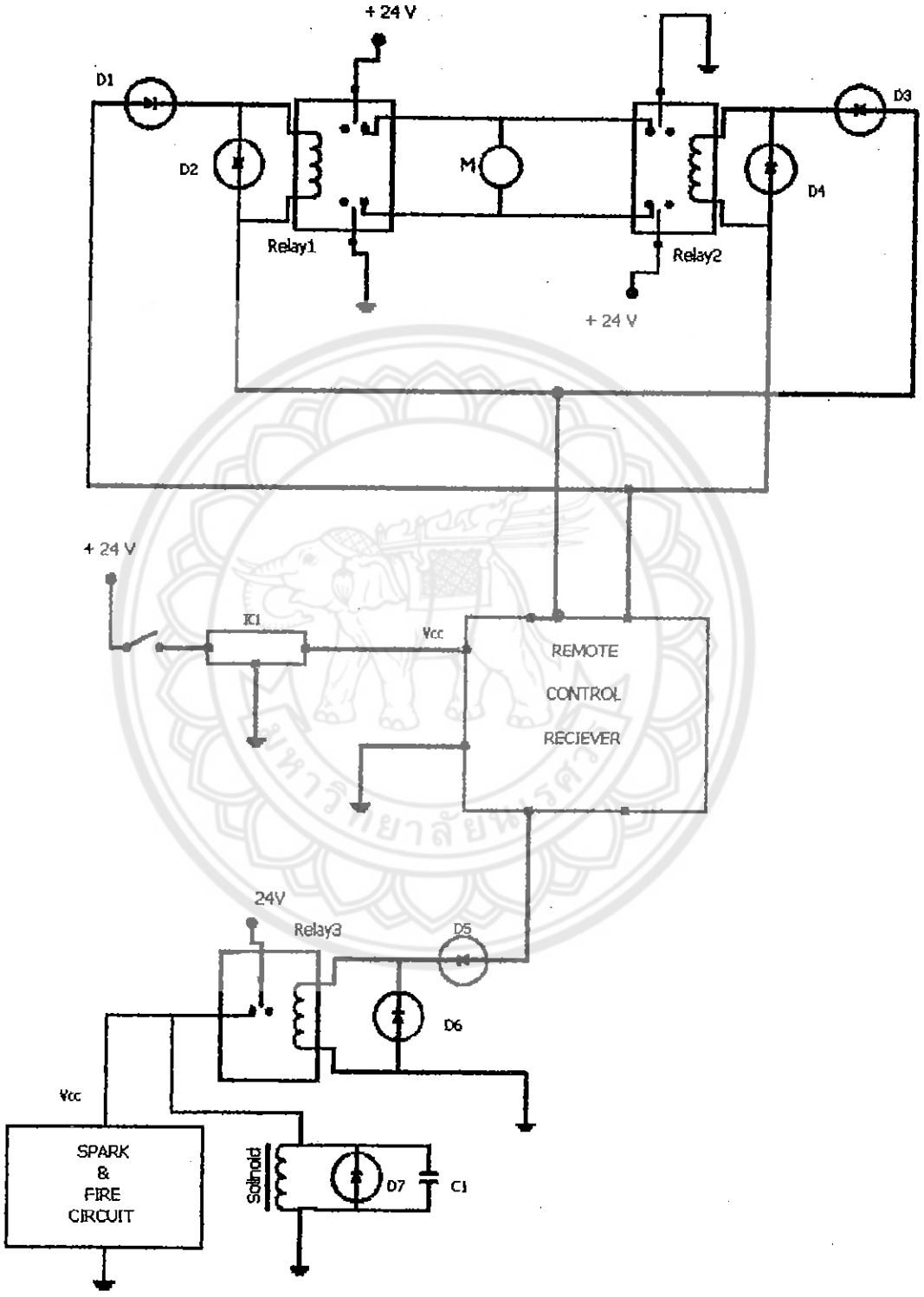


รูปที่ 3.11 วงจรจุดประกายไฟ

ใช้วงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไบรเวเตอร์สร้างสแควเวฟ (squre wave) ความถี่ 60 เฮริ์ต (Hz) ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ (%) ต่อผ่านวงจรสวิทชิ่งทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) แล้วนำสัญญาณที่ได้ขับรีเลย์ (Relay) เพื่อให้ได้สแควเวฟที่มีกำลังสูงจ่ายเข้าขดลวด (Coil) เพื่อสร้างแรงดันปลายทางให้มีค่าประมาณ 500 โวลต์ (Volt) จึงทำให้เกิดการสปาร์คขึ้นที่หัวโพรบ (probe) ใช้ในการจุดแก๊สให้ลุกไหม้เป็นเปลวไฟ

3.3.2 การทำงานของวงจรภาครับของรีโมท

1. วงจรต้องการไฟเลี้ยง 4.8 – 6 V
2. ขา A1 , A2 เป็นสัญญาณขาออกของคำสั่ง เดินหน้า และ ถอยหลัง
3. ขา B1 , B2 เป็นสัญญาณขาออกของคำสั่ง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา
4. ในสภาวะที่ไม่มีการสั่งงาน สัญญาณขาออกนั้น ๆ จะมีค่าเท่ากับ 0 V
5. ในสภาวะที่มีการสั่งงาน สัญญาณขาออกนั้น ๆ จะมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยง (4.8 – 6 V)
6. สัญญาณขาออกของ A และ B สามารถทำงานได้พร้อมกัน



รูปที่ 3.12 การต่อวงจรต่าง ๆ ของหุ่นยนต์

3.3.3 การทำงานของวงจรภายใต้คำสั่งต่าง ๆ

1. ไม่มีการสั่งคำสั่ง

V_{A1}=V_{A2}=V_{B1}= 0 ทำให้รีเลย์ 1,2,3 อยู่ในสภาวะไม่ทำงาน ทำให้เป็นการงดจ่ายไฟเลี้ยงเข้าวงจรมอเตอร์, วงจรจุดประกายไฟ, วงจรโซลินอยด์ จึงทำให้วงจรทั้งหมดดังกล่าวอยู่ในสภาวะไม่ทำงาน

2. คำสั่งเดินหน้า

$V_{A1} \approx 5$ V

$V_{A2} = 0$ V

ทำให้รีเลย์ 2 ทำงาน จึงทำให้จ่าย +24 V. เข้ามอเตอร์ทางขั้ว Y แล้วต่อขั้ว X ลงกราวน์ทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

3. คำสั่งถอยหลัง

$V_{A1} = 0$ V

$V_{A2} \approx 5$ V

ทำให้รีเลย์ 1 ทำงาน จึงทำให้จ่ายไฟ +24 V เข้ามอเตอร์ทางขั้ว X แล้วต่อขั้ว Y ลงกราวน์ทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

4. คำสั่งเลี้ยวขวา

$V_{B1} \approx 5$ V

ทำให้รีเลย์ 3 ทำงาน จึงทำให้จ่ายไฟ +12V เข้าวงจร จุดประกายไฟ และวงจนโซลินอยด์ทำให้วงจรดังกล่าวทำงาน

5. คำสั่งเลี้ยวขาว

$V_{B2} \approx 5$ V

เนื่องจากไม่มีการใช้ขา B_2 จึงไม่มีผลใด ๆ ต่อการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้องในการทำงานของหุ่นยนต์

หมายเหตุ

1. D_2, D_4, D_6, D_7 ทำหน้าที่เป็นตัวระบายกระแส (free wheeling diode) ให้กับขดลวด
2. D_1, D_3, D_5 ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้รีเลย์ ทำงาน เมื่อมีการจ่ายแรงดันย้อนกลับ
3. C_1 ทำหน้าที่ รักษาแรงดันคร่อมโซลินอยด์ให้ที่ขณะทำงาน เพื่อให้โซลินอยด์ มีการทำงานที่ต่อเนื่อง (ซึ่งเนื่องมาจากการใช้งานจริง V_{B1} , V_{B2} จะส่งสัญญาณเป็นสแควร์เวฟมีดิวตี้ไซเคิลประมาณ 85% โดยมีค่า V_{p-p} = 5 V จึงต้องมีการรักษาระดับแรงดันคร่อมโซลินอยด์ไว้เพื่อให้โซลินอยด์มีการทำงานที่ต่อเนื่อง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่ใช้

1.	IC 1	:	LM7805
2.	Diode ทั้งหมด	:	1N4002
3.	ตัวเก็บประจุ C1	:	15,000 uF
4.	รีเลย์ 1,2	:	รีเลย์ 6V 2 contact
5.	รีเลย์ 3	:	รีเลย์ 6V 1 contact

3.4 การเลือกวัสดุสำหรับสร้างหุ่นยนต์

- โครงหุ่นใช้อลูมิเนียมฉาก การยึดต่อใช้นอตขนาด 1 หุน ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง
- มอเตอร์ใช้ประเภท มอเตอร์อนุกรมกระแสตรง ที่มีการทดเฟืองในตัว เพราะมีทอร์คที่สูงและความเร็วค่อนข้างคงที่แม้ว่าโหลดมีการเปลี่ยนแปลง (มอเตอร์ที่ใช้ คือ มอเตอร์กระแสตรง 24 V 155 rpm 49.5 W)
- ล้อใช้มู่เล่ย์ร่อง B เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว เพราะขนาดร่องมู่เล่ย์มีขนาดที่เหมาะสมกับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ขนาด 3/8 นิ้ว
- แกนล้อใช้ เพลาเหล็กนำมากลึงให้มีขนาดแกนเหมาะสมกับรูของมู่เล่ย์ และรูตลับลูกปืน
- ตลับลูกปืน ใช้สำหรับรองแกนล้อ ทำให้การหมุนของล้อมีความฝืดน้อย
- ข้อต่อท่อตรงท่อประปา PVC ขนาด 1(1/2) นิ้ว ใช้มาทำเป็นเบ้าตลับลูกปืน เพื่อใช้ในการยึดติดกับโครงหุ่น
- ใช้เฟืองท้ายและโซ่ของจักรยาน เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อขับเคลื่อน
- กล่องอเนกประสงค์พลาสติกใช้สำหรับใส่วงจรไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้กับตัวหุ่น

- โซลินอยด์ชนิดไฟกระแสตรง ทำงานต่อเนื่อง ใช้สำหรับเปิด ปิด วาล์วแก๊สของไฟแช็ค
- ไฟแช็ค ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเปลวไฟ
- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบบแห้งขนาด 12 V 4 AH จำนวน 2 ก้อน ต่ออนุกรมกัน ใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าของหุ่น เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดแห้งมีขนาดที่เล็ก การบำรุงรักษาง่าย และทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 การทดลองหาระยะควบคุมของรีโมทคอนโทรล

- ติดตั้งหุ่นยนต์บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ สูงจากพื้น 1.50 เมตร
- ผู้บังคับถอยห่างจากหุ่นยนต์ ครั้งละ 5 เมตร แล้วบังคับหุ่นยนต์ให้ทำงานให้ครบทุกคำสั่ง
- บันทึกระยะไกลสุดที่หุ่นยนต์ทำงานตามคำสั่ง โดยไม่เกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน

4.12 การทดลองหาระยะเวลาการทำงาน

- ประจุไฟแบตเตอรี่จนเต็ม
- ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตลอดเวลาบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์
- บันทึกระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

4.1.3 การทดลองหาอัตราเร็ว

- ขึงสาย โอเวอร์เฮดกราวน์ ทำมุม 0 องศา กับพื้นดิน
- ติดตั้งหุ่นยนต์บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์
- ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 20 เมตร
- จับเวลาตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนสิ้นสุดการเคลื่อนที่ ขึ้น 1 ครั้ง และ ลง 1 ครั้ง
- คำนวณหาอัตราเร็วโดย อัตราเร็ว = ระยะทาง / เวลา
- ขึงสายโอเวอร์เฮดกราวน์ใหม่ให้ทำมุม 20 องศา แล้วทำการทดลองซ้ำ

4.1.4 การทดลองหาความยาก – ง่ายในการติดตั้ง

- ติดตั้งหุ่นยนต์บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ด้วยคน 1 คน
- ติดตั้งหุ่นยนต์บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ด้วยคน 2 คน
- บันทึกความยาก - ง่าย

4.2 ผลการทดลอง

ระยะควบคุม 50 m

ระยะเวลาการทำงาน 1.5 hr./ การ ประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง (battery 4 AH)

น้ำหนักทั้งหมด 18 kg

อัตราเร็วเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราเร็วเฉลี่ยในกรณีต่าง ๆ

การเคลื่อนที่ขึ้นภายใต้สภาวะสายต่างๆ	อัตราเร็วเฉลี่ย (m/s)
สายนิ่งและสายทำมุม 0 - 20 องศา	0.55
สายแกว่งและสายทำมุม 0 - 20 องศา	0.52
สายนิ่งและสายทำมุม 20 - 30 องศา	0.48
สายแกว่งและสายทำมุม 20 - 30 องศา	0.44

การเคลื่อนที่ลงภายใต้สภาวะสายต่างๆ	อัตราเร็วเฉลี่ย (m/s)
สายนิ่งและสายทำมุม 0 - 20 องศา	0.61
สายแกว่งและสายทำมุม 0 - 20 องศา	0.65
สายนิ่งและสายทำมุม 20 - 30 องศา	0.72 (ไกลลง)
สายแกว่งและสายทำมุม 20 - 30 องศา	0.77 (ไกลลง)

ความยาก – ง่ายของการติดตั้งหุ่นยนต์

ตารางที่ 4.2 แสดงความยาก – ง่ายในการติดตั้งหุ่นยนต์

จำนวนคนที่ใช้ในการติดตั้ง	ผลการปฏิบัติงานติดตั้ง
1 คน	ยาก
2 คน	ง่าย

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในกรณีต่างๆ จะเห็นว่าการเคลื่อนที่ขึ้นนั้นมีอัตราเร็วน้อยกว่าการเคลื่อนที่ลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ขึ้นมีแรงเสียดทานมากกว่าการเคลื่อนที่ลง ส่วนอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นที่มุมของสายโอเวอร์เฮดกราวน์มากขึ้นจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการเคลื่อนที่ลงที่มุมของสายโอเวอร์เฮดกราวน์มากขึ้นจะมีค่าอัตราเร็วมากขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าน้อยลง

จากการทดลองหาความยาก – ง่าย ในการติดตั้งนั้น จะเห็นว่าการใช้คน 2 คน ในการติดตั้งสามารถทำได้ง่ายกว่าใช้คน 1 คน เนื่องจากหุ่นยนต์มีขนาดน้ำหนักที่มาก

หุ่นยนต์ช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ ที่ได้คิดค้นและสร้างขึ้นนี้มีความสามารถในการเคลื่อนที่และสามารถจุดไฟเผาทำลายเชือกว่าวได้ โดยที่ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานของหุ่นยนต์นั้น จะอยู่ในช่วงการใช้งานกับสายโอเวอร์เฮดกราวน์ที่ทำมุมกับพื้นไม่เกิน 20 องศา โดยการเคลื่อนที่จะมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.5 เมตร/วินาที ซึ่งมีความเหมาะสมและเพียงพอสำหรับการปฏิบัติงานจริง สำหรับการควบคุมระยะไกลที่ดัดแปลงมาจากของเล่นรถบังคับวิทยุ ซึ่งมีรัศมีการควบคุมประมาณ 50 เมตร และการทำงานของหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่อง สามารถทำงานได้ประมาณ 50 เมตร และการทำงานของหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่องสามารถทำงานได้ประมาณ 1.5 ชั่วโมง ต่อการประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง(Battery 12 V 4AH ต่ออนุกรมกัน) ซึ่งเพียงพอในการนำหุ่นยนต์ไปใช้ในสภาพงานจริง

บทที่ 5
สรุปผลโครงงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้รับจากหุ่นยนต์ตัวนี้คือ หุ่นยนต์จะไปช่วยทำงานบนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้คนขึ้นไปไต่ตามสายโอเวอร์เฮดกราวน์ เนื่องจากในปัจจุบันจะต้องใช้คนขึ้นไต่บนสายโอเวอร์เฮดกราวน์ อาจเกิดอันตรายได้ แต่ถ้าใช้หุ่นยนต์ตัวนี้จะใช้คนเพียงคนเดียวเพื่อไปติดตั้งแล้วบังคับหุ่นยนต์ด้วยรีโมทคอนโทรลซึ่งมีความปลอดภัย และความสะดวกสบายมากขึ้น อีกทั้งหุ่นยนต์ตัวนี้ใช้พลังงานไม่มาก ในภาคขับเคลื่อนและรีโมทคอนโทรลใช้แบตเตอรี่ 12 V จำนวน 2 ก้อน เท่านั้น ส่วนตัว (ตัวรีโมท) จะใช้แบตเตอรี่แห้งก้อนแบน 9 V ส่วนในภาคทำลายจะใช้ไฟแช็คเพียงอันเดียวเท่านั้น

โครงงานนี้ไม่สามารถทำในส่วนของภาคดึงตัวไบรเวชั่นแคมเปอร์ได้ เนื่องจากระยะเวลาในการทำโครงงานมีไม่เพียงพอที่จะทำการคิดค้นและพัฒนาในส่วนนี้ได้

5.2 แนวทางการพัฒนา

5.2.1 ส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์

- ควรทำให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักเบาขึ้น โดยใช้วัสดุ จำพวกอลูมิเนียมทั้งหมด
- การส่งกำลังควรเปลี่ยนเป็นระบบเฟือง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ดีขึ้น
- การติดตั้งตลับลูกปืนควรต้องทำให้มั่นคงแข็งแรง และตลับลูกปืน ควรเลือกชนิดที่มีความฝืดน้อย ๆ

5.2.2 ส่วนภาคกำเนิดเปลวไฟ

- ควรออกแบบวงจรให้มีความประหยัดพลังงาน
- ควรติดตั้งและออกแบบชุดบังลมให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้นเพื่อให้การจุดเปลวไฟ มีความแน่นอนสูงขึ้น
- ควรออกแบบระบบป้องกันอินดิวซ์โวลต์เตจ ที่จะเกิดขึ้น

5.2.3 ส่วนภาคดึงตัวไบรเวชั่นแดมเปอร์

- ควรออกแบบให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการดึงหรือลากตัวไบรเวชั่นแดมเปอร์ได้

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน

1. ไม่สามารถคิดค้นและสร้างภาคดึงไวเบรชั่นแดมเปอร์ได้ เนื่องจากเวลาที่ใช้ทำโครงงานน้อยเกินไป
2. ภาครีโมทคอนโทรลถูกรบกวนได้ง่าย จากผู้เล่นเครื่องเล่นจำพวกรถบังคับในบริเวณใกล้เคียง
3. การจุดเปลวไฟมีความไม่แน่นอนสูง ถ้าตัวหุ่นยนต์ได้รับความกระทบกระเทือนเนื่องจาก หัวโพรบ เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บรรณานุกรม

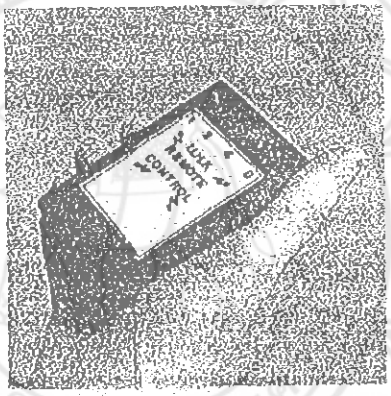
1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ; สายส่ง
2. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ; รวบรวมบทความ ทฤษฎี และการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. ชาญ ถนัดงาน , วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ ; การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1
4. วิริยะ พิเชฐจำเริญ; เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1
5. บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ ; อนุกรมเครื่องต้นกำลัง 4 มอเตอร์ไฟฟ้า ; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การสร้างเครื่องรีโมตคอนโทรล UHF 16 ช่องควบคุม

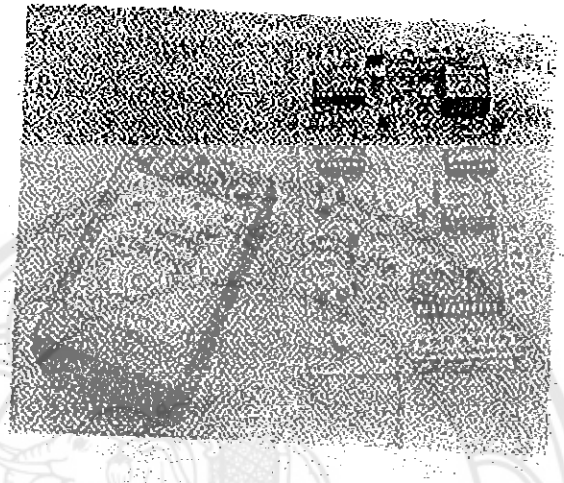
เป็นเครื่องบังคับควบคุมจากระยะไกลหรือเครื่องรีโมทคอนโทรล (Remote Control) ที่มีช่องบังคับควบคุมจำนวน 16 ช่อง (16 channel) สามารถสร้างเองได้ไม่ยาก ด้วยงบประมาณไม่สูงมากนัก คุณภาพของเครื่องรีโมทคอนโทรล นี่ทัดเทียมกับเครื่องประเภทเดียว กันที่ผลิตมาเพื่อวางจำหน่าย สามารถนำไปใช้บังคับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายประเภท รัศมีการทำงานเกินกว่า 200 เมตร และมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง



เครื่องรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่องในที่นี้ ประกอบด้วย ภาคส่ง (Transmitter) , ภาครับ (receiver) ภาคขับดีเลย์(Delay driver) ภาคประสานการบังคับควบคุมเท่ากับเครื่องไฟฟ้าที่ใช้ไฟ AC 240 V (mains interface unit to control 240 VAC power appliances) ซึ่งภาคนี้มีไว้เป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการนำไปใช้ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟบ้านโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านสวิตช์ รีเลย์ ที่อยู่ภายในวงจรภาคขับรีเลย์

การบังคับของเครื่องรีโมทคอนโทรลนี้เป็นในลักษณะของการเปิดและปิดสวิตช์ ภาคส่งของชุดรีโมทคอนโทรลสามารถส่งสัญญาณออกไปควบคุม ภาครับชุดใด ชุดหนึ่งหรือหลายชุดพร้อมกันได้

ถ้าต้องการใช้งานให้ครบทั้ง 16 ช่อง ควบคุมจะต้องหาวงจรภาคขับรีเลย์จำนวน 16 ชุดมาต่อเข้ากับภาครับ แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้ไม่ครบทั้ง 16 ช่องเพื่อลดความยุ่งยาก และเป็นการประหยัด จึงได้มีการออก



แบบโดยรวมชุดวงจรขับรีเลย์จำนวน 4 ชุด ประกอบรวมในแผงเดียวกัน

สำหรับผู้ที่ต้องการนำเครื่องรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่องนี้ไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟ AC 240V โดยตรง สามารถเลือกใช้วงจรประสานการบังคับควบคุมเท่ากับเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า 240V หรือเรียกว่า วงจร อินเตอร์เฟส(Interface) เข้ากับอุปกรณ์ไฟบ้าน

การออกแบบเครื่องรีโมทคอนโทรล โดยการจัดวงจรแต่ละภาคสร้างลงบนแผ่นปริ้นท์ แยกเป็นส่วนๆ เช่นนี้จะทำให้ประหยัดงบประมาณในการสร้างได้ และเป็นการเปิดกว้างสำหรับการติดตั้งใช้งานเพราะสามารถดัดแปลงไปใช้งานในแบบต่างๆ ได้โดยง่าย ดังตัวอย่างเช่น ใช้ภาคส่ง 1 ชุดเป็นตั้วสั่งการบังคับควบคุมภาครับ 2 ชุดโดย ภาครับชุด 1 ไว้ในรถยนต์และใช้งานภาครับชุดนี้เพียง 2 ช่องควบคุม สมมุติให้ ช่องควบคุม1 ทำหน้าที่เป็นช่องสั่งจ่ายให้ระบบเตือนภัยกันขโมยทำงานส่นช่องควบคุมอีกช่องใช้สำหรับสั่งการให้ระบบ เซ็นทรัลล็อคของรถยนต์ทำงาน

สำหรับภาครับอีกชุดหนึ่งนำไปติดตั้งภายในบ้าน ภาครับชุดนี้อาจจะถูกใช้งานด้วยกันหลายช่อง(มีช่องควบคุมเหลือให้ใช้งานได้ไม่เกิน 14 ช่อง ทั้งนี้เป็นเพราะภาครับที่ติดตั้งในรถยนต์ได้ใช้ช่องควบคุมไปแล้ว 2ช่อง การใช้ช่องควบคุมของภาครับทั้งสองชุดนี้รวมกันแล้วไม่เกิน 16 ช่อง เนื่องจากใช้ภาคส่งเพียงชุดเดียวเป็นตัวสั่งการควบคุม) ตัวอย่างการใช้งานของภาครับชุดที่ติดตั้งภายในบ้านเช่น ใช้

เปิด-ปิดดวงไฟส่องสว่าง, ใช้เปิด-ปิด ประตูรั้ว หรืออาจจะใช้รีโมทคอนโทรลข้างเตียงเพื่อใช้เปิด-ปิดดวงไฟและเครื่องรับโทรทัศน์ภายในห้องนอนหรือสั่งการให้ระบบเตือนภัยเพื่อกันการขโมยเข้าบ้านทำงานก่อนที่จะเข้านอน ถ้ายังมีช่องควบคุมเหลืออยู่อีกหลายช่อง บางทีอาจจะนำไปสั่งการให้ระบบเตือนไฟกันขโมยทำงานแยกเป็นเฉพาะส่วนของบริเวณบ้านก็ย่องทำได้เช่นกัน

จะเห็นได้ว่าความหลากหลายในการใช้งานที่กว้างขวางดังตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นจุดเด่นของเครื่องรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่องนี้ ซึ่งยากจะหาได้จากเครื่องรีโมทคอนโทรลประเภทเดียวกันที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนเรื่องความปลอดภัยในการใช้งานของระบบรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่องนี้ก็มีการป้องกันที่ซับซ้อนถึง 2 ชั้นที่มีการเข้ารหัสสัญญาณควบคุม ซึ่งผู้ใช้สามารถตั้งรหัสได้มากเกือบ 5 ล้านรหัส (4, 782, 969 รหัส)

ในเครื่องรีโมทคอนโทรลทั่วๆไปนั้นมีโอกาสเป็นไปได้ที่ผู้ร้ายในยุคไฮเทค อาจจะใช้เครื่องกวาดรหัส(Scanner) เป็นตัวส่งสัญญาณรหัสเข้ามาเปิดรหัสที่ตั้งไว้ได้ซึ่งคงต้องใช้เวลากันเป็นชั่วโมง แต่ในระบบเครื่องรีโมทคอนโทรลนี้มีวงจรส่งเสียงเตือนให้ผู้ใช้ทราบในกรณีที่รหัสชั้นแรกถูกเหิดออกโดยที่รหัสในชั้นที่ 2 ไม่สามารเปิดออกได้ภายในเวลา 2 วินาทีตามที่กำหนดไว้

เครื่องส่งรีโมทคอนโทรล 16 ช่องควบคุมนี้ใช้แรงไฟจากแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นถ่านแบตเตอรี่ 12V ขนาดเล็ก โดยปกติแล้ววงจรเครื่องส่งรีโมทคอนโทรลจะดึงกระแสจากถ่านแบตเตอรี่ 12v ในปริมาณที่น้อยมากเนื่องจากภาคส่งมีกำลังส่งต่ำและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานในวงจรเครื่องรีโมทคอนโทรลส่วนใหญ่จะใช้กระแสไม่มากนัก

ในส่วนของเครื่องรับรีโมทคอนโทรลนั้นตามปกติเครื่องรับจะทำงานอยู่ในช่วงเตรียมพร้อม (Standby) เพื่อรอรับสัญญาณเป็นส่วนใหญ่ ในช่วงรอรับสัญญาณนี้ เครื่องรับจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายในปริมาณที่น้อยมากเช่นกัน เครื่องรับรีโมทคอนโทรลจะดึงกระแสจากแห่งจ่ายมากขึ้นในช่วงที่ได้รับสัญญาณเข้ามาควบคุมให้วงจรภาคขับรีเลย์ทำงาน รีเลย์แต่ละตัวจะใช้กระแสในขณะกำลังทำงานประมาณ 30 mA ในสภาวะปกติขณะที่รีเลย์ยังไม่ทำงาน รีเลย์แต่ละตัวจะไม่ใช้กระแสเลย ชุดเครื่องรับรีโมทคอนโทรล ซึ่งประกอบด้วยภาครับสัญญาณ 1 ชุด และภาคขับรีเลย์จำนวน 4 ชุด (ในที่นี้ได้สร้างประกอบบวงจรขับรีเลย์รวมลงในแผ่นปริ้นท์แผงเดียวกัน) และจะสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายอแด็ปเตอร์ AC-DC 12V ขนาดเล็กซึ่งมีขายโดยทั่วไป

ผู้ใช้รีโมทคอนโทรลนี้สามารถเลือกให้เครื่องรับรีโมทคอนโทรลทำงานควบคุมรีเลย์ได้ 2 แบบ คือการทำงานในโหมดที่อกเกิล(Toggle) และการทำงานในโหมดพัลซ์ (Pulse)

การทำงานในโหมดท็อกเกิลคือ : เมื่อทางเครื่องส่งมีการกดปุ่มสัญญาณพัลซ์ควบคุมเข้ามากระตุ้นเครื่องรับในครั้งแรก รีเลย์ที่ถูกควบคุมจะทำงาน(On) และค้างอยู่ ต่อมาเมื่อทางเครื่องส่งมีการกดปุ่มส่งสัญญาณควบคุมเข้ามากระตุ้นซ้ำ(ในช่องควบคุมเดิม) อีกในครั้งต่อไป รีเลย์ที่ถูกควบคุมให้ทำงานค้างไว้จึงจะหยุดทำงาน(Off)

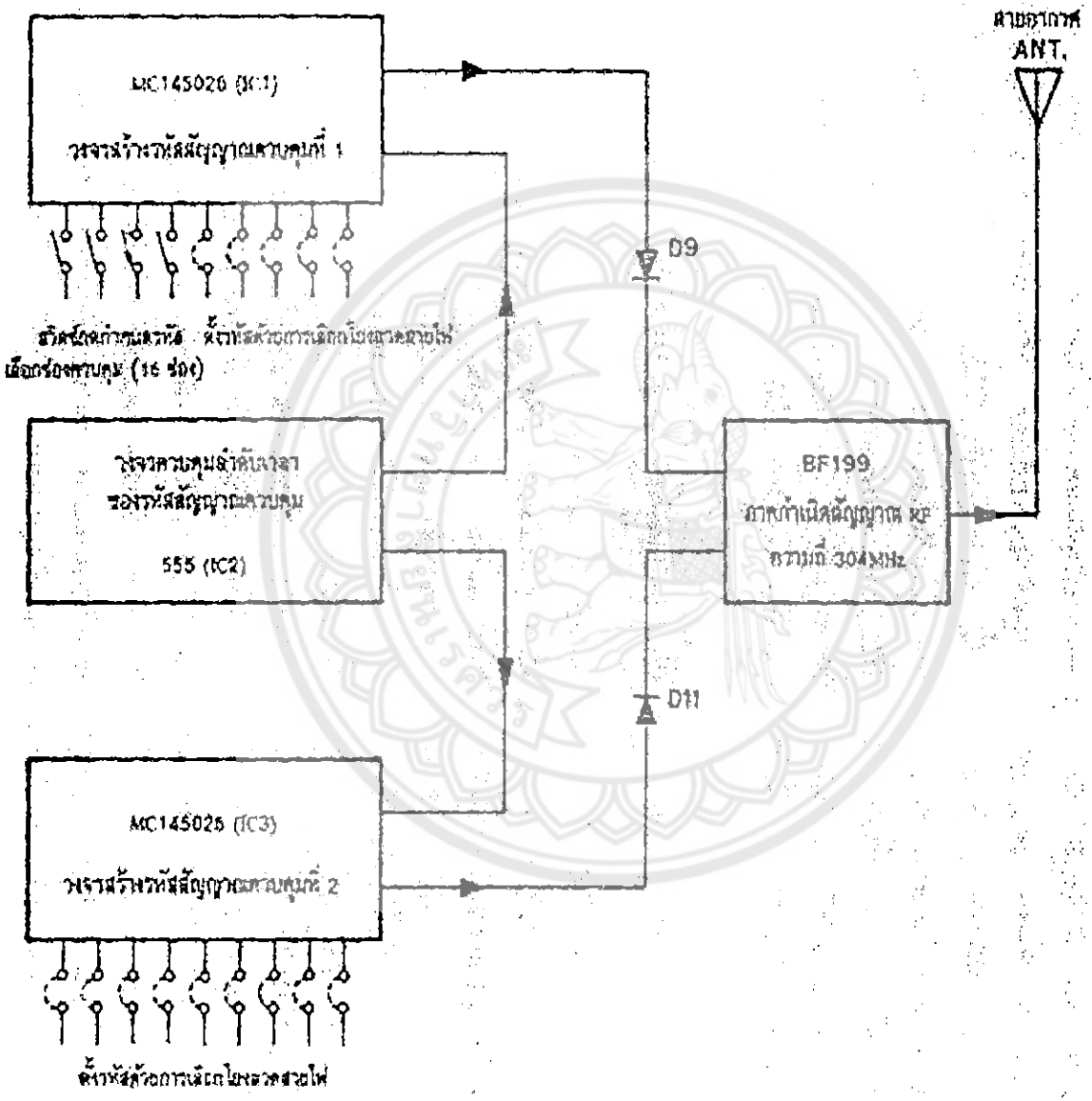
การทำงานในโหมดพัลซ์คือ : ทุกครั้งที่เครื่องส่งมีการกดปุ่มส่งสัญญาณพัลซ์ ควบคุมเข้ามากระตุ้นเครื่องรับรีเลย์ในช่องที่ถูกควบคุมในการทำงาน(On) ตามคาบเวลาของลูกคลื่นพัลซ์ที่ส่งเข้ามากระตุ้นเมื่อสิ้นสุดลูกเครื่องควบคุมพัลซ์แต่ละครั้งรีเลย์จะกลับไปอยู่ในสถาณะหยุดทำงาน(Off)

นอกจากนี้ในวงจรภาคขับรีเลย์ยังออกแบบมาให้มีการแสดงสถาณะการทำงานหรือหยุดทำงานของรีเลย์ได้ด้วยสัญญาณเสียงจาก บัสเซอร์ (Buzzer) ผู้ใช้สามารถเลือกให้มีการแสดงงสถาณะการทำงานของรีเลย์ได้ด้วยการต่อ บัสเซอร์เข้าตรงจุดต่อบัสเซอร์ในวงจรภาคขับรีเลย์ ในการใช้งาน ถ้าบัสเซอร์ส่งเสียงดัง ปี๊บ ช่วงสั้นแสดงว่ารีเลย์ถูกสั่งให้ทำงาน และถ้าบัสเซอร์ส่งเสียง ปี๊บ ช่วงยาวแสดงว่ารีเลย์ถูกสั่งให้หยุดทำงาน ในการใช้งานโดยปกติทั่วไปเครื่องรีโมทคอนโทรลนี้สามารถสั่งงานบังคับควบคุมได้ไกลเกินกว่า 200 เมตร แต่อย่างไรก็ตามรัศมีการทำงานของเครื่องรีโมทคอนโทรลอาจเปลี่ยนแปลงไปจากนี้ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการใช้งานในแต่ละแห่งด้วย

ถ้าไม่ต้องการใช้ระบบป้องกันความปลอดภัยในระบบชั้นที่ 2 ของเครื่องรีโมทคอนโทรลนี้สามารถนำเครื่องส่งรีโมทคอนโทรลดังกล่าวมาใช้ร่วมกับเครื่องรีโมทคอนโทรล 16 ช่องนี้ได้โดยใช้เป็นช่องควบคุมที่ 17

หลักการทำงานโดยสังเขบ ของเครื่องรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่อง

เครื่องส่งรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่องอมีวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุม 2 ชุดคือ วงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมที่1 และวงจรสร้างรหัสควบคุมสัญญาณชุดที่2 ส่วนวงจรควบคุมระดับเวลาในการสร้างรหัสสัญญาณควบคุมซึ่งทำงานโดย IC2 (555) จำทำหน้าที่ควบคุมให้ วงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมทั้ง 2 ชุดนี้ ผลัดกันส่งข้อมูล รหัสสัญญาณควบคุมออกทาง out put ด้วยลำดับเวลาที่สลับกันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา รหัสสัญญาณควบคุมทั้ง 2 ชุดจะถูกรวมและส่งเข้าไป มีอดดูเรท (Modulate) กับสัญญาณ RF ความถี่ประมาณ 304 MHz ที่ภาคกำเนิดสัญญาณ RF ก่อนส่งกระจายคลื่นออกไปยังเครื่องรับ



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของเครื่องส่งรีโมตคอนโทรล 16 ช่อง

การตั้งรหัสให้กับวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมสามารถทำได้ด้วยการเลือกจากสถานะ โลจิก "0" (ต่อลงกราวด์), สถานะโลจิก "1" (ต่อเข้าไฟบวก), หรือสถานะ"เปิดวงจร" (ปล่อยวางไว้) ให้กับขา แอดเดรส แต่ละขาของวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมแต่ละชุด อย่างไรก็ตามในวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมที่ 1 มีวิธีการกำหนดสถานะโลจิกที่ขาแอดเดรสแยกเป็น 2 แบบคือ ให้ผู้ใช้โยงต่อสายเพื่อจัดสถานะโลจิกให้กับขาแอดเดรส 5 บิต แรกและมีการต่อสวิตซ์ที่ขาแอดเกรส 4 บิตสุดท้ายเพื่อต้องการใช้ตำแหน่งการสับสวิตช์เป็นตัวกำหนดสถานะโลจิกที่ขาแอดเดรสเหล่านั้นนอกจากนั้นยังได้ออกแบบวงจรเพิ่มเติมเพื่อให้ตำแหน่งการสับสวิตช์สามารถกำหนดสถานะโลจิกได้เพียง 2 สถานะ คือ สถานะโลจิก "0" สถานะโลจิก "1" เท่านั้น(สถานะ"เปิดวงจร" ถูกตัดออกไป) การสับสวิตช์กำหนดรหัสที่ 4 บิตสุดท้ายของวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมที่ 1 จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดช่องบังคับที่ต้องการใช้งาน ซึ่งในระบบเครื่องรีโมทคอนโทรล UHF นี้มีช่องบังคับควบคุมให้ใช้งานได้ถึง 16 ช่อง

การทำงานของวงจรเครื่องส่งรีโมทคอนโทล UHF 16 ช่อง

อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ในการเข้ารหัสสัญญาณควบคุมของวงจรเครื่องส่งรีโมทคอนโทลเป็นไอซีเบอร์ MC 145026 (IC1 และ IC2) การตั้งรหัสให้แก่ไอซี MC 145026 ทำได้ด้วยการจัดสถานะที่ขาแอดเดรส A1-A9 การจัดสถานะที่ขา แอดเดรสแต่ละขา มี 3 แบบ คือ สถานะ 1 (ต่อเข้ากับไฟบวก), สถานะ 0 (ต่อเข้ากับกราวด์) และสถานะเปิดวงจร (เว้นว่างไว้) ความหลากหลายของการตั้งรหัสที่ไอซีแต่ละตัวคำนวณได้จากจำนวนสถานะ (3) ยกกำลังด้วยจำนวนขาแอดเดรส (9) หรือเท่ากับ (3^9 เท่ากับ 19,683)

ไอซี MC 145026 มีขาแอดเดรส (A1-A9) ทั้งหมด 9 ขา ได้แก่ ขา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และมีขาสัญญาณออกอีกหนึ่งขา (ขา 15) ไอซีเบอร์นี้ทำงานด้วยกการส่งข้อมูลแบบขนานที่ถูกกำหนดด้วยการตั้งรหัสทางขาแอดเดรสให้ปรากฏเรียงลำดับออกเป็น ข้อมูลอนุกรมทางขาสัญญาณออกที่ขา PE (ขา 14) เป็นขาควบคุมการทำงานของไอซี เมื่อใดที่ขา TE ถูกทำให้อยู่ในสถานะโลจิก "0" ไอซี MC 145026 จะส่งข้อมูลออกทางขา output (ขา 15) และถ้าขา TE ถูกทำให้อยู่ในสถานะโลจิก "1" ไอซีนี้จะหยุดส่งข้อมูลออก

เมื่อดูจากวงจรเครื่องส่งรีโมตคอนโทรล UHF 16 ช่อง จะเห็นว่า ที่ขาแอดเดรส A1-A5 ของไอซี IC1 (มีเครื่องหมายดอกจันกำกับอยู่) ถูกจัดให้ผู้ใช้เลือกตั้งรหัสด้วยการโยงต่อสายจากขาแอดเดรสต่อลงกราวด์, ต่อเข้าไฟบวกหรือปล่อยวางไว้อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ในส่วนขาแอดเดรส A6-A9 จะมีการกำหนดรหัสด้วยการให้ผู้ใช้เลือกกดสวิตซ์ PB1-PB4 ที่ขาแอดเดรสแต่ละขา จะสามารถกำหนดสถานะได้ 3 แบบ (สถานะ 0, สถานะ1 และสถานะเปิดวงจร) แต่จากการต่อวงจรที่ขาแอดเดรสร่วมกันระหว่าง

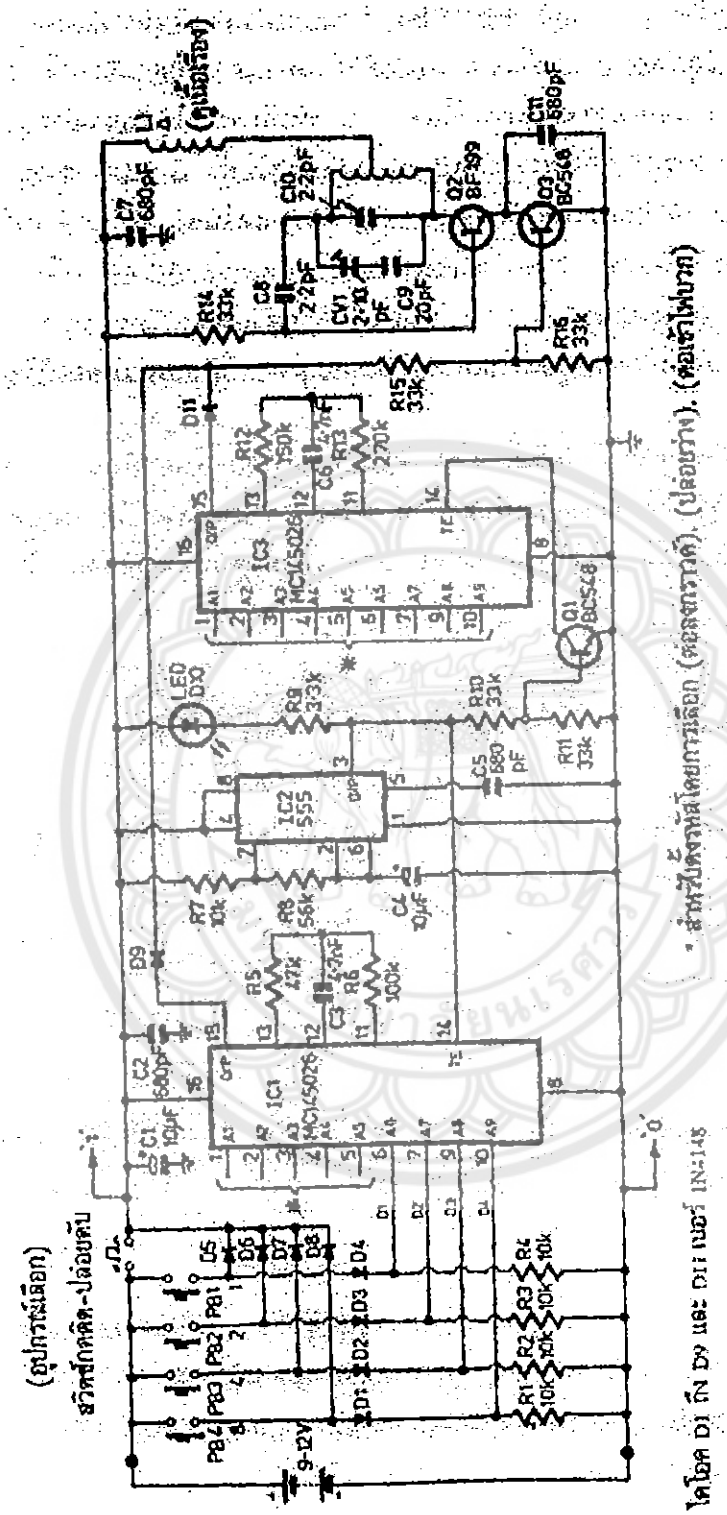
ไดโอด D1-D4 และตัวต้านทาน R1-R4 จะมีผลทำให้การเกิดสถานะเปิดวงจรที่ขาแอดเดรสเหล่านี้ถูกตัดออกไป กล่าวคือ ในขณะที่ยังไม่มีการกดสวิตช์ PB1-PB4 ขาแอดเดรสจะมีสถานะโลจิก "0" ทั้งนี้เนื่องจากขาแอดเดรสจะถูกต่อลงกราวด์โดยผ่านทางตัวต้านทานค่า 10K (R1-R4) ถ้ามีการกดปุ่มสวิตช์ PB1-PB4 ขาแอดเดรสจะมีสถานะโลจิก "1" ทันทีเพราะได้รับแรงไฟบวก โดยผ่านทางตัวไดโอด D1-D4 ตามปกติ ถ้ามีการกำหนดสถานะโลจิก ได้ทั้ง 3 แบบ ชุดขาแอดเดรส A6-A9 จะให้ความหลากหลายของรหัสได้ถึง 81 รหัส ($3^4 = 81$) แต่ในสภาพที่ถูกจำกัดให้กำหนดรหัส ที่ขาแอดเดรสแต่ละขาได้เพียง 2 สถานะเช่นนี้ ชุดขาแอดเดรส A6-A9 จะให้ความหลากหลายของรหัสได้เพียง 16 รหัสเท่านั้น การกำหนดรหัสด้วยตำแหน่งสวิตช์ PB1-PB4 จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดช่องบังคับควบคุม ซึ่งในรีโมตคอนโทรลนี้มีช่องควบคุมให้ใช้งานได้ 16 ช่อง

การกดสวิตช์ PB1-PB4 ในเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลเพื่อกำหนดรหัสช่องบังคับควบคุมใช้หลักการของรหัสเลขฐาน 2 (Binary) เมื่อนำค่าน้ำหนักประจำบิตที่ตรงสวิตช์กดติด-ปล่อยดับ และแต่ละตำแหน่งมาบวกกัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าลำดับของช่องบังคับควบคุมที่ต้องการใช้งาน

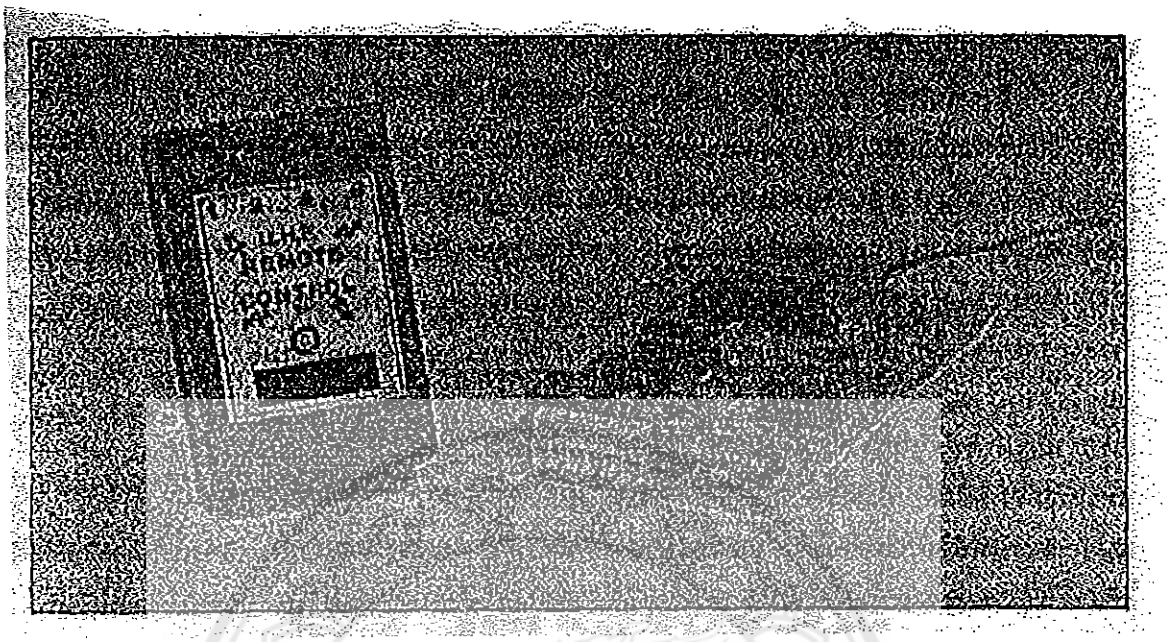
ตัวอย่างการกดสวิตช์ PB1-PB4 เพื่อกำหนดช่องบังคับควบคุม					
บิตที่	1	2	3	4	
ตำแหน่งสวิตช์ดกติด-ปล่อยดับ	PB1	PB2	PB3	PB4	
ค่าน้ำหนักประจำบิต	1	2	4	8	
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 1	1	0	0	0	= 1+0+0+0 = 1
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 2	0	1	0	0	= 0+2+0+0 = 2
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 3	1	1	0	0	= 1+2+0+0 = 3
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 4	0	0	1	0	= 0+0+4+0 = 4
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 5	1	0	1	0	= 1+0+4+0 = 5
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 6	0	1	1	0	= 0+2+4+0 = 6
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 7	1	1	1	0	= 1+2+4+0 = 7
ตัวอย่างเมื่อกดสวิตช์เลือกช่องบังคับที่ 8	0	0	0	1	= 0+0+0+8 = 8

*หมายเหตุ : กดสวิตช์, 0 = ไม่กดสวิตช์

ตัวต้านทานที่ขา 11, ขา 13 และตัวเก็บประจุที่ขา 12 ของไอซี MC145026 เป็นอุปกรณ์กำหนดอัตราคาบเวลาของรหัสที่ไอซี MC 145026 สร้างขึ้น ซึ่งวงจรในส่วนของไอซีถอดรหัสทางด้านเครื่องรับรีโมตคอนโทรลจะต้องมีการเลือกค่าอุปกรณ์กำหนดอัตราคาบเวลาของรหัสให้สัมพันธ์กับทางเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลด้วย



รูปที่ 2 วงจรภาคส่งรีโมตคอนโทรล 16 ช่อง



ไอซี 2 (เบอร์ 555) และอุปกรณ์ร่วมทำงานเป็นวงจรอะเตเบิลมัลติไวร์เบรเตอร์ (astble multivibrator) ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลซ์รูปสี่เหลี่ยมซึ่งมีความถี่ 1.7 Hz โดยมีคาบเวลาของสัญญาณพัลซ์ในช่วงสถานะโลจิก "0" ประมาณ 300 mS สลับกันไปโดยตลอด สัญญาณพัลซ์นี้จะปรากฏออกทางขา 3 ซึ่งเป็นขาสัญญาณออกของ IC3 และมีไดโอดเปล่งแสง LED1 ทำหน้าที่เป็นตัวแสดงการสลับสถานะกันระหว่างโลจิก "0" และโลจิก "1"

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมการทำงานของไอซี MC 145026 สามารถทำได้ด้วยการกำหนดสถานะโลจิกที่ขา TE (ขา 14) ของไอซี ถ้าสัญญาณพัลซ์ที่ป้อนเข้าทางขา TE มีสถานะโลจิก "1" จะมีผลทำให้ไอซีหยุดส่งข้อมูลออกและถ้าสัญญาณพัลซ์ที่ป้อนเข้าทางขา TE อยู่ในช่วงสถานะโลจิก "0" จะมีผลทำให้ไอซีส่งข้อมูลออกทาง output

จะเห็นว่าสัญญาณพัลซ์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากขา 3 ของ IC2 ถูกส่งไปที่ขา TE (ขา 14) ของ IC1 โดยตรง ในอีกทางหนึ่งทรานซิสเตอร์ Q1 (BC548) จะทำหน้าที่กลับขั้วสัญญาณพัลซ์ที่มาจากขา 3 ของ IC2 ให้เป็นตรงกันข้ามแล้วส่งออกทางขาคอลเลคเตอร์ของ Q1 เข้าไปที่ขา TE (ขา 14) ของ IC3 การป้อนสัญญาณพัลซ์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจาก IC2 เข้าไปควบคุมที่ขา TE ของ IC1 และ IC3 ตามที่กล่าวมานี้จะมีผลทำให้ IC1 และ IC3 ผลัดกันส่งข้อมูลออกสลับกันตามลำดับเวลา 300mS ซึ่งเป็นช่วงสถานะโลจิก "1" และ "0" ของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ส่งมาจาก IC2

ชุดรหัสสัญญาณควบคุมจาก IC1 และ IC3 จะถูกส่งผ่านไดโอด D9 และ D11 แล้วรวมเข้าเป็นขบวนสัญญาณอนุกรมไปเข้าที่ขาเบสของมรานซิสเตอร์ Q3 โดยผ่านเข้าทางตัวต้านทาน R15 ในขณะเดียวกันไดโอด D9 และ D11 ยังทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้รหัสสัญญาณควบคุมจากไดซี MC 145026 แต่ละตัวเข้าไปยังวงจรสร้างรหัสสัญญาณควบคุมอีกชุดด้วย

ทรานซิสเตอร์ Q3 ทำงานเป็นวงจรสวิตช์ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์คอยตัดต่อขา E ของทรานซิสเตอร์ Q2 ให้ต่อลงกราวด์ตามลักษณะรหัสสัญญาณควบคุมที่มาจาก IC2 และ IC3

ทรานซิสเตอร์ Q2 และอุปกรณ์ร่วมทำงานเป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบฮาร์ทเล่ย์ (Hartley Oscillator) ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณ RF ความถี่ประมาณ 304 MHz ตัวเก็บประจุ C8 ในวงจรนี้ทำงานเป็นตัวป้อนสัญญาณจากขาคอลเลคเตอร์ให้ย้อนกลับไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์เกิดการออสซิลเลตความถี่ ค่าความถี่ RF ของวงจรนี้กำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ในวงจรจูนซึ่งประกอบด้วยทริมเมอร์ CV1, ตัวเก็บประจุ C9, C10 และค่าอินดัคแทนซ์ของขดคอยล์ (ในทางปฏิบัติได้ทำเป็นลายเส้นทองแดงในแผ่นปริ้นท์แทนขดคอยล์ตัวนี้) การปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของวงจรนี้ทำได้ด้วยการปรับแต่งค่าของทริมเมอร์ CV1 ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ในวงจรจูน ตัว RFC (L1) ทำหน้าที่เป็นทางผ่านให้แรงไฟจ่ายผ่านเข้าไปที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q2 และในขณะเดียวกันยังทำหน้าที่เป็นตัวกันสัญญาณ RF จากขาคอลเลคเตอร์ไม่ให้เข้าไปยังแหล่งจ่ายไฟอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามวงจรกำเนิดความถี่ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นอุปกรณ์หลักนี้จะทำงานตามหน้าที่ได้ก็ต่อเมื่อขา E ของ Q2 ถูกต่อลงกราวด์โดยผ่านทางขา C-E ของทรานซิสเตอร์ Q3 ในช่วง Q3 ทำงานนำกระแส (ON) ขา C-E ของ Q3 เปรียบเสมือนสวิตช์ที่ต่อขา E ของ Q2 ลงกราวด์ สัญญาณ RF ที่ความถี่ประมาณ 304 MHz จะเกิดขึ้นเป็นช่วงๆ ตามลักษณะลำดับของรหัสสัญญาณควบคุมและสัญญาณ RF จะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปยังเครื่องรับ

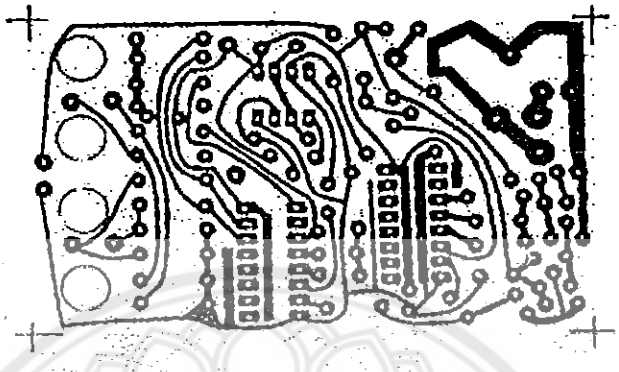
การสร้างภาคส่ง

ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นปริ้นตามรูปแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ส่วนแนวทางการติดตั้งอุปกรณ์ลงกล่องดูจากตัวอย่างในรูปที่ 5

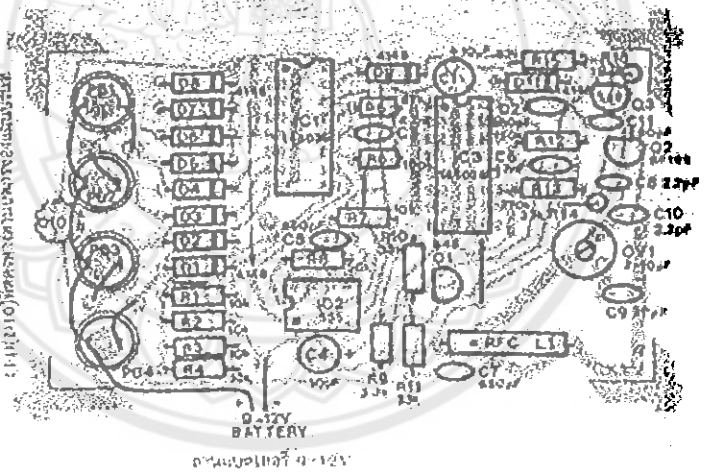
คอยล์ L1 เป็นคอยล์ RFC ค่าประมาณ 15 μH สามารถทำเองได้โดยใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 30 SWG พันจำนวน 10 รอบ ลงบนแกนเฟอร์ไรท์ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. และมีความยาวประมาณ 2 ซม.

ถ้าใช้สวิตซ์แบบกดติด-ปล่อยดับเป็นสวิตซ์ PB1-PB4 ให้ตัดสวิตซ์ PB5 ออกแล้วใช้วิธีต่อสายตรงแทน เครื่องส่งรีโมตคอนโทรลจะทำงานส่งสัญญาณพัลซ์ควบคุมตามรหัสกำหนดช่องควบคุมที่กำหนดขึ้นจากตำแหน่งการกดสวิตซ์ PB1- PB4 แต่อย่างไรก็ตามการใช้สวิตซ์แบบกดติด-ปล่อยดับอาจมีปัญหาเนื่องจากการแตะกันของหน้าสัมผัสสวิตซ์อาจจะไม่แน่นอนทำให้กดลงรหัสผิดช่องควบคุมได้ ง่ายปัญหานี้แก้ไขได้โดยใช้สวิตซ์โยกหรือสวิตซ์เลื่อนแทนสวิตซ์กดติด-ปล่อยดับที่ PB1- PB4 แล้วใช้สวิตซ์เบบกดติด-ปล่อยดับอีกตัวเป็นสวิตซ์ PB5 ในการใช้งานให้ตั้งรหัสที่สวิตซ์เลื่อน PB1- PB4 แล้วกดส่งสัญญาณพัลซ์ที่สวิตซ์กดติด-ปล่อยดับ PB5 แหล่งจ่ายไฟของเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลนี้เป็นถ่านแบตเตอรี่ 12 V ขนาดเล็กหรืออาจจะใช้ถ่าน 9 V แบบก้อนสี่เหลี่ยม (006p) ขนาดเล็กใช้แทนได้เช่นกัน

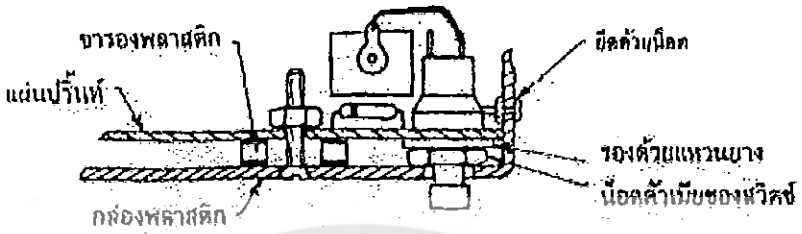
มหาวิทยาลัยนเรศวร



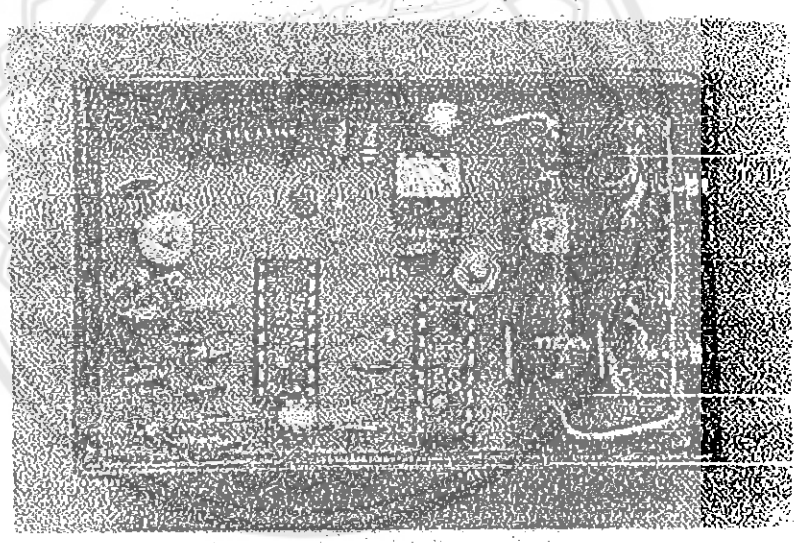
รูปที่ 3 ลายปริ้นท์ภาคส่งรีโมตคอนโทรล 16 ช่อง ขนาดเท่าของจริง



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์บนปริ้นท์ภาคส่งรีโมตคอนโทรล 16 ช่อง



รูปที่ 5 แสดงแนวทางการติดตั้งอุปกรณ์ลงกล่อง



รูปที่ 6 ภาพถ่ายแสดงแผงปรินท์ภาคส่งรีโมตคอนโทรลที่ประกอบลงกล่อง สังเกตุถ่านแบตเตอรี่ 12V ในกะบะถ่านวางอยู่ด้านบนอุปกรณ์

การปรับแต่งภาคส่ง

เนื่องจากวงจรเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลนี้ได้ผ่านการทดลองสร้างและทดสอบจนเป็นที่แน่ใจแล้วว่าสามารถทำงานได้จริง ถ้าการติดตั้งอุปกรณ์ถูกต้องและค่าอุปกรณ์เป็นไปตามที่ระบุไว้ในวงจร ภาคส่งรีโมตคอนโทรลนี้จะสามารถทำงานได้

เมื่อต่อไฟจ่ายเข้าวงจรแล้วให้ใช้สายไฟต่อตรงเข้าระหว่างขาดาโถดของ D8 และขั้วบวกของถ่านแบตเตอรี่เพื่อทำให้ภาคส่งทำงานส่งสัญญาณ RF ออกอากาศอย่างต่อเนื่อง ค่าความถี่ของภาคส่งนี้ประมาณ 304 MHz สำหรับผู้ที่มีเครื่องวัดความถี่ให้ลองนำมาวัดทดสอบค่าความถี่ของภาคส่งนี้โดยลองปรับจูนค่าความถี่ที่ทริมเมอร์ CV1

ถ้าไม่มีเครื่องวัดความถี่สามารถใช้เครื่องวัดความเข้มสนามคลื่นวิทยุ (field strength mater) เป็นเครื่องทดสอบ โดยการนำภาคส่งรีโมตคอนโทรลด้านสายทองแดงของส่วนที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์มาจ่อใกล้ๆ สายออกอากาศของเครื่องวัดความเข้มสนามคลื่นวิทยุ **ถ้าภาคส่งรีโมตคอนโทรลนี้สามารถทำงานส่งสามารถทำงานส่งสัญญาณ RF ออกอากาศได้เข็มมิเตอร์ของเครื่องวัดความเข้มสนามคลื่นวิทยุจะกระดิกดีขึ้น** ถ้าไม่มีเครื่องวัดความเข้มสนามคลื่นวิทยุก็ยังพอจะทดสอบการทำงานของเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลได้โดยนำเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลด้านที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ไปจ่อใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องรับวิทยุ AM จะได้ยินเสียงสัญญาณเคลื่อนวิทยุของเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลสอดแทรกเข้าไปในเครื่องรับวิทยุ AM อย่างชัดเจน โดยเฉพาะถ้าลองจ่อเข้าใกล้บริเวณโคนสายอากาศเครื่องรับวิทยุ AM จะได้ยินเสียงดังแรงขึ้น การทดสอบเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลแบบนี้เป็นการทดสอบในขั้นต้นที่พอให้รู้ว่าเครื่องส่งและเครื่องรับรีโมตคอนโทรลสามารถรับ-ส่งสัญญาณกันได้ในอีกขั้นตอนข้างหน้า

สิ่งที่ต้องทำต่อไปในส่วนของภาคส่งรีโมตคอนโทรลนี้ก็คือ การตั้งรหัสให้สอดคล้องกันระหว่างภาคส่งและภาครับ รายละเอียดเหล่านี้จะได้อธิบายพร้อมกันในขั้นตอนการตั้งรหัสของภาครับ

รายการอุปกรณ์เครื่องส่งรีโมตคอนโทรล UHF 16 ช่อง			
ตัวต้านทาน	1/4W 5%	**อุปกรณ์กึ่งตัวนำ**	
R1, R2, R3, R4, R7	10K	D1-D9, D11	1N4148 (ไดโอดสัญญาณ)
R5	47K	D10	LED (สีแดง)
R6	100K	Q1 ,Q3	BC548 (ทรานซิสเตอร์)
R8	56K	Q2	BF 199 (ทรานซิสเตอร์)
R9	3.3K	IC2	555 (ไอซีไทม์เมอร์)
R10, R11, R14, R15, R16	33K	IC1, IC3	MC 145026 (ไอซีเข้ารหัสไทรนารี)
R12	150K	**อุปกรณ์อื่นๆ**	
R13	270K	แผ่นปริ้นส์x1, กล่องพลาสติกx1, สวิตซ์กดติด-ปล่อย	
ตัวเก็บประจุ		เปิดx4, ถ่านแบตเตอรี่ 12V แบบใช้ในไฟแช็กx1, ราง	
C1, C4	10µ 16WV(อิเล็คโตรไลติก)	ถ่านแบตเตอรี่x1, โช้ค RFC 15 µhx1 (หรือทำเอง : ดู	
C3, C6	0.0047µF(เมทัลโพลีเอสเตอร์)	เนื้อเรื่อง), เส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 30SWG,	
C2, C5, C7, C11	680p(เซอรามิก)	น็อต-สกรู, สายไฟเดินวงจร ฯลฯ	
C8, C10	2.2p(เซอรามิก)		
C9	20p(เซอรามิก)		
CV1	2-1p(ทริมเมอร์)		

วงจรเลือกช่องควบคุมด้วยสวิตซ์ประจำช่อง

จะเห็นได้ว่าในเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลUHF 16 ช่อง ซึ่งมีการเลือกควบคุมด้วยการกดสวิตซ์แบบกดติด-ปล่อยดับ จำนวน 4 ตัว ตามรหัส BCD นั้น ถึงจะมีขนาดเครื่องส่งที่เล็กกระทัดรัด เนื่องจากมีสวิตซ์เลือกช่องควบคุมเพียง 4 ตัวเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงอาจจะไม่สะดวก โดยเฉพาะผู้ที่ยังไม่คุ้นเคยกับรหัส BCD อาจจะสับสนในการเลือกช่องควบคุมได้ง่าย ถ้าเปลี่ยนมาใช้วิธีเลือกช่องควบคุมด้วยสวิตซ์ประจำช่องจะให้ความแน่นอนและคล่องตัวในการใช้งานได้ดีกว่า และเนื่องด้วยจำนวนสวิตซ์ควบคุมที่เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนช่องใช้งาน จึงทำให้เครื่องส่งรีโมตคอนโทรลนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น

วงจรเลือกช่องควบคุมด้วยสวิตซ์ประจำช่องในรูปที่ 7 อาศัยหลักการเข้ารหัสเลขฐานสิบเป็นรหัส BCD โดยใช้วงจรเข้ารหัสแบบไดโอดเมตริกซ์แบบพื้นฐานง่ายๆ เหตุผลที่ใช้วงจรนี้เนื่องจากต้องการตัดความยุ่งยาก ในการจัดหาอุปกรณ์ที่เป็นไอซีออกไป วงจรเข้ารหัสในที่นี้ใช้อุปกรณ์พื้นๆ,

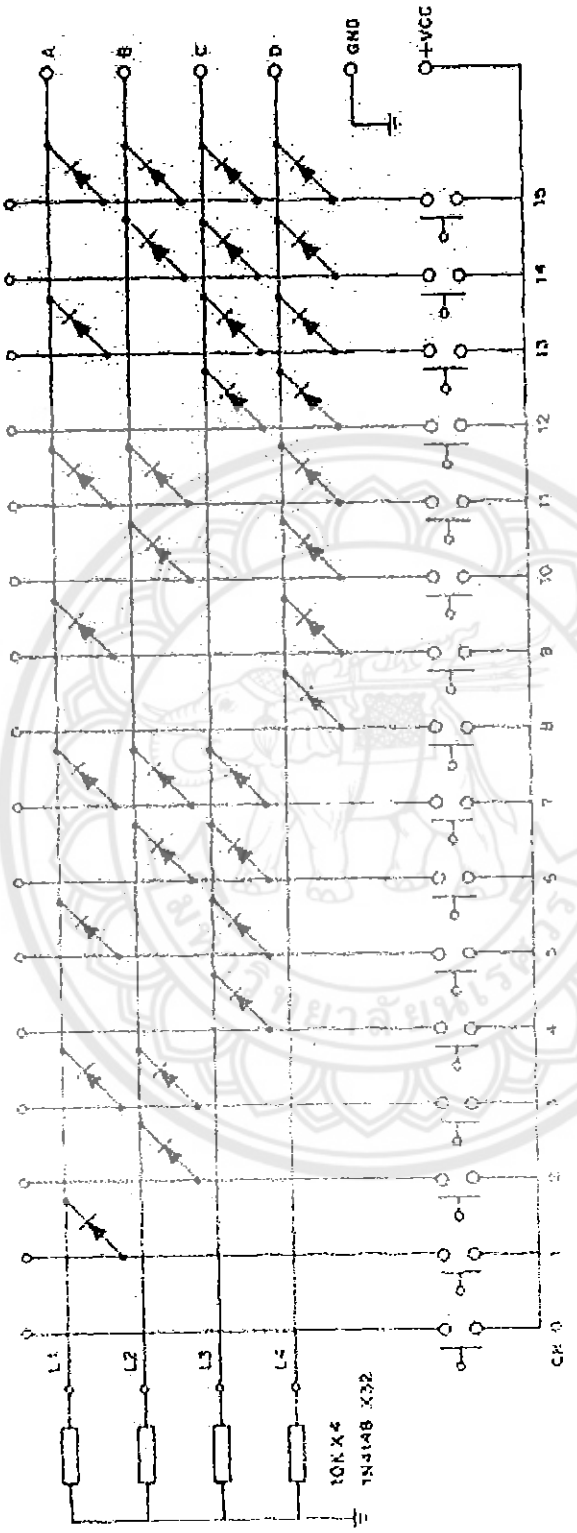
ราคาถูก และหาได้ง่าย มีเพียงไดโอด (1N4148) เบอร์ยอดนิยม, สวิตซ์กดติด-ปล่อยดับ แบบที่ใช้เป็นสวิตซ์กดในเครื่องคิดเลขและตัวตัวต้านทานที่มีใช้กันทั่วไป

การทำงานของวงจรเข้ารหัสแบบได้โอดเมตริกซ์ (Diode Matrix Encoder)

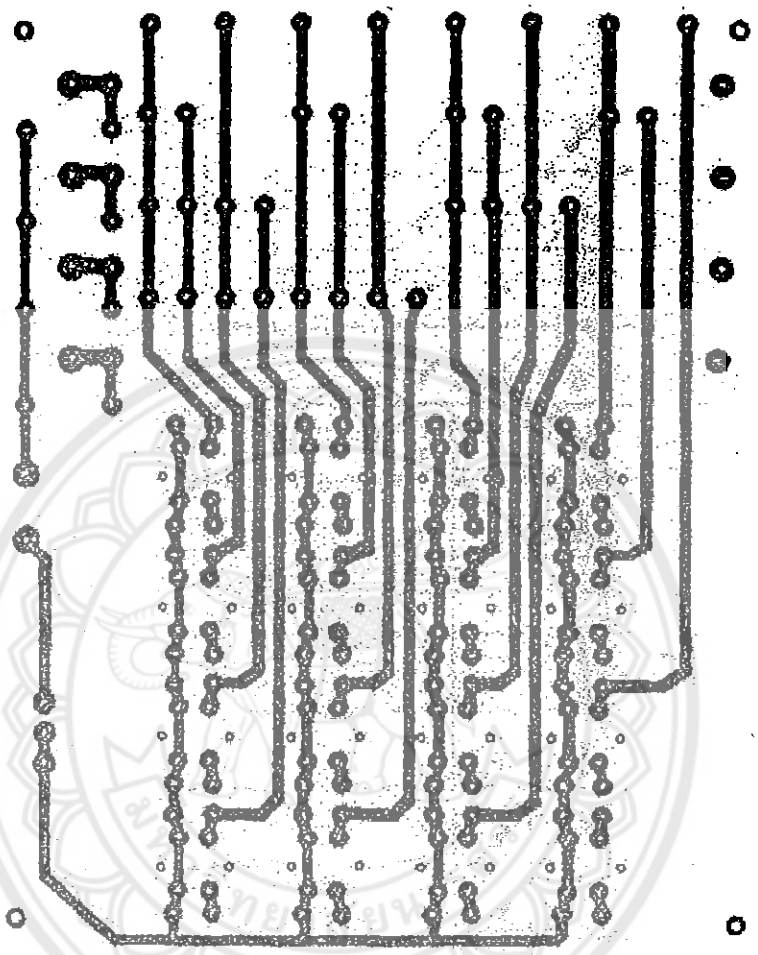
ปลายขาข้างหนึ่งของสวิตซ์เลือกช่องแบบกดติด-ปล่อยดับทุกตัวจะถูกต่อเข้าด้วยกัน และจะต่อเข้าไฟจ่าย (+VCC) เมื่อสวิตซ์ประจำช่องควบคุมใดถูกกด แรงดังไฟจ่าย (+VCC) จะผ่านหน้าสัมผัสสวิตซ์ไปเข้าชุดไดโอดที่ต่ออยู่กับสวิตซ์ประจำช่องนั้นๆ แรงไฟจ่าย (+VCC) จากชุดไดโอดจะผ่านออกไปปรากฏเป็นแรงดันสัญญาณออกตามรหัส BCD ของช่องที่เลือกทางจุดต่อสัญญาณออก A, B, C, D, ด้วยคุณสมบัติของไดโอดที่ยอมให้แรงดันไฟตรงผ่านได้ทางเดียว จึงไม่ทำให้เกิดการสับสนปนกันระหว่างสัญญาณรหัส BCD แต่ละช่อง (มีข้อแม้ว่าจะต้องไม่กดสวิตซ์เลือกพร้อมกันหลายช่อง) ตัวต้านทานค่า 10K ทั้ง 4 ตัวในวงจรจะทำหน้าที่ต่อจุดดสัญญาณออก A, B, C, D, ลงกราวด์ในขณะที่ไม่มีสัญญาณแรงดันรหัส BCD ปรากฏออก ส่วนในขณะที่มีแรงดันไฟตรงปรากฏออกทางจุด A, B, C, D, ตัวต้านทานค่า 10K ทั้ง 4 ตัวนี้ จะทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับสัญญาณแรงดันไฟตรง

การสร้างวงจรเลือกช่องควบคุมด้วยสวิตซ์ประจำช่อง

ประกอบอุปกรณ์ลงปริ้นท์ตามภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ในรูปที่ 9 L1, L2, L3 และ L4 เป็นเส้นลวดเปลือยที่ต่อโยงข้ามและวางติดตั้งอยู่บนแผ่นปริ้นท์ด้านอุปกรณ์ ปลายขาคาโถดของไดโอดประจำช่องควบคุมแต่ละชุดจะถูกโยงมาบัดกรีเข้าเส้นลวด L1 ถึง L4 เส้นใดเส้นหนึ่งตามวงจร



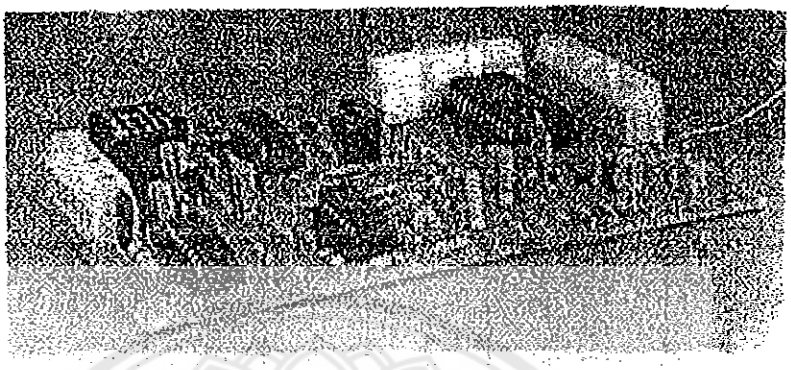
รูปที่ 7 วงจรเลือกช่องสายคุมด้วยสวิตช์ประจำช่อง



รูปที่ 8 ลายปริ้นท์วงจรเลือกช่องควบคุมด้วยสวิตช์ประจำช่อง

หมายเหตุ : สวิตช์ประจำช่องที่ 0 นั้นจะใส่ติดจขตั้งลงบนแผ่นปริ้นท์หรือไม่ก็ได้เนื่องจากไม่ได้ใช้งาน ตามทฤษฎีหลักการทำงานแล้วเครื่องส่งรีโมทคอนโทรลนี้กำหนดรหัสเลือกช่องควบคุมได้ถึง 16 รหัส (รหัสช่องที่ 0-15) แต่ในการใช้งานจริงรหัสช่องที่ 0 จะถูกตัดออกไปเนื่องจากในขณะเตรียมพร้อมใช้

ภาครับรีโมตคุอนโทรล UHF 16 ช่อง

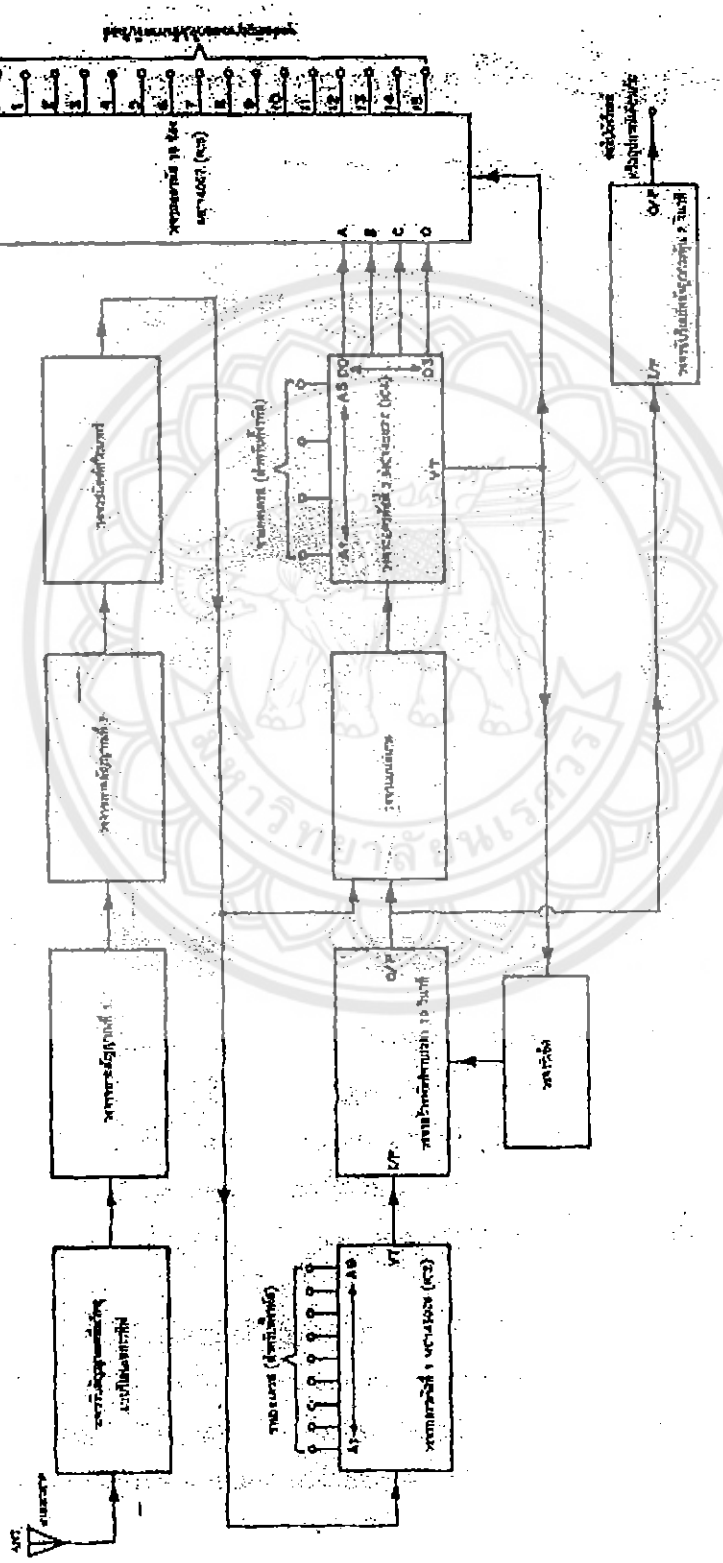


ภาพถ่ายแผงปริ้นท์ภาครับรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่อง

หลักการทำงานของเครื่องรับรีโมตคอนโทรล (อธิบายตามบล็อกไดอะแกรม)

เริ่มจากวงจรส่วนหนา (front end) ของเครื่องรับรีโมตคอนโทรลทำหน้าที่รับสัญญาณจากสายอากาศ วงจรส่วนหน้าในที่นี้เป็นวงจรรับสัญญาณความถี่วิทยุแบบรีเยนเนอร์เรทีฟที่มีสัญญาณการดีเท็คสัญญาณในตัว สัญญาณออกของวงจรส่วนหน้าจะถูกส่งเข้าไปขยายสัญญาณให้แรงขึ้นที่วงจรขยายสัญญาณที่ 1 และวงจรขยายสัญญาณที่ 2 จากนั้นจึงส่งสัญญาณที่ขยายให้แล้วไปยังวงจรชมิตต์-ทริกเกอร์เพื่อจัดรูปแบบคลื่นสัญญาณให้ได้รูปพัลซ์เช่นเดียวกับสัญญาณต้นแบบที่ส่งมาจาเครื่องส่ง

สัญญาณดิจิตอลจากวงจรชมิตต์-ทริกเกอร์จะถูกแยกส่งออกไป 2 ทาง ทางหนึ่งส่งเข้าไปยังวงจรแอนด์เกทและอีกทางหนึ่งส่งเข้าไปยังวงจรรหัสที่ 1 (ทำงานด้วยไอซี MC 145028) ถ้าวงจรถอดรหัสที่ 1 ได้รับสัญญาณดิจิตอลที่มีรหัสตรงกับที่ได้มีการตั้งรหัสไว้แล้วทั้งทางด้านแอดเดรสและคาบเวลาที่ไอซี MC145028 ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสจะส่งสัญญาณโลจิก "1" ช่วงสั้นๆ ทางขา output VT1 ไปกระตุ้นให้วงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาที ทำงานสร้างสัญญาณโลจิก"1" ที่ output ของวงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาที นียังจะคงค้างอยู่เป็นเวลา 10 วินาทีแม้สัญญาณที่เข้ามากระตุ้นจะตกลงไปแล้วก็ตาม

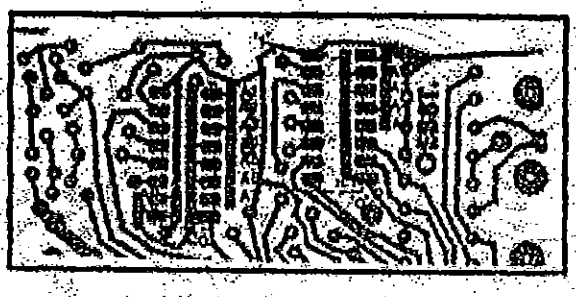


รูปที่ 10 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานภาครับโมดอมโทรล 16 ช่อง

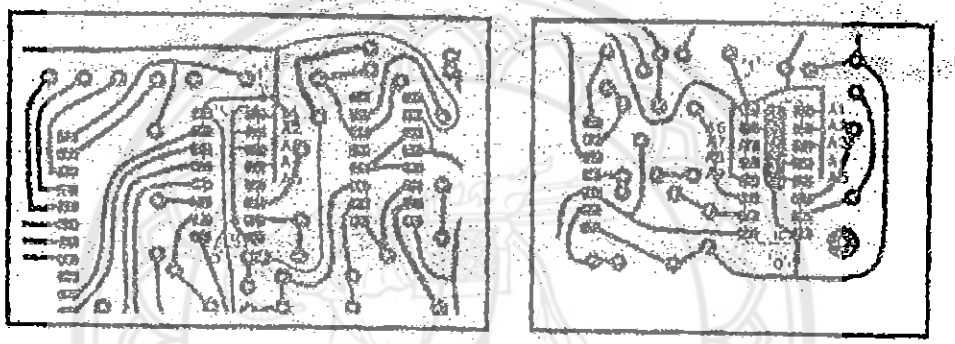
สัญญาณพัลซ์ซึ่งมีคาบเวลา 10 วินาทีนี้จะถูกส่งเข้าไปกระตุ้นทั้งวงจรแอนด์เกทและวงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาที เมื่อวงจร แอนด์เกทและวงจรถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาที วงจรแอนด์เกทจะเปิดทางให้สัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่มาจาก 0 output ของวงจรชมิตต์-ทริกเกอร์ ผ่านวงจรแอนด์เกทเข้าไปยังวงจรถอดรหัสที่ 2 ได้ ถ้าสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามานี้มีรหัสตรงกับที่มีการตั้งรหัสไว้ทั้งด้านแอดเดรสและคาบเวลาไอซี MC145027 (IC4) ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัสที่ 2 จะถ่ายข้อมูล 4 บิตสุดท้ายจากข้อมูล 9 บิตของชุดสุดข้อมูลดิจิตอลที่มีรหัสตรงกับที่ตั้งไว้ให้ปรากฏออกทางขาข้อมูลออก(ขา D0-D3) ไปเข้าวงจรถอดรหัส 16 ช่อง ซึ่งทำหน้าที่โดยไอซี 5 (MC 14067) ในขณะเดียวกันที่ขา VT ของไอซี MC145027 จะเปลี่ยนสถานะจากโลจิก "0" ไปเป็นสถานะโลจิก "1" สถานะโลจิก "1" นี้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรรีเซ็ทและวงจรรีเซ็ทจะทำหน้าที่รีเซ็ทหรือยกเลิกการทำงานของวงจรสร้างพัลซ์ 10 วินาที ทำให้สัญญาณ output โลจิก "1" ของวงจรพัลซ์ 10 วินาทีตกลงมาเป็นผลต่อเนื่องทำให้วงจรขับรีเลย์ หลังถูกกระตุ้น 2 วินาที ถูกรีเซ็ทหรอถูกยกเลิกการทำงานไปด้วย (สัญญาณสถานะโลจิก"1" ที่ส่งเข้ามากระตุ้นทาง input ของวงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาที จะต้องคงสถานะโลจิก"1" อยู่เป็นเวลานานถึง 2 วินาทีถึงจะมีผลทำให้วงจรนี้ทำงานขับรีเลย์)

ในระหว่างนี้ ไอซี 5 (MC 14067) ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัส 16 ช่องจะรับเอาข้อมูลดิจิตอลแบบขนาน 4 บิต ในรูปแบบของรหัสเลขฐาน 2 (Bimary) ที่เป็นข้อมูลออกของ IC4 มาเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลรหัสเลขฐาน 10 (Decimal) โดยแสดงผลด้วยสถานะโลจิก "1" ออกทางขาข้อมูลออกที่ขาใดขาหนึ่งในจำนวน 16 ขาของ IC5 (ขึ้นอยู่กับรหัสไบนารีทาง อินพุต)

ถ้าข้อมูลดิจิตอลที่ส่งเข้ามายังวงจรถอดรหัสที่ 2 ไอซี (ไอซี MC145027) มีรหัสไม่ตรงกับที่มีการตั้งรหัสไว้ วงจรสร้างพัลซ์ 10 วินาทีและวงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาที ก็จะไม่ถูกยกลิกการทำงาน และถ้ารหัสที่ตั้งไว้ในชั้นที่ 2 ยังคงไม่ถูกเปิดออกภายใน 2 วินาทีต่อมาจะทำให้วงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาที ทำงานขับรีเลย์และบัสเซอร์ที่ต่ออยู่ในระบบนี้จะส่งเสียงเตือนให้ผู้ใช้ทราบว่ามีการส่งสัญญาณควบคุมที่ไม่ตรงรหัสเข้ามาในระบบขากการที่ระบบรีโมทคอนโทรลนี้สามารถเลือกตั้งรหัสได้หลากหลายมากถึงเกือบ5 ล้านรหัสดังนั้น โอกาสที่จะถูกกวาดรหัสเพื่อทำให้รหัสในชั้นที่ 2 ถูกเปิดออกภายใน 2 วินาทีจึงเป็นเรื่องยากที่ไม่น่าเป็นไปได้



รูปที่ 14 แสดงการบัดกรีโยงต่อสายทางด้านลายทองแดง
เพื่อตั้งรหัสทางเครื่องส่งรีโมตคอนโทรล (กำหนดรหัสตามตารางตัวอย่างการตั้งรหัส)



รูปที่ 15 แสดงการบัดกรีโยงต่อสายทางด้านลายทองแดง

การทดสอบและปรับแต่งภาครับรีโมตคอนโทรล

ใช้ออสซิลโลสโคป หรือมัลติเมอร์ (การตั้งย่านการวัดแรงดันไฟ AC) เข้าวัดสัญญาณที่จุดทดสอบ TP1 หรือที่จุดขา 5 ของ IC1a (CA3401) ในเครื่องรับ นำเครื่องส่งมาวางไว้ใกล้ๆ กับเครื่องรับแล้วลองกดสัญญาณควบคุมที่เครื่องส่ง พร้อมกับปรับแต่งที่ทริมเมอร์ทางเครื่องรับจนกระทั่งเครื่องรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้สูงสุด โดยสังเกตการแสดงผลที่จอสโคปหรือที่หน้าปัทม์มัลติมิเตอร์ถ้ายังรับส่งสัญญาณกันไม่ได้ต้องมีการปรับแต่งที่ทริมเมอร์ทางเครื่องส่งด้วย ต่อไป นำเครื่องส่งออกห่างเครื่องรับประมาณ 3-4 เมตร แล้วลองกดส่งสัญญาณควบคุมที่เครื่องส่งอีกครั้งหนึ่ง ถ้าพบว่าไม่สามารถรับ-ส่งสัญญาณกันได้ ให้ปรับแต่งที่ทริมเมอร์ของเครื่องส่ง หรือเครื่องรับอีกเล็กน้อยจนกระทั่งสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีที่สุด

ในการทำงานตามปกติของชุดเครื่องรีโมตคอนโทรลนี้ ถ้ามีการกดส่งสัญญาณควบคุม ที่เครื่องส่งเพียงสั้นๆ ไม่ถึง 1 วินาที ระบบป้องเพื่อความปลอดภัย ในชั้นที่ 2 จะ ขับรีเลย์ RL1 ให้ทำงานและบัสเซอร์ของเครื่องรับส่งเสียงเตือนดังประมาณ 10 วินาที (ในกรณีที่ต่อบัสเซอร์ไว้) การกดส่งสัญญาณที่ได้ผลจะต้องกดส่งสัญญาณนานกว่า 1 วินาทีเล็กน้อย การทดสอบว่า มีสัญญาณพัลซ์ออกทางช่องควบคุมของภาครับหรือไม่สามารถทำได้โดยการต่อวงจรแสดงผลตามวงจรในรูป

การเข้ารหัสเครื่องส่งและเครื่องรับรีโมตคอนโทรล

การตั้งรหัสทั้งในเครื่องรับและเครื่องส่งใช้วิธีบังคับโดยบัดกรีโยงเส้นลวดจากขาแอดเดรสของ ไอซีเข้ารหัสในเครื่องส่ง หรือไอซีถอดรหัสในเครื่องรับให้ต่อลงกราวด์, ต่อเข้าไฟบวกหรือปล่อยว่างไว้อย่างใดอย่างหนึ่ง จะต้องตั้งรหัสให้ตรงกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับกล่าวคือต้องตั้งรหัสที่ IC3 ของเครื่องส่งให้ตรงกับการตั้งรหัสที่ IC2 ในเครื่องรับ และตั้งรหัสที่ IC1 ของเครื่องส่งให้ตรงกับการตั้งรหัสที่ IC4 ในเครื่องรับ ตามตัวอย่างการตั้งรหัสดังตารางต่อไปนี้

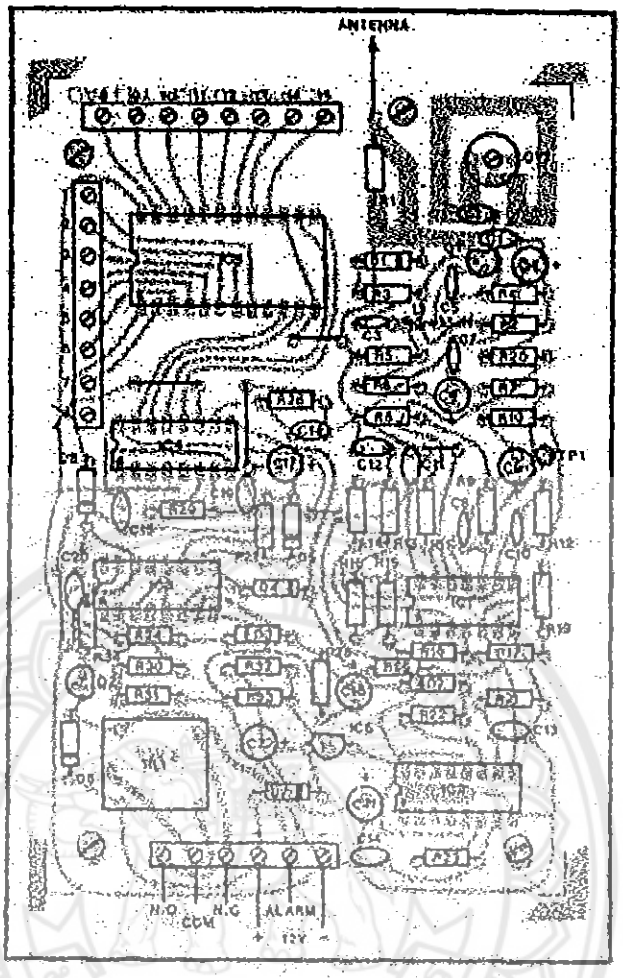
ตารางแสดงตัวอย่างการตั้งรหัสทางเครื่องส่งและเครื่องรับรีโมตคอนโทรล

การตั้งรหัสที่ IC3 (เครื่องส่ง) และที่ IC2 (เครื่องรับ)									
ขาแอดเดรส	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
ตัวอย่างรหัส	1	1	1	0	0	0	ว่าง	ว่าง	1
รหัสที่กำหนดขึ้นเอง									

การตั้งรหัสที่ IC1 (เครื่องส่ง) และที่ IC4 (เครื่องรับ)					
ขาแอดเดรส	A1	A2	A3	A4	A5
ตัวอย่างรหัส	1	0	0	1	ว่าง
รหัสที่กำหนดขึ้นเอง					

หมายเหตุ : 1= ต่อเข้าไฟบวก, 0 = ต่อลงกราวด์, ว่าง = ปล่อยขาว่างไว้

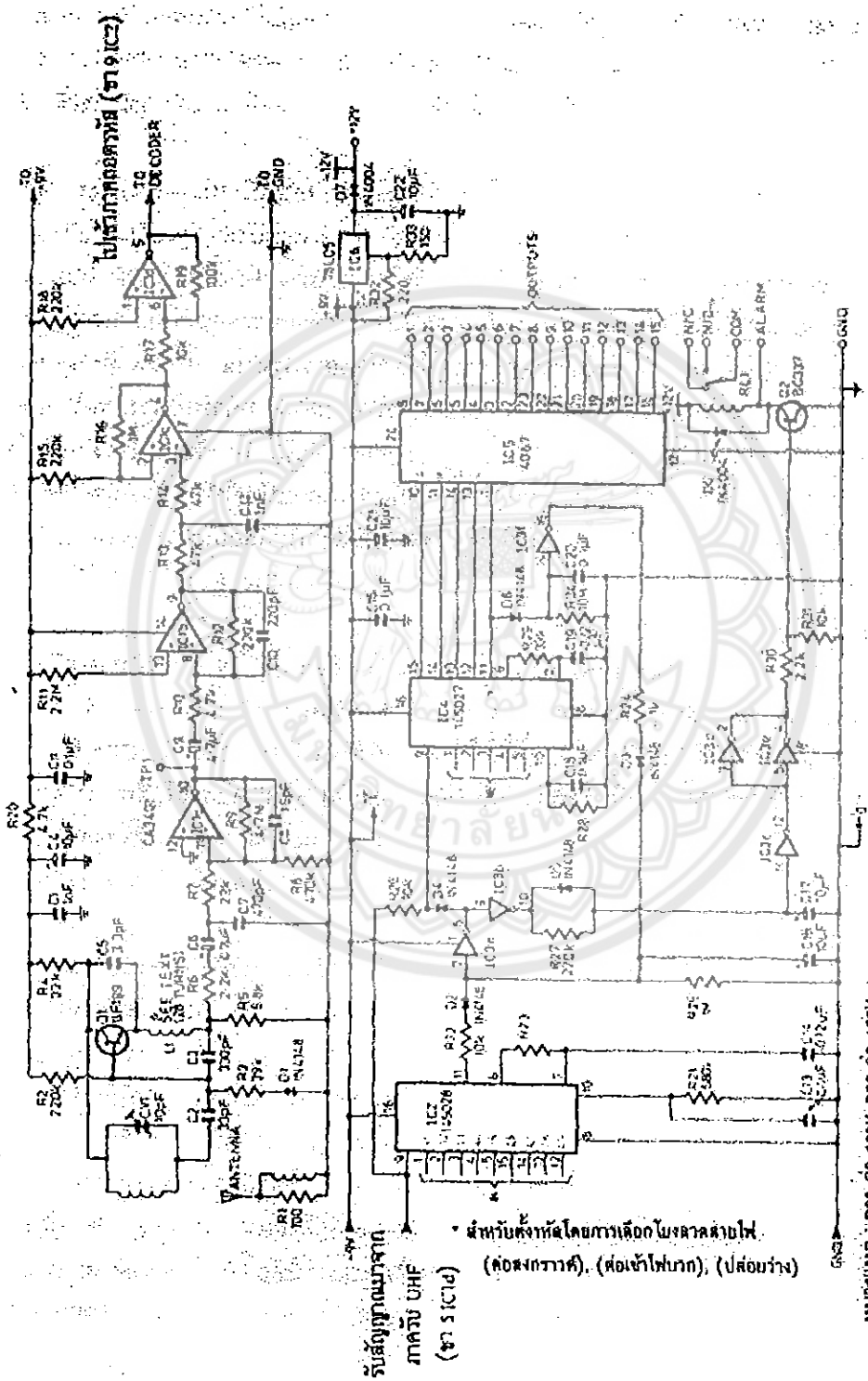
- รหัสตามตัวอย่างสามารถใช้ได้จริง



รูปที่ 12 ตำแหน่งอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นท์เครื่องรับรีโมตคอนโทรล UHF 16 ช่อง

การสร้างภาครับ

ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงบนแผ่นปริ้นท์ตามรูปแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ที่ให้ไว้ สำหรับขดคอยล์ที่ต่อคร่อมขนานกับทริมเมอร์ CV1 ตามที่เห็นในวงจรภาครับนั้นในทางปฏิบัติได้มีการออกแบบลายทางแดงบนแผ่นปริ้นท์ให้เป็นอินดัคเตอร์แทนขดคอยล์ดังกล่าวแล้วคอยล์ L1 เป็นคอยล์ RFC ค่าประมาณ 15 μH (ไมโครเฮนรี่) คอยล์ตัวนี้สามารถพันเองได้โดยใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันเป็นขดลวดจำนวน 10 รอบ ลงบนแกนเฟอร์ไรท์ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลิเมตร และยาวประมาณ 2 เซนติเมตร สายอากาศของภาครับเป็นสายไฟหุ้มฉนวนเส้นเล็กที่มีความยาวประมาณ 40 เซนติเมตร



รูปที่ 11 วงจรเครื่องรับโมดอนโทรล UHF 16 ช่อง

ส่งเสียงเตือน (อุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วย C17, IC3c, IC3d, IC3e, R30, R31, Q2,D6 และ RL1 ถูกจัดวงจรให้ทำงานเป็นภาคขับรีเลย์หลังถูกกระต้น2 วินาที)

แต่ถ้าวงจรถอดรหัสที่ 2 ได้รับสัญญาณดิจิตอลที่มีรหัสถูกต้องก่อนภายในเวลา 2 วินาทีการประจุกระแสของ C17 จะถูกขัดขังหวะด้วยวงจรรีเซ็ตก่อนที่ค่าแรงดันตกคร่อม C17 จะถึงระดับแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนที่ขา 11 ของ IC3c ในกรณีนี้วงจรขับรีเลย์หลังถูกกระตุ้น 2 วินาทีจะไม่ทำงานและบัสเซอร์ที่ต่ออยู่ในวงจรนี้จะไม่ทำงานส่งเสียงเตือนเช่นกัน

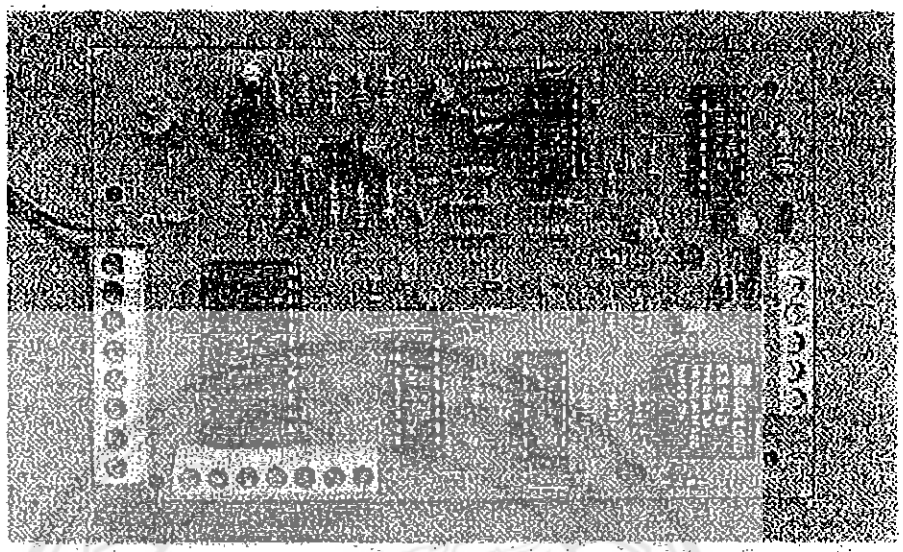
ถ้าหากวงจรถอดรหัสที่ 2 ได้รับสัญญาณดิจิตอลที่ถูกต้องภายในเวลา 2 วินาทีหลังจากที่วงจรถอดรหัสที่ 1 ถอดรหัสชุดแรกได้แล้ว ข้อมูล 4 บิตสุดท้ายของชุดสัญญาณดิจิตอลที่มีรหัสถูกต้องสัมพันธ์กับการตั้งค่ารหัสของ IC4 จะถูกถ่ายทอดออกไปปรากฏที่ขาข้อมูลขาออกของ IC4 (ขา 12, I3, 14, 15 ของไอซี MC145207) ในขณะเดียวกันขา VT (ขา11) ของ IC4 จะให้สถานโลจิก "1" ผ่านไดโอด D8 เข้าไปตุกคร่อม R34 และ C20 ส่งผลให้เอาท์พุต (ขา15) ของ IC3f มีสถานะโลจิกเป็น "0" ทำให้ IC6 คายประจุผ่าน D3 และ R24 ไปยังขา 15 ของ IC3f อย่างรวดเร็วเป็นการรีเซ็ตหรือยกเลิกการทำงานของวงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาที ด้วยผลจากการรีเซ็ตการทำงานของวงจรสร้างพัลซ์ 110 วินาทีทำให้เอาท์พุท (ขา 10) ของ IC3b มีสถานะโลจิกเป็น "0" ไดโอด D5 จะได้รับการไบอัสไปหน้า ตัวเก็บประจุ C17 จะคายประจุผ่าน D5 เป็นการรีเซ็ตหรือเลิกการทำงานของวงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาทีไปด้วย(อุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยD8, R34, C20, IC3f, R24, และ D3 จะถูกจัดให้ทำงานเป็นวงจรรีเซ็ทการทำงานของวงจรสร้างพัลซ์10 วินาที และจะมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดการรีเซ็ทการทำงานของวงจรขับรีเลย์หลังจากถูกกระตุ้น 2 วินาทีด้วย) จะเห็นได้ว่ามีการต่อสัญญาณจากขา VT (ขา 11) ของ IC4 ข้าไปกระตุ้นที่ขา 1 ของ IC5 เพื่อให้ IC5 สามารถทำการอิมัลชันติเพล็ค (demultiplex) ข้อมูลได้โดยสอดคล้องกับการทำงานส่งข้อมูลออกของ IC4 IC5 (MC14067) จะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลขนาน 4 บิตในรูปแบบของเลขฐาน 2 (binary) ที่เข้ามาทางอินพุท (ขา 10, 11, 14 ,13) ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบของเลขฐาน 10 (decimal) โดยส่งข้อมูลออกทางขาอาท์พุตขาใดขาหนึ่งในจำนวน 16 ขาและสัญญาณโลจิก "1" ที่ขาเอาท์พุทของ IC5 นั้นจะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุมให้วงจรขับรีเลย์ในภาคขับรีเลย์ ทำงานตามหน้าที่ และที่สำคัญก็คือในแต่ละครั้งที่การส่งขบวนพัลซ์สัญญาณควบคุมจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ สัญญาณที่ออกทางช่องควบคุมของวงจรภาครับนี้จะเป็นสัญญาณพัลซ์เพียงลูกคลื่นเดียวและมีคาบเวลาของลูกคลื่นพัลซ์เพียงสั้น ๆ เท่านั้น

gate) ที่เกิดจากการต่อวงจรรวมกันของ R26,D4 และ IC3a โดย out put ของวงจร แอนด์เกทจะต่อไปเข้า in put (ขา 9) ของวงจรถอดรหัสที่ 2 (ทำหน้าที่โดย IC4 MC145027) ในทางปฏิบัติจะต้องมีมีการเลือกค่าอุปกรณ์ที่กำหนดคาบเวลาขององการถอดรหัส (R21,C13,R23 และ C14 สำหรับวงจรถอดรหัสที่ 1 R28,C18,R29 และ C19 สำหรับวงจรถอดรหัสที่ 2) ให้สัมพันธ์กับการเลือกค่าอุปกรณ์กำหนดคาบเวลาของการเข้ารหัสในเครื่องส่ง

ถ้า input ของวงจรถอดรหัสที่ 1 ได้รับสัญญาณดิจิตอลที่มีรหัสถูกต้องทั้งทางด้านแอดเดรสและคาบเวลา ที่ขา output (ขา 11 ของ IC2) จะให้สถานะโลจิกสูงและตัวเก็บประจุ C16 จะประจุกระแสจากสถานะโลจิกสูงนี้อย่างรวดเร็วโดยผ่านทาง R22 และ D2 ต่อมาเมื่อช่วงเวลาคงตัว (Time constant) ในการคายประจุนี้มีคาบเวลาประมาณ 10 วินาที (อุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วย R22, D2, C16 และ R25 ถูกจัดวงจรให้ร่วมกันทำหน้าที่เป็นวงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาที) ในช่วงของการหน่วงเวลา (Time delay) 10 วินาทีนี้จะมีผลทำให้ขา input (ขา 7) ของ IC3a มีสถานะโลจิก "1" และส่งผลต่อเนื่องให้ขา output (ขา 6) มีสถานะโลจิก "0" ตามไปด้วย ในขณะเดียวกันได้โอด D4 จะได้รับไบอัสกลับทาง (Reverse bias) เป็นการทำให้วงจรแอนด์เกทเปิดให้สัญญาณดิจิตอลจากภาครับผ่าน R26 เข้าไปยัง in put (ขา 9 IC4)ของวงจรถอดรหัสที่ 2 ได้

ถ้าขาที่ 11 ของ IC2 ไม่ได้มีสถานะโลจิกสูงไม่ว่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ทางเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลไม่ได้ส่งสัญญาณควบคุมเข้ามาที่เครื่องรับหรือทางวงจรถอดรัหสที่ 1 อาจจะไม่ได้รับสัญญาณดิจิตอลที่มีรหัสถูกต้องก็ตาม จะส่งผลให้ output (ขา 6) ของ IC3a มีสถานะโลจิก "1" และไดโอด D4 จะได้รับไบอัสแบบไปหน้า (Forward bias) สถานะโลจิก "1"จากขา output ของ IC3a จะผ่านออกทางไดโอด D4 ไปทำให้เกิดสถานะโลจิก "1" ที่ขา input ของไอซี ถอดรหัสที่2 เป็นการป้องกันไม่ให้สัญญาณดิจิตอลจากภาครับเข้ามากระตุ้นที่ in put ของวงจรถอดรหัสที่ 2 ได้ เมื่อ IC2 ได้รับสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่มีรหัสถูกต้องและได้ส่งสถานะโลจิก "1" ออกทางขา VT (ขา 11)แล้วในขณะที่วงจรสร้างพัลซ์คาบเวลา 10 วินาทีถูกกระตุ้นให้ทำงานจะมีผลทำให้ขา input (ขา 9) ของ IC3b มีสถานะโลจิ "0" แลขา output (ขา 10 IC3b) มีสถานะโลจิก "1" ทำให้ตัวเก็บประจุ C17 เริ่มประจุกระแสจากสถานะโลจิก "1" ที่ขา 10 IC3b นี้โดยผ่านทาง R27 ค่าคงเวลาตัว (Time constant) ในการประจุกระแสดังกล่าวกำหนดได้จากค่าของ R27 และ C17 เมื่อ C17 ประจุกระแสผ่านไปได้ 2 วินาที จะมีค่าแรงดันตกคร่อม C17 สูงขึ้นถึงระดับค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold voltage) ที่ input ขา 11 ของ IC3b และ IC3a ที่ต่อขนานกันมีสถานะโลจิกเป็น "1" ซึ่งสถานะโลจิก "1" ตรงจุดนี้จะผ่านออกทาง R30 เข้าไปกระตุ้นที่ขาเบสของ Q2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานนำกระแส (ON) ขับรีเลย์ RL1 หรือควบคุมให้บัสเซอร์ที่ต่ออยู่กับวงจรรีเลย์นี้ให้ทำงาน

การทำงานของวงจรเครื่องรับรีโมทคอนโทรล



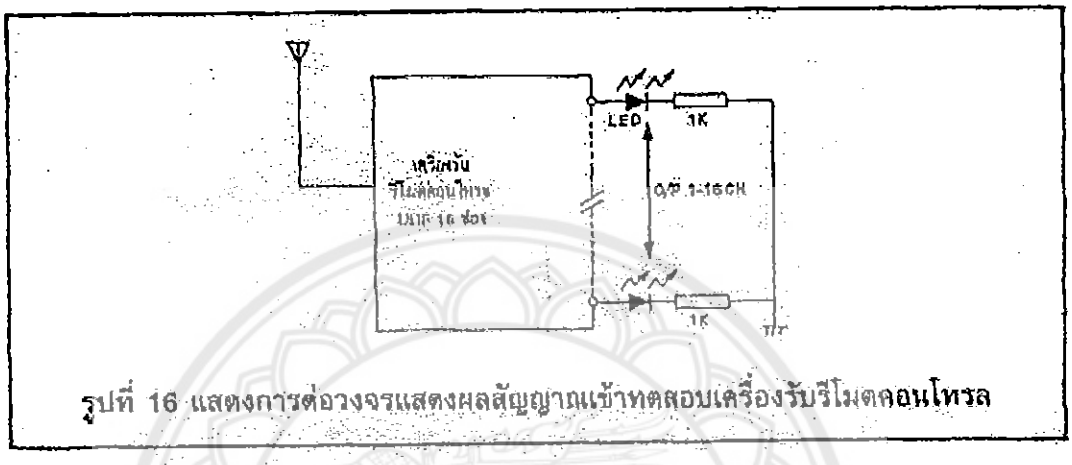
แผงปริ้นท์ภาครับรีโมทคอนโทรล UHF 16 ช่อง

ทรานซิสเตอร์ Q1 (BF 199) และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่เป็นวงจรรับสัญญาณคลื่นวิทยุแบบรีเยนเนอเรทีฟที่มีการดีเท็คสัญญาณในตัว (Self-detecting regenerative UHF receiver) โดยมีทริมเมอร์ CV1 ในวงจร่ส่วนหน้า (Front end) ซึ่งต่อขนานกับค่าอินดัคแทนซ์(สัญลักษณ์ขดลวดในวงจร) ที่เกิดจากการทำเป็นเส้นทองแดงบนแผ่นปริ้นท์ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนรับคลื่นวิทยุย่าน UHF ความถี่ประมาณ 304 MHzให้เข้ามายังวงจรภาครับ

วงจรภาครับสัญญาณคลื่นวิทยุจะดีเท็คสัญญาณออกทาง output และส่งสัญญาณออกผ่านวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass filter) ซึ่งประกอบด้วย R6 และ C7 ไปเข้าวงจรขยายสัญญาณที่ 1 โดยมี IC1a และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่ขยายกลับสัญญาณ (Inverting amplifier) และส่งสัญญาณออกไปขยายต่อที่วงจรขยายสัญญาณที่ 2 ซึ่งมี IC1bและอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่ขยายกลับสัญญาณอีกครั้ง สัญญาณออกจากวงจรนี้จะถูกส่งไปเข้าวงจรชมิตต์-ทริกเกอร์(Schmitt trigger) มี IC1c และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่แต่งรูปคลื่นสัญญาณที่อาจจะผิดเพี้ยนเนื่องจากสัญญาณรบกวน (noise) หรือมีสัญญาณสอดแทรก (Interference signals) ปะปนเข้ามา สัญญาณที่ผ่านวงจรชมิตต์-ทริกเกอร์ จะถูกส่งไปเข้าวงจรกลับสัญญาณ (Inverting) ซึ่งทำหน้าที่โดย IC1d ในสุดท้ายสัญญาณที่ออกจากขา 5 ของ IC1d จะมีรูปคลื่นสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณต้นฉบับทางเครื่องส่งรีโมทคอนโทรล

สัญญาณดิจิตอลจาก output (ขา 5) ของ IC1d จะถูกส่งไปเข้า in put (ขา 9 IC2) ของวงจรถอดรหัสที่1 และในอีกทางหนึ่งสัญญาณดิจิตอลชุดเดียวกันนี้ยังจะถูกส่งเข้าวงจรแอนด์เกท(AND

แล้วนำไปต่อเข้าขั้วต่อสัญญาณควบคุมออก ของเครื่องรับถ้ามีสัญญาณพัลซ์ควบคุมปรากฏออกทางช่องควบคุมใด LED ประจำช่องควบคุมนั้นจะสว่างขึ้น การใช้วิธีนี้ จะทำให้สามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องรับรีโมตคอนโทรลได้ง่ายขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาคขับรีเลย์เป็นตัวแสดงผล



รูปที่ 16 แสดงการต่อวงจรแสดงผลสัญญาณเข้าทดสอบเครื่องรับรีโมตคอนโทรล

รายการอุปกรณ์ภาครับรีโมตคอนโทรล UHF 16 ช่อง

ตัวต้านทาน	1/4W 5%	R21	680K
R1	100 โอห์ม	R24	1K
R2, R12, R15,		R28	150K
R18, R27	220K	R32	220 โอห์ม
R3	39K	R33	150 โอห์ม
R4, R29	33K	R34	10M
R5	6.8K		
R6, R30	2.2K	อุปกรณ์อื่น ๆ	
R7	22K	แผ่นปริ้นพ์x1, รีเลย์ 12V, ซ็อกเก็ตไอซี (14 ขา)x1 (16 ขา)x3 (24 ขา)x1, โช้ค RFC (15uh)x1 (L1) หรือพันเอง (ลูเนื่องเรียง), พลิกกระดุมอย่าง (4 ทาง x 3, 3 ทาง x 3)	
R8	470K		
R9	4.7M		
R10, R20	4.7K		
R11	2.2M		
R13, R14	47K		
R16, R25	1M		
R17, R22, R26, R31	10K		
R19, R23	100K		

ตัวเก็บประจุ

C1, C12	0.001µF
C2	33pF
C3	330pF
C4, C16, C17, C21, C22	10µF 16WV (อิเล็คโตรไลติก)
C5	3.3pF
C6, C9	4.7µF 16WV (อิเล็คโตรไลติก)
C7	470pF
C8	15pF
C10	220pF
C11, C13, C18, C20, C15	0.1µF (ไมโนลิทริก)
C14, C19	0.022µF (เมทัล โพลีเอสเตอร์)
CV1	10pF ปรับค่าได้ (ทริมเมอร์)

อุปกรณ์กึ่งตัวนำ

D1, D2, D3, D4, D5, D8	1N4148 (ไดโอดสัญญาณ)
D6, D7	1N4004 (ไดโอด)
Q1	BF199 (ทรานซิสเตอร์)
Q2	BC337 (ทรานซิสเตอร์)
IC1	CA3401 (ไอซีออปแอมป์)
IC2	145028 หรือ 41344 (ตัวแยกสัญ
IC3	4049 (ไอซี hex inverter)
IC4	145027 หรือ 41343 (ตัวถอดรหัส
IC5	4067 (มัลติเพล็ก)
IC6	78L05 (ไอซีเร็กกูเลท)

ประวัติผู้ทำโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายชุมพรชัย วรอาจ
วันเดือนปีเกิด	3 เมษายน 2523
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง จังหวัดกรุงเทพฯ

ชื่อ-นามสกุล	นายภานุ ทองม่วง
วันเดือนปีเกิด	23 สิงหาคม 2522
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนท่าตะโกพิทยาคม จังหวัดนครสวรรค์

ชื่อ-นามสกุล	นายไพศาล เฟื่องวาณิชย์
วันเดือนปีเกิด	25 ธันวาคม 2521
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเกษราภรณ์ ศุภรัตนอังกูร
วันเดือนปีเกิด	23 พฤศจิกายน 2522
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจ่านกร้อง จังหวัดพิษณุโลก