



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การออกแบบและสร้างเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า

Design and Construction of Electric Wheelchair

โดย

ภูมิภัทร์ บุปผา

ลิขิต ฉิมกลีบ

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2551

หัวข้อโครงการวิจัย	การออกแบบและสร้างแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า
ชื่อหัวหน้าโครงการ	ภูมิภัทร์ บุปผา
รหัสบุคลากร	4713243
ชื่อผู้ร่วมวิจัย	ลิขิต นิมกสิทธิ์
รหัสบุคลากร	4813246
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ. นันทชัย ทองแป้น

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้ มุ่งทำการออกแบบและสร้างแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า เพื่อให้ผู้พิการสามารถขึ้นแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า ไว้ใช้งานในราคาถูกเมื่อเทียบกับ แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า ของต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง โดยอาศัยหลักการทางด้านกลศาสตร์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ผลการจัดทำโครงการสามารถออกแบบ โครงสร้าง และ สร้าง ชุดควบคุมการทำงานของ แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าที่ประกอบด้วยระบบการทำงานที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ โดยใช้คั่นบังคับแบบโยก เพื่อควบคุมการเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และระบบ เบรก ส่วนควบคุมส่วนบังคับการเคลื่อนที่ โดยใช้ วงจรคอมบินเนชัน และ ส่วนภาคขับเคลื่อนมอเตอร์เกียร์ โดยใช้วงจรไฮบริดจ์สวิทซ์ ซึ่งควบคุมการทำงานของมอเตอร์และวงจรชอปเปอร์สำหรับปรับระดับความเร็ว รวมทั้งติดตั้งระบบปรับเอนนอนของที่นั่งได้ 70 องศา ผลการทดสอบการทำงานของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าพบว่า สามารถรับน้ำหนักของผู้พิการ ได้สูงสุด 80 กิโลกรัม เคลื่อนที่ได้บน ทางราบและทางลาดชัน ไม่เกิน 15 องศา ด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 5.47 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 0.58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยสามารถเบรกบนทางราบที่ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดด้วยความหน่วงเฉลี่ย 1.93 เมตรต่อวินาที² ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ แบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 36 โวลต์ ที่ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ 1 ชั่วโมง โดยมีงบประมาณ ในการออกแบบและ สร้างแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าต้นแบบ ประมาณ 70,000 บาท

Project	Design and Construction of Electric Wheelchair
Project Chief	Mr. Poompat Buppha
Personnel ID.	4713243
Asst. Project Chief	Mr. Likhit Chingleeb
Personnel ID.	4813246
Project Advisor	Asst. Prof. Nantachai Thongpance

ABSTRACT

This project is purposed to designed and construct an electric wheelchair that makes for the handicapped to be able to help themselves are paying cheaper than ordering from foreign countries. It is built by the principle of mechanic, electric and electronics. The resultant of project building can design a structure and construct the controllable set for electric wheelchair that composes of 3 main parts. The first part is moving control which controls their movements with joystick in the direction of forward, backward, turn left, turn right, and breaking system. The second part is the processing control that controls by combination circuits. The third part is the DC gear motor driving that uses the high bridge switching control and adjustable the levels of speed control by chopper circuit including also install adjustable 70 degree lie down seat. According to the result of the efficiency tests of electric wheelchair found that is able to be weighted up to 80 kilograms in usual pathway and incline plane under 15 degree. The maximum average velocity of electric wheelchair is measured 5.47 km/hr in plane motion and 0.58 km/hr in incline plane motion. The average retardant accelerate when breaking at maximum average velocity is measured 1.93 m/s^2 . The result of the efficiency test of Lead-Acid battery 36 voltages at maximum average velocity is working only 1 hour. The cost of this project is estimated 70,000 baht.

Keywords : electric wheelchair, combination circuits, hybrid switching, Dc gear motor

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยรังสิตที่สนับสนุนทุนวิจัย โครงการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ. นันทชัย ทองแป้น ซึ่งเป็นผู้ผลักดันให้เกิดโครงการวิจัยนี้ขึ้น และบุคลากรใน ภาควิชาฟิสิกส์ และสาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ ที่ให้คำปรึกษาและ สนับสนุนด้านเครื่องมือ ที่ใช้ ทำงานวิจัย ซึ่งผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและขอขอบพระคุณคณาจารย์ ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และคำตักสอนให้กับผู้ทำวิจัยในการศึกษาทุกระดับชั้น

ขอขอบพระคุณ คุณรยากร รอดระรัง เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัย ม.รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำโครงการวิจัย

สุดท้ายความรู้และ ประโยชน์ที่ได้รับจากรายงานวิจัย ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบความดีที่ได้นี้ให้แก่ผู้ มีพระคุณทุกท่าน

ภูมิภัทร์ บุปผา
ลิขิต ฉิมกลีบ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	2
1.2.2 แหล่งจ่ายพลังงาน (Battery)	6
1.2.3 วงจรคอมบิเนชัน (Combination Circuit)	7
1.2.4 ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor)	8
1.2.5 ออปโตคัปเลอร์ (Opto Coupler)	16
1.2.6 วงจรควบคุมอัตราเร็ว (Speed Control Circuit)	18
1.2.7 เฟือง (Gear)	19
1.2.8 การเลือกขนาดสายไฟฟ้า	23
1.2.9 ทบทวนวรรณกรรม	25
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	26
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	26
1.5 ข้อกำหนด	26
1.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป	26
1.5.2 ข้อกำหนดเฉพาะ	27
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา	27
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา	27
บทที่ 2 วิธีดำเนินโครงการ	28
2.1 วิธีการดำเนินโครงการ	28
2.1.1 บล็อกไดอะแกรมควบคุมการทำงานของแก้อี้อัดเคลื่อนไฟฟ้า	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.2 การออกแบบและการทำงานของบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วน	29
2.1.3 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการเคลื่อนที่	29
2.1.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุมอัตราเร็ว	37
2.1.5 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการปรับเอนนอน 70 องศา	39
2.1.6 การเลือกขนาดของมอเตอร์	39
2.1.7 การเลือกขนาดสายไฟ	44
2.2 วิธีการทดสอบ	45
2.2.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing)	45
2.2.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing)	46
2.2.3 ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing)	46
บทที่ 3 ผลการทดสอบ	47
3.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing)	47
3.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing)	53
3.3 ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing)	60
บทที่ 4 วิจัยและสรุปผลการทำโครงการ	61
4.1 วิจัยผลโครงการ	61
4.2 สรุปผลโครงการ	62
4.3 ปัญหาที่พบ	63
4.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา	63
บรรณานุกรม	64
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	66
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก	69
ภาคผนวก ข	72
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขนาดโมดูลที่ใช้อยู่ทั่วไป	21
1.2 แสดงขนาดสายไฟฟ้า	25
2.1 แสดงตารางค่าความจริงของสภาวะมอเตอร์เกียร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	32
3.1 แสดงการทดสอบสภาวะการทำงานของส่วนบังคับการเคลื่อนที่	48
3.2 แสดงการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่	50
3.3 แสดงผลการทดสอบส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ	52
3.4 แสดงการทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่	53
3.5 แสดงการบันทึกผลการทดสอบ ความเร็ว เฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด	55
3.6 แสดงการบันทึกผลการทดสอบความเร็ว เฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ระยะทาง 100 เมตร ขณะมีโหลด น้ำหนัก 80 กิโลกรัม	56
3.7 แสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชัน มุม 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม	58
3.8 แสดงผลการทดสอบเวลาในการปรับเอนขึ้น-ลง	59
3.9 แสดงการทดสอบเพื่อหาระยะเวลาสูงสุดในการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยกำหนด ช่วงเวลาการทดสอบ	60
3.10 แสดงผลการทดสอบการเบรกเมื่อเร่งด้วยความเร็วสูงสุด วัฏระยะที่รถไหลไป	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 (ก) แสดงภาพส่วนตัดเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร	4
(ข) แสดงวงจรเสมือน	
1.2 แสดงคุณลักษณะความเร็วและกระแส – แรงบิดของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	4
1.3 แสดงคุณลักษณะสมบัติจุดทำงานที่ค่าแรงดันป้อนเข้าต่างกัน	5
1.4 แสดงคุณลักษณะการทำงานเมื่อความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ต่างกัน	5
1.5 แสดงคุณลักษณะสมบัติจุดทำงานที่ค่าเส้นแรงแตกต่างกันของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร	5
1.6 แสดงโครงสร้างของวงจรคอมบินเนชัน	7
1.7 แสดงตัวถังของทรานซิสเตอร์กำลัง	8
1.8 แสดงการทำงานเป็นสวิตช์ต่อทรานซิสเตอร์เป็นวงจรอิมิตเตอร์ร่วม	9
1.9 แสดงการทำหน้าที่เป็นสวิตช์ของทรานซิสเตอร์	10
1.10 แสดงการต่อแบบคาร์ลิงตัน	11
1.11 แสดงการไบอัส DC ของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตัน	12
1.12 แสดงการนำทรานซิสเตอร์ทำเป็นสวิตช์ควบคุมมอเตอร์	13
1.13 แสดงวงจร H-Bridge Switching	14
1.14 แสดงวงจรกรณี Q1 และ Q3 ทำงาน	15
1.15 แสดงวงจรกรณี Q2 และ Q4 ทำงาน	15
1.16 แสดงตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง	16
1.17 แสดงชื่อส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง	19
1.18 แสดงชุดเฟืองทด	22
2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมการทำงานของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า	28
2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมการเคลื่อนที่	29
2.3 แสดงลักษณะการหมุนของมอเตอร์	31
2.4 แสดงลักษณะการหมุนของมอเตอร์ไปด้านหน้า	31
2.5 แสดงลักษณะการหมุนของมอเตอร์ไปด้านหลัง	31
2.6 แสดงลักษณะการหมุนกลับทิศทางของมอเตอร์(ไปข้างขวา)	31
2.7 แสดงลักษณะการหมุนกลับทิศทางของมอเตอร์(ไปข้างซ้าย)	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.8 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของแก้อีลื้อเลื่อน ไฟฟ้า	34
2.9 แสดงวงจรขับมอเตอร์	36
2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมอัตราเร็ว	37
2.11 แสดงวงจรปรับอัตราเร็ว	38
2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมการปรับเอนนอน	39
2.13 แสดงการคำนวณหาแรงบิดเมื่อรถวิ่งขึ้นทางลาดชัน	42
3.1 แสดงการควบคุมการบังคับคันโยกตามทิศทางต่าง ๆ	48
3.2 แสดงการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่	49
3.3 แสดงการทดสอบขับเคลื่อนมอเตอร์ และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ	52
3.4 แสดงการทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่	53
3.5 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบขณะมีโหลด	54
3.6 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา	58
3.7 แสดงการทดสอบการปรับเอนขึ้น-ลง	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ผู้พิการส่วนล่างของร่างกายหรือเป็นอัมพาตครึ่งล่างนั้น เป็นผู้ที่ยังพอมีความสามารถช่วยเหลือตัวเอง ได้บ้างแต่สามารถที่จะทำได้ลำบาก ผู้พิการจึงอาจเกิดความกดดันทางจิตใจ ซึ่งจะเป็นผลต่อเนื่องที่จะทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนได้ และอุปกรณ์ที่สำคัญที่จะพาผู้พิการไปยังสถานที่ต่างๆ ได้สะดวกขึ้น คือ เก้าอี้ล้อเลื่อน ไฟฟ้า จากการสอบถามผู้พิการโดยตรง ผู้พิการส่วนใหญ่มีความต้องการใช้เก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าที่ แข็งแรงและ มีชุดควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพสามารถ เคลื่อนที่ไปมาได้สะดวก ซึ่งนิภาพร อินชูลและภัทรณัฐ ลาลับ (2548, น.1-2) ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างชุด ควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า แต่มีปัญหาในเรื่องของการเคลื่อน ที่และการควบคุมความเร็วที่ ปรับได้เพียงสองระดับเท่านั้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงการ วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะ สร้างเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า ที่มีโครงสร้างที่ แข็งแรงและ พัฒนาวจรควบคุมการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น โดยเพิ่มส่วนของวงจรควบคุมอัตราเร็วเป็น 3 ระดับ เพิ่มใช้กันสะบัด เพิ่มวงจรชาร์จแบตเตอรี่และติดตั้งระบบปรับเอนนอน 70 องศา

1.2 ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง การนำเอาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการออกแบบและ พัฒนาชุดควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการอ้างอิงถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอ ถึงเหตุผลที่นำมาใช้ในการสร้าง โดยเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้ามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
- 1.2.2 แหล่งจ่ายพลังงาน (Battery)
- 1.2.3 วงจรคอมบิเนชัน (Combination Circuit)
- 1.2.4 ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor)
- 1.2.5 ออปโตคัปเปอ์ (Opto Coupler)
- 1.2.6 วงจรควบคุมอัตราเร็ว (Speed Control Circuit)
- 1.2.7 เฟือง (Gear)
- 1.2.8 การเลือกขนาดสายไฟฟ้า
- 1.2.9 ทบทวนวรรณกรรม

1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ทุกอย่าง จึงจำเป็นที่จะต้องทราบหลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถต่อให้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ (ไชยชาญ หินเกิด, 2546)

1.2.1.1. หลักการของมอเตอร์ (Motor Principle)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นหาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

แรงที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านตัวนำนั้นๆ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำ และจะเกิดการทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำจึงทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้

การกระทำของแรงที่เกิดขึ้นกับตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านในขณะที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ความยาวของตัวนำ และค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (1.1)$$

เมื่อ	\vec{F}	=	แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำ	(N)
	B	=	ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก	(Wb/m ²)
	\vec{l}	=	ความยาวของลวดตัวนำ	(m)
	I	=	กระแสที่ไหลในตัวนำ	(A)

แรงบิด (Torque)

แรงบิด คือ แรงหมุนของเพลลาเครื่องยนต์เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์ เพลลา และ ล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้ แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ใช้งานว่าต้องการให้มีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ปานกลาง หรือ สูง สามารถพิจารณาได้จากสมการดังนี้

$$\tau = F \times r \quad \text{N-m} \quad (1.2)$$

งานที่ได้จากแรงใน 1 รอบของการหมุน

$$\begin{aligned}
&= \text{แรง} \times \text{ระยะทาง} \\
&= F \times 2\pi r && \text{จูล} \\
\text{กำลังที่เกิดขึ้น} &= F \times 2\pi r \times N/60 && \text{จูล/วินาที} \\
&= (F \times r) \times 2\pi N/60 && \text{จูล/วินาที} \\
\text{เมื่อ } 2\pi N/60 &= \text{ความเร็วเชิงมุม คือ } \omega \text{ มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที} \\
\text{และ } F \times r &= \text{แรงบิด } (\tau) \\
\text{ดังนั้น กำลังที่เกิดขึ้น} &= \tau \times \omega && \text{จูล/วินาที หรือ วัตต์ (w)}
\end{aligned}$$

แรงบิดที่เพลของมอเตอร์ (Shaft torque, τ_{sh})

แรงบิดที่นำมาใช้ ในการขับเคลื่อนล้อ คือ แรงบิดที่เพล (τ_{sh}) หรือ แรงม้า (Horse-power) และขนาดกำลังม้า (Break horse-power: B.H.P.) คิดที่ตำแหน่งเบรก

$$\begin{aligned}
\text{ขนาดกำลังม้า (B.H.P.)} &= (\tau_{sh} \times 2\pi N/60)/746 && \text{กำลังม้า} \\
\text{แต่ } \tau &= 746 \times \text{B.H.P.} / (2\pi N/60) && \text{N-m} \\
\text{ดังนั้นแรงบิดที่เพล} &= \text{กำลังเอาต์พุต} / (2\pi N/60) && \text{N- m}
\end{aligned}$$

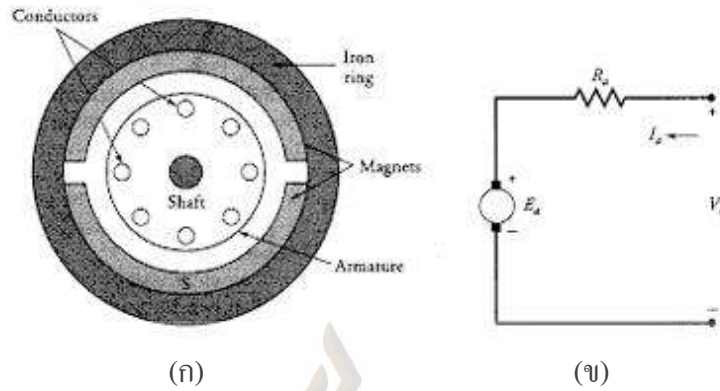
1.2.1.2 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motors)

การพัฒนาวัสดุแม่เหล็กถาวรใหม่เพื่อนำมาทำโครงสร้างของมอเตอร์ที่เรียกว่า มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรนั้นขั้วของมอเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวร ดังรูปที่ 1.1 โดยที่การสร้างมอเตอร์ชนิดนี้อยู่ในช่วงเศษส่วนแรงม้าทั้งนี้ด้วยเหตุผลเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับข้อแตกต่างในการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างมอเตอร์กระแสตรงทั่วไปนั้นเส้นแรงจะถูกควบคุมจากประมาณ กระแสที่ป้อนเข้าสู่ขดลวดสนาม ในมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร เส้นแรงแม่เหล็กถูกออกแบบมา พิเศษให้มีค่าคงที่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดทำงาน เมื่อก้าวถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ชนิดนี้ โดยเปรียบเทียบเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดกำลังเอาต์พุตเดียวกัน ถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรกลแบบแม่เหล็กถาวรนั้น ให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าและความต้องการให้วัสดุที่นำมาสร้างน้อยกว่าอีกด้วย

ถ้าพิจารณาคูณลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วรอบกำหนดไว้ดังสมการที่ 1.3

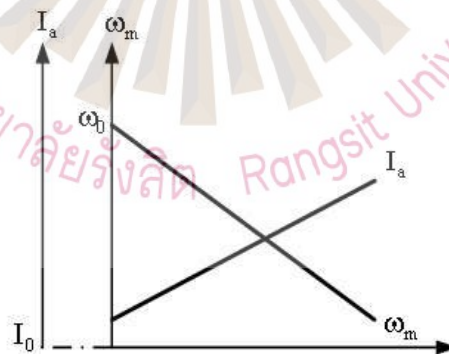
$$\omega_m = \frac{V_s}{K_a \phi_p} - \frac{R_a}{(K_a \phi_p)^2} \tau \quad (1.3)$$

$$I_a = \frac{1}{K_a \phi_p} \tau \quad (1.4)$$

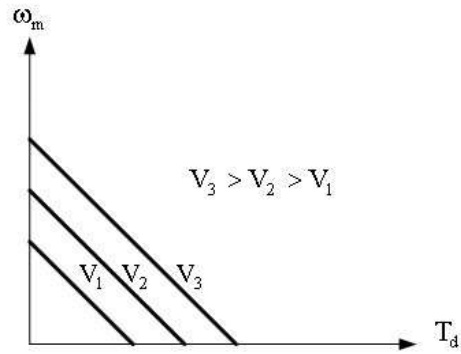


รูปที่ 1.1 (ก) แสดงภาพส่วนตัดเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร (ข) แสดงวงจรเสมือน

เมื่อ K_a คือ ค่าคงที่ของเครื่องจักรกล
 V_s คือ แรงดันป้อนเข้ามอเตอร์
 ϕ_p คือ เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว
 R_a คือ ความต้านทานขดลวดอาร์เมเจอร์
 τ คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น

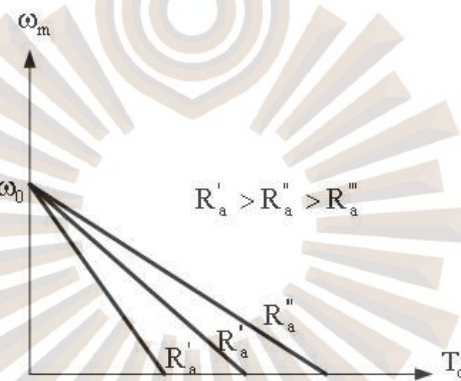


รูปที่ 1.2 แสดงคุณลักษณะความเร็วและกระแส - แรงบิดของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

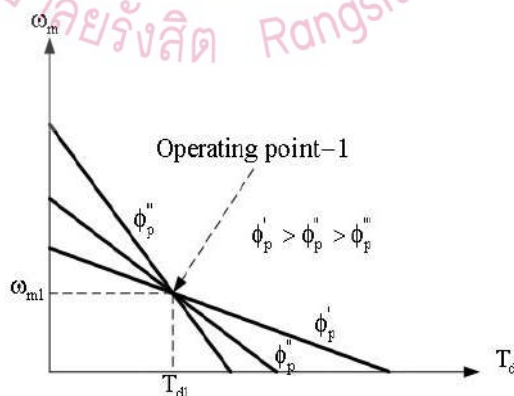


รูปที่ 1.3 แสดงคุณลักษณะสมบัติจุดทำงานที่ค่าแรงดันป้อนเข้าต่างกัน

ถ้าพิจารณาคุณลักษณะสมบัติความเร็ว-แรงบิดของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร พบว่าเราสามารถครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบและแรงบิด ได้โดยการปรับแรงดันป้อนเข้าดังรูปที่ 1.3 หรือ การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงคุณลักษณะการทำงานเมื่อความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ต่างกัน



รูปที่ 1.5 แสดงคุณลักษณะสมบัติจุดทำงานที่ค่าเส้นแรงแตกต่างกันของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

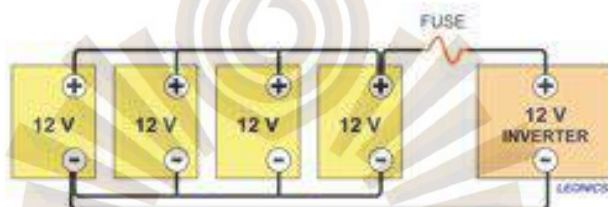
1.2.2 แหล่งจ่ายพลังงาน (Battery)

1.2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)

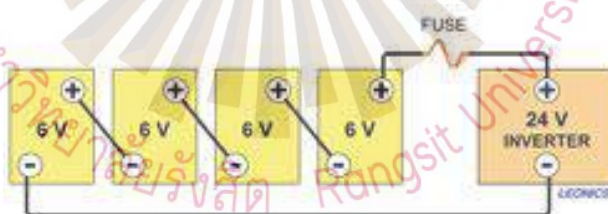
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟตจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามาก เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จะเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีและไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (Mr. Herbert Wade, 2549)

ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ มีแรงดัน 2 โวลต์ ซึ่งแบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวกันหรือแยกกล่องก็ได้

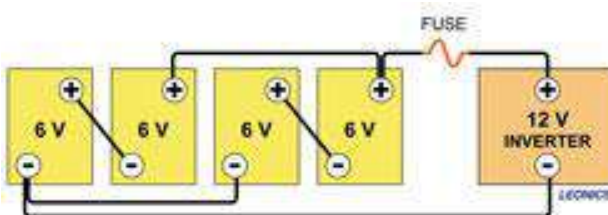
ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ



ถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน

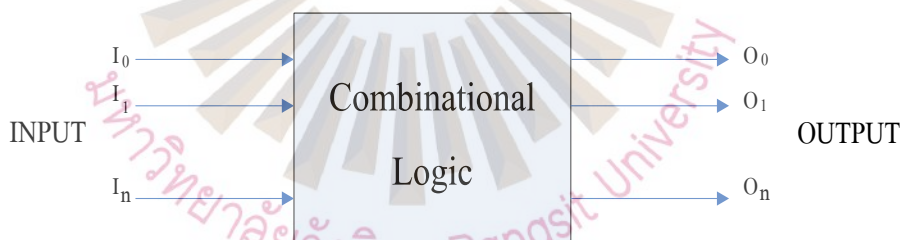


ความปลอดภัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่

- 1) ถ้ามีชิ้นโลหะวางพาดข้ามขั้วของแบตเตอรี่ที่กำลังทำการประจุ จะทำให้เกิดประกายไฟและเกิดไฟไหม้ได้
- 2) น้ำกรดในแบตเตอรี่สามารถเป็นอันตรายต่อเสื้อผ้าหรือผิวหนังได้ แต่จะไม่เป็นอันตรายมากนักถ้าล้างออกโดยทันที
- 3) น้ำกรดที่เข้าตา สามารถทำให้ตาอักเสบและบอดได้
- 4) เมื่อทำการต่อแบตเตอรี่แล้วอาจเกิดก๊าซ ถ้ามีเปลวไฟใกล้ๆ กับแบตเตอรี่จะเกิดระเบิดขึ้นได้ ดังนั้น ห้ามสูบบุหรี่, จุดไม้ขีดไฟหรือใช้ตะเกียงใกล้ๆ กับแบตเตอรี่โดยเฉพาะขณะที่ทำการตรวจสอบหรือเติมเซลล์ในแบตเตอรี่

1.2.3 วงจรคอมบิเนชัน (Combinational Logic Circuits)

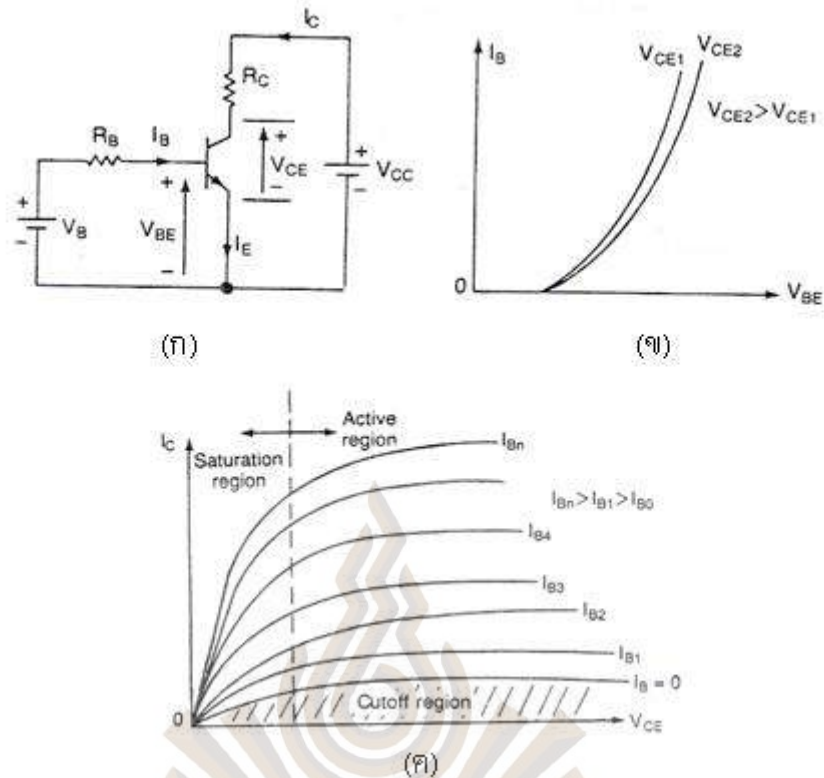
วงจรถูกแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ อ วงจรคอมบิเนชัน (Combinational Circuits) และวงจรถูกเรียง (Sequential Circuits) วงจรคอมบิเนชัน เป็นวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยลอจิกเกตต่างๆ ได้แก่ OR, AND, NOT, NOR, NAND และเกตพิเศษ การสร้างวงจรถือเป็นการนำเอาเกตต่างๆ มาต่อกันเป็นวงจรตามสมการที่เขียนขึ้นเพื่อ อให้วงจรสามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ ผลลัพธ์ทางเอาต์พุตหรือสถานะลอจิกทางเอาต์พุตของวงจรคอมบิเนชัน จะขึ้นอยู่กับสถานะลอจิกทางอินพุตเท่านั้น (วัฒนา แก้วคุณ 2546)



รูปที่ 1.6 แสดงโครงสร้างของวงจรคอมบิเนชัน

1.2.3.1 การออกแบบวงจรถูกเรียง

การออกแบบวงจรถูกเรียง จะเริ่มต้นจาก กำหนดสิ่งที่ต้องการหรือ นิยามปัญหาพร้อม กำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตขึ้นมา จากนั้นกำหนดเงื่อนไขในการทำงานให้กับตัวแปรต่างๆ ลงในค่าตารางความจริง แล้วนำเอาต์พุตแต่ละตัวที่ได้มาเขียนสมการลอจิก พร้อมทั้งทำการลดรูปสมการลอจิกเพื่อให้ได้สมการสั้นที่สุด แล้วนำสมการที่ได้มาเขียนวงจรถูกเรียงและทำการทดสอบการทำงานของวงจรถูกเรียงว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ผู้ออกแบบจะต้องวิเคราะห์โจทย์ให้ถูกต้อง แล้วจึงทำตามขั้นตอนจนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนการออกแบบวงจรถูกเรียงมีดังนี้



รูปที่ 1.8 แสดงการทำงานเป็นสวิทช์ของทรานซิสเตอร์ที่ต่อเป็นวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

รูป 1.8 ข แสดงให้เห็นลักษณะด้านอินพุตที่เกิดจากกระแสเบส (I_B) ร่วมกับแรงดันเบส-อิมิตเตอร์ (V_{BE}) ส่วนรูป 1.8 ค แสดงคุณลักษณะด้านเอาต์พุตของกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) ร่วมกับแรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) จะเห็นได้ว่า ทรานซิสเตอร์มีบริเวณทำงาน 3 บริเวณ คือ บริเวณ คัทออฟ (Cutoff Region) บริเวณแอกทีฟ (Active Region) และบริเวณการอิ่มตัว (Saturation Region)

บริเวณคัทออฟ รอยต่อทั้งสองได้รับไบอัสกลับ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามของทรานซิสเตอร์มีค่าใกล้ศูนย์

บริเวณแอกทีฟ รอยต่อคอลเลกเตอร์-เบสได้รับไบอัสกลับ และรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรง ที่บริเวณนี้ ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ คือกระแส I_C ถูกขยายตัวด้วยอัตราขยายกระแสไฟฟ้า (β)

บริเวณการอิ่มตัว รอยต่อทั้งสองได้รับไบอัสตรง

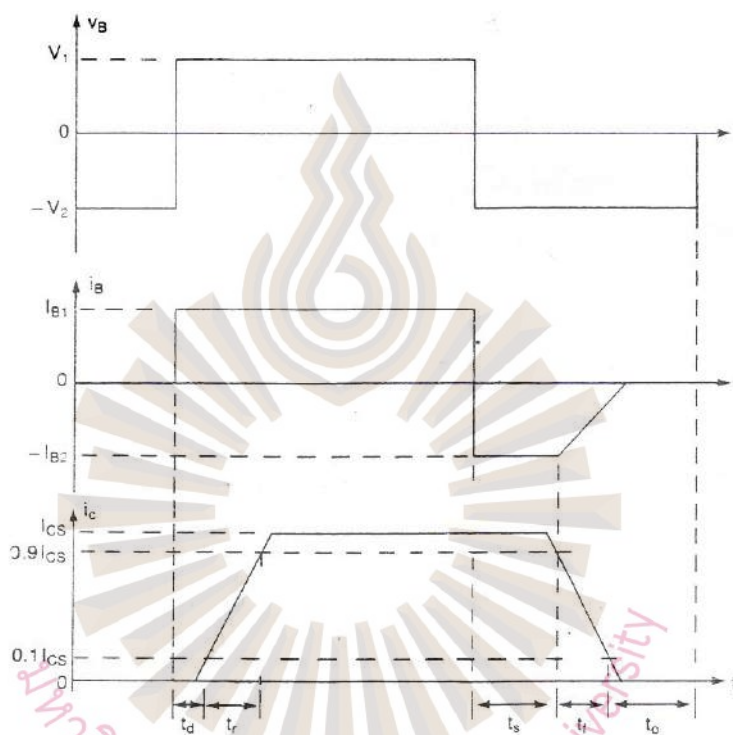
บริเวณทำงานที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ คือ บริเวณคัทออฟและบริเวณการอิ่มตัว กล่าวคือบริเวณการอิ่มตัว ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ปิดวงจร ส่วนบริเวณคัทออฟ ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เหมือนสวิทช์เปิดวงจร (มงคล ทองสงคราม, 2542)

1.2.4.2 ประโยชน์และการใช้งานของทรานซิสเตอร์กำลัง

ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นสวิทช์ในการแปรผันกำลังหรือคอนเวอร์เตอร์กำลัง

1.2.4.3 คุณลักษณะในการสวิทช์ (Switching Characteristics)

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ P-N ซึ่งมีพาหะข้างน้อยปรากฏที่บริเวณรอยต่อ (ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นคาปาซิเตอร์) พาหะข้างน้อยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานที่เป็นสวิทช์ของทรานซิสเตอร์ (มงคล ทองสงคราม, 2542) ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 แสดงการทำงานที่เป็นสวิทช์ของทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 1.9 ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานในทันทีที่มีการป้อนแรงดันและกระแสเบส ให้แก่ทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ ขณะที่แรงดันอินพุต v_B เพิ่มจากศูนย์ถึง V_1 และ I_B เพิ่มขึ้นเป็น I_{B1} กระแส I_C จะไม่ไหลในทันที เวลาที่กระแสยังไม่ไหลนี้เรียกว่าช่วงเวลาดีเลย์ (Delay Time; t_d) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ตั้งแต่เริ่มการสวิทช์ที่อินพุตขึ้นจนถึง 10% ของค่าสภาวะคงที่ (Steady State; I_{CS}) การดีเลย์นี้จะเกิดจากการเก็บประจุ

คาปาซิแตนซ์ที่บริเวณรอยต่อ B-E จนกระทั่งมีค่าถึงแรงดันไบอัสตรง v_{BE} (ประมาณ 0.7 V) หลังจากการดีเลย์ I_C จะเพิ่มถึงค่าสภาวะคงที่ (I_{CS}) โดยใช้เวลาอยู่ในช่วงเวลาที่ขาขึ้น (Rise Time; t_r) ซึ่งเป็นเวลาที่ I_C เพิ่มจาก 10% ถึง 90% ของ I_{CS} ช่วง t_r นี้ขึ้นอยู่กับเวลาคงที่ (Time Constant) ซึ่งมีค่าคาปาซิแตนซ์ที่บริเวณรอยต่อเป็นตัวกำหนด

ถ้ากำหนดให้ t_{on} เป็นเวลาในการเปิด (Turn-on Time) จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$t_{on} = t_d + t_r \quad (1.5)$$

เมื่อแรงดันอินพุตมีขั้วกลับเป็นตรงข้าม นั่นคือจาก V_1 เป็น $-V_2$ และ I_B เปลี่ยนเป็น $-I_{B2}$; I_C ยังไม่เปลี่ยนสถานะได้ในทันที แต่ต้องใช้เวลาในการคายประจุที่มีสภาพอ้อมตัวออกจากขั้วเบส โดยใช้เวลาระยะหนึ่งเรียกว่าช่วงเวลาสะสม (Storage Time; t_s) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แรงดันอินพุตกลับขั้วเป็นตรงข้ามแล้วจนถึง I_C ลดลงถึง 90% ของ I_{CS}

เมื่อย้ายประจุส่วนนี้ออกหมดแล้ว ประจุของคาปาซิแตนซ์บริเวณรอยต่อ B-E จะถูกอัดจนมีค่าถึงแรงดันอินพุต $-V_2$ ส่วน I_B จะลดลงเป็นศูนย์โดยใช้ช่วงเวลาขาลง (Fall Time; t_f) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ I_C ลดจาก 90% ถึง 10% ของ I_{CS} ช่วง t_f นี้ขึ้นอยู่กับเวลาคงที่ซึ่งมีค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อ B-E (ขณะได้รับไบอัสกลับ) เป็นตัวกำหนด

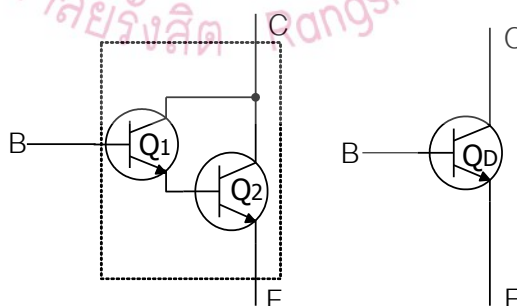
ถ้ากำหนดให้ t_{off} เป็นเวลาในการปิด (Turn-off Time) จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$t_{off} = t_s + t_f \quad (1.6)$$

ส่วนเวลาที่กระแส I_C ลดจาก 10% ของ I_{CS} เป็น 0 เราเรียกว่า ช่วงเวลาปิด (Off-Time)

1.2.4.4 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน (Darlington Connection)

การต่อแบบคาร์ลิงตัน คือ การนำทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 2 ตัวมาต่อรวมกัน และแสดงสัญลักษณ์เพื่อให้ได้ค่าเบต้า (Super Beta) หรือทำให้ได้ค่า β เป็นทวีคูณ



รูปที่ 1.10 แสดงการต่อแบบคาร์ลิงตัน

จุดเด่นของการต่อแบบคาร์ลิงตัน คือ ทรานซิสเตอร์ที่ต่อรวมกันนั้นทำงานได้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยมีอัตราขยายกระแส β_D เท่ากับผลคูณของ β แต่ละตัว

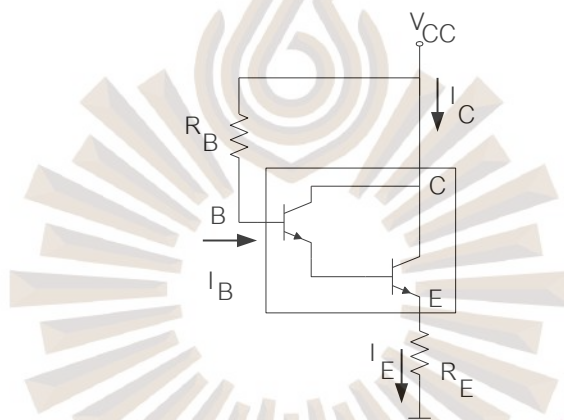
$$\beta_D = \beta_1 \beta_2 \quad (1.7)$$

ถ้าทรานซิสเตอร์ทั้งสองเหมาะสมกัน (Matched) อัตราขยายกระแสของการต่อแบบคาร์ลิงตันจะเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$\beta_D = \beta^2 \quad (1.8)$$

การต่อ ทรานซิสเตอร์ แบบคาร์ลิงตันทำให้ทรานซิสเตอร์เหล่านั้นมีอัตราการขยายกระแสสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับ β ของทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว

1.2.4.5 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bias)



รูปที่ 1.11 แสดงการไบอัสด้วยไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตัน

จากโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ที่ต่อแบบคาร์ลิงตันมีข้อดี คือ จะให้อัตราการขยายกระแสสูง หรือค่า β_D สูง สามารถหาค่าต่างๆ จากการจ่ายไบอัสด้วยไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้
วิเคราะห์สมการทางด้านอินพุต

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$I_E = (\beta_D + 1) I_B \quad (1.9)$$

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta_D + 1) I_E R_E = 0$$

$$-I_B (R_B + (\beta_D + 1) R_E) + V_{CC} - V_{BE} = 0$$

$$I_B(R_B + (\beta_D + 1)R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E} \quad (1.10)$$

วิเคราะห์สมการทางด้านเอาต์พุต

$$V_{CC} - V_{CE} - I_E R_E = 0$$

$$I_E = I_C \quad (1.11)$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_E R_E \quad (1.12)$$

$$V_E = I_E R_E \quad (1.13)$$

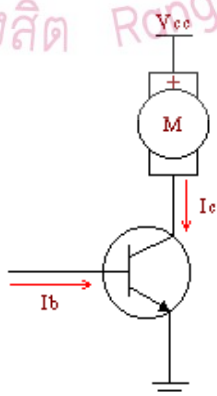
$$V_B = V_{CC} - I_E R_E \quad (1.14)$$

หรือ

$$V_B = V_{BE} + V_E \quad (1.15)$$

1.2.4.6 วงจรไฮบริดจ์สวิทชิง (High Bridge Switching)

การสร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor



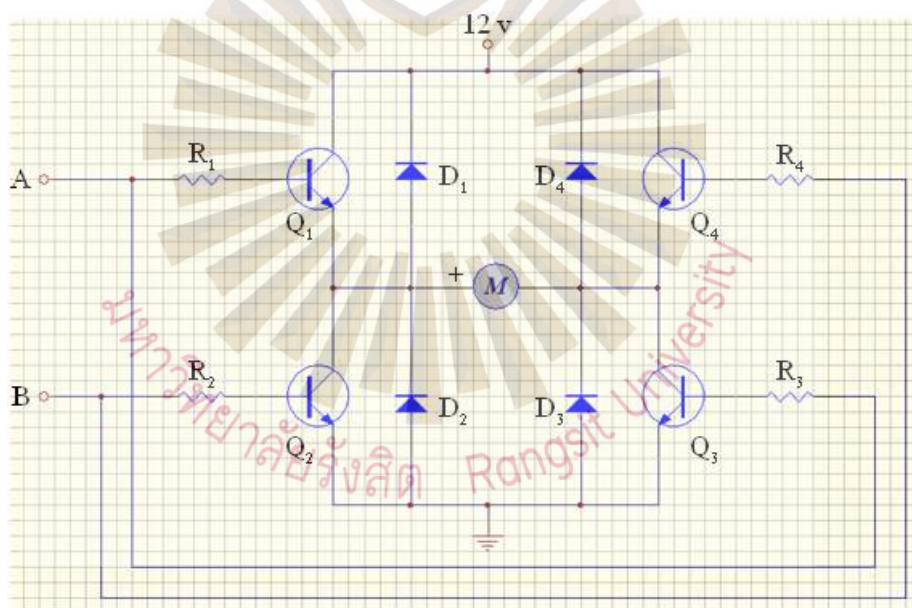
รูปที่ 1.12 แสดงการนำทรานซิสเตอร์ทำเป็นสวิทช์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์

จากรูปที่ 1.12 เป็นวงจรที่นำทรานซิสเตอร์มาเป็นสวิตช์เพื่อควบคุมมอเตอร์มีหลักการคิดง่าย ๆ คือ เมื่อป้อนกระแส I_B ด้วยปริมาณที่มากพอ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) จะทำให้กระแส I_C ไหลผ่านมอเตอร์ได้ (กระแส I_B จะต้องมีค่าเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ "อิ่มตัว" ได้)

ในสถานะอิ่มตัว (Saturation Mode) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์ปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ กระแส I_C ที่ไหลจะมีค่าเข้าใกล้ I_C (max)

ในสถานะคัตออฟ (Cutoff mode) นี้จะเกิดขึ้นเมื่อหยุดจ่ายกระแส I_B ($I_B = 0$) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์เปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเป็นอนันต์ กระแส I_C จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

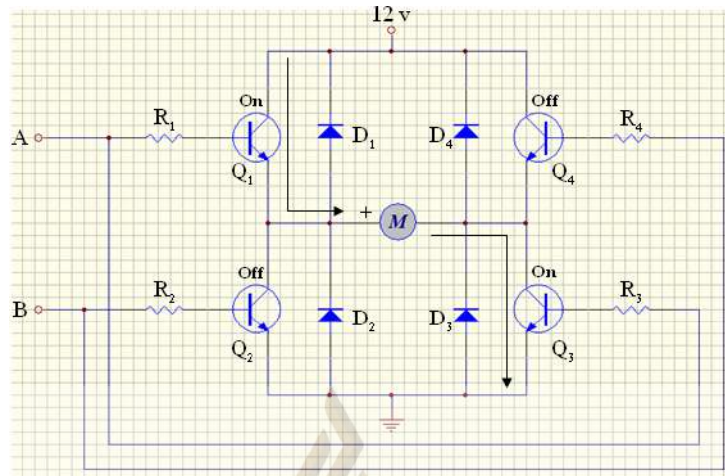
ข้อดีของการนำทรานซิสเตอร์ มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์ คือสามารถ ตอบสนอง จังหวะของการเปิด/ปิดสวิตช์ได้นับล้านครั้งต่อวินาที (ความเร็วในการตอบสนองมีหน่วยเป็น ns) และที่สำคัญ คือไม่ทำให้เกิดปัญหาความร้อนจากสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1.13 แสดงวงจร H-Bridge Switching

วงจรประกอบไปด้วย ทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_3 และ Q_2 , Q_4 แต่ละคู่การทำงานใช้ ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้ ส่วน R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 ทำหน้าที่จำกัดกระแส I_B ส่วนไดโอด D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากมอเตอร์ในขณะที่ ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน แหล่งจ่ายของวงจรใช้แบตเตอรี่

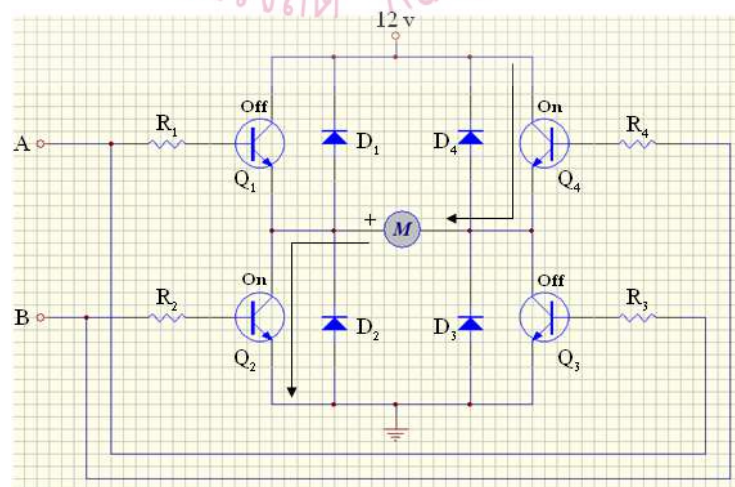
กรณีที่ Q_1 และ Q_3 ทำงาน



รูปที่ 1.14 แสดงวงจรกรณีที่ Q_1 และ Q_3 ทำงาน

เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12 V เข้าที่จุด A ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R_1 เข้าสู่ขาเบสของ Q_1 และมีกระแสไหลผ่าน R_3 เข้าสู่ขาเบสของ Q_3 ทำให้ Q_1 และ Q_3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือน สวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12 V) ผ่านขาคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของ Q_1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขาคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของ Q_3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวกและ ครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Forward ได้

กรณีที่ Q_2 และ Q_4 ทำงาน



รูปที่ 1.15 แสดงวงจรกรณีที่ Q_2 และ Q_4 ทำงาน

การจ่ายแรงดัน 12 V เข้าที่จุด B ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R_2 เข้าสู่ขาเบสของ Q_2 และมีกระแสไหลผ่าน R_4 เข้าสู่ขาเบสของ Q_4 ทำให้ Q_2 และ Q_4 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12 V) ผ่านขาคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของ Q_4 ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขาคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของ Q_2 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Reward ได้ (วิชาญ คำแสน, 2538)

1.2.5 ออฟไดคัปเปลอร์

การเชื่อมโยงทางแสง (Opto Coupler) สามารถใช้ในงานที่ต้องการแยกระบบไฟฟ้าของทั้งสองวงจรออกจากกันเช่น เมื่อใช้เอาต์พุตที่เป็นแรงดันต่ำของวงจรทางดิจิทัลไปควบคุมแรงดันไฟสูงหรืออาจใช้กับแรงดันไฟกระแสตรงที่มีค่าน้อยๆ แต่ต้องการนำไปควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงซึ่งจะเห็นว่าวงจรทั้งสองส่วนจะแยกออกจากกันทางไฟฟ้าเป็นหน้าที่หลักของตัวเชื่อมโยงทางแสงที่สำคัญชัยวัฒน์ รัชย์กุลและทวีทรัพย์เมืองไทย 2546)

1.2.5.1 พื้นฐานของตัวเชื่อมโยงทางแสง

ตัวเชื่อมโยงทางแสง บางครั้งเราเรียกว่า “ตัวแยกโดยใช้แสง (Opto Isolator)” เป็นอุปกรณ์เดี่ยวที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสง โดยที่ทั้งสองชิ้นส่วนนี้แยกจากกัน โดยมีฉนวนที่โปร่งใสกั้นกลาง ชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังทึบแสง ดังแสดงในรูปที่ 1.16



1. Anode
2. Cathode
3. Emitter
4. Collector

รูปที่ 1.16 แสดงตัวเชื่อมโยงทางแสง

1) ตัวกำเนิดแสง

ตามปกติไดโอดเปล่งแสงจะมีอัตรากำหนดของกระแสสูงสุดที่ผ่านตัวมันไว้ ในช่วงที่เป็นมิลลิแอมป์ แต่ในงานที่กระแสไหลผ่านตัวมันเป็นช่วงๆ ก็สามารถจะใช้ได้สูงกว่า อัตราของมันเล็กน้อยได้ ค่าอัตราสูงสุดอีกค่าหนึ่งที่มีกำหนดไว้ คือแรงดันย้อนกลับสูงสุดระหว่าง แคโทดและแอโนด หากนำไปใช้งานที่จะทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับสูงกว่าที่กำหนด จะทำให้เกิด การพังทลายของรอยต่อ หรือที่เรียกว่า “เบรกดาวน์” ขึ้น ผลก็คือ เกิดกระแสอินพุทไหลอย่าง มหาศาล ปัญหานี้อาจป้องกันได้โดยการต่อไดโอดป้องกันภายนอกเข้าไป ออฟไดคัปเปลอร์ส่วนใหญ่จะใช้เกล็ดเขียวมาซีไนค์เป็นตัวกำเนิดแสง แต่บางชนิดจะทำจากสารประกอบอลูมิเนียมมาซีไนค์ที่ให้ประสิทธิภาพในการคับปลิงสูงกว่า

2) ตัวรับแสง

ตัวรับแสงภายในออฟไดคัปเปลอร์ก็เป็นเช่นเดียวกับโฟโตทรานซิสเตอร์ หรือ โฟโตไดร์ลิ่งตันตัวเดี่ยวๆทั่วไป ดังนั้นข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะตัวที่บอกมา เช่น ค่าแรงดันสูงสุด ระหว่างคอลเลกเตอร์และอีมีเตอร์โดยขาเบสลอยไว้ ที่ยังไม่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ที่รอยต่อขึ้น รวมทั้งกำหนดกระแสสูงสุดในขณะใช้งานหรือเมื่อเบสลอย คุณสมบัติของตัวรับแสง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการตอบสนองรวมและแบนด์วิดท์ของออฟไดคัปเปลอร์ เนื่องจากปกติ ไดโอดเปล่งแสงจะสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าอยู่แล้ว เวลาการตอบสนองของออฟไดคัปเปลอร์ จะลดลง

เมื่อโหลดที่นำมาด้านเอาต์พุทมีค่าต่ำๆ ทำให้ผู้ผลิตจะบอกค่า Rise Time และ Fall Time หรือ แบนด์วิดท์ เมื่อทดสอบที่โหลดค่าต่ำๆ

1.2.5.2 การประยุกต์ใช้งาน

คุณสมบัติของออฟไดคัปเปลอร์ สามารถนำไปใช้งานต่างๆที่เป็นลิเนียร์โหมด และ สวิตชิงโหมดเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ธรรมดา ในแบบลิเนียร์โหมด เอาต์พุททรานซิสเตอร์จะ ทำงานในบริเวณลิเนียร์ของมัน การใช้งานต้องอาศัยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส คอลเลกเตอร์กับกระแสอินพุทเป็นข้อมูลสำคัญ สำหรับสวิตชิงโหมดทรานซิสเตอร์จะทำงานอยู่ ระหว่างย่านคัทออฟและย่านอิ่มตัวของมัน

ออฟไดคัปเปลอร์สามารถนำไปใช้แทนรีเลย์ และพัลซ์ทรานสฟอร์มเมอร์ในวงจรที่ ต้องการแยกส่วนของวงจรสองส่วนอย่างเด็ดขาดได้เป็นอย่างดี ด้วยคุณสมบัติที่ดีกว่าคือความเร็ว ในการส่งข้อมูล ใช้ได้ในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนสูงเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ชนิดอื่น เช่น ทีทีแอล ซีมอส หรือวงจรมอนอลอกได้เป็นอย่างดี

1.2.5.3 คุณสมบัติที่ดีของออฟโต้คัปเปิลอร์

- 1) การแยกโดยใช้แสงมีประสิทธิภาพสูงมาก
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตและเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นดี
- 3) สามารถใช้ร่วมกับทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์หรือวงจรถลอจิกได้
- 4) ความเร็วสูง จึงใช้คัปปลิ่งสัญญาณความถี่สูงได้ดี
- 5) อายุการใช้งานยาวนาน
- 6) ทนต่อการกระทบกระเทือนได้ดี
- 7) อัตราการส่งผ่านกระแสสูง

1.2.6 วงจรควบคุมอัตราเร็ว (Speed Control Circuit)

หลักการเบื้องต้นของวงจรชอปเปอร์

หลักการเบื้องต้นของวงจรชอปเปอร์สามารถพิจารณาจากวงจรพื้นฐาน ในวงจรประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สวิตช์และโหลดเป็นตัวความต้านทาน วงจรที่ใช้งานจริง ๆ จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่แทนสวิตช์ เมื่อเปิดสวิตช์แรงดันที่โหลดจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย เมื่อปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะตกสู่ศูนย์ แรงดันเฉลี่ยที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเปิด-ปิดสวิตช์ จึงเรียกวิธีนี้ว่า ชอปเปอร์ ถ้าช่วงเวลาที่สวิตช์เปิด-ปิด เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันก็จะทำให้แรงดันที่โหลด (V_o) และกระแสที่โหลดเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าแรงดันเฉลี่ย (Average Voltage) จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายดังนี้

$$V_{o(ave)} = \frac{V_s}{T} T_{on} = \frac{V_s T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (1.16)$$

โดย T_{on} = ระยะเวลาที่สวิตช์เปิด

T_{off} = ระยะเวลาที่สวิตช์ปิด

T = ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล

ลักษณะการเปิด-ปิดสวิตช์ในวงจร ชอปเปอร์ ขึ้นพื้นฐานในรูปสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ

1) T_{on} เปลี่ยนแปลง และ T_{off} เปลี่ยนแปลง แต่ T คงที่ เรียกการทำงานลักษณะนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation) รูปร่างของแรงดันเอาต์พุตแรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ T_{on} น้อยลง

2) T_{on} คงที่ และ T_{off} เปลี่ยนแปลง แต่ T เปลี่ยนแปลงเรียกการทำงานลักษณะเช่นนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Modulation) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ T_{off} มากขึ้น

3) เป็นลักษณะการทำงานของ การเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ และการเปลี่ยนแปลงความถี่

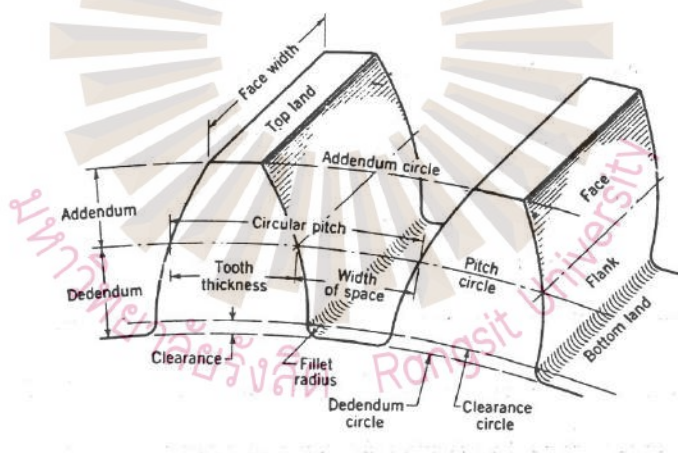
ถ้าวงจรชอปเปอร์มีโหลดเป็นตัวต้านทาน กระแสที่ไหลเข้าโหลดจะมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับแรงดันที่โหลด แต่ถ้าโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำกระแสที่ไหลเข้าโหลดจะไหลอย่างต่อเนื่อง โดยต่อไดโอด (ชิต เครื่องพิมพ์ และเทพประภัทร ว่องวัฒนอนันต์ 545)

1.2.7 เฟือง (Gear)

ส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเฟืองและการออกแบบเฟืองมี 4 ส่วน ได้แก่ การหมุนของเฟือง และชุดเฟืองทดอัตราส่วนของชุดเฟืองทดชนิดต่าง ๆ การวิเคราะห์แรงในเฟืองและชุดเฟือง ทด การออกแบบขนาดเฟืองที่ขึ้นกับความแข็งแรงของวัสดุเฟืองและการออกแบบเฟืองที่ขึ้นอยู่กับการพิจารณาถึงความสึกหรอ

1.2.7.1 ส่วนต่างๆ ของเฟือง

เฟืองตรงเป็นเฟืองที่พบเห็นอยู่บ่อยซึ่งใช้ส่งกำลังหมุนระหว่างเพลาสองเพลานานกัน รูปร่างโดยปกติจะเป็นรูปทรงกระบอก มีฟัน ที่ขนานกับแกนอยู่โดยรอบตัวเฟือง ลักษณะของฟันและชื่อส่วนต่างๆ ของเฟืองได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 แสดงชื่อส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง

วงกลมพิตซ์ (Pitch circle) d เป็นวงกลมทางทฤษฎีที่จะใช้สำหรับการคำนวณเฟืองคู่ที่ ขบกับวงกลมพิตซ์จะสัมผัสกัน เฟืองตัวเล็กกว่าของเฟืองคู่จะเรียกว่า Pinion และเฟืองตัวที่ใหญ่กว่า จะเรียกว่า Gear

ระยะพิตซ์ (Circular pitch) p คือระยะทางที่วัดจากจุดหนึ่งบนวงกลมพิตซ์ของฟันเฟือง หนึ่งไปยังตำแหน่งเดียวกันของฟันเฟืองถัดไป ระยะพิตซ์จึงเท่ากับ ความหนาของฟันเฟืองบวกกับ ช่องว่างระหว่างฟันเฟือง

โมดูล (Module) m คืออัตราส่วนของขนาดวงกลมพิตช์ d กับจำนวนฟัน z ของเฟือง มีหน่วยเป็น mm. โมดูลจะเป็นสิ่งซึ่งบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบ SI เฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องเป็นเฟืองที่ขนาดโมดูลเดียวกัน ขนาดของโมดูลที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

ช่วงสูงบนของฟัน (Addendum) a คือระยะที่วัดตามแนวรัศมีจากวงกลมพิตช์ไปถึงผิวบน (top land) ของฟัน

ช่วงสูงล่างของฟัน (Dedendum) b คือระยะที่วัดตามแนวรัศมีจากวงกลมพิตช์ไปถึงผิวล่าง (bottom land) ของฟัน

ความลึกทั้งหมดของร่องฟัน (Whole depth) คือผลบวกของ a กับ b

ช่องว่าง (Clearance) c คือช่องว่างที่เกิดจากผลต่างของระยะช่วงสูงล่าง b กับระยะช่วงสูงบน a ของฟันเฟืองคู่ที่ขบกัน

แบคแลช (Backlash) คือส่วนของช่องว่างระหว่างฟัน (tooth space) มีค่าเกินขนาดของความหนาของฟันเฟือง (Tooth thickness) s ที่ขบกัน โดยวัดบนวงกลมพิตช์

อัตราทด (Velocity ratio) m_ω คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับ (driver gear) ต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม (driven gear) ถ้าให้เฟืองขับและเฟืองตามแทนด้วย 1 และ 2 แล้วอัตราทด ก็คือ

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (1.17)$$

เมื่อ ω เป็นความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

n เป็นความเร็วของ (rpm)

d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ (mm)

z เป็นจำนวนฟันเฟือง

อัตราส่วนเฟือง (Gear ratio) m_g คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของ gear ต่อ จำนวนฟันของ pinion เมื่อ pinion เป็นเฟืองตัวขับแล้ว $m_g = m_\omega$

จากความสัมพันธ์ของโมดูลกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ และจำนวนฟันเฟืองจะได้สูตรหลักสำหรับการคำนวณเฟืองคือ

$$m = \frac{d}{z} \quad (1.18)$$

เมื่อ m เป็น โมดูล (mm)
สูตรในการคำนวณหาระยะพิตซ์

$$p = \pi \frac{d}{z} \quad (1.19)$$

เมื่อ p เป็นระยะพิตซ์ของฟันเฟือง (mm)

และแทนค่า $\frac{d}{z}$ ด้วย m จะได้ว่า

$$p = \pi m \quad (1.20)$$

จากสมการ 1.20 จะสามารถอธิบายขนาดของโมดูลของเฟืองให้เข้าใจได้ง่ายคือ เฟืองที่มีขนาดโมดูลใดๆ จะมีขนาดระยะพิตซ์เป็นจำนวนเท่ากันของค่า π เช่น เฟืองขนาดของโมดูล 5 ก็จะมีขนาดระยะพิตซ์เป็น 5 เท่าของค่า π คือเท่ากับ $5 \times 3.1416 = 15.71 \text{ mm}$

ตารางที่ 1.1 ขนาดโมดูลที่ใช้อยู่ทั่วไป

โมดูลที่เสนอให้	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4
	5	6	8	10	12	16	20
	25	32	40	50			
โมดูลที่ให้เลิกต่อไป	1.125	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5
	5.5	7	9	11	14	18	22
	28	36	45				

1.2.7.2 ชุดเฟืองทด

การส่งกำลังระหว่างเฟืองตัวขับ z_2 กับเฟืองตัวตาม z_3 คำนวณหาความเร็วของเฟืองตาม n_3 ได้ คือ

$$n_3 = \frac{z_2}{z_3} n_2 = \frac{d_2}{d_3} n_2 \quad (1.21)$$

สำหรับเฟืองตรงทิศทางการหมุนจะเป็นไปตามกฎมือขวา (Right-hand rule) และจะเป็นเครื่องหมายบวกหรือลบก็จะขึ้นอยู่กับทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา จุดเฟืองทอด้งในรูปที่ 1.18 ประกอบด้วยเฟือง 5 ตัว ความเร็วรอบของเฟืองตัวที่ 6 จะหาได้จากสมการ คือ

$$n_6 = \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} n_2 \quad (1.22)$$

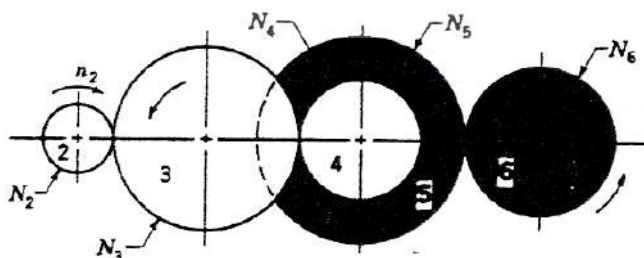
เฟือง z_3 เป็นเฟืองสะพาน (idler) z_3 ในสมการ 2.22 ก็ต้องตัดออกไปและผลของ z_3 จะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของเฟือง z_6 เท่านั้น เฟือง z_2, z_3 และ z_5 เป็นเฟืองตัวขับ ขณะที่เฟือง z_3, z_4 และ z_6 เป็นเฟืองตัวตาม เราจึงทำให้ e เป็น train value มีค่าดังสมการ คือ

$$e = \frac{\text{ผลคูณของเฟืองตัวขับทั้งหมด}}{\text{ผลคูณของเฟืองตัวตามทั้งหมด}} \quad (1.23)$$

เมื่อสมการ 1.23 ใช้สำหรับเฟืองตรง ค่า e จะเป็นบวกถ้าเฟืองตัวสุดท้ายหมุนในทิศทางเดียวกันกับเฟืองตัวแรก และ e จะเป็นลบ ถ้าเฟืองตัวสุดท้ายหมุนในทิศทางตรงกันข้าม และสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ คือ

$$n_L = en_F \quad (1.24)$$

เมื่อ n_L เป็นความเร็วรอบของเฟืองตัวสุดท้าย
 n_F เป็นความเร็วรอบของเฟืองตัวแรก



รูปที่ 1.18 แสดงชุดเฟืองทอ

1.2.8 การเลือกขนาดสายไฟฟ้า

ในการเดินสายเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดของสายไฟจะขึ้น อยู่กับประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า วิธีการเดินสาย อุณหภูมิรอบ บด้น รวมไปถึงถึงจำนวนสายที่เดินรวมกัน ดังนั้นผู้ที่ทำการเลือก ใช้ขนาดสายไฟฟ้าจึงควรรู้ข้อมูลเบื้องต้นคือ

- 1) ชนิดของสายไฟฟ้า
- 2) พิกัดการทนกระแสของสายไฟ
- 3) ตัวคูณลดพิกัดกระแสเกี่ยวกับอุณหภูมิ
- 4) ตัวคูณลดพิกัดกระแสเกี่ยวกับจำนวนสาย
- 5) อุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เป็น โหลดแบบต่อเนื่องหรือไม่

1.2.8.1 พิกัดการทนกระแสของสายไฟฟ้า

เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการเลือกขนาดของสายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งมีความสำคัญและเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ถ้าเลือกขนาดสายไฟฟ้าไม่เหมาะสมกับการใช้งานในวงจร จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น สายไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงและอาจไหม้ได้ เนื่องจากขนาดของสายไฟฟ้า ที่ใช้งานไม่สามารถรองรับ โหลดที่มีกระแสสูงๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็นสายที่ต่อในวงจรย่อยหรือ สายที่เดินเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เช่น หลอดไฟ, เครื่องทำน้ำร้อน, เต้าไมโครเวฟ, มอเตอร์ เป็นต้น ซึ่งมีทั้งระบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ดังนั้นควรมีการหาค่าพิกัดการทนกระแสของสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาได้โดยนำค่าของโหลดที่ต้องการใช้ทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยค่าของแรงดันไฟฟ้า ผลที่ได้ ออกมาจะเป็นค่าของกระแสไฟฟ้า แล้วนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ไปเทียบกับตารางขนาดของ สาย โดยคิดเผื่อไว้ประมาณ 20 % จากสมการ

$$I = \frac{P}{E} \quad (1.25)$$

เมื่อ I = ค่าของกระแสไฟฟ้า (A)
 P = กำลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งหมด (W)
 E = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด (V)

กรณีที่ 1 เมื่อพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า สำหรับโหลดแบบต่อเนื่องต้องไม่ต่ำกว่า 125 % ของพิกัดกระแสโหลดจากสูตร

$$I_c \geq 1.25 \times I_L \quad (1.26)$$

กรณีที่ 2 เมื่อพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า สำหรับโหลดแบบไม่ต่อเนื่องต้องไม่ต่ำกว่า 100 % ของพิกัดกระแสโหลดจากสูตร

$$I_C \geq 1 \quad (1.27)$$

เมื่อ I_C = กระแสของสายที่ใช้ (Amp)
 I_L = กระแสของโหลดทั้งหมด (Amp)

1.2.8.2 กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียภายในสาย

เนื่องจากสายไฟฟ้ามีความต้านทาน ภายใน ดังนั้นเมื่อส่งกระแส ไฟฟ้าเข้าไปในสาย จะต้องมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายเกิดขึ้น การคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ จึงจะได้ออกมาเป็น ประสิทธิภาพของการส่งกำลังไฟฟ้า

$$Efficiency = \frac{E_L}{E_G} \times 100\% \quad (1.28)$$

เมื่อ E_L = กำลังไฟฟ้าที่โหลด
 E_G = กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิด

1.2.8.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง เมื่อสายมีความยาวมากความต้านทานของสายก็ย่อมมี มากด้วย (ทั้งไปและกลับ) การสูญเสียในสายก็ย่อมจะมีมาก อาจเป็นเหตุให้แสงสว่างหรี่ลง หรือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ติดก็ได้ ดังนั้น ถ้าเป็นการส่งไฟฟ้าระยะทางไกล ๆ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึง ศักย์ไฟฟ้าลดทอนภายในสายด้วย

1.2.8.4 การเลือกใช้สายไฟฟ้า

ในการเลือกใช้สายไฟฟ้าควรเลือก ใช้สายไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน จากสำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (มีเครื่องหมาย มอก.) และเลือกชนิดของสายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพการ ติดตั้งใช้งาน เช่น สายไฟชนิดอ่อน ห้ามนำไปใช้ดินยึดติดกับผนังหรือลากผ่านบริเวณที่มีการกด ทับสาย เนื่องจากฉนวนของสายไม่สามารถรับแรงกดกระแทกจากอุปกรณ์จับยึดสายได้ เช่น สายไฟชนิด PVC เป็นต้น ซึ่งขนาดของสายไฟฟ้าต้องเลือกให้เหมาะสมกับแรง ดันไฟฟ้าและ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.2 แสดงขนาดของสายไฟฟ้า PHELPS DODGE 1x (SIZE) SQ.MM. PD-VSF 300V PVC 70 °C TIS 11-2531, TABLE 10 (Phelps dodge International Corp., 2004, page 1-2)

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Nominal Sectional Area	Min. Number & Max. Diameter of Wire	Thickness of Insulation	Overall Diameter	Allowable Ampacities Free Air @ 40°C	Minimum Insulation Resistance @ 70°C	Cable Weight (approx)	Standard Packing
	mm ²	No. / mm	mm	mm	A	MΩ - km	kg / km	m
1 x 0.5 PD-VSF	0.5	28/0.16	0.8	2.9	11	0.0160	12	100/C
1 x 0.5 PD-VSF	0.5	16/0.21	0.8	2.9	11	0.0160	12	100/C
1 x 0.75 PD-VSF	0.75	42/0.16	0.8	3.1	14	0.0140	15	100/C
1 x 0.75 PD-VSF	0.75	24/0.21	0.8	3.1	14	0.0140	15	100/C
1 x 1 PD-VSF	1	32/0.21	0.8	3.3	16	0.0127	18	100/C
1 x 1.5 PD-VSF	1.5	30/0.26	0.8	3.6	21	0.0111	23	100/C
1 x 2.5 PD-VSF	2.5	50/0.26	0.8	4.0	29	0.0092	33	100/C

C = Packing in coil
R = Packing in reel

1.2.9 ทบทวนวรรณกรรม

ประวัติความเป็นมาของการออกแบบรถเข็นสำหรับผู้ป่วย

ในปี ค.ศ. 1869 รถเข็นคันแรกได้จดสิทธิบัตรโดยสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ออกให้ (Hotchkiss, 1993)

ในปี ค.ศ. 1903 รถเข็นไฟฟ้าทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ 12 V และใช้มอเตอร์ 3/8 แรงม้า ในตอนนั้นรถเข็นไม่ได้ถูกใช้เพื่อเคลื่อนย้ายคนพิการ แต่เป็นสิ่งปูทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต (Kamenetz, 1969)

ในปี ค.ศ. 1909 รถเข็นแบบกะทัดรัด ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ท่อโลหะแทนชิ้นส่วนเดิมที่เป็นไม้ที่มีขนาดใหญ่ (Kamenetz, 1969)

ช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 รถเข็นไฟฟ้ารุ่นแรก ได้ถูกนำมาใช้สำหรับผู้พิการ โดยใช้แบตเตอรี่และมอเตอร์อย่างง่ายที่มรความเร็วระดับเดียว คือ On/Off (Kamenetz, 1969)

ในปี ค.ศ. 1937 ได้มีการจดสิทธิบัตรรถเข็นที่พบเป็นแบบ X brace (ท่อยึดตัว X) โดยวิศวกร 2 คน คือ Everest และ Jennings เป็นผู้ออกแบบตลอดจนเก้าอี้ที่สามารถพับได้จากข้างบนลงข้างล่าง, จากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ตำแหน่งการพับจะเป็นลักษณะไขว้กับล้อ ความคิดพื้นฐานนี้ยังคงเป็นมาตรฐานในการสร้างรถเข็นที่ใช้มือในปัจจุบัน (Hobson, 1990)

ในปี ค.ศ. 1940 ได้มีการออกใบสิทธิบัตรให้กับรถเข็นไฟฟ้าคันแรก (Hobson, 1990)

ในปี ค.ศ. 1950 Sam Duke ได้รับสิทธิบัตรที่เขาประยุกต์จากรถเข็นมือเป็นรถเข็นที่ขับเคลื่อนด้วยกำลังความเร็วที่เหมาะสม (เป็นหน่วยกำลังในการขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงกับเก้าอี้โดยใช้ ubolts) (Kamenetz, 1969)

ในปี ค.ศ. 1970 โครงของรถเข็นทำด้วยอลูมิเนียมที่มีคุณภาพ ได้ถูกนำมาใช้ใน การตลาดและเป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิวัติรถเข็นที่มีน้ำหนักเบากว่า โดยเทคโนโลยีนี้ได้ทำให้ รถเข็นหลายชนิดมีน้ำหนักเบาขึ้น (Hobson, 1990)

ในปี ค.ศ. 1980 รถเข็นไฟฟ้าส่วนใหญ่ในท้องตลาดยังคงมีลักษณะใหญ่หนัก โดยมีความ ต้องการเพื่อการขนส่งชิ้นส่วนกำลังของเก้าอี้! คือถูกคำนวณในส่วนของโครงสร้างให้มีความ แข็งแกร่งขึ้นเพื่อให้รองรับน้ำหนักได้ (Hobson, 1990)

ในปี ค.ศ. 1990 รถเข็นไฟฟ้าที่นิยมใช้กันในท้องตลาดสามารถพับได้ตลอดจนสามารถขน ย้ายได้ และที่พักเท้ากับแบตเตอรี่มีขนาดเล็กลง (Comsis, 1988)

ในปี ค.ศ. 2005 นิภาพร อินชุ และภัทรณัฐ ลาวัลย์ ได้มีการศึกษาการออกแบบและสร้างชุด ควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า ซึ่งมีปัญหาในเรื่องการเคลื่อนที่ และการควบคุมความเร็ว ที่สามารถปรับได้เพียงสองระดับเท่านั้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาการออกแบบและพัฒนาชุดควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าสำหรับผู้พิการ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 สร้างโครงสร้างเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าที่มีความแข็งแรง

1.4.2 ออกแบบและพัฒนาชุดควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าที่มีคุณภาพและ ประสิทธิภาพที่ดี

1.4.3 ใช้วงจรลอจิก ให้มีการบังคับเคลื่อนที่ด้วยการใช้คันบังคับแบบโยกเพื่อบังคับเดินหน้า , เดินหน้าถอยหลัง, เดินหน้าถอยหลัง, ถอยหลัง, ถอยหลังถอยหลัง, ถอยหลังถอยหลัง, ถอยหลังถอยหลัง และ ถอยหลังถอยหลังพร้อมระบบเบรก

1.4.4 เพิ่มส่วนของวงจรควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ เพิ่มใช้คันสับเพื่อความสะดวกในการ เคลื่อนที่ และวงจรชาร์จแบตเตอรี่

1.4.5 เพิ่มระบบปรับเอนนอนได้ 70 องศา

1.4.6 มีคู่มือการใช้เครื่อง

1.5 ข้อกำหนด

1.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1.5.1.1 มีแบตเตอรี่ 12 V

1.5.1.2 สามารถเคลื่อนที่ได้โดยการเดินหน้า , เดินหน้าเลี้ยวซ้าย , เดินหน้าเลี้ยวขวา , ถอยหลัง , ถอยหลังเลี้ยวซ้าย , ถอยหลังเลี้ยวขวา , เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา พร้อมระบบเบรก

1.5.1.3 สามารถวิ่งบนทางเรียบและทางลาดชันได้ และติดตั้งระบบควบคุมอัตราเร็ว และมีใช้กันสะบัด

1.5.1.4 สามารถปรับเอนนอนได้เพื่อการพักผ่อน

1.5.1.5 สามารถวิ่งได้บนพื้นถนนลาดยาง คอนกรีต หรือผิวถนนที่มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย ด้วยความเร็วที่สามารถปรับเร่งได้

1.5.2 ข้อกำหนดเฉพาะ

1.5.2.1 ทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 12Ah/20 hr จำนวน 3 ก้อน

1.5.2.2 ใช้มอเตอร์ดีซี ชนิดทดเฟือง (DC Gear Motor) 2 ตัว ขนาด 36 VDC

1.5.2.3 มีการบังคับเลี้ยวด้วยการใช้คันบังคับแบบโยก เพื่อบังคับเดินหน้า , เดินหน้าเลี้ยวซ้าย , เดินหน้าเลี้ยวขวา , ถอยหลัง , ถอยหลังเลี้ยวซ้าย , ถอยหลังเลี้ยวขวา , เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา พร้อมระบบเบรก

1.5.2.4 สามารถวิ่งบนทางเรียบและทางลาดชันที่มุมไม่เกิน 15 องศา พร้อมกับระบบควบคุมอัตราเร็วได้สูงสุด 5.47 km/hr และมีใช้กันสะบัดเพื่อเพิ่มความนุ่มนวลในการเคลื่อนที่

1.5.2.5 สามารถปรับเอนนอนได้ 70 องศา

1.6 ข้อกำหนดการศึกษา

1.6.1 แก้อั้วล้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถขึ้นทางลาดชันได้ไม่เกิน 15 องศา

1.6.2 แก้อั้วล้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถรับน้ำหนักคนได้ไม่เกิน 80 กิโลกรัม

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.7.1 Wheelchair คือ แก้อั้วล้อเลื่อนสำหรับผู้พิการ

1.7.2 Motor คือ เครื่องกลที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานรูปอื่นให้เป็นพลังงานกล

1.7.3 Battery คือ เซลล์ไฟฟ้าซึ่งต่อกันอยู่อย่างอนุกรมหรืออย่างขนาน หรือทั้ง 2 อย่าง

1.7.4. วงจรลอจิก คือ วงจรที่มีสภาวะการทำงานอยู่ 2 ระดับ คือ 0 และ 1 วงจรลอจิกจะถูกแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ วงจรคอมบินเนชัน และวงจรซีควเอนเชียล

1.7.5 วงจรคอมบินเนชัน คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยลอจิกเกตต่าง ๆ ได้แก่ OR, AND, NOT, NOR, NAND และเกตพิเศษที่ได้กล่าวมาแล้ว การสร้างวงจรถือเป็นการนำเอา เกตต่าง ๆ มาต่อกันเป็นวงจรตามสมการที่กำหนดขึ้น เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ

บทที่ 2

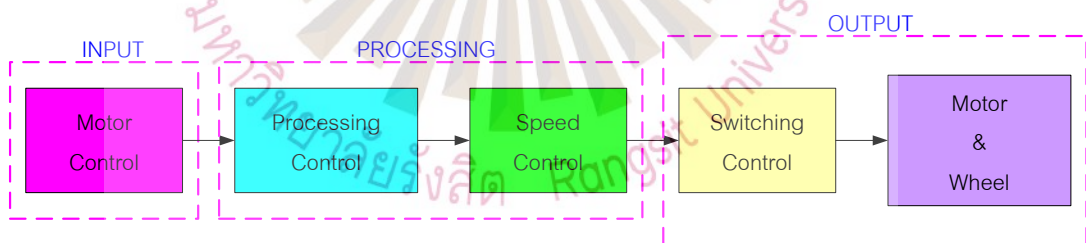
วิธีดำเนินงานโครงการ

2.1 วิธีดำเนินงานโครงการ

ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบและพัฒนาชุดควบคุมการทำงานของแก้อีล้อเลื่อนไฟฟ้า โดยแยกการออกแบบ และการสร้างแต่ละส่วนออกเป็นภาคต่าง ๆ แล้วนำมารวมกันในภายหลัง รวมถึงแนวคิดในการออกแบบวงจร และหลักการทำงานของวงจรในภาคต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 2.1.1 บล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมการทำงานของแก้อีล้อเลื่อนไฟฟ้า
- 2.1.2 การออกแบบและการทำงานของบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วน
- 2.1.3 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการเคลื่อนที่
- 2.1.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุมอัตราเร็ว
- 2.1.5 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการปรับเอนนอน 70 องศา
- 2.1.6 การเลือกขนาดของมอเตอร์
- 2.1.7 การเลือกขนาดสายไฟ

2.1.1 บล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมการทำงานของแก้อีล้อเลื่อนไฟฟ้า



ชุดควบคุมการเคลื่อนที่และชุดควบคุมอัตราเร็ว

รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมการทำงานของแก้อีล้อเลื่อนไฟฟ้า

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ คือในส่วนของอินพุตให้ผู้ป่วยเป็นผู้ควบคุมการทำงาน ซึ่งใช้คันบังคับแบบโยกในการควบคุม การเคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่างๆ เพื่อส่งสัญญาณมาให้ภาคควบคุมทำการประมวลผลตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้หลักการออกแบบวงจรคอมบินเนชันในการกำหนดเงื่อนไขแล้วนำสมการที่ได้มาออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการทำงาน ซึ่งในส่วนของชุดควบคุมกับส่วนควบคุมอัตราเร็วจะทำงานร่วมกัน ถ้าชุดควบคุมมีการสั่งงานมาจะทำให้ชุดควบคุมอัตราเร็วพร้อมทำงาน โดยที่ชุดควบคุมอัตราเร็วที่ใช้หลักการของพัลส์วidthมอดูเลชันในการกำหนดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า และส่งสัญญาณมาให้ส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์เกียร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์จากการควบคุมการ ON และ OFF ของทรานซิสเตอร์ที่ต่อเป็นวงจรไฮบริดจ์สวิทซึ่งเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ ทำให้แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ต้องการ และสามารถควบคุมอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ได้ 3 ระดับ พร้อมทั้งสามารถปรับเอนนอนได้ 70 องศา (ซึ่งนับจากนักฟิงหลังที่ขนานกับลำตัวในลักษณะตั้งฉากกับพื้น ไปจนถึงจุดปรับเอนนอนสูงสุด)

2.1.2 การออกแบบและการทำงานของบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วน

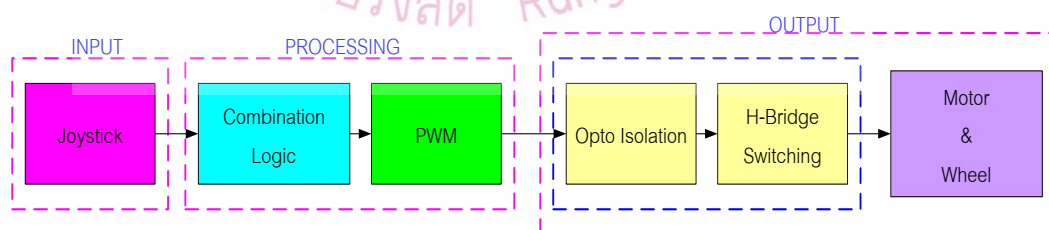
การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าได้มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1.2.1 ภาคควบคุมการเคลื่อนที่

2.1.2.2 ภาคควบคุมการปรับอัตราเร็ว

2.1.2.3 ภาคควบคุมการปรับเอนนอนได้ 70 องศา

2.1.3 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมการเคลื่อนที่

2.1.3.1 การออกแบบชุดควบคุมการเคลื่อนที่ แบ่งออกเป็นภาคต่างๆ ดังนี้

1) ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่

ภาคควบคุมการเคลื่อนที่ ใช้ค้นบังคับแบบโยกในการควบคุมให้แก้อีล็คชั่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ เช่น เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, เดินหน้าเลี้ยวขวา, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, ถอยหลังเลี้ยวขวา, เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา พร้อมระบบเบรก โดยสัญญาณที่ได้จากการตั้งงานถูกส่งไปให้ภาคควบคุมทำการประมวลผล

2) ส่วนของการควบคุมการทำงาน

เป็นส่วนที่รับคำสั่งจากค้นบังคับแบบโยกมาทำการประมวลผล ตามสมการลอจิกที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้แก้อีล็คชั่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่าง ๆ ที่ต้องการ และระหว่างภาคควบคุมกับภาคขับเคลื่อนมอเตอร์จะมีส่วนของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นต่ออยู่ระหว่างกลาง เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ในส่วนของชุดควบคุมการทำงานใช้หลักการ ออกแบบวงจรคอมบินชันในการกำหนดสถานะการทำงานของลอจิก ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

2.1 นิยามปัญหา

ออกแบบการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ของแก้อีล็คชั่นไฟฟ้า ถ้าต้องการให้เอาท์พุตทำงานตามสภาวะการกดสวิทซ์ทางด้านอินพุต จะต้องให้สภาวะลอจิกเป็น “1” ที่ อินพุตนั้น ๆ แต่ถ้าสภาวะทางด้านอินพุตทุกตัว มีสภาวะลอจิกเป็น “0” จะอยู่ในสภาวะหยุดการทำงาน





2.2 กำหนดตัวแปร

อินพุต



S_1	คือ	เดินหน้า
S_2	คือ	ถอยหลัง
S_3	คือ	เลี้ยวขวา
S_4	คือ	เลี้ยวซ้าย

เอาท์พุต มีลักษณะการหมุนของมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.3



M_{L+}	คือ	ขั้ว + ของมอเตอร์ล้อซ้าย ทำให้มอเตอร์ซ้ายหมุนไปด้านหน้า
M_{L-}	คือ	ขั้ว - ของมอเตอร์ล้อซ้าย ทำให้มอเตอร์ซ้ายหมุนไปด้านหลัง
M_{R+}	คือ	ขั้ว + ของมอเตอร์ล้อขวา ทำให้มอเตอร์ขวาหมุนไปด้านหลัง
M_{R-}	คือ	ขั้ว - ของมอเตอร์ล้อขวา ทำให้มอเตอร์ขวาหมุนไปด้านหน้า

M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}
			



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการหมุนของมอเตอร์

M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}
			

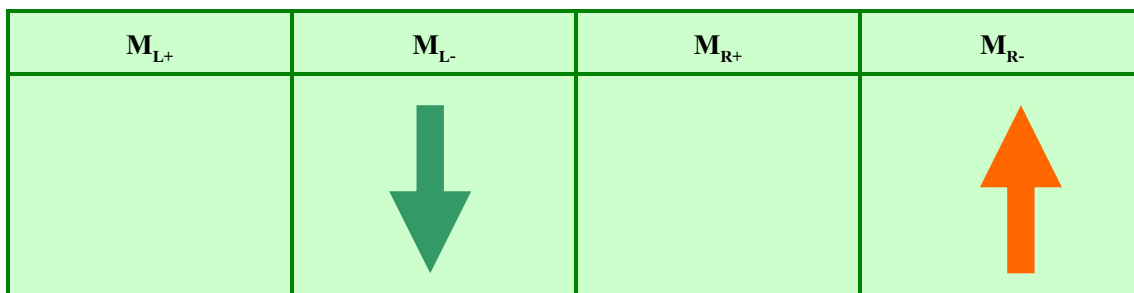
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการหมุนมอเตอร์ไปด้านหน้า

M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}
			

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการหมุนมอเตอร์ไปด้านหลัง

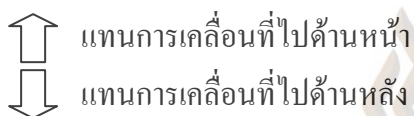
M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}
			

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการหมุนกลับทิศทางของมอเตอร์ (ไปข้างขวา)



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการหมุนกลับทิศทางของมอเตอร์ (ไปข้างซ้าย)

หมายเหตุ ลูกศรแทนทิศทางการเคลื่อนที่



2.3 เขียนตารางค่าความจริง

ตารางที่ 2.1 แสดงตารางค่าความจริงของสภาวะมอเตอร์เกียร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

อินพุต				เอาต์พุต				สภาวะการทำงาน
S_4	S_3	S_2	S_1	M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}	
0	0	0	0	0	0	0	0	ไม่ทำงาน
0	0	0	1	1	0	0	1	เดินหน้า
0	0	1	0	0	1	1	0	ถอยหลัง
0	0	1	1	x	x	x	x	x
0	1	0	0	1	0	1	0	เลียขวา
0	1	0	1	1	0	1	0	เดินหน้า + เลียวขวา
0	1	1	0	1	0	1	0	ถอยหลัง + เลียวขวา
0	1	1	1	x	x	x	x	x
1	0	0	0	0	1	0	1	เลียซ้าย
1	0	0	1	0	1	0	1	เดินหน้า + เลียวซ้าย
1	0	1	0	0	1	0	1	ถอยหลัง + เลียวซ้าย
1	0	1	1	x	x	x	x	x
1	1	0	0	x	x	x	x	x
1	1	0	1	x	x	x	x	x

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

อินพุต				เอาต์พุต				สถานะการทำงาน
S_4	S_3	S_2	S_1	M_{L+}	M_{L-}	M_{R+}	M_{R-}	
1	1	1	0	x	x	x	x	x
1	1	1	1	x	x	x	x	x

2.4 เขียนสมการลอจิก

M_{L+}

$S_4 S_3$	00	01	11	10
$S_2 S_1$				
00	0	1	x	0
01	1	1	x	0
11	x	x	x	x
10	0	1	x	0

$$M_{L+} = S_3 + S_1 \bar{S}_4$$

M_{L-}

$S_4 S_3$	00	01	11	10
$S_2 S_1$				
00	0	0	x	1
01	0	0	x	1
11	x	x	x	x
10	1	0	x	1

$$M_{L-} = S_4 + S_2 \bar{S}_3$$

M_{R+}

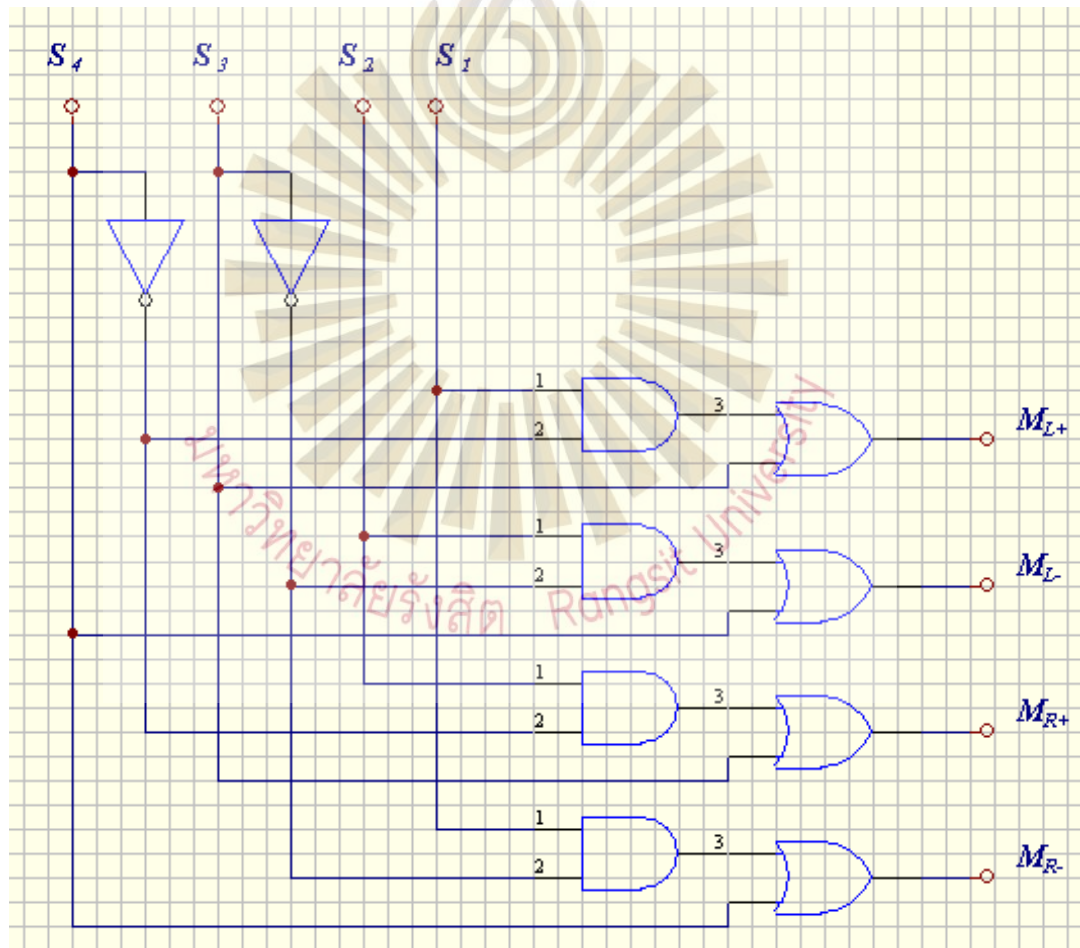
$S_4 S_3$	00	01	11	10
$S_2 S_1$				
00	0	1	x	0
01	0	1	x	0
11	x	x	x	x
10	1	1	x	0

$$M_{R+} = S_3 + S_2 \bar{S}_4$$

M_R	$S_4 S_3$	00	01	11	10
	$S_2 S_1$	00	01	11	10
	00	0	0	x	1
	01	1	0	x	1
	11	x	x	x	x
	10	0	0	x	1

$$M_R = S_4 + S_1 \bar{S}_3$$

2.5 เขียนวงจรถลอจิก



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรถลอจิกการทำงานของเก้าอี้ต่อลิ้นไฟฟ้า

3) ส่วนของการขับเคลื่อนมอเตอร์เกียร์และส่วนขับเคลื่อน (Motor Driving and Wheel Driving)

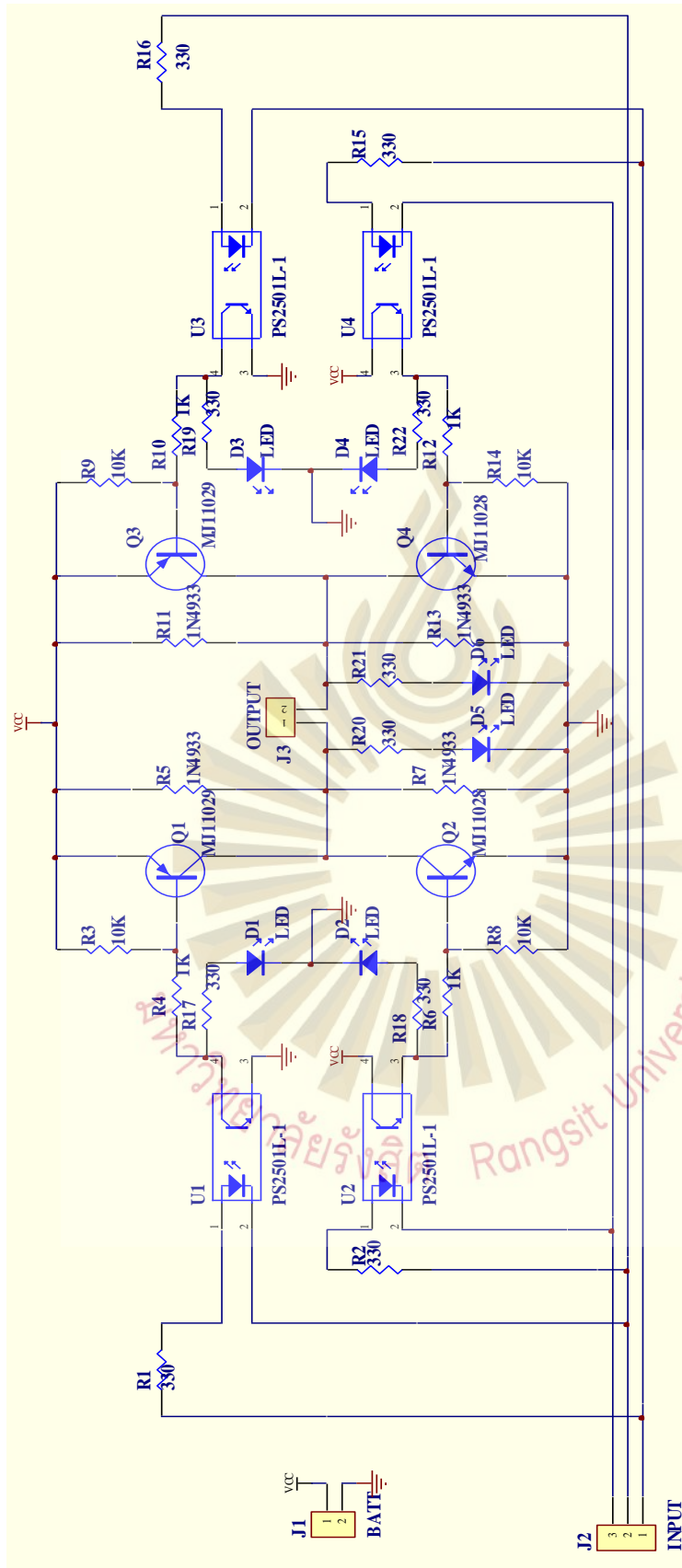
3.1 ส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์เกียร์

เป็นส่วนที่รับคำสั่งจากภาคประมวลผลมาขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ล้อทั้ง 2 ข้าง เพื่อควบคุมการทำงานของเกียร์ล้อเลื่อนไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่าง ๆ ที่ต้องการ ซึ่งในส่วน
ของภาคประมวลผลใช้วงจรถอดจิกที่มีแรงดันและกระแสต่ำไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์ ได้
โดยตรง จึงจำเป็นต้องผ่านภาคขับเคลื่อนมอเตอร์เกียร์เพื่อขยายกระแสให้สูงขึ้น ซึ่งมีขั้นตอน
ออกแบบดังนี้

3.1.1 กำหนดให้ควบคุมมอเตอร์เกียร์ขนาด 6V/400 W จำนวน 2 ตัว

3.1.2 เลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่างชนิดกัน คือเบอร์ MJ11029 และ MJ11028 ต่อเป็นวงจรถอดจิกสวิทช์ ซึ่ง นำคุณสมบัติของการ Cut-Off และการ Saturation มา
ประยุกต์ใช้งานเป็นสวิทช์ และที่สำคัญเป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถควบคุมการปิด /เปิด เพื่อ
ควบคุมการไหลของกระแสที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์เกียร์ได้

3.1.3 ที่ระหว่างวงจรถวลการเคลื่อนที่กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
เลือกใช้ออปโตไอโซเลทเป็นตัวแยกระหว่าง 2 ส่วนออกจากกันโดยใช้หลักการของแสง ซึ่ง
คุณสมบัติของออปโตไอโซเลทจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง และเปลี่ยน
พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.9

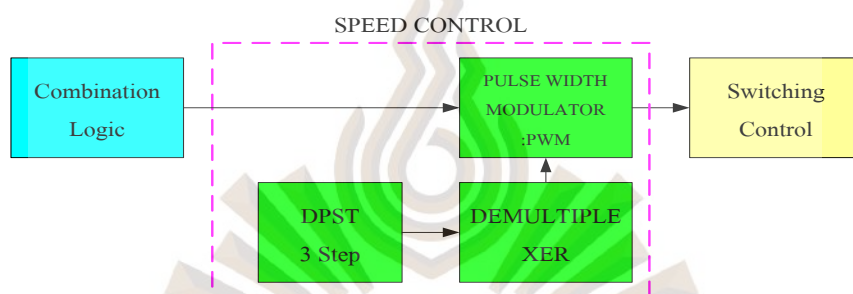


รูปที่ 2.9 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

3.2 ส่วนภาคขับเคลื่อนล้อ

ที่ระหว่างมอเตอร์กับล้อใช้โซ่เป็นตัวส่งถ่ายกำลังงานเพื่อขับเฟืองที่ติดอยู่กับล้อ ให้เก้อี่ล้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่างๆที่ต้องการได้ ซึ่งเฟืองที่ติดอยู่กับมอเตอร์มีขนาดเล็กกว่าเฟืองที่ติดอยู่กับล้อ โดยเลือกโซ่และเฟืองที่ใช้สำหรับรถจักรยานยนต์ ทำให้ได้อัตราทดรอบ 2.2 เท่า เมื่อมอเตอร์หมุน 1 รอบ เนื่องจากต้องการออกแบบให้มีความเร็วไม่มากแต่ต้องการแรงขับเคลื่อนมากกว่า จึงเลือกให้เฟืองที่ล้อมีขนาดใหญ่กว่าเฟืองที่มอเตอร์ เพราะคุณสมบัติของเฟืองเล็กทดเฟืองใหญ่ ทำให้ได้แรงบิดสูง

2.1.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุมอัตราเร็ว

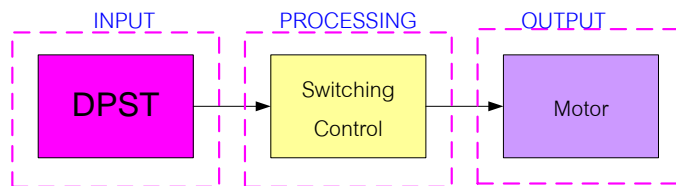


รูปที่ 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมอัตราเร็ว

เมื่อภาคควบคุมมีการสั่งงานมาจากคันบังคับแบบโยกให้ เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา จะทำให้วงจรพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่นพร้อมทำงาน ขึ้นอยู่กับการปรับระดับอัตราเร็วที่สามารถปรับได้ 3 ระดับ ซึ่งวงจรในส่วนของการปรับอัตราเร็ว ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ มีสวิทซ์ที่ทำหน้าที่เลือกระดับค่าความต้านทานจากวงจรดีมัลติเพล็กซ์เซอร์เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าดีวีดีไซเคิลให้กับวงจรพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่นที่ใช้ไอซีไทเมอร์ เบอร์ LM/NE555 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น จะทำการกำหนดช่วงความกว้างของสัญญาณพัลส์ หรือช่วงที่มีการเกิดสัญญาณพัลส์ (T_{ON}) โดยที่ความถี่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การควบคุมความเร็วใช้วิธี การควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด

2.1.5 การออกแบบวงจรภาคควบคุมการปรับเอนนอน 70 องศา



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุมการปรับเอนนอน

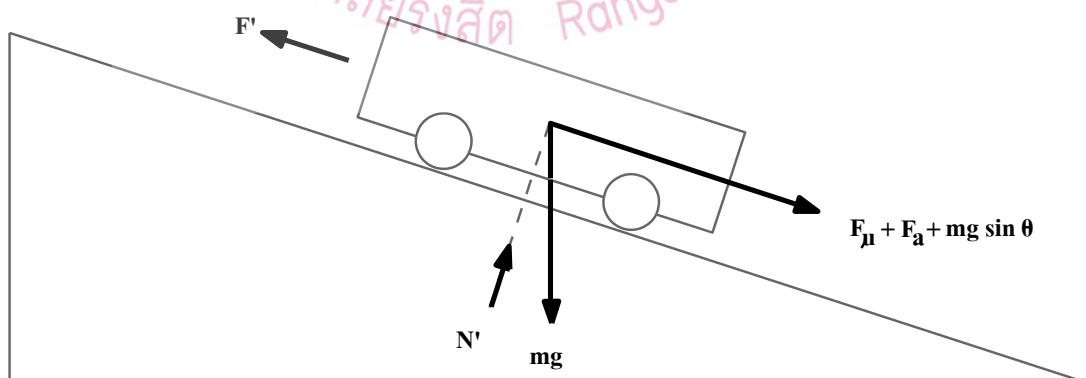
ใช้สวิตช์ 3 ทางควบคุมทิศทางการไหลของกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เพื่อควบคุมการปรับเอนนอน คือในสถานะปกติสวิตช์จะอยู่ในสถานะ off เมื่อไม่มีการสั่งงาน แต่เมื่อมีการกดสวิตช์ไปด้านใดด้านหนึ่ง สวิตช์จะอยู่ในสถานะ on มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ถ้ากดสวิตช์ไปอีกด้านหนึ่ง สวิตช์จะอยู่ในสถานะ on เช่นกัน แต่มอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

2.1.6 การเลือกขนาดของมอเตอร์

2.1.6.1 การหาขนาดของมอเตอร์

การหาขนาดของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญเพื่อที่จะใช้งานได้มีประสิทธิภาพคือ แรงบิด (*Torque* : τ) ความเร็วรอบ (*rpm*) และขนาดกำลังของมอเตอร์ (*Power* : *kW*) สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะทำการคำนวณค่าพิกัดต่างๆ เบื้องต้นดังต่อไปนี้

1) การคำนวณหาแรงบิด



รูปที่ 2.13 แสดงการคำนวณหาแรงบิดเมื่อรถวิ่งขึ้นทางลาดชัน

ในการเคลื่อนที่ของรถนั้น ถึงแม้ตัวรถจะเคลื่อนที่เป็นแนวเชิงเส้น แต่ที่แท้จริงแล้ว ตัวรถคือสิ่งที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับล้อรถ โดยล้อจะเคลื่อนที่ในแนวเชิงมุมหรือเคลื่อนที่แบบการหมุนและทำให้รถเคลื่อนที่ได้ สิ่งที่ทำให้ล้อรถหมุนไปนั้นไม่ใช่แรงในแนวเคลื่อนที่ของรถแต่เป็นแรงบิด (*Torque*: τ) ซึ่งเกิดจากแรง F และรัศมีการหมุน r โดยวัตถุที่เคลื่อนที่ในเชิงมุมจะมีความเร็วเชิงมุม (ω) คงที่ก็ต่อเมื่อแรงบิดที่ทำให้เกิดแรงหมุนและแรงบิดที่ต้านทานการหมุนมีค่าเท่ากัน

ในที่นี้จะพิจารณาแรงด้านการเคลื่อนที่ของรถ ที่เกิดขึ้น 2 แรง คือ แรงต้านที่ล้อทั้ง 4 และแรงต้านจากลมเมื่อรถกำลังเคลื่อนที่ โดยจะทำการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการ ทำให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่และแรงที่ใช้ในการเพิ่มความเร็วรถด้วยอัตราเร่งคงที่ สมการที่ใช้เพื่อหาแรงที่ทำให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวราบ คือ

$$F_1 = \mu N + \left(\frac{1}{2} \times \rho_a \times C_d \times A_v \times V^2\right) \quad (2.1)$$

เมื่อ μ = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานการหมุน ($0.012 < \mu < 0.015$) ใน
ที่นี้ใช้ค่า 0.015

N = แรงจากน้ำหนักรถที่กระทำกับพื้นถนน มีค่าเท่ากับ m

กำหนดให้น้ำหนักรถรวมกับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 130 kg. จะได้ค่า $N = mg = 130 \times 9.81$

ρ_a = ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.169 kg/m^3

C_d = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ($0.3 < \rho_a < 0.5$) ในที่นี้ใช้ค่า 0.4

A_v = พื้นที่ด้านหน้ารถ ในที่นี้ใช้ค่า $0.9 \times 0.4 = 0.36 \text{ m}^2$

V = ความเร็วของรถในที่นี้ใช้ค่า $5.47 \text{ km/hr.} = 1.52 \text{ m/s}$

แทนค่าในสมการที่ (2.1) จะได้

$$\begin{aligned} F_1 &= (0.015 \times 130 \times 9.81) + \left(\frac{1}{2} \times 1.169 \times 0.40 \times 0.36 \times (1.52)^2\right) \text{ N} \\ &= 19.32 \text{ N} \end{aligned}$$

ค่าแรง F_1 ที่คำนวณได้นี้เป็นแรงที่เกิดผลจากแรงต้านอากาศเมื่อรถมีความเร็วสูงสุดคงที่ หากไม่คิดผลจากแรงต้านอากาศแล้วแรงที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานการหมุนจะคำนวณได้เท่ากับ μN ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 19.13 N

จากนั้นคำนวณหาแรงที่ทำให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จากสมการ

$$F_2 = ma \quad (2.2)$$

เมื่อ $F_2 =$ แรงที่คิดเมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว
 $m =$ มวลของรถรวมน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 130 kg.
 $a =$ อัตราเร่ง ในที่นี้กำหนดให้รถมีอัตราเร่งความเร็วจาก 0 – 5.47 km/hr. ในเวลา 65.76 วินาที คำนวณอัตราเร่งได้เท่ากับ 0.02 m/s^2

แทนค่าในสมการที่ (2.2) จะได้

$$\begin{aligned} F_2 &= 130 \times 0.02 && \text{N} \\ &= 2.60 && \text{N} \end{aligned}$$

รวมผลลัพธ์ของแรงที่เกิดขึ้นจะได้

$$\begin{aligned} F_a &= F_1 + F_2 && \text{N} \\ &= 19.32 + 2.60 && \text{N} \\ &= 21.92 && \text{N} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ล้อ จากสมการ

$$\tau_1 = F_a \times r \quad \text{N-m} \quad (2.3)$$

เมื่อ $\tau_1 =$ แรงบิด
 $F_a =$ แรงที่เกิดขึ้น
 $r =$ รัศมีของล้อรถ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.19 m.

แทนค่าในสมการที่ (2.3) จะได้

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 21.92 \times 0.19 && \text{N-m} \\ &= 4.16 && \text{N-m} \end{aligned}$$

ค่าแรงบิดที่ได้เป็นแรงที่เกิดขึ้นขณะล้อหมุน สำหรับการหาค่าแรงบิดของมอเตอร์ต้นกำลังนั้นจะคิดถึงอัตราทดรอบด้วยจากสมการ

$$P = \tau \omega \quad (2.4)$$

เมื่อ P คือ ค่ากำลังมีค่าคงที่ และไม่คิดผลจากการสูญเสียในชุดเฟืองทดรอบจะได้

$$\tau_1 \omega_1 = \tau_2 \omega_2 \quad (2.5)$$

เมื่อ $\tau_1 =$ แรงบิดที่ล้อ
 $\omega_1 =$ ความเร็วเชิงมุมของล้อ
 $\tau_2 =$ แรงบิดที่เพลามอเตอร์
 $\omega_2 =$ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

ในการวิจัยนี้ใช้อัตราทดรอบของรถที่นำมาทดลอง เท่ากับ 2.2:1 ดังนั้นจะได้ค่า

$$\omega_2 / \omega_1 = 2.20$$

จากนั้นคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์จากสมการ (2.5) จะได้

$$\begin{aligned}\tau_2 &= 4.16/2.20 && \text{Nm} \\ &= 1.89 && \text{Nm}\end{aligned}$$

แรงบิดของมอเตอร์ที่คำนวณได้นี้เป็นการคำนวณเมื่อรถเคลื่อนที่ในแนวราบ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ถนนจะไม่ได้เคลื่อนที่ในทางเรียบตลอดเวลา จึงทำการคำนวณหาแรงบิดเมื่อรถต้องวิ่งขึ้นทางลาดชันดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 2.13 ทำการคำนวณเป็นขั้นตอนเดียวกับที่ได้คำนวณในแนวราบ โดยเริ่มจากหาแรงที่ทำให้รถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดคงที่ดังนี้

$$F_1 = \mu N + \left(\frac{1}{2} \times \rho_a \times C_d \times A_v \times V^2\right) + mg \sin \theta \quad (2.6)$$

โดยที่ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้มีค่าเช่นเดียวกับสมการที่ (2.1) โดยมีตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงและเพิ่มเข้ามา คือ

$$\theta = \text{มุมลาดชันที่รถวิ่งได้ ในที่นี้ใช้ค่า 11 องศา}$$

$$N = \text{แรงจากน้ำหนักรถที่กระทำที่พื้นถนน มีค่าเท่ากับ } mg \cos \theta$$

กำหนดให้น้ำหนักรถรวมกับน้ำหนักคน เท่ากับ 130 kg. จะได้ค่า $N = mg \cos \theta = 130 \times 9.81 \times 0.98 \text{ N}$

แทนค่าในสมการที่ (2.6) จะได้

$$\begin{aligned}F_1 &= (0.015 \times 130 \times 9.81 \times 0.98) + \left(\frac{1}{2} \times 1.169 \times 0.40 \times 0.36 \times \right. \\ &\left. (1.52)^2\right) + (130 \times 9.81 \times 0.19) \quad \text{N} \\ &= 262.31 \quad \text{N}\end{aligned}$$

เมื่อ $F_1 =$ แรงที่คิดผลจากแรงต้านอากาศ เมื่อรถมีความเร็วสูงสุดคงที่ที่คิดบนพื้นเอียง

ทำการคำนวณหาแรงที่ทำให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่จากสมการ

$$F_2 = ma \quad (2.7)$$

เมื่อ $F_2 =$ แรงที่คิดเมื่อรถมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่คิดบนพื้นเอียง m, a ไม่เปลี่ยนแปลง ทำการแทนค่าในสมการที่ (2.7) จะได้เท่าเดิม คือ

$$\begin{aligned}F_2 &= 130 \times 0.02 && \text{N} \\ &= 2.60 && \text{N}\end{aligned}$$

รวมแรงลัพธ์ที่รถเคลื่อนที่บนพื้นเอียงจะได้

$$\begin{aligned}
 F'_a &= F'_1 + F'_2 && \text{N} \\
 &= 262.31 + 2.60 && \text{N} \\
 &= 264.91 && \text{N}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ล้อจากสมการ

$$\tau'_1 = F'_a \times r \quad \text{N-m} \quad (2.8)$$

แทนค่าในสมการที่ (2.8) จะได้

$$\begin{aligned}
 \tau'_1 &= 264.91 \times 0.19 && \text{N-m} \\
 &= 50.33 && \text{N-m}
 \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้สมการ

$$\tau'_1 \omega_1 = \tau'_2 \omega_2 \quad (2.9)$$

เมื่อใช้อัตราทดรอบของรถที่นำมาทดลอง เท่ากับ 2.2:1 เท่าเดิมดังนั้นจะได้ค่าแรงบิดของมอเตอร์โดยแทนค่าลงในสมการที่ (2.9) จะได้

$$\begin{aligned}
 \tau'_2 &= 50.33 / 2.20 && \text{Nm} \\
 &= 22.88 && \text{Nm}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงบิดมอเตอร์ที่ต้องการได้จากคำนวณ คือ 22.88 Nm

2) การคำนวณหาความเร็วรอบ

หลังจากได้แรงบิดที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถแล้วขั้นต่อไปเป็นการคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ โดยคำนวณจากความเร็วสูงสุดที่ต้องการของรถในที่นี้ใช้ที่ความเร็ว 5.47 km/hr. หรือ 1.52 m/s จากนั้นทำการเปลี่ยนจากความเร็วเชิงเส้นเป็นความเร็วเชิงมุมของล้อโดยสมการที่ (2.10)

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= V / r && \text{rad / s} && (2.10) \\
 \omega_1 &= 1.52 / 0.19 && \text{rad / s} \\
 &= 8.00 && \text{rad / s}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้อัตราทดรอบ 2.2:1 ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต้องการ คือ

$$\begin{aligned}
 \omega_2 &= 8.00 \times 2.20 && \text{rad / s} \\
 &= 17.60 && \text{rad / s}
 \end{aligned}$$

จากนั้นเปลี่ยนเป็นหน่วยรอบต่อนาที (rpm) โดยสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{ความเร็วรอบ} &= \omega_2 \times 60 / 2\pi \quad \text{rpm} & (2.11) \\
 &= 17.60 \times 60 / 2\pi \quad \text{rpm} \\
 &= 2.93 \quad \text{rpm}
 \end{aligned}$$

3) การคำนวณหาค่าพิกัดกำลัง

ในการเลือกมอเตอร์มาใช้งานนั้นจะทำการเลือกมอเตอร์ที่สามารถให้ทั้งแรงบิดและความเร็วรอบสูงเท่าที่ต้องการ ในที่นี้ที่แรงบิด 22.88 Nm และความเร็วรอบ 17.6 rad / s ซึ่งถ้าหากเลือกใช้มอเตอร์ที่สามารถทำได้ทั้ง 2 อย่างพร้อมกันจะต้องเลือกมอเตอร์ที่มีขนาดดังต่อไปนี้

$$P = \tau \cdot \omega_2 / 1000 \quad \text{kW} \quad (2.12)$$

แทนค่าในสมการ (2.12) จะได้

$$\begin{aligned}
 P &= 22.88 \times 17.60 / 1000 \quad \text{kW} \\
 &= 0.402 \quad \text{kW} \\
 &= 402 \quad \text{W}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ จากการคำนวณหาความเร็วรอบเราจะเลือกใช้มอเตอร์ที่มีค่าประมาณ 400 W

2.1.7 การเลือกขนาดสายไฟ

3.1.7.1 การคำนวณหาขนาดของสายไฟที่ต่อกับมอเตอร์ หาได้จากสูตร

$$I = \frac{P}{E} \quad (2.13)$$

แทนค่ากำลังงานของมอเตอร์ 402 วัตต์ ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง 36 โวลต์ จะได้กระแสไหลในวงจรเท่ากับ

$$I = \frac{402\text{W}}{36\text{V}} = 11.16 \text{ Amp} \quad (2.14)$$

เนื่องจากเป็นโหลดแบบต่อเนื่องพิกัดกระแสต้องไม่ต่ำกว่า 125 % ของพิกัดกระแสโหลดของพิกัดกระแสโหลดจากสูตร

$$I_c \geq 1.25 \times I_L \quad (2.15)$$

ดังนั้น ค่ากระแสของสายที่ใช้ จึงเท่ากับ $1.25 \times 11.16 = 13.95 \text{ Amp}$

จากนั้น นำค่ากระแสไปเทียบในตารางขนาดของสาย จะได้ขนาดของสายเท่ากับ ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1.5 มิลลิเมตร แต่เลือกใช้สายไฟที่มีพื้นที่หน้าตัด 2 มิลลิเมตรในการต่อวงจร

2.2 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบ โดยทำการ ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing) ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) และ ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing) ได้แบ่งวิธีการทดสอบไว้ 3 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing) มีการทดสอบ 4 ขั้นตอน คือ

2.2.1.1 ทดสอบส่วนบังคับการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบสภาวะการทำงานของคันบังคับแบบโยก (Joystick) เป็นไปตามที่ ออกแบบไว้หรือไม่ คือสามารถสั่งให้มีสภาวะ เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและเบรก แสดงสภาวะการทำงาน ด้วย LED

2.2.1.2 ทดสอบส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ โดยทดสอบสภาวะการทำงาน ทางด้านเอาต์พุตว่ามีสภาวะตรงกับที่ออกแบบไว้หรือไม่ เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าตาราง ความจริง แสดงสภาวะการทำงานด้วย LED พร้อมวัดแรงดันและกระแสที่ได้ตามสภาวะการทำงาน ต่างๆ

2.2.1.3 ทดสอบส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยทดสอบสภาวะการทำงาน ทางด้านเอาต์พุตว่าสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ตามที่ต้องการหรือไม่ เมื่ออินพุตมีการ สั่งงานมา แสดงสภาวะการทำงานด้วย LED พร้อมทั้งวัดกระแส I_B และ I_C เทียบกัน เพื่อหาอัตรา การขยายกระแสที่ระดับความเร็วต่างกัน

2.2.1.4 ทดสอบการทำงานรวมในส่วนของเคลื่อนที่

ทำการทดสอบการทำงานเมื่อนำวงจรในแต่ละส่วนมาประกอบรวมกันบนบอร์ด ล้อเลื่อนไฟฟ้า ว่าสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่ และเป็นการตรวจเช็คการทำงาน ของวงจรแต่ละส่วนอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบการทำงานจริง

2.2.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) มีการทดสอบ 5 ขั้นตอน คือ

- 2.2.2.1 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด
ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบเวลาและความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด เพื่อหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วต่างกัน
- 2.2.2.2 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม
ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบเวลาและความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะมีโหลด ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม เพื่อหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วต่างกัน
- 2.2.2.3 ทดสอบการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม
ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบเวลาและความเร็วของการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม เพื่อหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วสูงสุด
- 2.2.2.4 ทดสอบการปรับเอนนอน 70 องศา
ทำการทดสอบ โดยหาระยะเวลาเฉลี่ยในส่วนของ การปรับขึ้น และปรับลง ว่าใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกันหรือไม่ และทำการวัดมุมสูงสุดที่ได้จากการปรับเอนนอนจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุด
- 2.2.2.5 ทดสอบแบตเตอรี่
ทำการทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาในการทดสอบ โดยวัดค่าแรงดันและกระแสแต่ละช่วงเวลา เพื่อหาระยะเวลาสูงสุดในการใช้งาน และทดสอบแบตเตอรี่ที่โวลต์ที่จะสามารถให้แก้อิ ล้อเลื่อนไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้ และทดสอบเวลาการชาร์จของแบตเตอรี่ว่าใช้เวลาที่ชั่วโมงแบตเตอรี่ถึงจะเต็ม

2.2.3 ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing) มีการทดสอบ 1 ขั้นตอน คือ

- 2.2.3.1 ทดสอบระบบเบรก
ทำการทดสอบการเบรกโดยกำหนดช่วงระยะทางต่างๆ กัน เร่งด้วยความเร็วสูงสุด วัดระยะที่รถไถลไป

บทที่ 3

ผลการทำงานโครงการ

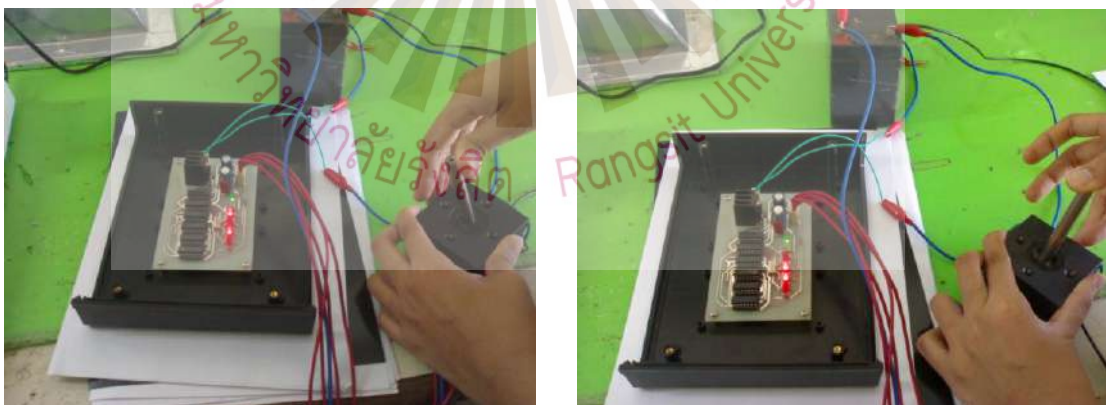
ในการทดสอบการทำงานของเก็้อลิ้อเคลื่อนไฟฟ้าได้แยกการทดสอบเป็น 3 แบบ คือ ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing) ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) และทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing) ได้แบ่งวิธีการทดสอบไว้ 3 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing)
- 3.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing)
- 3.3 ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing)

3.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค (Technical Testing) มีการทดสอบ 4 ขั้นตอน คือ

3.1.1 ผลทดสอบส่วนบังคับการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบสถานะ การทำงานของคั่นบังคับแบบโยก เป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ คือสามารถสั่งให้มีสถานะ เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและเบรก แสดงสถานะการทำงานด้วย LED พร้อมทั้งวัดแรงดันและกระแส โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมการบังคับคั่นโยกตามทิศทางต่าง ๆ

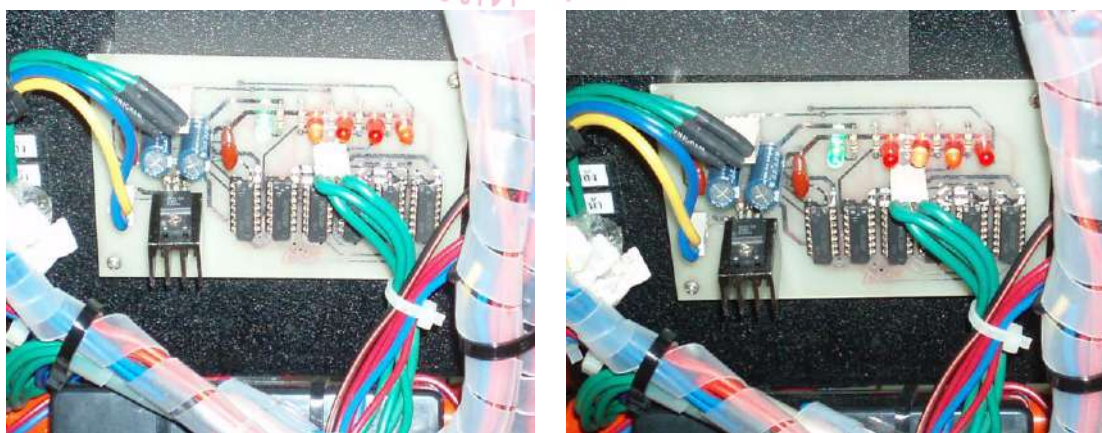
ตารางที่ 3.1 แสดงการทดสอบสภาวะการทำงานของส่วนบังคับการเคลื่อนที่

สภาวะการทำงาน	สภาวะลอจิกเป็น “0”		สภาวะลอจิกเป็น “1”	
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (มิลลิแอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (มิลลิแอมป์)
เดินหน้า	0.196	0.42	12.60	2.50
เดินหน้าเลียวซ้าย	0.196	0.42	12.60	2.50
เดินหน้าเลียวขวา	0.196	0.42	12.60	2.50
ถอยหลัง	0.196	0.42	12.60	2.50
ถอยหลังเลียวซ้าย	0.196	0.42	12.60	2.50
ถอยหลังเลียวขวา	0.196	0.42	12.60	2.50
เลียวซ้าย	0.196	0.42	12.60	2.50
เลียวขวา	0.196	0.42	12.60	2.50
เบรก	0.196	0.42	12.60	2.50

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : Digital Multimeter ของ Digicon รุ่น DM-887

3.1.2 ผลทดสอบส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ โดยทดสอบสภาวะการทำงานทางด้านเอาต์พุตว่ามีสภาวะตรงกับที่ออกแบบไว้หรือไม่ เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าตารางความจริง แสดงสภาวะการทำงานด้วย LED พร้อมวัดแรงดันและกระแสที่ได้ตามสภาวะการทำงานต่างๆ โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่

ตารางที่ 3.2 แสดงการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่

เดินหน้า				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	●	○	○	●
แรงดัน (โวลต์)	2.97	0.27	0.27	2.95
กระแส (แอมป์)	10.52	4.87	4.76	10.46
เดินหน้าเลี้ยวขวา				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	●	○	●	○
แรงดัน (โวลต์)	2.97	0.27	2.95	0.27
กระแส (แอมป์)	10.52	4.87	10.37	4.78
เดินหน้าเลี้ยวซ้าย				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	○	●	○	●
แรงดัน (โวลต์)	0.27	2.95	0.27	2.95
กระแส (แอมป์)	4.79	10.40	4.76	10.46
ถอยหลัง				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	○	●	●	○
แรงดัน (โวลต์)	0.27	2.95	2.95	0.27
กระแส (แอมป์)	4.79	10.40	10.37	4.78
ถอยหลังเลี้ยวขวา				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	●	○	●	○
แรงดัน (โวลต์)	2.97	0.27	2.95	0.27
กระแส (แอมป์)	10.52	4.87	10.37	4.78

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ถอยหลังเลี้ยวซ้าย				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	○	●	○	●
แรงดัน (โวลต์)	0.27	2.95	0.27	2.95
กระแส (แอมป์)	4.79	10.40	4.76	10.46
เลี้ยวขวา				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	●	○	●	○
แรงดัน (โวลต์)	2.97	0.27	2.95	0.27
กระแส (แอมป์)	10.52	4.87	10.37	4.78
เลี้ยวซ้าย				
เอาต์พุต	ML+	ML-	MR+	MR-
แสดงสถานะการทำงาน	○	●	○	●
แรงดัน (โวลต์)	0.27	2.95	0.27	2.95
กระแส (แอมป์)	4.79	10.40	4.76	10.46

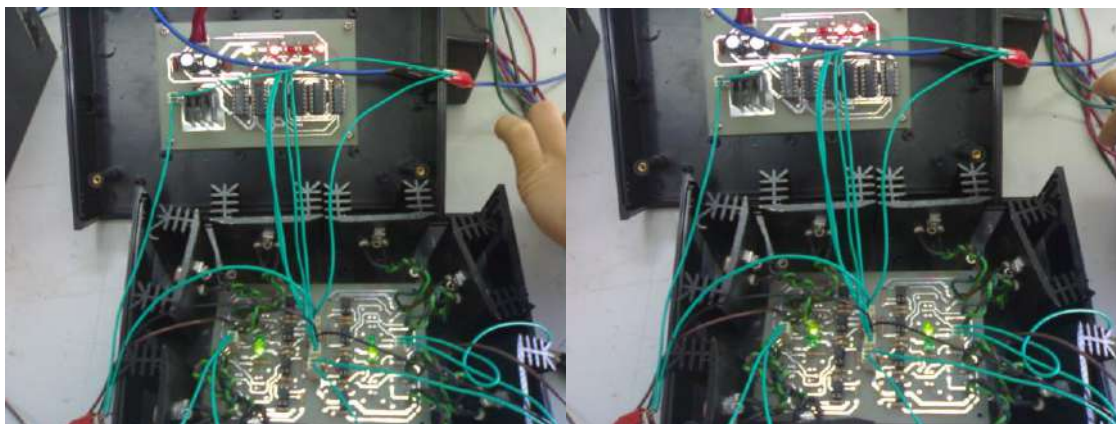
หมายเหตุ ● แสดงสถานะการทำงานเมื่อสัญญาณลอจิกเป็น 1

○ แสดงสถานะการทำงานเมื่อสัญญาณลอจิกเป็น 0

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : Digital Multimeter ของ Digicon รุ่น DM-887

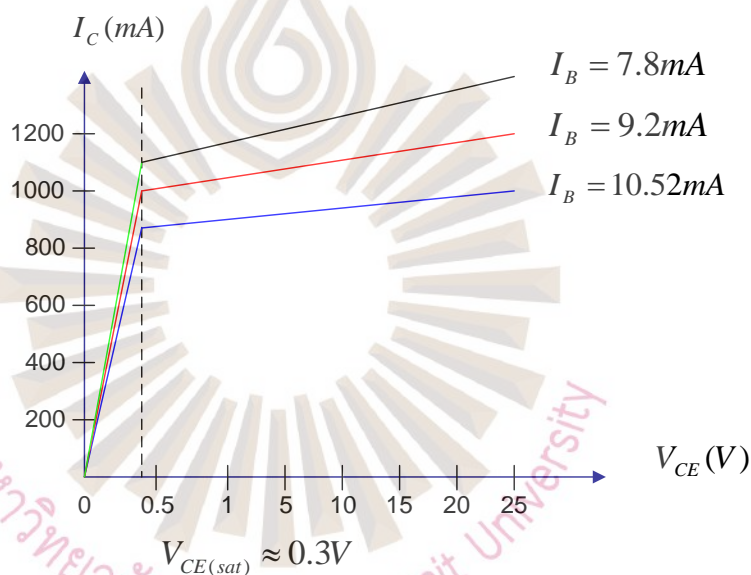
3.1.3 ผลทดสอบส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์ และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยทดสอบสถานะการทำงานทางด้านเอาต์พุตว่าสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ตามที่ต้องการหรือไม่ เมื่ออินพุตมีการสั่งงานมา แสดงสถานะการทำงานด้วย LED พร้อมทั้งวัดกระแส I_B และ I_C เทียบกัน เพื่อหาอัตราการขยายกระแสที่ระดับความเร็วต่างกัน โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการทดสอบขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดสอบส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์ และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ



จากการผลทดสอบจะเห็นว่า ในบริเวณอิ่มตัว (Saturation Region) เป็นบริเวณที่ทำให้ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานเป็นสวิตช์ได้

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : Digital Multimeter ของ Digicon รุ่น DM-887

3.1.4 ทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบการทำงานเมื่อนำวงจรในแต่ละส่วนมาประกอบรวมกัน บนเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า ว่าสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ หรือไม่ และเป็นการตรวจเช็คการทำงานของวงจรแต่ละส่วนอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบการทำงานจริง โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่

ตารางที่ 3.4 แสดงการทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่

อินพุต	เอาต์พุต		
	ทดลองกับบอร์ดทดลอง	ทดลองการทำงานของรถ	
	ภาคควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control)	ภาคควบคุม (Processing)	ลักษณะการทำงานของรถ
คำสั่งเดินหน้า	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อทั้งสองหมุนไปด้านหน้า
คำสั่งเดินหน้าเลี้ยวขวา	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อขวาหมุนไปด้านหน้า , ล้อซ้ายหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งเดินหน้าเลี้ยวซ้าย	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อซ้ายหมุนไปด้านหน้า , ล้อขวาหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งถอยหลัง	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อทั้งสองหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งถอยหลังเลี้ยวขวา	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อขวาหมุนไปด้านหน้า , ล้อซ้ายหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งถอยหลังเลี้ยวซ้าย	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อซ้ายหมุนไปด้านหน้า , ล้อขวาหมุนไปด้านหลัง

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

อินพุต	เอาต์พุต		
	ทดลองกับบอร์ดทดลอง	ทดลองการทำงานของรถ	
	ภาคควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control)	ภาคควบคุม (Processing)	ลักษณะการทำงานของรถ
คำสั่งเลี้ยวขวา	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อขวาหมุนไปด้านหน้า , ล้อซ้ายหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งเลี้ยวซ้าย	● ● ● ●	● ● ● ●	ล้อซ้ายหมุนไปด้านหน้า , ล้อขวาหมุนไปด้านหลัง
คำสั่งเบรก	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	ล้อทั้งสองข้างหยุดหมุน

- หมายเหตุ**
- แสดงสถานะการทำงานเมื่อสัญญาณลอจิกเป็น 1
 - แสดงสถานะการทำงานเมื่อสัญญาณลอจิกเป็น 0
 - แสดงสถานะการทำงานเมื่อไม่มีสัญญาณ

3.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) มีการทดสอบ 5 ขั้นตอน คือ

3.2.1 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด

ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดย ทดสอบเวลาและ ความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตรขณะไม่มีโหลด เพื่อหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วต่างกัน โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบขณะมีโหลด

ตารางที่ 3.5 แสดงการบันทึกผลการทดสอบความเร็ว เฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด

ครั้งที่	เวลา (วินาที) ระดับ1	เวลา (วินาที) ระดับ2	เวลา (วินาที) ระดับ3
1	118.02	80.12	40.50
2	118.18	79.50	46.01
3	119.30	81.30	45.55
4	120.17	78.56	45.40
5	119.89	80.50	44.80
6	119.97	80.89	45.01
7	120.31	77.97	45.55
8	120.45	81.02	43.99
9	119.98	80.04	45.08
10	121.26	80.00	45.09
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	119.75	79.99	44.69
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.84	1.25	2.24

จากการทดสอบความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ในขณะ
ที่ไม่มีโหลด ซึ่งทำการทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งและจากตาราง ได้มีการทดสอบเวลาในการ
เคลื่อนที่เพื่อนำมาหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วทั้ง 3 ระดับ ซึ่งระดับความเร็วที่ 1 ความเร็ว
เฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 0.84 เมตรต่อวินาที, ระดับความเร็วที่ 2 มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 1.25
เมตรต่อวินาที และระดับความเร็วที่ 3 มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 2.24 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่
ความเร็วระดับ 3 ขณะไม่มีโหลด แก้อั้วเลื่อนไฟฟ้าสามารถ เคลื่อนที่ในแนวราบด้วยความเร็ว
สูงสุด 8.06 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ของ CASIO รุ่น HS-10W

3.2.2 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม

ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดย ทดสอบเวลา และความเร็วของการเคลื่อนที่ใน
แนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะมีโหลด ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม เพื่อความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับ
ความเร็วต่างกัน โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงการบันทึกผลการทดสอบความเร็ว เฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะมีโหลดที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม

ครั้งที่	เวลา (วินาที) ระดับ 2	เวลา (วินาที) ระดับ 3
1	101.05	65.50
2	100.00	66.01
3	101.40	66.01
4	101.20	65.20
5	100.89	65.63
6	101.67	64.95
7	101.98	65.76
8	101.57	65.80
9	101.60	66.46
10	101.70	66.30
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	101.31	65.76
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.99	1.52

จากการทดสอบ ความเร็ว ของการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะที่มี โหลด น้ำหนัก 80 กิโลกรัม ซึ่งทำการทดสอบการเคลื่อนที่เป็นจำนวน 10 ครั้งและจากตารางมีการ ทดสอบเวลาในการเคลื่อนที่เพื่อนำมาหา ความเร็วเฉลี่ย ซึ่งที่ระดับความเร็ว 2 มีความเร็วเฉลี่ยใน การเคลื่อนที่ 0.99 เมตรต่อวินาที และที่ระดับความเร็ว 3 มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 1.52 เมตร ต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วระดับ 3 ขณะมีโหลด น้ำหนัก 80 กิโลกรัม แก้อั้วลื้อเคลื่อนไฟฟ้าสามารถ เคลื่อนที่ในแนวราบด้วยความเร็วสูงสุด 5.47 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการทดสอบสามารถหา เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (Percent speed regulation) ได้จากสมการ คือ

ความเร็วที่เปลี่ยนแปลง (speed regulation) = ความเร็วในขณะที่ไม่มีโหลด - ความเร็ว ขณะที่มีโหลดเต็มที่

เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงความเร็ว = (ความเร็วที่เปลี่ยนแปลง / ความเร็วขณะที่มี โหลดเต็มที่) $\times 100$

เนื่องจากความเร็วที่ได้เป็นความเร็วเชิงเส้นของล้อ จำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงมุมของแกนมอเตอร์ จากสมการ

$$\omega_{wheel} = \frac{v_{wheel} (m/s)}{r_{wheel} (m)} \quad (3.1)$$

ความเร็วเชิงมุมที่ล้อขณะไม่มีโหลด

แทนค่า
$$\omega_{wheel} = \frac{2.24}{0.19}$$

$$= 11.79 \text{ rad/s}$$

ความเร็วเชิงมุมล้อขณะมีโหลดสูงสุด

แทนค่า
$$\omega_{wheel} = \frac{1.52}{0.19}$$

$$= 8.00 \text{ rad/s}$$

เนื่องจาก
$$\omega_{motor} = \frac{\omega_{wheel}}{2.2}$$

ความเร็วเชิงมุมของแกนมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

แทนค่า
$$\omega_{motor} = \frac{11.79}{2.2}$$

$$= 5.35 \text{ rad/s}$$

ความเร็วเชิงมุมของแกนมอเตอร์ขณะมีโหลดสูงสุด

แทนค่า
$$\omega_{motor} = \frac{8.00}{2.2}$$

$$= 3.63 \text{ rad/s}$$

$$\text{ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความเร็ว} = \frac{(5.35 - 3.63)}{3.63} \times 100 \%$$

$$= 47.38 \%$$

หมายเหตุ เหตุผลที่ไม่ทดสอบการเคลื่อนที่ความเร็วระดับที่ 1 เพราะที่ระดับความเร็วที่ 1 เมื่อมีโหลดสูงสุดแก้อล้อเลื่อนไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ช้ามาก

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ของ CASIO รุ่น HS-10W

3.2.3 ทดสอบการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา

ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยหาความเร็วของการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา ระยะทาง 0.94 เมตร ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม เพื่อหาความเร็วเฉลี่ย ที่ระดับความเร็วสูงสุด โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชัน มุม 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม

ครั้งที่	เวลา (วินาที) การเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม
1	5.87
2	5.85
3	5.89
4	5.81
5	5.78
6	5.88
7	5.92
8	5.90
9	5.89
10	5.90
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	5.87
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.16

จากการทดสอบ ความเร็วของ การเคลื่อนที่บนทางลาดชันที่มุม 11 องศา ระยะทาง 0.94 เมตร ในขณะที่มีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม ซึ่งทำการทดสอบการเคลื่อนที่เป็นจำนวน 10 ครั้งและ จากตารางมีการทดสอบเวลาในการเคลื่อนที่เพื่อนำมาหาความเร็วเฉลี่ย ซึ่งจะมีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 0.16 เมตรต่อวินาที ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าในขณะที่มี โหลดสูงสุดที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม สามารถเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันที่มุม 11 องศา ระยะทาง 0.94 เมตรที่ระดับความเร็วสูงสุดได้

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ของ CASIO รุ่น HS-10W

3.2.4 ทดสอบการปรับเอนนอน 70 องศา

ทำการทดสอบ โดยหาระยะเวลาเฉลี่ยในส่วนของ การปรับขึ้นและปรับลง ว่าใช้ ระยะเวลาใกล้เคียงกันหรือไม่ และทำ การวัดมุมสูงสุดที่ได้จากการปรับเอนนอนจากจุดเริ่มต้นถึง จุดสิ้นสุด โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.8



รูปที่ 3.7 แสดงการทดสอบการปรับเอนขึ้น-ลง

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดสอบเวลาในการปรับเอนขึ้น-ลง

ครั้งที่	เวลา (วินาที) ปรับเอนขึ้น	เวลา (วินาที) ปรับเอนลง
1	2.33	2.34
2	2.00	1.99
3	2.24	2.23
4	2.27	2.27

ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (วินาที) ปรับเอนขึ้น	เวลา (วินาที) ปรับเอนลง
5	2.28	2.11
6	2.09	2.11
7	2.09	2.09
8	2.16	2.13
9	2.09	2.09
10	1.98	1.99
\bar{X}	2.15	2.13
<i>S.D.</i>	0.33	0.32

จากการทดสอบผลการปรับเอนนอน สามารถปรับเอนนอนได้มุมสูงสุด 70 องศา มีเวลาเฉลี่ยในการปรับเอนนอนขึ้น 2.15 วินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.33 มีเวลาเฉลี่ยในการปรับเอนนอนลง 2.15 วินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 ซึ่งจะเห็นว่าค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการปรับเอนนอนขึ้น - ลง จากข้อมูลที่ได้จะมีค่าการกระจายตัวน้อย ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ปรับเอนนอนขึ้นลงมีค่าใกล้เคียงกัน

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล ของ CASIO รุ่น HS-10W

3.2.5 ทดสอบแบตเตอรี่

ทำการทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาในการทดสอบ และวัดค่าแรงดันและกระแสแต่ละช่วงเวลา เพื่อหาระยะเวลาสูงสุดในการใช้งานโดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 3.9 แสดงการทดสอบเพื่อหาระยะเวลาสูงสุดในการใช้งานของแบตเตอรี่โดยกำหนดช่วงเวลากการทดสอบ

ระยะเวลา	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	หมายเหตุ
15 นาที	36.67	10.96	แบตเตอรี่หมดภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง
30 นาที	31.54	12.75	
45 นาที	28.35	14.18	

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ระยะเวลา	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	หมายเหตุ
1 ชั่วโมง	18.20	22.09	

จากการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลด แรงดันประมาณ 10.64 โวลต์ ที่สามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้ (แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้)

จากการทดสอบเวลาการชาร์จของแบตเตอรี่ ซึ่งจากการทดสอบจะใช้เวลาชาร์จประมาณ 4 ชั่วโมงแบตเตอรี่ถึงจะเต็ม

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : Digital Multimeter ของ Digicon รุ่น DM-887

3.3 ทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing) มีการทดสอบ 1 ขั้นตอนคือ

3.3.1 ทดสอบระบบเบรก

ทำการทดสอบการเบรกโดยกำหนดช่วงระยะทางต่างๆ กัน เร่งด้วยความเร็วสูงสุด วัดระยะที่รถไถลไป โดยแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการทดสอบการเบรกเมื่อเร่งด้วยความเร็วสูงสุด วัดระยะที่รถไถลไป

ระยะทาง (เมตร)	ระยะทางที่รถไถล (เมตร)	ความเร่งหน่วง (เมตร/วินาที ²)
10	0.80	1.44
20	0.56	2.06
30	0.50	2.31
ความเร่งหน่วงเฉลี่ย (เมตร/วินาที ²)		1.93

จากการทดสอบระบบเบรกของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า พบว่า แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้ามีระยะไถลมาก เมื่อเคลื่อนที่ในระยะทางที่ไม่มากพอ เนื่องจาก ความเร่งหน่วง มีค่าน้อย แต่หากแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าเคลื่อนที่ในระยะทางที่มากพอ จะมีระยะไถลลดลง เนื่องจาก ความเร่งหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้น

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด : นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล ของ CASIO รุ่น HS-10W

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผลการทำโครงการ

จากที่ได้ทำการสร้างชุดควบคุมการทำงานของแก๊วอ็อกซิเจนไฟฟ้าขึ้นมา และได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนในบทที่ 3 สามารถวิจารณ์ผล สรุปผลของโครงการ ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการต่อไปในอนาคตได้ดังนี้

4.1 วิจารณ์ผลของโครงการ

จากการทดสอบในบทที่ 4 ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ขั้นตอนด้วยกัน สามารถวิจารณ์ผลการทดสอบแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

4.1.1 ทดสอบทางด้านเทคนิค

4.1.1.1 ทดสอบส่วนบังคับการเคลื่อนที่

เป็นการทดสอบสภาวะการทำงานของคันบังคับแบบโยก สามารถควบคุมตามตำแหน่งคือ เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและเบรก ได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

4.1.1.2 ทดสอบส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่สามารถควบคุมสภาวะการทำงานทางด้านเอาต์พุต ตรงกับที่ออกแบบไว้ โดยเทียบตามตารางความจริง

4.1.1.3 ทดสอบส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์ และส่วนควบคุมอัตราเร็ว 3 ระดับ

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ตามที่ต้องการตามที่ออกแบบไว้ และสามารถควบคุมอัตราเร็วได้ 3 ระดับ

4.1.1.4 ทดสอบการทำงานรวมในส่วนของการเคลื่อนที่

ทดสอบการทำงานรวม โดยนำวงจรในแต่ละส่วนมาประกอบรวมกันบนแก๊วอ็อกซิเจนไฟฟ้า สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ และสามารถตรวจเช็คการทำงานของวงจรแต่ละส่วนได้ว่าส่วนไหนของวงจรมีปัญหา

4.1.2 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน

4.1.2.1 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด

จากการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ระยะทาง 100 เมตร ขณะไม่มีโหลด สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วระดับที่ 1 และระดับที่ 2

4.1.2.2 ทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวราบระยะทาง 100 เมตร ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม

จากการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ระยะทาง 100 เมตร ขณะมีโหลด ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วระดับที่ 2

4.1.2.3 ทดสอบการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม

จากการทดสอบการเคลื่อนที่ โดยทดสอบความเร็วของการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน 11 องศา ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม สามารถขึ้นได้ด้วยความเร็วระดับที่ 3

4.1.2.4 ทดสอบการปรับเอนนอน 70 องศา

จากการทดสอบ ระยะเวลาในส่วนของ การปรับขึ้นและปรับลง ว่าใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน และมุมสูงสุดที่ได้จากการปรับเอนนอนคือ 70 องศา

4.1.2.5 ทดสอบแบตเตอรี่

จากการทดสอบแบตเตอรี่ ระยะเวลาสูงสุดที่สามารถทำงานได้คือ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง และทดสอบการทำงานของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลด แรงดันประมาณ 10.64 โวลต์ ที่สามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้ (แก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้) ซึ่งทำการทดสอบเวลาการชาร์จของแบตเตอรี่ ซึ่งจากการทดสอบจะใช้เวลาชาร์จประมาณ 4 ชั่วโมงแบตเตอรี่ถึงจะเต็ม

4.1.3 ทดสอบความปลอดภัย

4.1.3.1 ทดสอบระบบเบรก

จากการทดสอบระบบเบรกของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า พบว่าแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้ามีระยะไกลมาก เมื่อเคลื่อนที่ในระยะทางที่สั้นๆ เนื่องจาก ความเร่งหน่วงมีค่าน้อย แต่หากแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าเคลื่อนที่ในระยะทางที่มากพอ จะมีระยะไกลลดลง เนื่องจาก ความเร่งหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากชุดควบคุมแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งสูงสุดเพียง 36 โวลต์ จึงไม่ต้องทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลทางไฟฟ้า

4.2 สรุปผลของโครงการ

จากผลการทดสอบการสร้างชุด ควบคุมการทำงานของแก้อีลื้อเลื่อนไฟฟ้า สามารถสรุปการทำงานได้ดังนี้

4.2.1 สามารถควบคุมการ เดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและเบรก ได้โดยใช้คันทันบังคับแบบโยกในการควบคุมการทำงาน

4.2.2 สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1, ระดับที่ 2 วิ่งได้ด้วยความเร็ว 0.99 เมตร/วินาที และระดับที่ 3 วิ่งได้ด้วยความเร็ว 1.52 เมตร/วินาที ขณะมีโหลดสูงสุดที่ 80 กิโลกรัม

4.2.3 สามารถเคลื่อนที่ในแนวราบ ด้วยความเร็วระดับที่ 1 และระดับที่ 2 ทางลาดชันที่มุมไม่เกิน 15 องศา วิ่งได้ด้วยความเร็วระดับที่ 3

4.2.4 สามารถปรับเอนนอนได้มุมสูงสุดที่ 70 องศา

4.2.5 ความสามารถในการใช้งานแบตเตอรี่สูงสุดนาน 1 ชั่วโมง และมีวงจรชาร์จแบตเตอรี่อยู่ในตัวโดยไม่ต้องถอดแบตเตอรี่มาชาร์จข้างนอก

4.3 ปัญหาที่พบ

4.3.1 หาซื้ออุปกรณ์บางตัวในท้องตลาดไม่ได้ตามต้องการ

4.3.2 เมื่อน้ำหนักของผู้พิการเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนลดลง

4.3.3 เมื่อนำมาวิ่งพบว่าวิ่งได้ไม่ค่อยตรง อันเนื่องมาจากการที่ล้อหน้าสามารถหมุนได้อิสระ

4.3.4 เฟืองที่ล้อยางและไม่ค่อยตรงศูนย์จึงเกิดเสียงเฟืองขัดกับโซ่ ขณะที่เก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าเคลื่อนที่

4.3.5 การเลือกขนาดสายไฟผิด เพราะไม่ได้คำนวณขนาดสายไฟตั้งแต่แรก

4.3.6 มอเตอร์ที่ใช้ไม่มีแผ่น Nameplate ทำให้ไม่ทราบรายละเอียด จึงจำเป็นต้องคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

4.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

4.4.1 ควรมีการสอนการใช้งานแก่ผู้พิการ

4.4.2 ควรเพิ่มส่วนของวงจรเตือนขณะรถเลี้ยวการทรงตัว

4.4.3 ควรปรับปรุงการเพิ่มความเร็วให้ LINEAR มากขึ้น

4.4.4 ควรเพิ่มการนำเอาพลังงานในรูปแบบอื่นๆ มาใช้ประโยชน์กับเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้าในส่วนที่ใช้พลังงานไม่มากนัก

4.4.5 สำหรับผู้ที่มีความรู้ทางการเขียนโปรแกรม ควรเปลี่ยนระบบมาใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนของ การควบคุมการเคลื่อนที่ ควบคุมการปรับเร่งอัตราเร็ว และระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ

4.4.6 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ให้ดินหน้า ถอยหลังให้มีการควบคุมที่ล้อยาง แต่ถ้าต้องการเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวาให้มีการควบคุมที่ล้อยาง

บรรณานุกรม

1. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2**. กรุงเทพฯ. 2532. หน้า 114-116.
2. ไชยชาญ หินเกิด. **เครื่องกลไฟฟ้า 1**. กรุงเทพฯ: 2546. หน้า 7-92.
3. มงคล ทองสงคราม. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**. กรุงเทพฯ: วิ.เจ พรีนติ้ง. 2542.
4. วัฒนา แก้วศุ. การออกแบบดิจิทัลสวิทช์วงจรกรุงเทพมหานคร 2546. หน้า 235-236.
5. คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า Bangkok cable Co., Ltd. 2547. **การเลือกขนาดสายไฟฟ้า**. [ออนไลน์] แหล่งที่เข้าถึง:
<http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/size/wiresize.html>. [16 มกราคม 2550].
6. โครงการชุดการเรียนรู้รายวิชาในรูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์โดยผู้เรียน. **เครื่องจักรกลไฟฟ้า** [ออนไลน์]. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (นครักษ์). 2546 แหล่งที่เข้าถึง <http://mylesson.swu.ac.th/ee420>. [11 ตุลาคม 2549]
7. ชิต เครือพิมาย และเทพประภัทร ว่องวัฒนอนันต์ **หลักการเบื้องต้นของวงจรขอปเปลอร์** [ออนไลน์]. 2545. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แหล่งที่เข้าถึง http://eestaff.kku.ac.th/~krit/book_project4/Project%20B4/2545/Electric%20car/Electric%20car_pdf+ppt.pdf. [1 มกราคม 2550]
8. ชัยวัฒน์ รัศมีกุล และทวีทรัพย์ เมืองไทย. **ออฟโตคัลเปลอร์**. [ออนไลน์] 2546. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งที่เข้าถึง:
<http://www.en.kku.ac.th/engineer/project/file/ee%202004-27-293-1-%BA%B7%B7%D5%E81.2.pdf>. [20 มีนาคม 2550]
9. วิชาญ คำแสน. **การควบคุมทิศทางหมุนของ DC Motor (ตอนที่ 3)**. 2538 [ออนไลน์]. ชมรมไมโคร ม.เทคโนโลยีมหานคร. แหล่งที่เข้าถึง: http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con03.html [5 ธันวาคม 2549]
10. Clark, Laura L. Jr. **Design and Testing of a Quick-Connect Wheelchair Power Add-On Unit**. [Online]. Industrial and Systems Engineering. 1997. Available: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd12898174432/unrestricted/literature_review.pdf. [3 January 2006]
11. Mr. Herbert Wade. **เส้นทางสู่พลังงานสีเขียว**. 2549 [ออนไลน์]. PV Solar Photovoltaic Technical Training Manual. Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php>. [19 มกราคม 2550]

12. Phelps dodge International Corp. **PD - VSF (Table 10 of TIS 2531-11 Standard)**.

[Online] PDIC. 2006. Available: <http://www.pdic.com/NR/rdonlyres/65A-92538>

[3EBB-4DE-3BEED-30DAD082C/0/255pdic.01207pdf](http://www.pdic.com/NR/rdonlyres/65A-92538). [18 January 2007]



ประวัติผู้จัดทำโครงการวิจัย

ชื่อ	นายภูมิภัทร์ นุปผา
วัน เดือน ปีเกิด	วันพุธที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 368 ซอย 24 ถนนเทศบาลนิมิตใต้ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2540 ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอัสสัมชัญบางรัก เขตบางรัก จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2544 ปริญญาบัตร วท.บ. ฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เขตคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ปี พ.ศ. 2547 ปริญญาบัตร วท.ม. ฟิสิกส์หลักสูตรนานาชาติ จากมหาวิทยาลัยมหิดล เขตพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ ภาควิชาฟิสิกส์ สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ประวัติผู้จัดทำโครงการวิจัย

ชื่อ	ว่าที่ ร.ต. ลิขิต ภูมิกลีบ
วัน เดือน ปีเกิด	วันจันทร์ที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดจันทบุรี
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 63 หมู่ 8 ต.ปัดวี อ.มะขาม จ.จันทบุรี 22150
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากวิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี ปี พ.ศ. 2544 ปริญญาบัตร คอ.บ.วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ปัจจุบัน ผู้ช่วยอาจารย์ประจำ ภาควิชาฟิสิกส์ สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต



ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า



รายละเอียดทั่วไป

เป็นการสร้างชุดควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ให้สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในที่พักอาศัย และตามโรงพยาบาลต่างๆ

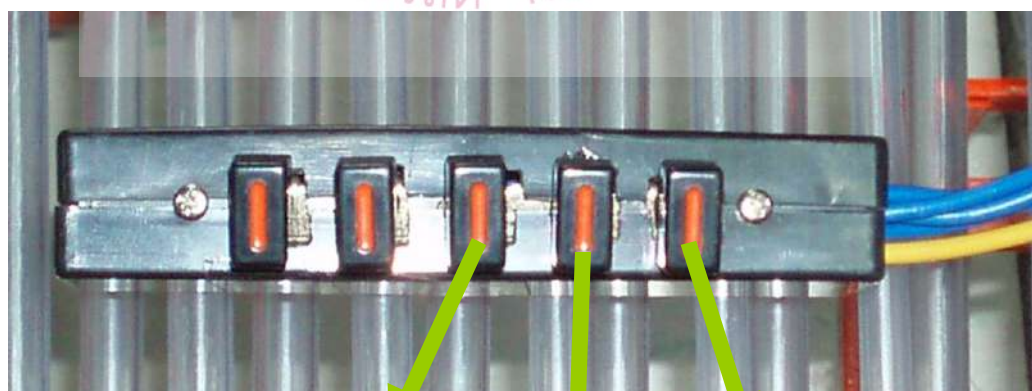
คุณลักษณะพิเศษ

- 1) สามารถควบคุมการเดินหน้า, เดินหน้าเลี้ยวขวา, เดินหน้าเลี้ยวซ้าย, ถอยหลัง, ถอยหลังเลี้ยวขวา, ถอยหลังเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและเบรก ได้โดยใช้คันบังคับแบบโยกในการควบคุมการทำงาน
- 2) สามารถปรับเร่งความเร็วได้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1, ระดับที่ 2 วิ่งได้ด้วยความเร็ว 3.56 km/hr และระดับที่ 3 วิ่งได้ด้วยความเร็ว 5.47 km/hr ขณะมีโหลดสูงสุดที่ 80 กิโลกรัม
- 3) สามารถเคลื่อนที่ในแนวราบ ด้วยความเร็วระดับที่ 1 และระดับที่ 2 ทางลาดชันที่มุมไม่เกิน 15 องศา วิ่งได้ด้วยความเร็วระดับที่ 3

- 4) สามารถปรับเอนนอนได้มุมสูงสุดที่ 70 องศา
- 5) ความสามารถในการใช้งานแบตเตอรี่สูงสุดนาน 1 ชั่วโมง และมีวงจรชาร์จแบตเตอรี่อยู่ในตัวโดยไม่ต้องถอดแบตเตอรี่มาชาร์จข้างนอก
- หน้าที่ของปุ่มต่าง ๆ



รูป ก-1 แสดงส่วนบังคับการเคลื่อนที่ของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า



8. ระดับที่ 1
9. ระดับที่ 2
10. ระดับที่ 3

รูป ก-2 แสดงส่วนควบคุมอัตราเร็ว

- 1) สวิตช์ ON/OFF ถ้าอยู่ในโหมด ON คือสั่งการทำงาน และ ถ้าอยู่ในโหมด OFF จะเป็นการชาร์จแบตเตอรี่
- 2) โยกไปหน้า คือ การเดินหน้า
- 3) โยกไปหน้าหลัง คือ การถอยหลัง
- 4) โยกไปด้านซ้าย คือ การเลี้ยวซ้าย
- 5) โยกไปด้านขวา คือ เลี้ยวการขวา
- 6) ปุ่มใหญ่สีแดง คือ การเบรก
- 7) ปุ่มปรับเอนนอน ถ้าเลื่อนไปหน้า(=) คือการปรับเอนขึ้น ถ้าเลื่อนไปด้านหลัง(-) คือการปรับเอนลง
- 8) ปุ่มปรับเร่งความเร็วระดับที่ 1
- 9) ปุ่มปรับเร่งความเร็วระดับที่ 2
- 10) ปุ่มปรับเร่งความเร็วระดับที่ 3

วิธีการใช้งาน

- 1) โยกสวิตช์ ON/OFF มาที่ตำแหน่ง ON (เครื่องพร้อมใช้งาน) ถ้าอยู่ในตำแหน่ง OFF สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้
- 2) สามารถควบคุมการเคลื่อนที่โดยการบังคับการ โยกไปตามทิศทาง
- 3) สามารถปรับเพิ่มความเร็วได้ 3 ระดับ ระดับที่ 1 ระดับที่ 2 เหมาะสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวราบ ระดับที่ 3 เหมาะสำหรับการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน
- 4) สามารถปรับเอนนอนได้โดยการกดสวิตช์ที่ตำแหน่งปุ่มปรับเอนนอน

หมายเหตุ ในการใช้งานควรกดสวิตช์ OFF ที่ปุ่มปรับอัตราเร็ว แล้ว โยกสวิตช์ ON/OFF ไปที่ตำแหน่ง OFF ทุกครั้ง

ภาคผนวก ข

MJ11028, MJ11029



**COMPLEMENTARY SILICON POWER
DARLINGTON TRANSISTORS**

..designed for use as output devices in complementary general purpose amplifier applications.

FEATURES:

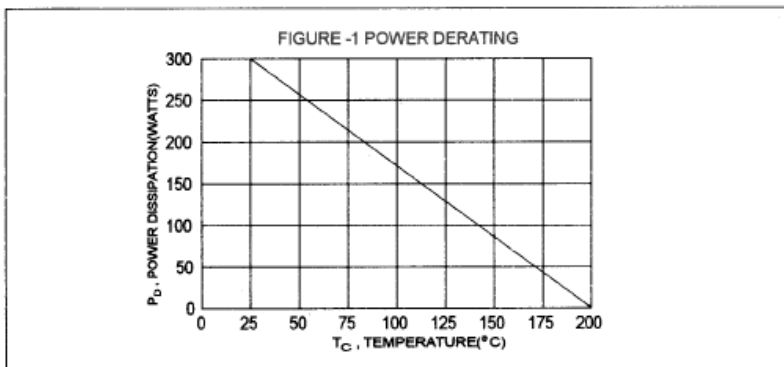
- * High Gain Darlington Performance
- * High DC Current Gain: $hFE = 1000(\text{Min}) @ I_C = 25 \text{ A}$
 $hFE = 400(\text{Min}) @ I_C = 50 \text{ A}$
- * Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	MJ11028 MJ11029	MJ11030 MJ11031	MJ11032 MJ11033	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	90	120	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	90	120	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0			V
Collector Current-Continuous -Peak	I_C I_{CM}	50 100			A
Base Current	I_B	2.0			A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	300 1.71			W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 65 to +200			$^\circ\text{C}$

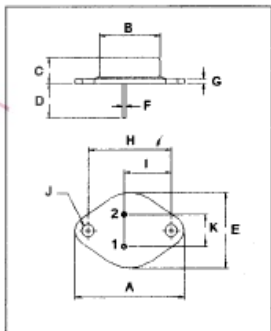
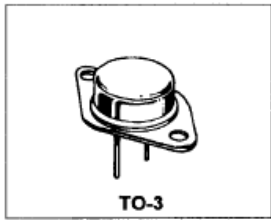
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	0.584	$^\circ\text{C/W}$



NPN	PNP
MJ11028	MJ11029
MJ11030	MJ11031
MJ11032	MJ11033

50 AMPERE
COMPLEMENTARY
SILICON POWER
DARLINGTON TRANSISTOR
60-120 VOLTS
300 WATTS



DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	38.75	39.96
B	19.28	22.23
C	7.96	9.28
D	11.18	12.19
E	25.20	26.67
F	0.92	1.09
G	1.38	1.62
H	29.90	30.40
I	16.64	17.30
J	3.88	4.36
K	10.67	11.18

MJ11028, MJ11030, MJ11032 NPN / MJ11029, MJ11031, MJ11033 PNP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector - Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_c = 100\text{ mA}$, $I_B = 0$)	MJ11028, MJ11029 MJ11030, MJ11031 MJ11032, MJ11033	$V_{CE(sus)}$	60 90 120	V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_B = 0$)		I_{CEO}		2.0 mA
Collector-Emitter Leakage Current ($V_{CE} = 60\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$) ($V_{CE} = 90\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$) ($V_{CE} = 120\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$) ($V_{CE} = 60\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$, $T_c = 125^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 90\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$, $T_c = 125^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 120\text{ V}$, $R_{BE} = 1\text{ k ohm}$, $T_c = 125^\circ\text{C}$)	MJ11028, MJ11029 MJ11030, MJ11031 MJ11032, MJ11033 MJ11028, MJ11029 MJ11030, MJ11031 MJ11032, MJ11033	I_{CER}	2.0 2.0 2.0 10 10 10	mA
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0\text{ V}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}		5.0 mA

ON CHARACTERISTICS (1)

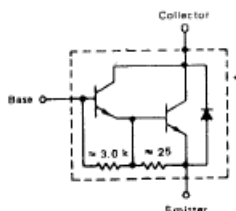
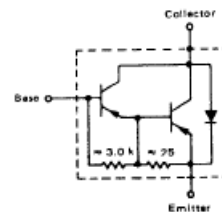
DC Current Gain ($I_c = 25\text{ A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_c = 50\text{ A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)		h_{FE}	1000 400	18000	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_c = 25\text{ A}$, $I_B = 250\text{ mA}$) ($I_c = 50\text{ A}$, $I_B = 500\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$		2.5 3.5	V
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_c = 25\text{ A}$, $I_B = 200\text{ mA}$) ($I_c = 50\text{ A}$, $I_B = 300\text{ mA}$)		$V_{BE(sat)}$		3.0 4.5	V

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Small-Signal Current Gain ($I_c = 10\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		$ h_{fe} $	4.0		
---	--	------------	-----	--	--

(1) Pulse Test: Pulse width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$ (2) $f_T = |h_{fe}| \cdot f_{test}$

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM

NPN
MJ11028
MJ11030
MJ11032PNP
MJ11029
MJ11031
MJ11033

PS2501L-1

CEL**PHOTOCOUPLER**
PS2501-1,-2,-4, PS2501L-1,-2,-4**HIGH ISOLATION VOLTAGE**
SINGLE TRANSISTOR TYPE
MULTI PHOTOCOUPLER SERIES

-NEPOC Series-

DESCRIPTION

The PS2501-1, -2, -4 and PS2501L-1, -2, -4 are optically coupled isolators containing a GaAs light emitting diode and an NPN silicon phototransistor.

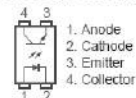
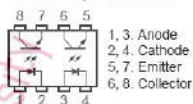
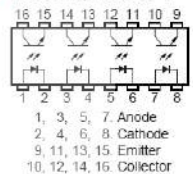
The PS2501-1, -2, -4 are in a plastic DIP (Dual In-line Package) and the PS2501L-1, -2, -4 are lead bending type (Gull-wing) for surface mount.

FEATURES

- High isolation voltage ($BV = 5,000 \text{ V.r.m.s.}$)
- High collector to emitter voltage ($V_{CE0} = 80 \text{ V}$)
- High-speed switching ($t_r = 3 \mu\text{s TYP.}$, $t_f = 5 \mu\text{s TYP.}$)
- Ordering number of tape product: PS2501L-1-E3, E4, F3, F4, PS2501L-2-E3, E4
- Safety standards
 - UL approved; File No. E72422

APPLICATIONS

- Power supply
- Telephone/FAX.
- FA/OA equipment
- Programmable logic controller

PIN CONNECTION
(Top View)**PS2501-1, PS2501L-1****PS2501-2, PS2501L-2****PS2501-4, PS2501L-4**

The information in this document is subject to change without notice. Before using this document, please confirm that this is the latest version.

MC14016B

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Quad Analog Switch/Quad Multiplexer

The MC14016B quad bilateral switch is constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. Each MC14016B consists of four independent switches capable of controlling either digital or analog signals. The quad bilateral switch is used in signal gating, chopper, modulator, demodulator and CMOS logic implementation.

- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Linearized Transfer Characteristics
- Low Noise — $12 \text{ nV}/\sqrt{\text{Cycle}}$, $f \geq 1.0 \text{ kHz}$ typical
- Pin-for-Pin Replacements for CD4016B, CD4066B (Note improved transfer characteristic design causes more parasitic coupling capacitance than CD4016)
- For Lower R_{ON} , Use The HC4016 High-Speed CMOS Device or The MC14066B
- This Device Has Inputs and Outputs Which Do Not Have ESD Protection. Antistatic Precautions Must Be Taken.

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}	Input Current (DC or Transient), per Control Pin	± 10	mA
I_{sw}	Switch Through Current	± 25	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

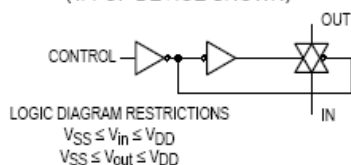
* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

† Temperature Derating:

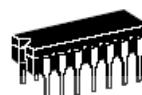
Plastic "P and D/DW" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C
Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

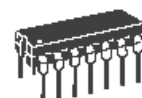
LOGIC DIAGRAM
(1/4 OF DEVICE SHOWN)



MC14016B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 632



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 646



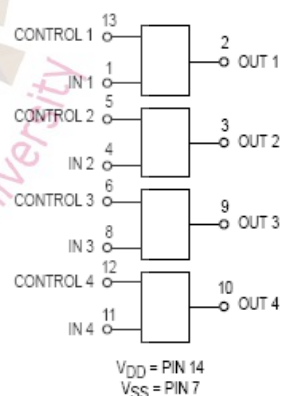
D SUFFIX
SOIC
CASE 751A

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ \text{ to } 125^\circ \text{C}$ for all packages.

BLOCK DIAGRAM



Control	Switch
0 = V_{SS}	Off
1 = V_{DD}	On

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Figure	Symbol	VDD Vdc	- 55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
Input Voltage Control Input	1	V_{IL}	5.0	—	—	—	1.5	0.9	—	—	Vdc
			10	—	—	—	1.5	0.9	—	—	
			15	—	—	—	1.5	0.9	—	—	
		V_{IH}	5.0	—	—	3.0	2.0	—	—	Vdc	
			10	—	—	8.0	6.0	—	—		
			15	—	—	13	11	—	—		
Input Current Control	—	I_{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	± 1.0	µA _{dc}
Input Capacitance Control Switch Input Switch Output Feed Through	—	C_{in}	—	—	—	—	5.0	—	—	—	pF
			—	—	—	—	5.0	—	—	—	
			—	—	—	—	5.0	—	—	—	
			—	—	—	—	0.2	—	—	—	
Quiescent Current (Per Package)	2,3	I_{DD}	5.0	—	0.25	—	0.0005	0.25	—	7.5	µA _{dc}
			10	—	0.5	—	0.0010	0.5	—	15	
			15	—	1.0	—	0.0015	1.0	—	30	
"ON" Resistance ($V_C = V_{DD}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$) ($V_{in} = + 5.0\text{ Vdc}$) ($V_{in} = - 5.0\text{ Vdc}$, $V_{SS} = - 5.0\text{ Vdc}$) ($V_{in} = \pm 0.25\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 7.5\text{ Vdc}$) ($V_{in} = - 7.5\text{ Vdc}$, $V_{SS} = - 7.5\text{ Vdc}$) ($V_{in} = \pm 0.25\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 10\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 0.25\text{ Vdc}$, $V_{SS} = 0\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 5.6\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 15\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 0.25\text{ Vdc}$, $V_{SS} = 0\text{ Vdc}$) ($V_{in} = + 9.3\text{ Vdc}$)	4,5,6	R_{ON}	5.0	—	600	—	300	660	—	840	Ohms
			5.0	—	600	—	300	660	—	840	
			5.0	—	600	—	280	660	—	840	
			7.5	—	360	—	240	400	—	520	
			7.5	—	360	—	240	400	—	520	
			7.5	—	360	—	180	400	—	520	
			10	—	600	—	260	660	—	840	
			10	—	600	—	310	660	—	840	
			10	—	600	—	310	660	—	840	
			15	—	360	—	260	400	—	520	
15	—	360	—	260	400	—	520				
15	—	360	—	300	400	—	520				
Δ "ON" Resistance Between any 2 circuits in a common package ($V_C = V_{DD}$) ($V_{in} = \pm 5.0\text{ Vdc}$, $V_{SS} = - 5.0\text{ Vdc}$) ($V_{in} = \pm 7.5\text{ Vdc}$, $V_{SS} = - 7.5\text{ Vdc}$)	—	ΔR_{ON}	5.0	—	—	—	15	—	—	—	Ohms
			7.5	—	—	—	10	—	—	—	
Input/Output Leakage Current ($V_C = V_{SS}$) ($V_{in} = + 7.5$, $V_{out} = - 7.5\text{ Vdc}$) ($V_{in} = - 7.5$, $V_{out} = + 7.5\text{ Vdc}$)	—	—	7.5	—	±0.1	—	±0.0015	±0.1	—	± 1.0	µA _{dc}
			7.5	—	±0.1	—	±0.0015	±0.1	—	± 1.0	

NOTE: All unused inputs must be returned to V_{DD} or V_{SS} as appropriate for the circuit application.

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

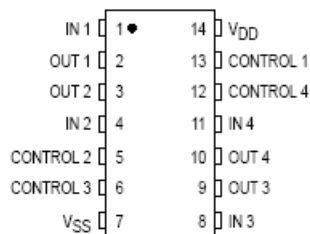
**For voltage drops across the switch (ΔV_{switch}) > 600 mV (> 300 mV at high temperature), excessive V_{DD} current may be drawn; i.e., the current out of the switch may contain both V_{DD} and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.) Reference Figure 14.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS* (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Characteristic	Figure	Symbol	V _{DD} Vdc	Min	Typ #	Max	Unit
Propagation Delay Time (V _{SS} = 0 Vdc) V _{in} to V _{out} (V _C = V _{DD} , R _L = 10 kΩ)	7	t _{PLH} , t _{PHL}	5.0 10 15	— — —	15 7.0 6.0	45 15 12	ns
		Control to Output (V _{in} ≤ 10 Vdc, R _L = 10 kΩ)	8	t _{PHZ} , t _{PLZ} , t _{PZH} , t _{PZL}	5.0 10 15	— — —	34 20 15
Crosstalk, Control to Output (V _{SS} = 0 Vdc) (V _C = V _{DD} , R _{in} = 10 kΩ, R _{out} = 10 kΩ, f = 1.0 kHz)	9	—	5.0 10 15	— — —	30 50 100	— — —	mV
Crosstalk between any two switches (V _{SS} = 0 Vdc) (R _L = 1.0 kΩ, f = 1.0 MHz, crosstalk = 20 log ₁₀ $\frac{V_{out1}}{V_{out2}}$)	—	—	5.0	—	-80	—	dB
Noise Voltage (V _{SS} = 0 Vdc) (V _C = V _{DD} , f = 100 Hz)	10,11	—	5.0 10 15	— — —	24 25 30	— — —	nV/ $\sqrt{\text{Cycle}}$
			(V _C = V _{DD} , f = 100 kHz)	5.0 10 15	— — —	12 12 15	
Second Harmonic Distortion (V _{SS} = -5.0 Vdc) (V _{in} = 1.77 Vdc, RMS Centered @ 0.0 Vdc, R _L = 10 kΩ, f = 1.0 kHz)	—	—	5.0	—	0.16	—	%
Insertion Loss (V _C = V _{DD} , V _{in} = 1.77 Vdc, V _{SS} = -5.0 Vdc, RMS centered = 0.0 Vdc, f = 1.0 MHz) loss = 20 log ₁₀ $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ (R _L = 1.0 kΩ) (R _L = 10 kΩ) (R _L = 100 kΩ) (R _L = 1.0 MΩ)	12	—	5.0	—	2.3	—	dB
				—	0.2	—	
				—	0.1	—	
				—	0.05	—	
Bandwidth (-3.0 dB) (V _C = V _{DD} , V _{in} = 1.77 Vdc, V _{SS} = -5.0 Vdc, RMS centered @ 0.0 Vdc) (R _L = 1.0 kΩ) (R _L = 10 kΩ) (R _L = 100 kΩ) (R _L = 1.0 MΩ)	12,13	BW	5.0	—	54	—	MHz
				—	40	—	
				—	38	—	
				—	37	—	
OFF Channel Feedthrough Attenuation (V _{SS} = -5.0 Vdc) (V _C = V _{SS} , 20 log ₁₀ $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ = -50 dB) (R _L = 1.0 kΩ) (R _L = 10 kΩ) (R _L = 100 kΩ) (R _L = 1.0 MΩ)	—	—	5.0	—	1250	—	kHz
				—	140	—	
				—	18	—	
				—	2.0	—	

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

PIN ASSIGNMENT



LM555


www.fairchildsemi.com

LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

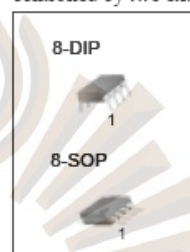
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than 2 μ Sec

Applications

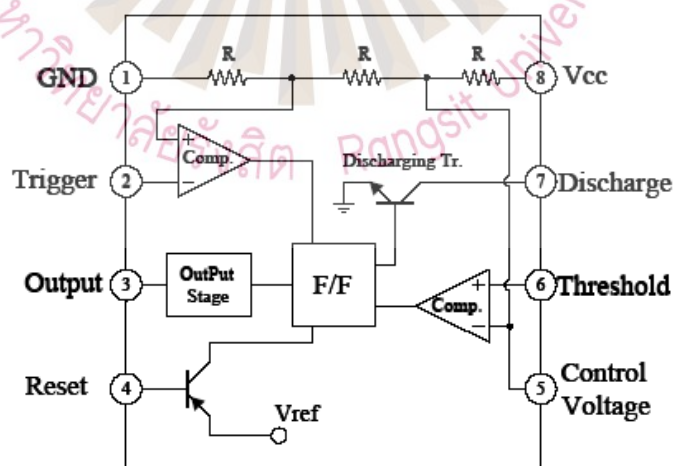
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.

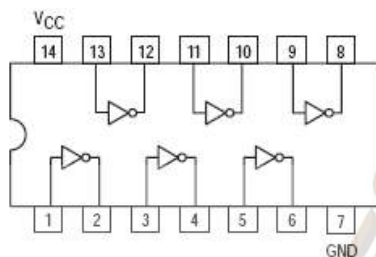


Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

SN74LS04

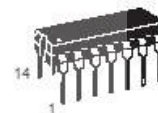
SN74LS04**Hex Inverter**

ON Semiconductor
Formerly a Division of Motorola
<http://onsemi.com>

**LOW
POWER
SCHOTTKY**

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
I _{OH}	Output Current – High			–0.4	mA
I _{OL}	Output Current – Low			8.0	mA



PLASTIC
N SUFFIX
CASE 646



SOIC
D SUFFIX
CASE 751A

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
SN74LS04N	14 Pin DIP	2000 Units/Box
SN74LS04D	14 Pin	2500/Tape & Reel

SN74LS04

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
V _{OL}	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
			0.35	0.5	V	
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			2.4	mA	V _{CC} = MAX
	Total, Output LOW			6.6		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

DM74LS08

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

August 1986
Revised March 2000

DM74LS08

Quad 2-Input AND Gates

General Description

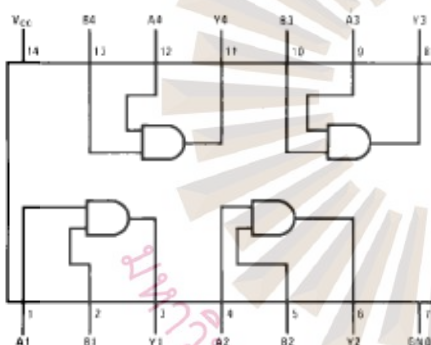
This device contains four independent gates each of which performs the logic AND function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS08M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS08SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS08N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table


$Y = AB$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

DM74LS08 Quad 2-Input AND Gates

DM74LS32



DM74LS32
Quad 2-Input OR Gate

General Description
This device contains four independent gates each of which performs the logic OR function.

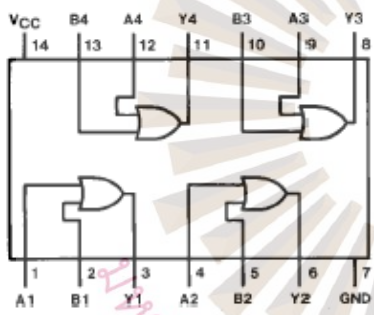
June 1986
Revised March 2000

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS32M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS32SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS32N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$Y = A + B$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

DM74LS32 Quad 2-Input OR Gate

ภาคผนวก ค
เก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า



รูป ค-1 แสดงด้านหน้าของตัวรถ



รูป ค-2 แสดงด้านหลังของตัวรถ



รูป ค-3 แสดงด้านข้างของตัวรถ



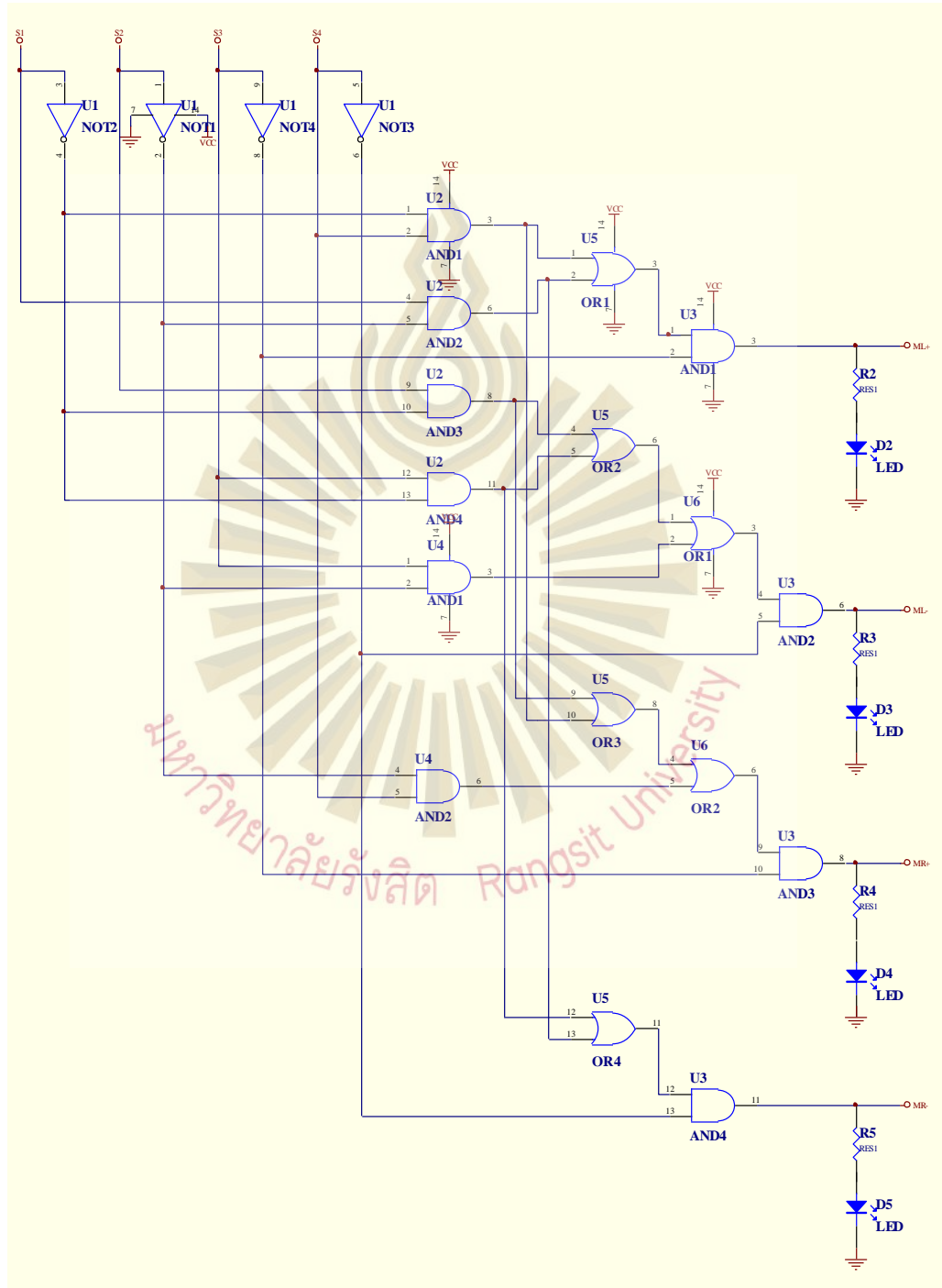
รูป ค-4 แสดงส่วนของการปรับเอนนอน 160° ของตัวรถ



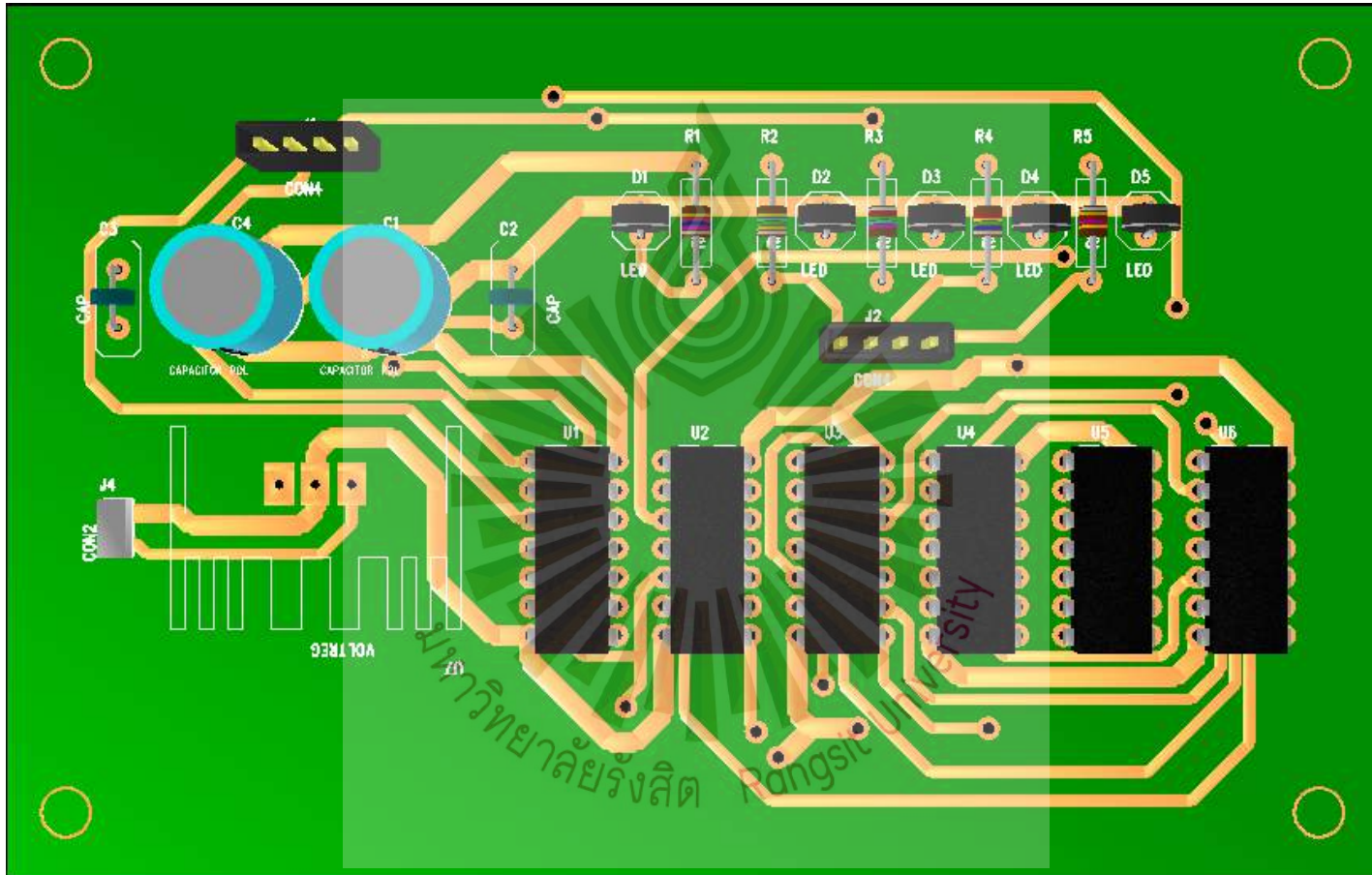
รูป ก-5 แสดงส่วนของการติดตั้งชุดควบคุมของตัวรถ

ภาคผนวก ง
วงจรการทำงานต่าง ๆ

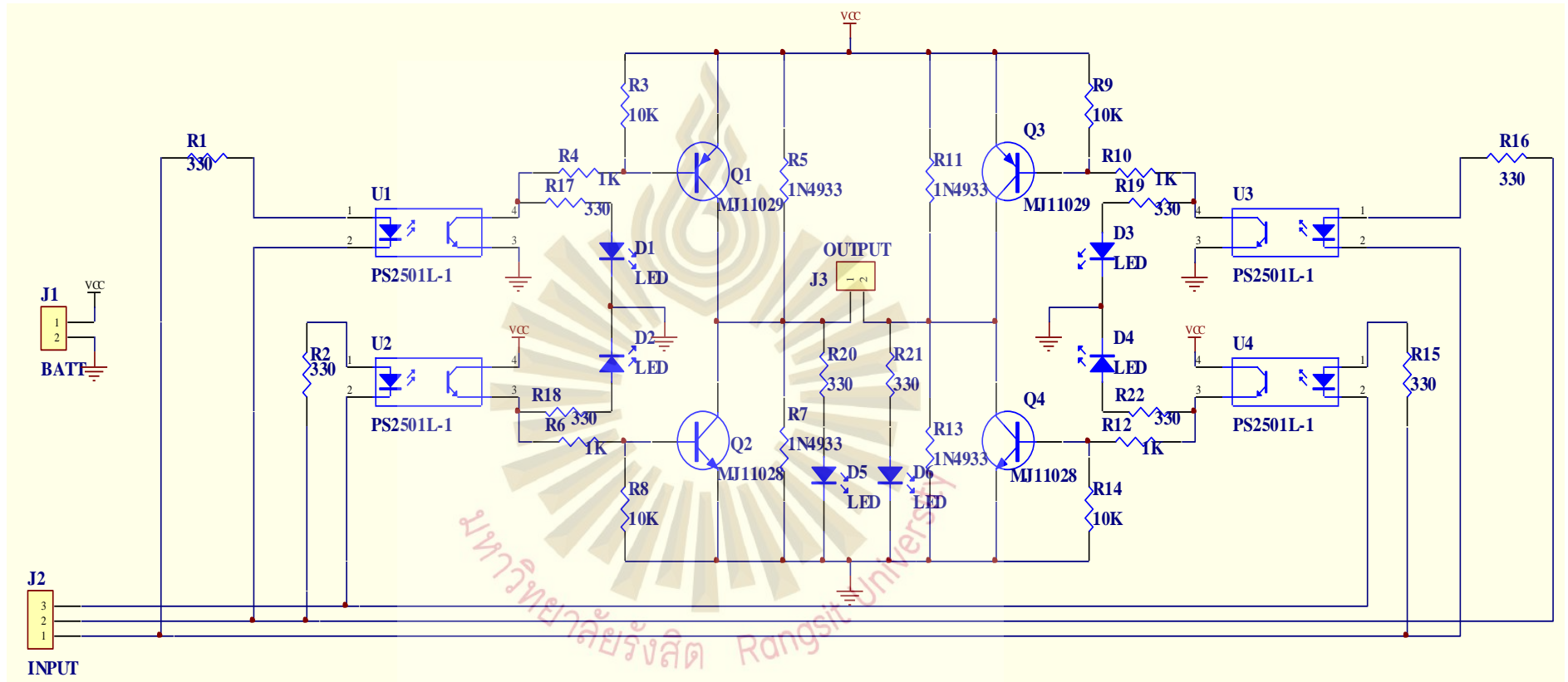
วงจรแสดงการควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า



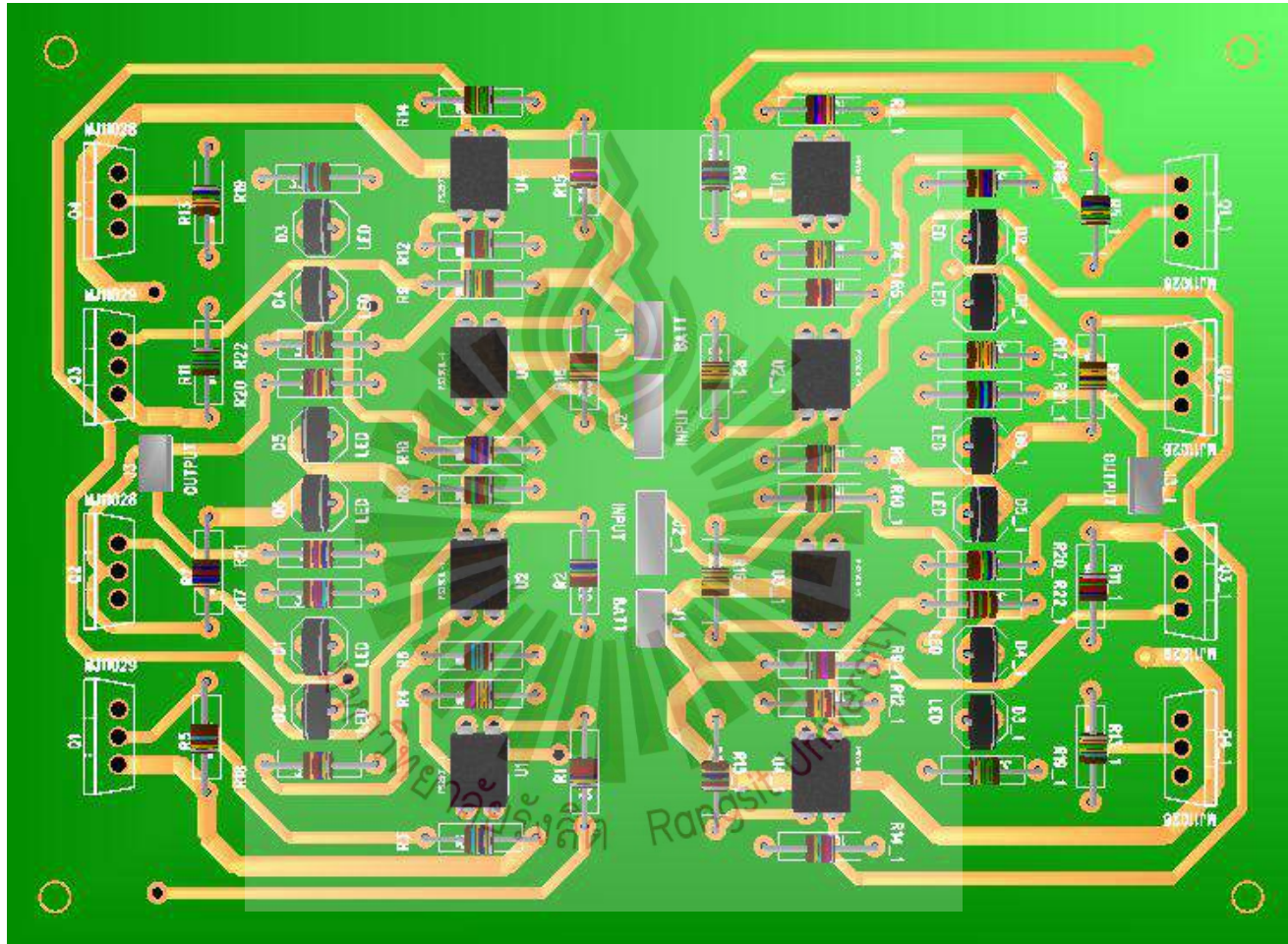
รูป ง-1 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของเก้าอี้ล้อเลื่อนไฟฟ้า



รูป ง-2 แสดงแผ่น PCB ของวงจรควบคุมการทำงานของแก้อีล้อเลื่อนไฟฟ้า



รูป ง-3 แสดงวงจรขับมอเตอร์



รูป ง-4 แสดงแผ่น PCB ของวงจรขับมอเตอร์