



ภาควิชาวิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ รถพลังงานไฟฟ้า
Electrical Power Car

ชื่อนักศึกษา 1. นายณัฐพล หนูชัยแก้ว รหัสประจำตัว 43035332
2. นายบุญยิ่ง บุญชู รหัสประจำตัว 43035336
3. นายประสงค์ จูเป้า รหัสประจำตัว 43035337
4. นายอภิสิทธิ์ พรหมเวียง รหัสประจำตัว 43035360

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุชิน อจหาญ	
2. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี	
3. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาดี	
4. อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล	
5. อาจารย์วรวิทย์ สมหา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันอังคารที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2545 เวลา 13.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.315 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



ภาควิชารับรองแล้ว
ลงนาม.....
(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรรรรม) ภาควิชาวิศวกรรม



<BT4402192>
รถพลังงานไฟฟ้า

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม
วันที่ 14 เดือน พค. พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

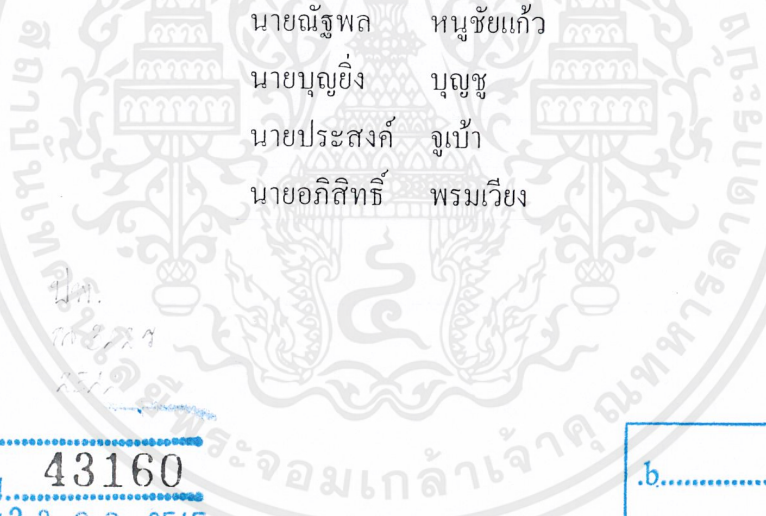
ปริญญาบัตร

รถพลังงานไฟฟ้า

ELECTRICAL POWER CAR



นายฉัฐพล	หนูชัยแก้ว
นายบุญยิ่ง	บุญชู
นายประสงค์	จูบัว
นายอภิสิทธิ์	พรมเวียง



เลขหมู่.....
 เลขทะเบียน..... 43160
 วัน, เดือน, ปี..... 3 ก.ค. 2545

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

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง รถพลังงานไฟฟ้า

Electrical Power Car

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
2. เพื่อออกแบบระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ที่ควบคุมด้วย MCS-51
3. เพื่อสร้างรถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ชุดควบคุมระบบ และโปรแกรมควบคุมระบบ
4. เพื่อทดลองการทำงานของระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ควบคุมด้วย MCS-51
5. เพื่อนำเอารถพลังงานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ที่ควบคุมด้วย MCS-51
2. ได้วงจรขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ และโปรแกรมควบคุม
3. ได้เครื่องต้นแบบของรถพลังงานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์
4. ได้ปรับปรุงการทำงานของระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์
5. ได้นำเอารถพลังงานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	รถพลังงานไฟฟ้า
นักศึกษา	นายณัฐพล หนูชัยแก้ว นายบุญยั้ง บุญชู นายประสงค์ จูเบ้า นายอภิสิทธิ์ พรหมเวียง
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายสุรพงษ์ สิริพงษ์ดี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น โดยเสนอเนื้อหาของการออกแบบ และการสร้างรถพลังงานไฟฟ้าที่นำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นตัวหลักสำคัญในการสร้างรถพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมระบบ การสร้างรถพลังงานไฟฟ้าขึ้นก็เพื่อเป็นรถต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาการทำงานรวมทั้งเพื่อเป็นประโยชน์ในการสร้าง และพัฒนารถพลังงานไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

Thesis Title	Electrical Power Car
Student	Mr. Nuttapol Nuchaigav Mr. Boonying Boonchoo Mr. Prasong Chubao Mr. Apinit Promwieng
Advisor	Mr. Paiboon Pongwongtragull
Co-Advisor	Mr. Surapong Siripongdee
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Electronics and Computer
Academic Year	2001

ABSTRACT

This thesis create for presents a of designing and implementation of Electrical Power Car. By bring power of electricity used to drive direct current motor and bring microcontroller used to control system. With create Electrical Power Car, for used to sample of the Electrical Car in education to operation and useful for in used to create and development Electrical Power Car have well up in next time.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากพระคุณของบิดา มารดาที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านและเป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอขอบคุณอาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล และอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี อีกทั้งคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้คำแนะนำความรู้ต่างๆ รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ อีกทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้แนวคิดต่างๆ มากมายรับฟังปัญหา และคอยเป็นกำลังใจให้อยู่เสมอ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปริญญาานิพนธ์	1
1.2 ชัดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	3
2.2.1 หลักการทำงาน	3
2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์	6
2.3 พื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.3.1 ลักษณะการควบคุมของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.3.2 การแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.3.3 อุปกรณ์เข้ารหัสอินคริเมนต์	11
2.3.4 วงจรขยายเซอร์โว	15
2.3.5 วงจรขยายพัลส์วิดโมดูเลชั่น	20
2.3.6 ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้วงจรขยายพัลส์โมดูเลชั่น	23
2.3.7 พิจารณาโครงสร้าง และการวิเคราะห์คุณสมบัติการทำงานของวงจร	27
2.3.8 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการตัดกระแส และต่อกระแส	31
2.3.9 พลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์	34

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	37
3.1 กล่าวนำ	37
3.2 ขั้นตอนในการออกแบบ และการทำงานของโปรแกรมควบคุม	37
3.2.1 ขั้นตอนในการออกแบบ	37
3.2.2 การทำงานของโปรแกรมควบคุม	42
3.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทำงานของส่วนต่างๆของรถไฟฟ้า	45
3.3.1 การออกแบบโครงสร้างตัวรถไฟฟ้า	45
3.3.2 การออกแบบส่วนวงจรชาร์จ	49
3.4 การสร้างส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า	52
3.4.1 การสร้างส่วนของโครงรถ และระบบขับเคลื่อน	53
3.4.2 การสร้างส่วนวงจรควบคุมต่างๆ และวงจรชาร์จ ของรถไฟฟ้า	54
3.5 ขั้นตอนการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า	55
3.5.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบขับเคลื่อน	55
3.5.2 ขั้นตอนการทำงานวงจรขยายการตัด และต่อกระแส	56
3.5.3 ขั้นตอนการทำงานวงจรพัลส์วิด โมดูเลชั่น	58
3.5.4 ขั้นตอนการทำงานวงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	62
4.1 กล่าวนำ	62
4.2 การทดลองการทำงานของโครงสร้าง	62
4.2.1 วิธีการทดสอบการรับน้ำหนัก	62
4.2.2 ผลการทดสอบการรับน้ำหนัก	62
4.3 วิธีการทดลอง และผลการทดลองระบบขับเคลื่อนรถ ไฟฟ้า	63
4.3.1 วิธีการทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์	63
4.3.2 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์	63
4.4 วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	64
4.4.1 การทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	64
4.4.2 ผลการทดลองขณะที่ มอเตอร์ไม่มีโหลด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4.3 การทดสอบเมื่อติดตั้งมอเตอร์เข้ากับโครงรถ	65
4.4.4 การทดสอบเมื่อรถวิ่งด้วยความเร็วคงที่	65
4.5 วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรพัลส์วิด โมดูเลชั่น	66
4.6 วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรซาร์จ	66
4.6.1 การทดสอบวงจรซาร์จ	66
4.6.2 การทดสอบวงจรควบคุมการซาร์จ	67
4.6.3 การทดสอบวงจรป้องกัน	67
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	68
5.1 บทสรุป	68
5.2 ปัญหา	68
5.3 แนวทางการแก้ไข	68
5.4 แนวทางการพัฒนา	69
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	70
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	76
ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และ โปรแกรม	83
บรรณานุกรม	91
ประวัติผู้แต่ง	92

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
รูปที่ 2.3 แผนภาพคุณสมบัติของมอเตอร์ขนาด 1 วัตต์ และ 80 วัตต์	6
รูปที่ 2.4 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	7
รูปที่ 2.5 แผนภาพค่าแรงดันที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กระแสตรงกับความเร็วรอบ	8
รูปที่ 2.6 ผังการทำงานจากระบบป้อนกลับ	8
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกลไกของออฟโตอินคริเมนต์	11
รูปที่ 2.8 ความละเอียดของอุปกรณ์เข้ารหัส	11
รูปที่ 2.9 ถึงผลของแสงที่เดินทางในแนวเดียวกัน และแสงที่แตกกระจาย	12
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นเชิงเส้นกับความไม่ได้เป็นศูนย์กลาง	13
รูปที่ 2.11 (ก) ตัวอย่างรูปคลื่นเอาต์พุตสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เข้ารหัสช่องเดียว	14
รูปที่ 2.11 (ข) ตัวอย่างสัญญาณของอุปกรณ์เข้ารหัส 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90°	14
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างส่วนประกอบของอุปกรณ์เข้ารหัส	14
รูปที่ 2.13 ภาคเอาต์พุตแบบ “T” (ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังสองตัว)	15
รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันของวงจร PWM	17
รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงค่าดีวีทีไอที่เกิดตามภาระของวงจรขยาย PWM	17
รูปที่ 2.16 วงจรขยายเซอร์โวสองทิศทาง แสดงการควบคุมได้เต็มทั้งสี่ช่วงของวงกลม	19
รูปที่ 2.17 ภาคเอาต์พุตของวงจร ไบโพลาร์เชิงเส้น	19
รูปที่ 2.18 วงจรขยายพัลส์วิด โมดูเลชันสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	22
รูปที่ 2.19 แผนผังการทำงานจากระบบควบคุมความเร็วแบบพัลส์วิด โมดูเลชัน	23
รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบควบคุม PWM	24
รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบระหว่างแรงดันและกระแส	24
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในอาร์มาร์เจอร์ของเซอร์โวมอเตอร์กับ ฟอรัมแฟคเตอร์	26
รูปที่ 2.23 ผังการทำงานของวงจรขยาย PWM	27
รูปที่ 2.24 ผลของการฮิสเทรีซิสในวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.25 แรงดันเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบ และวงจรถับ	28
รูปที่ 2.26 ผังการทำงานของวงจรถักชีพจรโมดูละชั้น และมอเตอร์	29
รูปที่ 2.27 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันการโอนย้ายของวงจรถักชีพจรโมดูละชั้น และมอเตอร์ที่ได้ทำให้อยู่ในรูปอย่างง่าย	30
รูปที่ 2.28 ถึงแรงดันของวงจรถักชีพจร PWM และกระแสของมอเตอร์	31
รูปที่ 2.29 แผนผังการทำงานของวงจรถักชีพจรของส่วนที่ป้อนกลับกระแส	32
รูปที่ 2.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการตัดต่อ ในรูปของพาราโบลา ต่อค่าเฉลี่ยของแรงดันมอเตอร์	33
รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเบรกของรถไฟฟ้า ขณะเบรก	38
รูปที่ 3.2 การทำงานของระบบเบรกของรถไฟฟ้า ขณะถอนเบรก	38
รูปที่ 3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก	39
รูปที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยตรวจสอบสถานะเกียร์	40
รูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมย่อยในการแสดงผล	41
รูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมย่อยส่งเสียงเตือน	42
รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	43
รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์	44
รูปที่ 3.9 วงจรคอตเมตริกซ์	44
รูปที่ 3.10 รูปวงจรถวลคุมบัสเซอร์	45
รูปที่ 3.11 รูปร่างซัดซี	46
รูปที่ 3.12 การวางลื้อเข้ากับซัดซี ขนาดของยาง	46
รูปที่ 3.13 การติดลื้อกับซัดซี	47
รูปที่ 3.14 การวางลื้อหลัง และส่วนการขับเคลื่อน	47
รูปที่ 3.15 การวางพวงมาลัยการขับเคลื่อน	48
รูปที่ 3.16 โครงสร้างของโครงรถไฟฟ้าภายนอก	48
รูปที่ 3.17 การออกแบบที่วางแบตเตอรี่	49
รูปที่ 3.18 แบตเตอรี่รถยนต์	50
รูปที่ 3.19 การระบบขับเคลื่อน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.20 วงจรขยายพัลส์วิด โมดูเลชัน แบบยูนิโพลาร์	56
รูปที่ 3.21 การควบคุมมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา	57
รูปที่ 3.22 การควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา	57
รูปที่ 3.23 วงจรขยายภาคเอาต์พุต	58
รูปที่ 3.24 วงจรพัลส์วิด โมดูเลชัน	59
รูปที่ 3.25 วงจรตรวจระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่	64
รูปที่ 4.1 วงจรวงจรจับมอเตอร์	66
รูปที่ 4.2 วงจรพัลส์วิด โมดูเลชัน	67



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

รถพลังงานไฟฟ้ามีจุดประสงค์หลัก คือ นำเอาพลังงานไฟฟ้ามาทำการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลโดยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อนำไปจุดระบบขับเคลื่อนให้ทำงาน ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็นำมาจากแบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้าหลักของระบบ และแบตเตอรี่ชุดนี้ยังสามารถประจุจากไฟฟ้า 220 โวลต์ ที่ใช้ตามบ้านทั่วไปได้อีกด้วย

รถพลังงานไฟฟ้ายังมีความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดมลพิษให้กับธรรมชาติได้ เพราะเนื่องมาจากการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้านั้นไม่ใช่เครื่องยนต์จึง ไม่เกิดมลพิษใดๆ ทั้งสิ้น

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังต่อไปนี้

- 1) สามารถวิ่งได้มีความเร็ว 10 กม./ชม.
- 2) สามารถวิ่งต่อเนื่องได้นาน 30 นาที
- 3) สามารถชาร์จไฟฟ้ากระแสสลับ 220 - 230 โวลต์ได้
- 4) สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 50 กก.

1.3 เนื้อหาพอสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดแบ่งออกเป็นบทต่างๆ ทั้งหมดด้วยกัน 5 บท เพื่อความสะดวกในการศึกษา และทำความเข้าใจ โดยในแต่ละบทนั้นจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่สำคัญๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ ในส่วนของบทที่ 2 นี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาทางทฤษฎี และหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความรู้พื้นฐานต่างๆ ไปเกี่ยวกับการสร้างรถไฟฟ้า

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง และการทำงาน ในส่วนของบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึงหลักการออกแบบการสร้าง และการทำงาน ลำดับขั้นตอนของการออกแบบ รวมไปถึงขั้นตอนการสร้างรถพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ในส่วนของบทที่ 4 นี้ จะกล่าวถึงการใช้งาน และการทดลองต่างๆ เช่น การทดสอบประสิทธิภาพของรถไฟฟ้า

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไข และการพัฒนา ในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึง ปัญหาที่เกิดขึ้นในการระหว่างทำโครงการ และแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงแนวทางในการที่จะพัฒนาตัวโปรแกรม

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค ผังงาน และโปรแกรม



บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการทำงาน

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในส่วนของบทที่ 2 นี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาทางทฤษฎีที่จะนำมาประกอบในการสร้างรถพลังงานไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ วงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรควบคุมความเร็ว เป็นต้น

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

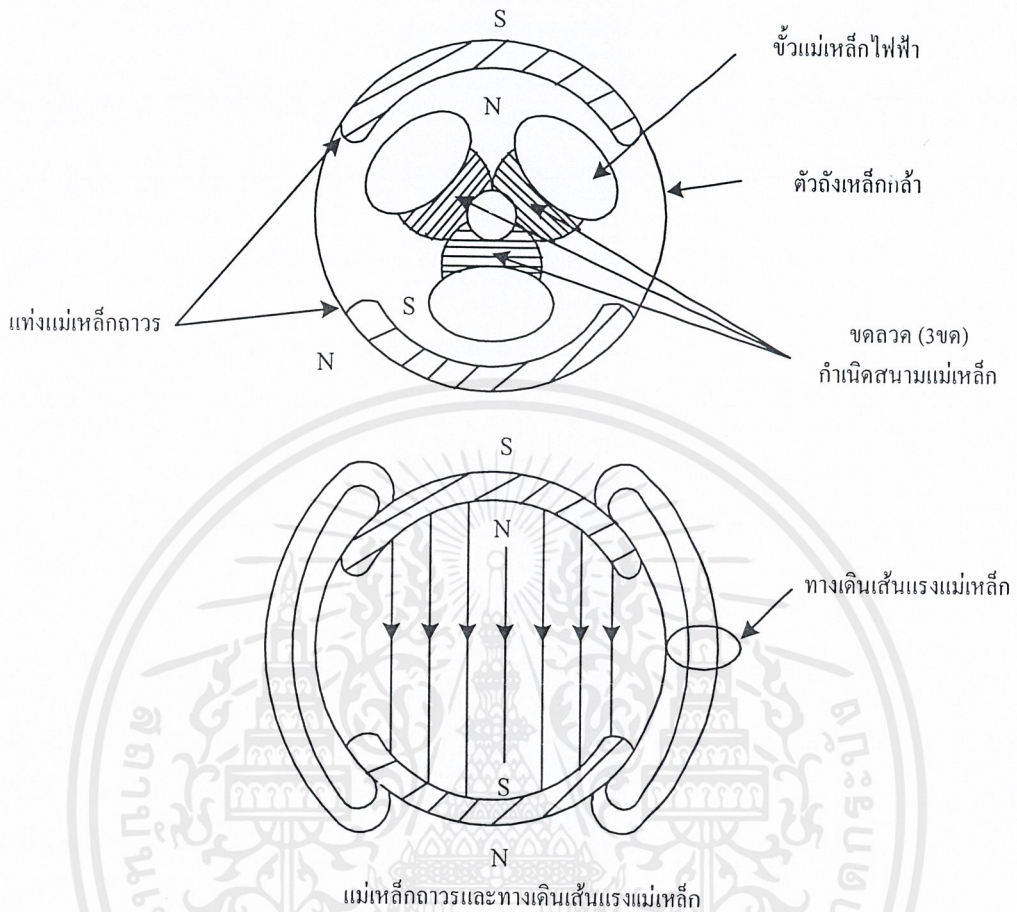
2.2.1 หลักการทำงาน

แม้ว่าการใช้งานมอเตอร์มีขอบเขตอย่างกว้างขวาง แต่มอเตอร์กระแสตรงทุกชนิดมีหลักในการทำงานเดียวกัน โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำให้เกิดแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนของแรงขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้า และกำลังของสนามแม่เหล็กแรงที่เกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแส และสนามแม่เหล็กขณะที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก และกระแสจะเป็นผลให้เกิดทิศทางของแรงเกิดการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถกลับทิศทางการทำงานได้

พิจารณาในส่วนของแท่งสนามแม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับการไหลของแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กกล้า และบางแบบก็จะทำตัวถังเป็นแม่เหล็กโดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ขดลวดเหนี่ยวนำจะถูกพันอยู่บนส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรงแยกได้เป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของมอเตอร์รุ่นเล็กๆ ทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้น ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดกับตัวถังได้พอดี เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางมอเตอร์ ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแม่เหล็กด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งไปบนตัวถัง กระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับโรเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านกับแม่เหล็กถาวรเกิดขึ้นเป็นแรงบิดหมุนโรเตอร์ไปทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีความแรงมากกว่า และกระแสจะผ่านไปยังโรเตอร์โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสอยู่กับแหวนตัวนำบนโรเตอร์ แหวนถูกแบ่งออกเป็น 3 เซ็กเมนต์ ทำหน้าที่นำกระแสเข้าขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

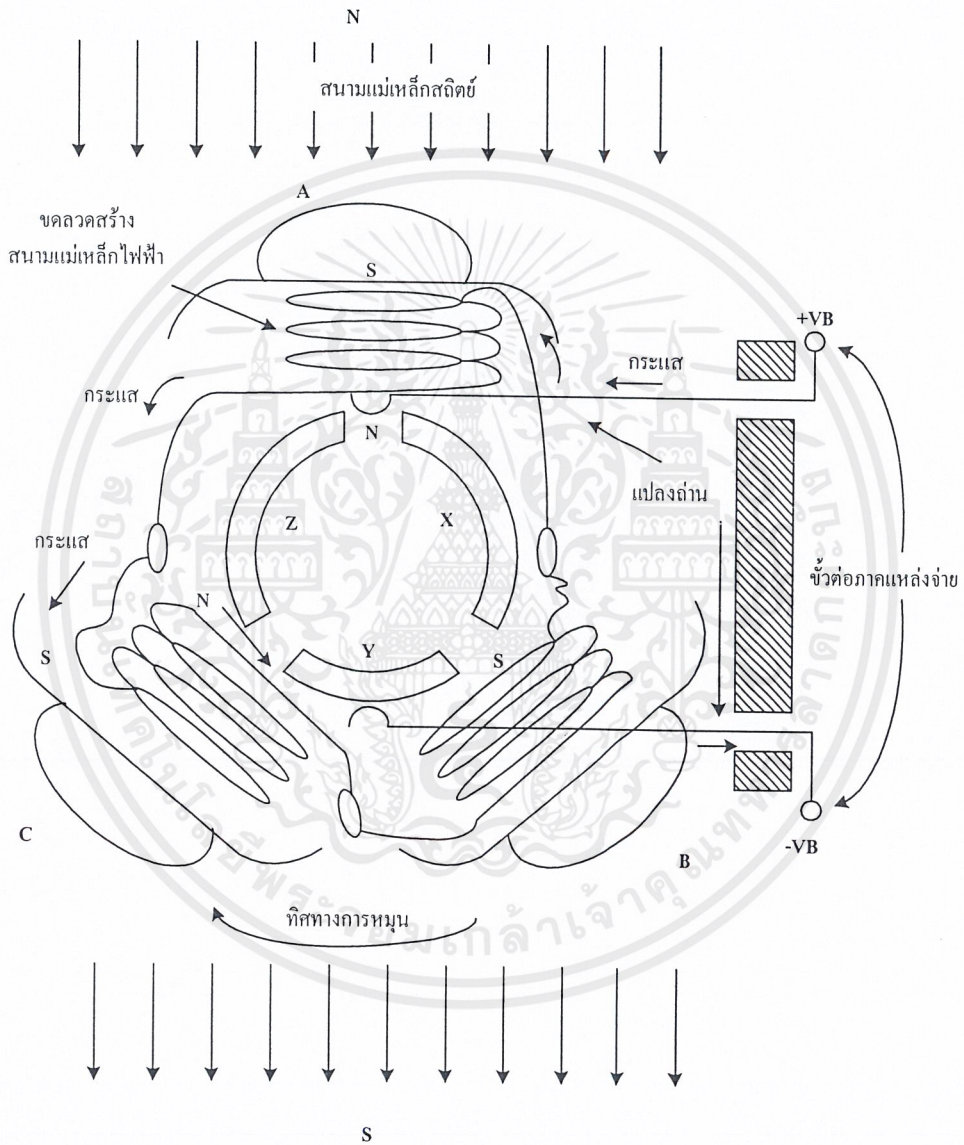


รูปที่ 2.1 โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทำงานของมอเตอร์ กระแสในขดลวด B จะมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสในขดลวด A และ C โดยที่ขดลวดทั้งสามต่อกันอยู่ในลักษณะอนุกรม

ทิศทางการไหลของกระแสในขดลวด B ทำให้ขั้วแม่เหล็ก B มีสภาพเป็นขั้วเหนือถูกดูดไปทางขั้วใต้ของแม่เหล็กสถิตย์ ส่วนขดลวด A และ C มีสภาพเป็นขั้วใต้จึงถูกดูดไปทางขั้วเหนือ แรงดูดแบบนี้ทำให้โรเตอร์เกิดแรงบิดมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อโรเตอร์หมุนไปได้เล็กน้อย แปร่งถ่านจะสัมผัสกับเช็กเมนต์ Z ของคอมมิวเตเตอร์ เป็นผลให้กระแสในขดลวด A มีทิศทางตรงข้ามกับตอนแรก ส่วนทิศทางของกระแสในขดที่เหลื้ออีก 2 ขด ไหลในทิศทางเดิมขั้ว A ก็กลายเป็นขั้วเหนือ และถูกผลักออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กสถิตย์ไปยังขั้วใต้แทน ในลักษณะที่กล่าวมา จึงทำให้มอเตอร์หมุนต่อไปได้ เมื่อขั้ว B อยู่ตรงกับขั้วใต้ของแม่เหล็กสถิตย์แปร่งถ่านขั้วลบ

อาร์มาเจอร์เซ็กเมนต์ Y เป็นเซ็กเมนต์ X กระแสในขดลวด B มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิม และขั้ว B ซึ่งเป็นขั้วไต้จะถูกผลักออกจากขั้วไต้ของแม่เหล็กสถิตย์ การหมุนจะเป็นวัฏจักรในทิศทางนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่ากระแสภายนอกจะกลับทิศทาง แสดงดังรูปที่ 2.2



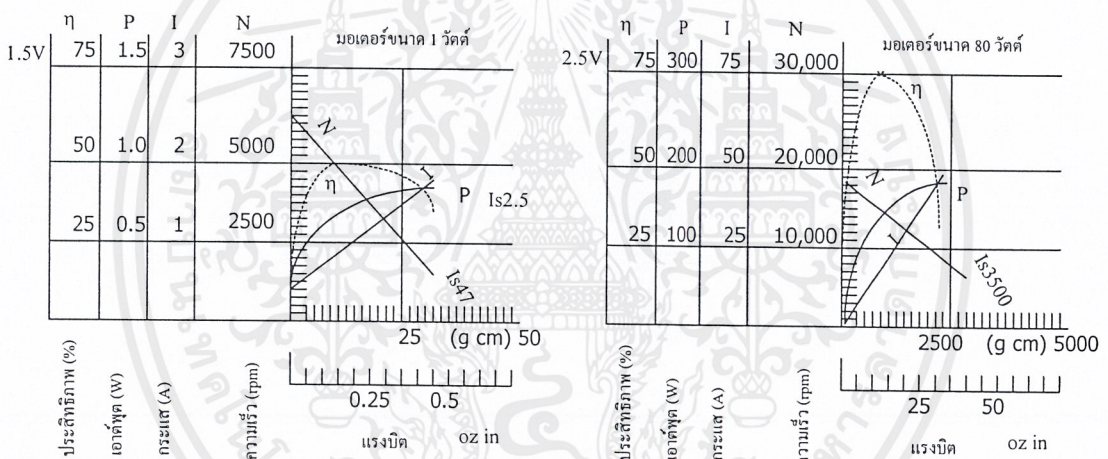
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์

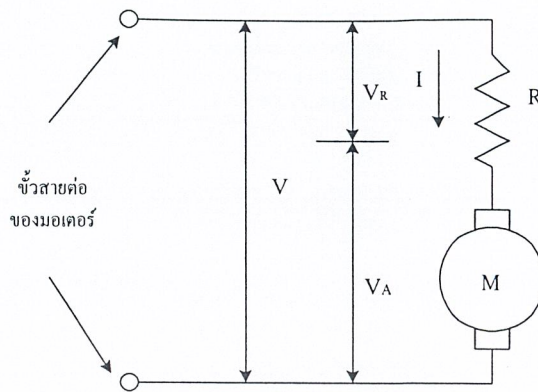
ในหัวข้อหลักการการทำงานของมอเตอร์ที่กล่าวว่าแรงที่เกิดจากกระแสที่ผ่านตัวนำเข้าไปยังสนามแม่เหล็กต้องมีสถานะที่เหมาะสมนั้น จะทำให้เกิดข้อจำกัดของแรงบิดในตัวมอเตอร์ รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพคุณสมบัติของมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีกำลังประมาณ 1 วัตต์ และอีกรูปแบบหนึ่งเป็นแผนภาพของมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีกำลังประมาณ 80 วัตต์ เปรียบเทียบกันโดยให้แรงดันคงที่

สังเกตได้ได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงบิดเป็นเส้นตรงถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันที่ป้อนให้ และความเร็วในการหมุน จะพบว่าอัตราส่วนแรงบิด และกระแสทุกจุดจะเท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ กำลังของแม่เหล็กชนิด และจำนวนของแผ่นเหล็กในโรเตอร์สเตเตอร์ และช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์



รูปที่ 2.3 แผนภาพคุณสมบัติของมอเตอร์ขนาด 1 วัตต์ และ 80 วัตต์

ความสัมพันธ์ที่สองที่ได้จากแผนภาพ คือ ความเร็วเปรียบเทียบกับแรงบิด ซึ่งความเร็วขณะที่ไม่มีการโหลดจะมีแผนภาพเป็นเส้นตรง เพื่อที่จะอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์ให้ละเอียดยิ่งขึ้น ต้องพิจารณาแรงบิดที่ป้อน และความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.4 โดยสมมติให้โรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมอยู่กับความต้านทาน ซึ่งก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง



รูปที่ 2.4 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

แรงดันที่ขั้วต่อของสายมอเตอร์ คือ ผลบวกระหว่างแรงดันที่โรเตอร์ (V_A) และแรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด

แรงดันที่ V_A ถูกเรียกว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (Feedback Electromotive Force) ซึ่งเกิดขึ้นในขดลวดโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วที่ตรงข้ามแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ และแปรผันตรงกับความเร็ของการหมุน ผลบวกของแรงดันที่โรเตอร์ (V_A) และแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด (V_R) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (V)

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

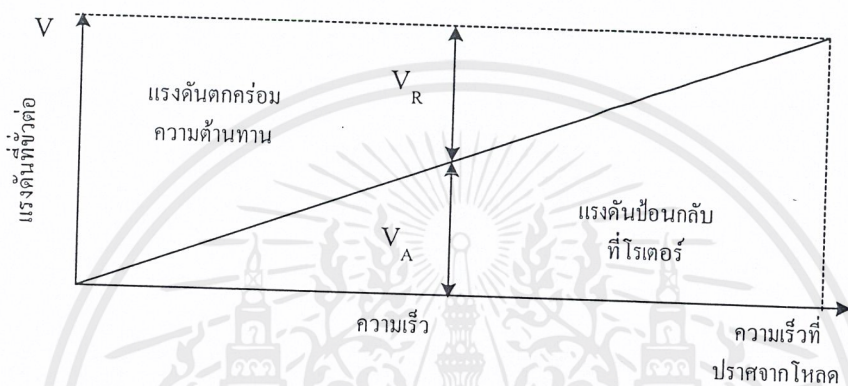
พิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น $V_A = 0$ และ $V_R = V$ กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = \frac{V_R}{R} \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลง กระแส I จะเริ่มลดลงเช่นกัน ขณะที่มอเตอร์มีความเร่งอยู่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นแรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์จะรับโหลดได้พอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และหมุนได้อย่างอิสระจะมีแต่ความฝืดของลูกปืน และแรงต้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอากาศ ทำให้ค่า V_A เกือบจะเท่ากับ V ในรูปที่ 2.5 แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ ก็คือ ผลบวกของ V_A V_R ที่ทุกๆ ความเร็ว ส่วนกระแส และแรงบิดจะแปรผันตรงกับ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ขณะที่แรงดันจากภายนอกคงที่จะเป็นเส้นตรงเช่นกันสามารถสรุปได้ว่า

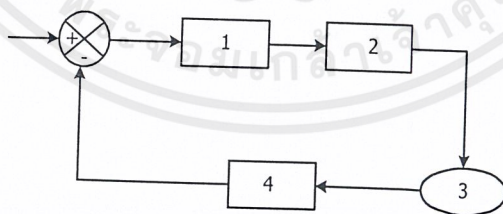
$$\text{ความเร็ว} = 1 - \text{แรงบิด} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.5 ค่าแรงดันที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กระแสตรงกับความเร็วยุโรป

2.3 พื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ในแผนผังการทำงานในรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คือ



รูปที่ 2.6 แผนผังการทำงานของระบบป้อนกลับ

- 1) **ตัวควบคุม** เป็นส่วนของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณควบคุมเพื่อที่ไปบังคับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และภาวะตัวควบคุมที่ทำให้สัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณอุปมาเราเรียกว่า ตัวควบคุมเชิงอุปมา ส่วนตัวควบคุมที่ทำให้สัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณเชิงเลขเราเรียกว่า ตัวควบคุมเชิงเลข

2) วงจรขับ เป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่าง ภาคการควบคุมกับตัวมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ภาระมีหน้าที่ปรับรูป และขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับมอเตอร์ และภาระ วงจรขับส่วนใหญ่ได้แก่ วงจรขยายกำลัง ซึ่งอาจแบ่งย่อยออกเป็น วงจรขยายกำลังเชิงเส้น และวงจรขยายแบบพัลส์วิด โมดูเลชัน

3) อุปกรณ์แปลงสัญญาณป้อนกลับหรืออุปกรณ์เข้ารหัส เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ทำหน้าที่ในการรับรู้หรือตรวจจับสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ โดยไม่มีผลของการเป็นภาระ (loading) สัญญาณที่ตรวจจับได้จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงทำให้สัญญาณผิดพลาดอุปกรณ์แปลงสัญญาณป้อนกลับแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณเชิงอุปมา คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เปลี่ยนแปลงพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณเชิงอุปมา ได้แก่ พวก ทาโคเจนเนอเรเตอร์ ความต้านทานปรับค่าได้ และซิงโคร เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์แปลงสัญญาณป้อนกลับอีกแบบหนึ่ง คือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณเชิงเลข เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้แปลงพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณเชิงเลข ได้แก่ พวก อุปกรณ์ เข้ารหัสอินคริเมนต์ เป็นต้น

4) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและภาระ เป็นระบบที่ถูกควบคุม หรือออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล (มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง) หรืออะไรก็ตามที่ให้ตัวแปรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในที่นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรที่มีคุณสมบัติการทำงานสูงมีค่าความเหนี่ยวนำที่อาร์มาเจอร์ และทำให้มีแรงเฉื่อยของโรเตอร์ต่ำ

2.3.1 ลักษณะการควบคุมของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จำแนกลักษณะการควบคุมออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบควบคุมเชิงอุปมา และระบบควบคุมเชิงเลข

1) ระบบควบคุมเชิงอุปมา ในวงรอบควบคุมของระบบควบคุมเชิงอุปมา เอาต์พุตของตัวรับจะถูกวัดค่าหรือตรวจจับค่าได้เป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณเชิงอุปมา เช่น ระบบที่มีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์แรงดันเอาต์พุตของทาโคมิเตอร์จะเป็นสัญญาณเชิงอุปมาที่แสดงถึงความเร็วมอเตอร์

ในทำนองเดียวกับระบบควบคุมตำแหน่งไดนามิกควารีเอเบิล (การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของภาระ) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากความต้านทานปรับค่าได้นั้น คือ ตำแหน่งเอาต์พุตของระบบเป็นสัญญาณเชิงอุปมาที่มีลักษณะเป็นไดนามิกควารีเอเบิล

ระบบควบคุมเชิงอุปมา ก็คือ การควบคุมที่มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณป้อนกลับไปยังตัวควบคุมเชิงอุปมา วัดค่าไดนามิกควารีเอเบิลออกเป็นสัญญาณเชิงอุปมาป้อนกลับไปยังตัวควบคุมเชิงอุปมา เพื่อควบคุมให้ได้คุณสมบัติทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ

2.3.2 การแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้างของอาร์มาเจอร์ การออกแบบประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
- 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กค่าคงที่

ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กของมอเตอร์โดยทั่วไปในปัจจุบันมักใช้เป็น แบบแม่เหล็กถาวร ในระบบนี้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์ และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิด และความเร็วอยู่ในลักษณะเชิงเส้น สมการทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L \frac{d\omega}{dt} + R i \quad (2.4)$$

เมื่อ V คือ แรงดันที่ป้อนให้แก่มอเตอร์

$K_e \omega$ คือ ค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ

L คือ ความเหนี่ยวนำของอาร์มาเจอร์

$R i$ คือ ความต้านทานที่ขั้วของมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์ คือ

$$T_g = J \frac{d\omega}{dt} + T_f + T_L \quad (2.5)$$

เมื่อ T_g คือ ค่าของทอร์ก

J คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และภาระ

B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสกอสแด็มพ์ฟิง

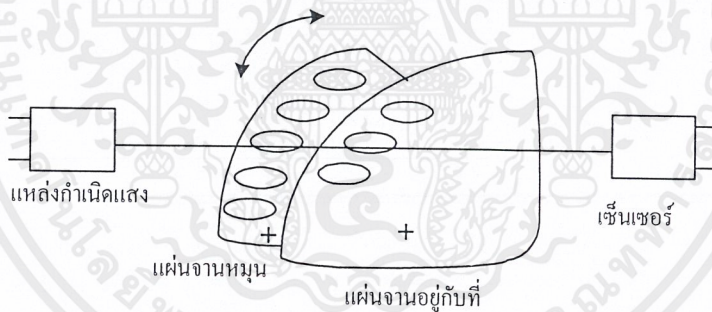
T_f คือ แรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือ แรงบิดภาระ

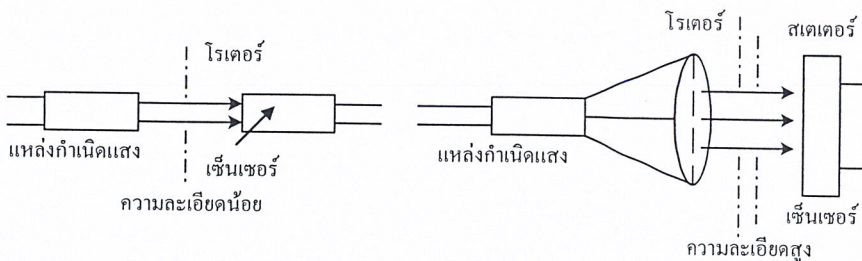
สมการต่างๆ ของมอเตอร์แยกกระตุนสนามแม่เหล็กจะเหมือนกับแบบกระตุนสนามแม่เหล็กคงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กถาวรซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบโครงสร้างสนามแม่เหล็กด้วยการขับที่มอเตอร์ที่มีแรงม้าเท่ากัน นอกจากนั้นความสัมพันธ์เชิงเส้นในสมการ (2.5) ยังให้ค่ากระแสของอาร์มาเจอร์ ที่สูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสนามแม่เหล็กเป็นขดลวด การประยุกต์ใช้งานจะเหมาะสมกับระบบที่ต้องการแรงบิดสูง

2.3.3 อุปกรณ์เข้ารหัสอินคริเมนต์

ในระบบการบังคับตำแหน่ง หรือความเร็วของมอเตอร์จะต้องใช้อุปกรณ์เข้ารหัสอินคริเมนต์ หรืออุปกรณ์เข้ารหัสสำหรับรักษาตำแหน่ง และสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับโดยที่ตัวอุปกรณ์เข้ารหัสจะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลลามอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลส์ได้รหัสเข้ารหัสอินคริเมนต์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ ตัวกำเนิดแสง จานหมุน (Rotary Disk) จานอยู่กับที่ และตัวตรวจจับบนแผ่นจานหมุนทำเป็นช่องโคจรอบดั่งแสดงในรูปที่ 2.7 และบนแผ่นอยู่กับที่ที่มีช่องสำหรับให้แสงผ่านไปยังตัวตรวจจับความละเอียดของอุปกรณ์เข้ารหัสอินคริเมนต์



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกลไกของออปโตอินคริเมนต์



รูปที่ 2.8 ความละเอียดของอุปกรณ์เข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของอุปกรณ์เข้ารหัส คือ จำนวนคาบของเวลาของสัญญาณเอาต์พุตต่อการหมุนของเฟลา 1 รอบ ซึ่งบวกเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบ หรือจำนวนรอบต่อ 360 องศา มุมทางเชิงกล หรือรอบต่อองศา อุปกรณ์เข้ารหัสต่างๆ ไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์ต่อรอบ

จำนวนพัลส์ต่อ 1 รอบของสัญญาณที่อุปกรณ์เข้ารหัสออกมาจะเท่ากับจำนวนช่องว่างบนแผ่นจานหมุน และความกว้างของช่องว่างจะเท่ากัน เพราะฉะนั้นเราสามารถคำนวณหาความกว้างของช่องว่าง (W) ได้จาก

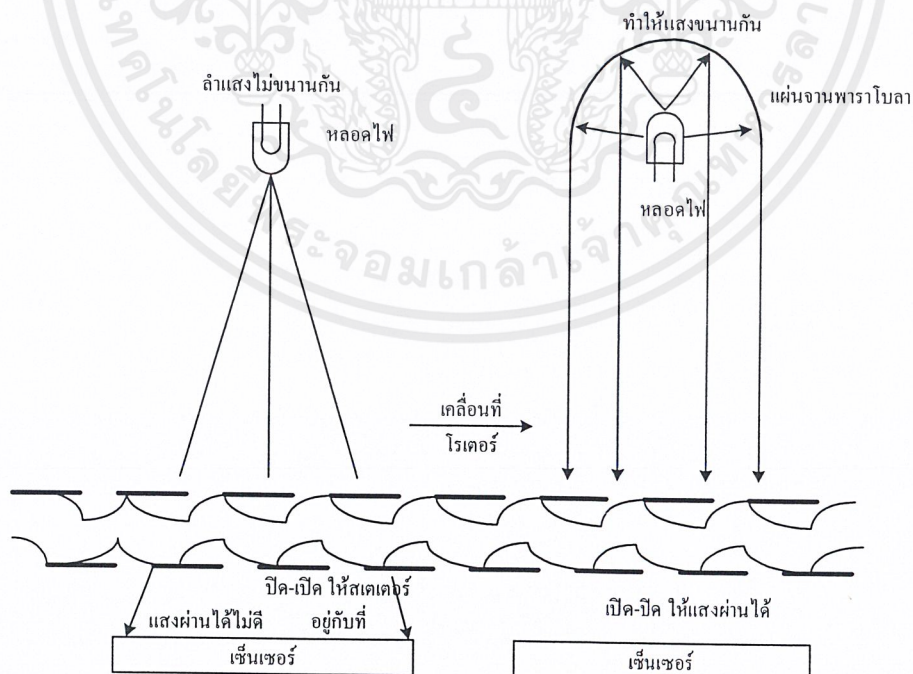
$$W = \frac{D}{2N} \quad (2.6)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของช่องว่าง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแผ่นจาน

N คือ จำนวนของความละเอียดเป็นพัลส์

ค่าของตัวแปรของสมการ (2.6) นี้หาได้จากรูปที่ 2.7 ถ้าให้ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นหมุนของอุปกรณ์เข้ารหัส ค่าประมาณที่ใกล้เคียงมากของค่าความกว้างของช่องว่างแสดง ดังนี้



รูปที่ 2.9 ผลของแสงที่เดินทางในแนวเดียวกัน และแสงที่แตกกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อุปกรณ์เข้ารหัส โดยทั่วไปแล้วสัญญาณที่เอาต์พุต ที่ออกจากอุปกรณ์เข้ารหัสโดยตรงจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุม หรือสำหรับการประมวลผลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยาย และแปลงรูปร่างของรูปคลื่นสัญญาณต่อไปในตัวอุปกรณ์เข้ารหัสด้วยเสมอ สัญญาณรูปคลื่นที่ได้จากตัวตรวจจับ ปกติแล้วจะเป็นรูปสัญญาณสามเหลี่ยม หรือรูปสัญญาณซายน์ ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการรูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ โดยการต่อตัวเปรียบเทียบเข้ากับวงจรขยายเชิงเส้นของอุปกรณ์เข้ารหัสก็จะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมตามต้องการ เพื่อที่จะควบคุมสัญญาณออกมาเหมือนกัน จึงเหมาะที่จะใช้กับงานที่ไม่ได้กำหนดทิศทางเท่านั้น ส่วนในรูปแสดงสัญญาณ 2 ชุดที่ได้จากอุปกรณ์เข้ารหัสชนิดสองช่องเฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้าจะเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าเป็นควอดราเจอร์กันซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลลาหรือใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนอื่นๆ

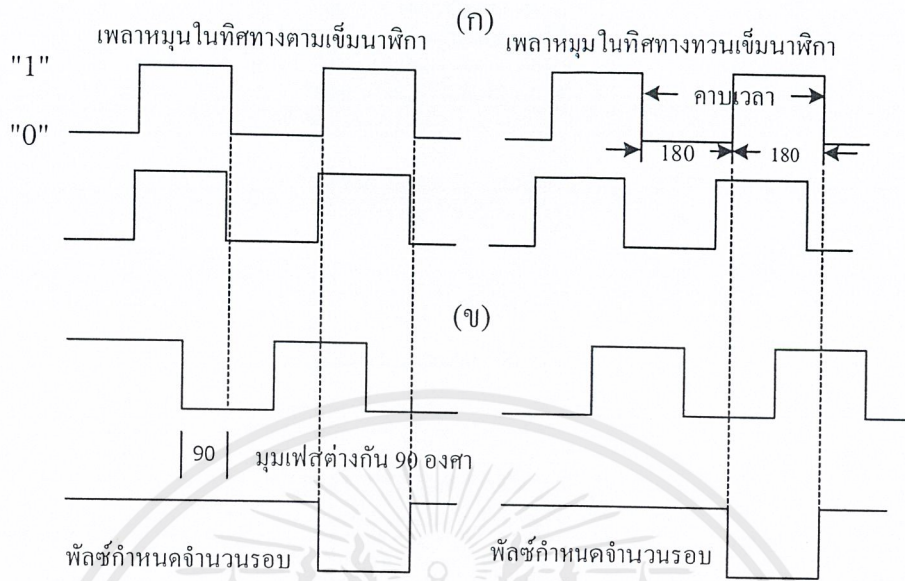
จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองช่องจะเริ่มจาก 0 ถึง 1 และ 1 ถึง 0 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของเพลลาของแผ่นจานหมุนของอุปกรณ์เข้ารหัส



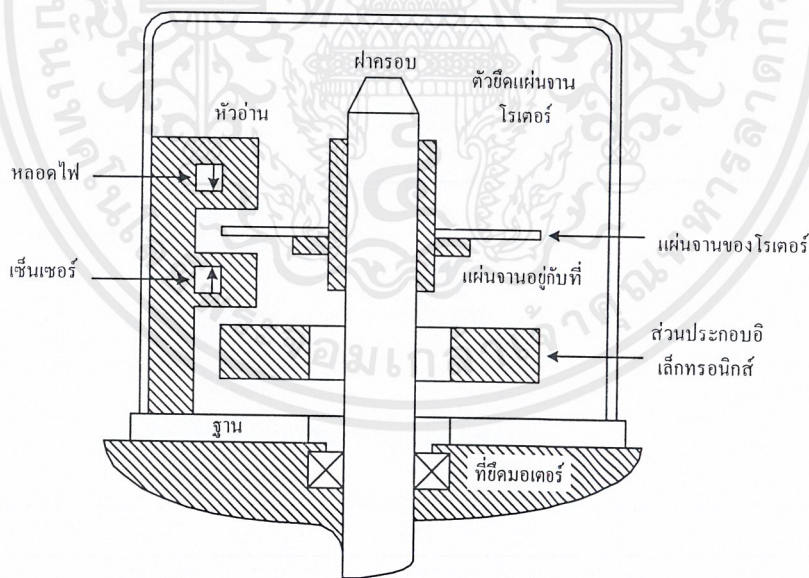
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นเชิงเส้นกับความไม่ได้อยู่เป็นศูนย์กลาง

ในอุปกรณ์เข้ารหัสอินทิเกรตบางชนิดจะมีพัลส์ที่แสดงถึงจำนวนรอบของแกนหมุนที่ใช้สำหรับเป็นศูนย์กลางในการอ้างอิงพัลส์ที่ใช้ในการแสดงจำนวนรอบนี้จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ต่อ 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วใช้บอกถึงตำแหน่งเชิงกล หรือใช้เป็นสัญญาณยกเลิกจำนวนที่นับไว้ในหน่วยเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 (ก) รูปคลื่นเอาต์พุตสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เข้ารหัสช่องเดียว
 (ข) สัญญาณของอุปกรณ์เข้ารหัส 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90°



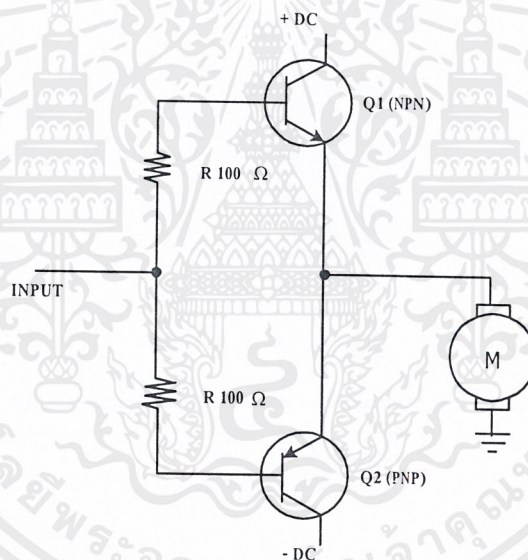
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของอุปกรณ์เข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 วงจรขยายเซอร์โว

วงจขยายเซอร์โวที่แท้จริงสามารถให้แรงดันเอาต์พุต หรือกระแสที่มีค่าเป็นบวก และลบ ได้ ดังนั้น สามารถทำงานได้ใน 4 ช่วงของวงกลม โดยเราสามารถจัดประเภทของวงจขยายเซอร์โว ออกได้ 3 ประเภท คือ

1) วงจขยายเชิงเส้น เป็นวงจขยายภาคเอาต์พุตแบบ “T” จะต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังสองชุด (+DC และ -DC) และทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่เป็นคอมพลิเมนต์ทำรีกัน แต่สามารถขับให้เป็นเชิงเส้น ได้ง่าย และสามารถกระทำการป้อนกลับของแรงดัน และกระแสได้ง่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ วงจ แบบ “T” มักจะได้รับการใช้เป็นวงจขยายเชิงเส้น การไบอัสเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ 2 ตัว นำ กระแสในเวลาเดียวกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างแหล่งจ่ายกำลังทั้ง 2 จุด



รูปที่ 2.13 วงจขยายภาคเอาต์พุตแบบ “T” (ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังสองตัว)

คุณสมบัติที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของภาคเอาต์พุตตาม ปกติมักจะมีลักษณะของเดด โซน (Dead Zone) ซึ่งเป็นลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของวงจขยายถ้าเรา ให้ วงจขยายนั้นมีการป้อนกลับแบบลบก็สามารถลดความไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวลงได้ในกรณี เมื่อวงจขยายเชิงเส้นใช้งานเป็นแบบ “เบ็ง เบ็ง” ควบคุมการตัดต่อ ค่าของเดดโซนไม่เป็นสิ่ง สำคัญ เนื่องจากวงจขยายจะทำงานเฉพาะในส่วนที่นำกระแสหรือไม่นำกระแสเท่านั้น

เอาต์พุตพลังงานของวงจขยายเชิงเส้นจะถูกจำกัดด้วยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นที่ ภาคเอาต์พุต เนื่องจากกำลังที่สูญเสียในเอาต์พุตจะเท่ากับผลคูณของกระแส และแรงดันตกคร่อม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์ และแผ่นระบายความร้อนที่ต่อรวมอยู่จะต้องสามารถทนต่อกำลังความร้อนที่เกิดจากกำลังที่สูญเสียในทรานซิสเตอร์

ส่วนประกอบอีกอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น คือ เซลคอนเดทีเบรคควาน์ค่าเร็คเตอร์รีสติกของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาของการไหลของกระแสสูงสุดที่ระดับแรงดันที่กำหนดเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกินกำหนดดังกล่าว ดังนั้น วงจรขยายเชิงเส้น หรือเซอร์โวควรจะต้องมีวงจรจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไม่ให้วงจรขยายพังเสียหายได้ภายใต้เงื่อนไขที่มอเตอร์ถูกจับ หรือมีภาระแรงบิดเกิน ไปให้มอเตอร์หยุด

ในกรณีวงจรขยายมอเตอร์เซอร์โวจะมีวงจรจำกัดกระแสถึง 2 ภาค เพื่อใช้จำกัดกระแสสูงสุดตอนที่ย่อตัวเพื่ออัตราเร่ง (Acceleration) โดยแบ่งออกเป็น วงจรจำกัดกระแสอันดับแรกจะตั้งไว้ที่ระดับสูงๆ ด้วยการจำกัดเวลาเป็นเศษส่วนของวินาที และส่วนจำกัดกระแสอันดับที่สองจะถูกตั้งไว้ที่ระดับกระแสต่ำกว่า โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลา นอกจากนี้วงจรไม่เพียงใช้ป้องกันภาคเอาต์พุตเท่านั้นแต่ยังป้องกันมอเตอร์ให้ปลอดภัยจาก อุบัติเหตุที่เกิดจากภาระเกินได้ง่าย

2) วงจรขยายการตัดต่อ เป็นวงจรขยายมอเตอร์ที่ใช้ใน ระบบควบคุมความเร็วจะมีปัญหาเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดขึ้นในภาคเอาต์พุต ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้พัดลมระบายความร้อนในวงจรขยายเชิงเส้นที่มีขนาดมากกว่า 100 ถึง 200 วัตต์ (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ)

วงจรขยายการตัดต่อ สามารถแก้ปัญหาคำร้อนที่เกิดในภาคเอาต์พุตได้ โดยที่ภาคเอาต์พุตของวงจรขยายการตัดต่อจะทำงานเป็นตัวตัดต่ออย่างรวดเร็ว จากสถานะที่ไม่นำกระแสไปสู่สถานะที่นำกระแสเต็มที่ ดังนั้นจึงทำให้เอาต์พุตทำงานในย่านที่มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด

ปัจจุบันเราสามารถออกแบบวงจรขยายกำลังการตัดต่อที่สามารถให้เอาต์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีอัตราการตัดต่อที่ 50 kHz การที่จะได้อัตราการตัดต่อสูงๆ นั้นเราจะต้องใช้เทคนิคการป้อนกลับด้วยกระแสบวก (Positive Current Feedback) ด้วยเทคนิคนี้จะทำให้ระบบเซอร์โวมีแถบความกว้างได้หลาย kHz

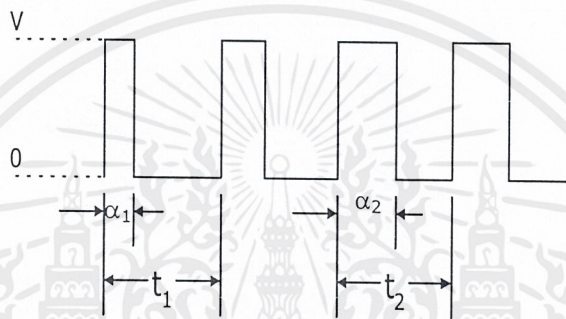
กำลังสูญเสียในวงจรขยายการตัดต่อ มีสาเหตุมาจาก 2 ประเภท คือ

1) แรงดันตกคร่อมเอาต์พุตทรานซิสเตอร์มีค่าประมาณ 1 ถึง 2 โวลต์

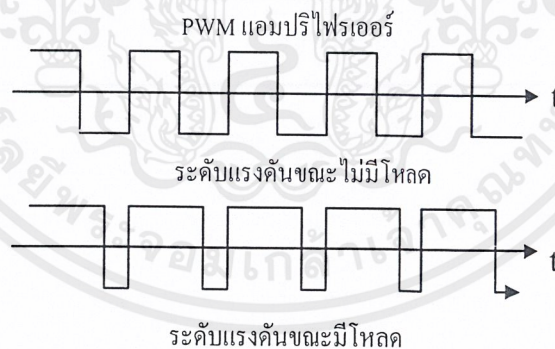
2) ทรานซิชันไทม์ (Transition Time) คือ เวลาที่ใช้ในการตัดต่อจากสถานะ ต่อวงจรไปสู่สถานะตัดวงจรที่มีอัตราการตัดต่อสูงทรานซิชันไทม์ จะเป็นเวลาส่วนสำคัญของเวลาในการตัดต่อทั้งหมด ดังนั้นการกำหนดอัตราการตัดต่อให้มีค่าสูงเพื่อหวังให้ได้แถบความถี่กว้างที่สุดนั้น อัตราการตัดต่ออาจมีผลกระทบถึงการสูญเสียกำลังในภาคเอาต์พุตด้วย การควบคุมกำลังด้วยวงจรขยายแบบตัดกระแส และต่อกระแสทำได้ 2 วิธีที่เป็นพื้นฐาน ได้ดังนี้ พัลส์วิดโมดูเลชัน (Pulse Width Modulation : PWM) และ พัลส์ฟ्रीควเอนซีโมดูเลชัน (Pulse Frequency Modulation : PFM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) พัลส์วิดโมดูเลชัน ระบบพัลส์วิด โมดูเลชัน ปกติจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และ วงจรขยายเป็นตัวตัดต่อแหล่งจ่ายแรงดันให้ต่อ และตัดที่ความถี่คงที่ และมีส่วนของมอดูเลเตอร์ที่ปรับค่า ได้ (α) ดังแสดงในรูป 2.14 ดังนั้นเราสามารถปรับแรงดันค่าเฉลี่ยที่จ่ายให้ภาระได้ ปริมาณของ กำลังที่ส่งผ่าน ให้ภาระขึ้นอยู่กับอัตราการตัดต่อ (Switching Rate) และค่าความเหนี่ยวนำของภาระ เมื่อภาระเพิ่มขึ้นความถี่ของวงจรขยาย PWM จะคงที่ แต่เปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลไปตาม โหลดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันของวงจร PWM



รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงค่าดิวิตีไซเคิลตามภาระของวงจรขยาย PWM

4) วงจรขยายเซอร์โวเชิงเส้น วงจรขยายเซอร์โวเชิงเส้นโดยปกติสามารถสร้างขึ้น เพื่อใช้ เป็นอุปกรณ์ขยายแบบเชิงเส้น เช่นเดียวกับออปแอมป์ หรือวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลที่ใช้ไป กระตุ้นภาคขยายให้ไปขับมอเตอร์ ภาคขยายจะมีวงรอบการป้อนกลับเพื่อทำให้พารามิเตอร์ที่ ต้องการ ได้แก่ พารามิเตอร์แรงดัน กระแสของมอเตอร์ หรือพารามิเตอร์ทั้งสองดังกล่าวมีความเป็น เชิงเส้น กรณีนี้ความไม่เป็นเชิงเส้น และครีฟที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิจากเอาต์พุตจะลดลงโดยอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ทาโคมิเตอร์เชิงอุปมา (ในระบบควบคุมความเร็ว) และสร้างสัญญาณผิดพลาดซึ่งจะถูกขยายโดยภาคขยายเพื่อแก้พารามิเตอร์ที่ต้องการควบคุมให้มีค่าที่ถูกต้อง

วงจรถยายเป็นตัวควบคุมแรงดัน หรือกระแสของมอเตอร์โดยการควบคุมขนาดของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ดังนั้นมันก็จะเป็นตัวที่ลดแรงดันเอาไว้ซึ่งเท่ากับผลต่างของแหล่งจ่ายแรงดัน และแรงดันที่มอเตอร์ใช้งานจริงในขณะที่มีกระแสที่เหมาะสมไหลผ่าน กำลังงานจะสูญเสียในเอาต์พุตทรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในขณะที่มอเตอร์วิ่งที่ความเร็วต่ำแรงบิดสูง เพราะขณะนั้นแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ต่ำกระแสจึงสูง ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเมื่อเทียบวงจรถยายการตัดต่อ วงจรถยายการตัดต่อควบคุมแรงดันของมอเตอร์ โดยปรับดิโอดีไอซีของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และให้มันทำงานทุกๆ ภาวะอึดตัว หรือ ภาวะตัด ดังนั้นการสูญเสียของกำลังงานน้อยในแต่ละภาวะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูง อย่างไรก็ตามวงจรถยายการตัดต่อก็สร้างปัญหาใหม่ขึ้นมาอีก เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียการตัดต่อที่ความถี่สูงที่ค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ (หรือภายนอก) ต้องมีค่าน้อย ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มไทม์คอนสแตนต์ของระบบ ซึ่งทำให้แถบความถี่ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมักจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงทำให้ระบบเกิดความยุ่งยาก และทำงานผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะตัดสินว่าวงจรถยายชนิดไหนดีกว่ากัน

วงจรถยายเชิงเส้นตามปกตินิยมใช้ในระบบที่มีแถบความถี่กว้าง และกำลังต่ำ (น้อยกว่า 2-3 รัยวัตต์) และมักใช้สำหรับขับเคลื่อนขดลวดหมุนของมอเตอร์ที่มีความเฉื่อยต่ำให้เพิ่มกระแสด้วยอัตราความเร่งสูงสำหรับช่วงเวลาอันสั้น (2-3 มิลลิวินาที) ซึ่งกระแสสูงสุดที่กำหนดไว้ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์อาจจะยังใช้งานได้ดี

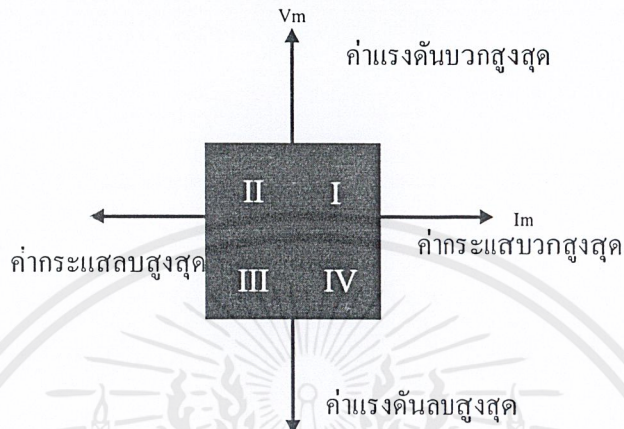
ในทางตรงกันข้ามวงจรถายการตัดต่อโดยทั่วๆ ไปมักจะใช้เป็นระบบใหญ่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบดังกล่าวต้องการขยายช่วงการทำงานที่ความเร็วต่ำ และมีแรงบิดสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานอย่างมากในวงจรถยายเชิงเส้น

5) วงจรถยายเซอร์โวลสองทิศทาง วงจรถยายเซอร์โวลสองทิศทางสามารถให้มอเตอร์ทำงานได้ทั้งสองทิศทาง และมีฟังก์ชันการโอนย้ายเชิงเส้นตลอดถึงช่วงความเร็วที่เป็นศูนย์ วงจรถยายแบบนี้สามารถบังคับเต็มทั้ง 4 ช่วงวงกลมดังในรูป และสามารถป้อนแรงดัน และกระแสขั้วบวกให้กับมอเตอร์ได้

วงจรถยายเซอร์โวลสองทิศทางแบบพื้นฐาน 2 แบบ ได้แก่ ไบโพลาร์เชิงเส้น และบริดจ์เชิงเส้น ซึ่งแบ่งออกเป็นตามลักษณะโครงสร้างของเอาต์พุต วงจรถยายไบโพลาร์จะใช้แหล่งจ่ายกำลังถึงสองลักษณะสำหรับการทำงานแบบฟอร์เวอร์ด และรีเวอร์ส แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์เท่ากับผลต่างระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันเนื่องจากวงจรถยายเชิงเส้น โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่ดี

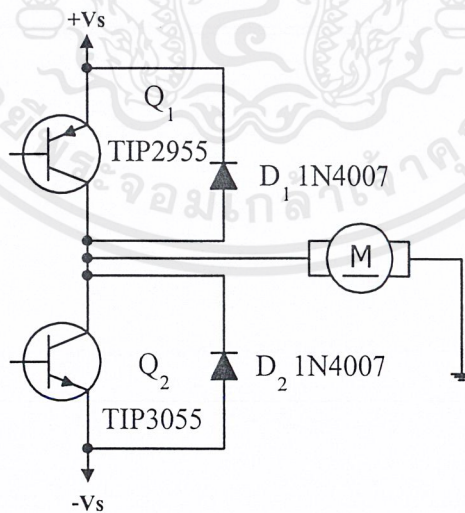
เอกสารนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาวะควบคุมความเร็วต่ำแรงบิดสูงซึ่งในภาวะนี้กระแสจะไหลสูง และเอกสารฉบับนี้และเอกสารฉบับอื่นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อมเอาต์พุตทรานซิสเตอร์สูงด้วย ดังนั้นในระบบใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้ตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่หรือใช้พัดลมสำหรับระบายความร้อนด้วย



รูปที่ 2.16 วงจรขยายเซอร์โวลสองทิศทาง แสดงการควบคุมได้เต็มทั้งสี่ช่วงของวงกลม

วงจรถ่ายไบโพลาร์เชิงเส้นออกแบบได้ง่ายกว่าวงจรถ่ายแบบบริดจ์เชิงเส้น แต่การออกแบบไบโพลาร์มีข้อเสียที่สำคัญหลายข้อ ซึ่งควรพิจารณาข้อดีข้อเสียของระบบเสียก่อน



รูปที่ 2.17 ภาคเอาต์พุตของวงจรไบโพลาร์เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) แหล่งจ่ายกำลังแบบไบโพลาร์ คือ มีสองขั้ว บวก และลบ
- 2) ค่าแรงดัน V_{CEO} ของทรานซิสเตอร์กำลัง ต้องสูงกว่าผลบวกของแรงดันแหล่งจ่ายแรงดันทั้งสอง ($2V_s$)
- 3) เชิงเส้นไบโพลาร์แอมพลิไฟร์จะต้องทนต่อสถานะไบอัสตรงที่ระดับเบรคความถี่ที่ทำให้สองเอาต์พุต ทรานซิสเตอร์กำลังอาจจะเสียได้ในช่วงการลดความเร็วของภาระที่มีความเฉื่อยสูงลงจากความเร็วสูงๆ

2.3.5 วงจรขยายพัลส์วิดโมดูเลชัน

ในระบบ “เซอร์โวกระแสตรง” จงจรขยายจะมีหน้าที่ควบคุมกระแส และแรงดันในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วตามที่ต้องการเรารู้จักวงจรขยายเชิงเส้นมาแล้วซึ่งเป็นวงจรที่มีความสัมพันธ์อย่างง่าย ๆ มีช่วงแถบความถี่กว้างมาก แต่คุณสมบัติของวงจรขยายมีข้อจำกัดบางประการ เพราะวงจรขยายต้องสูญเสียพลังงานไปที่เอาต์พุตทรานซิสเตอร์มาก เช่น มอเตอร์ตัวหนึ่งต่ออนุกรมอยู่กับวงจรขยาย โดยใช้แหล่งจ่ายร่วมกัน แหล่งจ่ายจะจ่ายไฟ 50 โวลต์ มอเตอร์ใช้ไฟ 10 โวลต์ และกระแส 20 แอมแปร์ มอเตอร์จึงกินพลังงานไป 200 วัตต์ แต่จะเห็นว่ามี การสูญเสียพลังงานที่วงจรขยายถึง 800 วัตต์ คือ มากกว่าเป็น 4 เท่ามอเตอร์

วิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหการสูญเสียพลังงาน คือ ใช้วงจรขยายกรควบคุมมอเตอร์โดยการเปลี่ยนแปลงควิตีไซเคิล (Duty Cycle) ของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ วงจรขยายชนิดนี้เรียกว่า “วงจรขยายการตัดต่อ” ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วต่ำๆ โดยแรงบิดสูงอยู่โดยที่ไม่สิ้นเปลืองพลังงานเหมือนวงจรขยายเชิงเส้น

วงจรขยายการตัดต่อนี้วงจรขยายทรานซิสเตอร์จะทำงานคล้ายตัวตัดต่อเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสแรงดันตกคร่อมตัวมันจะมีค่ามากเข้าใกล้ V_{CC} และมีกระแสไหลผ่านน้อยมาก ด้วยเหตุดังกล่าวนี้การสูญเสียในเอาต์พุตทรานซิสเตอร์จึงมีค่าต่ำ ระบบการตัดต่อสามารถสร้างได้หลายวิธี มีทฤษฎีง่ายๆ ทฤษฎีหนึ่งในการทำให้วงจรขยายการตัดต่อ ซึ่งการตัดต่อด้วยความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของการตัด และต่อของพัลส์ได้ตามต้องการวงจรขยายชนิดนี้เรียกว่า วงจรขยายพัลส์วิดโมดูเลชัน (PWM) ซึ่งเราสามารถออกแบบให้แปรค่าได้ทั้งพัลส์ และความถี่แล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมรักษาระดับแรงดันกระแสสูงๆ ได้แต่อาจเกิดคออสซิลเลทหรือทำให้เกิดเสียงรบกวนที่ความถี่ ริโซแนนท์

วงจรขยายแบบ PWM สามารถทำงานได้ 3 แบบ คือ ไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์ และยูนิโพลาร์แบบจำกัด ซึ่งในบทนี้เราจะได้อธิบายในแต่ละแบบ เราได้ศึกษาปัญหาการสูญเสียในวงจรขยายตลอดจนปัญหาการรักษาความถี่ในการตัดต่อให้ถูกต้อง

จากการศึกษาปัญหาการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนี้ เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสเตปปีงมอเตอร์ และใช้เป็นวงจรขยายของมอเตอร์ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การทำงานของวงจรพัลส์วิดโมดูเลชั่น วงจรขยายแบบ PWM สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการทำงาน คือ ไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์ และ ยูนิโพลาร์แบบจำกัด โดยที่เรา กำหนดให้มีความถี่การตัดต่อเป็น $f_s t_{on}$ ที่เกิดขึ้นในส่วนแรก และ t_{off} เกิดขึ้นในส่วนหลังโดย

$$t_{on} \text{ เมื่อ } 0 < t < t_1 \quad (2.7)$$

$$t_{off} \text{ เมื่อ } t_1 < t < t_f \quad (2.8)$$

โดยที่ t_{on} คือ ช่วงเวลาที่พัลส์มีค่าแรงดันเป็นระดับ High
 t_{off} คือ ช่วงเวลาที่พัลส์มีค่าแรงดันเป็นระดับ Low

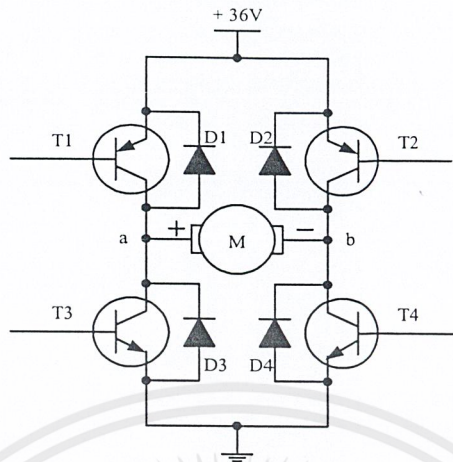
ไบโพลาร์จะมี T_1 และ T_4 นำกระแสระหว่างเฟสต่อ ส่วน T_2 และ T_3 จะนำกระแสขณะที่ เฟสตัดจะได้ฟังชั้นแรงดันตกคร่อมมอเตอร์เป็นแบบยูนิโพลาร์จะลดจำนวนของทรานซิสเตอร์ในการตัดต่อลง การตัดต่อจะขึ้นอยู่กับ V_m เป็นบวกหรือเป็นลบ เมื่อ V_m เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอดคาบ ในขณะที่ T_1 นำกระแสในช่วงเฟสต่อ และ T_2 นำกระแสในช่วงเฟสตัด เมื่อ V_m เป็นลบ T_2 จะนำกระแสตลอด โดยมี T_3 และ T_4 สลับกันทำงาน เมื่อ V_m เป็นบวกได้

$$V_m = V_{ab} \begin{cases} V_s & ; 0 < t < t_1 \\ -V_s & ; t_1 < t < t_f \end{cases} \quad (2.9)$$

$$= V_m \begin{cases} V_s & ; 0 < t < t_1 \\ -V_s & ; t_1 < t < t_f \end{cases} \quad (2.10)$$

โดยที่ V_m คือ แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

V_{ab} คือ แรงดันที่ตกคร่อมที่จุด ab



รูปที่ 2.18 วงจรขยายพัลส์วิดโมดูละชั้นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การแสดงค่า V_m ในทางลบจะเหมือนกันเพียงแต่ V_m เป็นลบเท่านั้น จากลักษณะของ ทั้ง 2 แบบดังที่กล่าวมานั้นเป็นประโยชน์เหมือนกัน ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีทรานซิสเตอร์คู่หนึ่ง (T_1, T_2) หรือ (T_3, T_4) จะหยุดนำกระแส ขณะที่อีกคู่หนึ่งนำกระแสซึ่งมีเวลาการเก็บสะสม และเวลาที่ปล่อยออกของทรานซิสเตอร์เกิดขึ้น และมันอาจจะเป็นไปได้ที่ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดนำกระแสในเวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจรของแหล่งจ่าย เราจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงภาวะดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างช่วงหน่วงเวลาระหว่างการหยุด และการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ และด้วยเหตุผลดังกล่าวความถี่ของการตัดต่อจะถูกจำกัดอยู่ในวงที่แคบลง

แบบที่ 3 ของการทำงาน คือ ยูนิโพลาร์แบบจำกัด จะแสดงให้เห็น คือ มีความจำเป็น ต้องมีช่วงหน่วงเวลา ซึ่งการตัดต่อขึ้นอยู่กับค่า V_{in} เมื่อ V_{in} เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอด T_4 จะตัดต่อเป็น ON ดังนั้นในช่วงเฟส ON ทั้ง T_4 และ T_1 จะ ON ยังผลแก่แรงดันของมอเตอร์ V_m ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ภายหลังเปลี่ยนขั้ว V_m คือ

$$V_m = V_{AB} = 0 \text{ เมื่อ } \begin{cases} t_1 < t < t_f \\ I_{AB} > 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

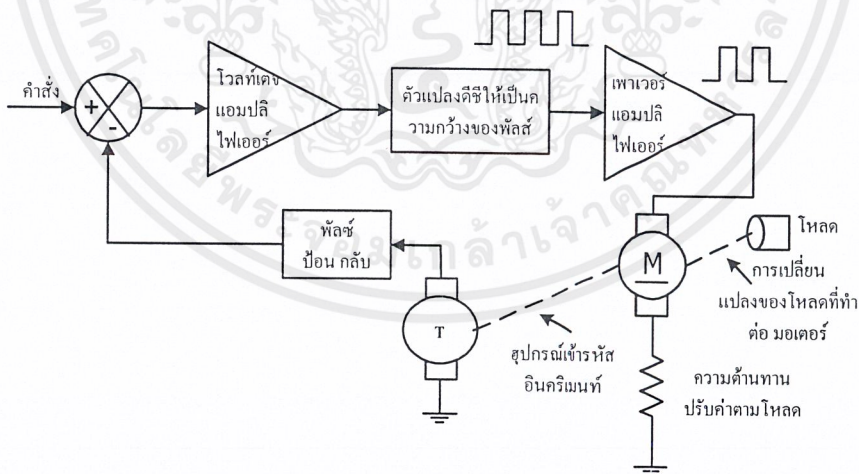
ในที่สุดถ้าเราสามารถทำให้ $I_{AB} = 0$ (เข้าไปใกล้ศูนย์จนถือว่าเป็นศูนย์) จะทำให้ทั้ง D_1 และ D_4 ไม่นำกระแส และแรงดัน V_m จะอยู่ระหว่างค่าศูนย์ และ V_s ดังต่อไปนี้

$$0 = V_m = V_s \text{ เมื่อ } \begin{cases} t_1 < t < t_f \\ I_{AB} > 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

2.3.6 ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้วงจรถยายพัลส์โหมดูล์ซัน

วงจรถยายการตัดต่อ PWM ที่ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ จะใช้ในระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ระบบควบคุมความเร็วที่มีกำลังสูงๆ และในระบบเซอร์โว เรามักจะใช้ความถี่ของพัลส์ในระบบ PWM ที่มีความถี่สูงกว่า 1 kHz (มักจะมีค่าถึง 10 kHz) และความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผลตอบสนองของระบบต่อแถบความถี่ ค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ และคุณสมบัติการสูญเสียกำลังในตัวมอเตอร์ที่ความถี่สูง ในเวลาเดียวกันเราต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากขดลวดและแผ่นระบายความร้อน และส่วนของโครงประกอบของตัวมอเตอร์ ซึ่งดึงออกมาเป็นเสียงรบกวน และในการประยุกต์ใช้งานของระบบ PWM นี้เราสามารถเพิ่มความถี่ของพัลส์ให้สูงขึ้นถึงจุดที่เสียงของสัญญาณรบกวน

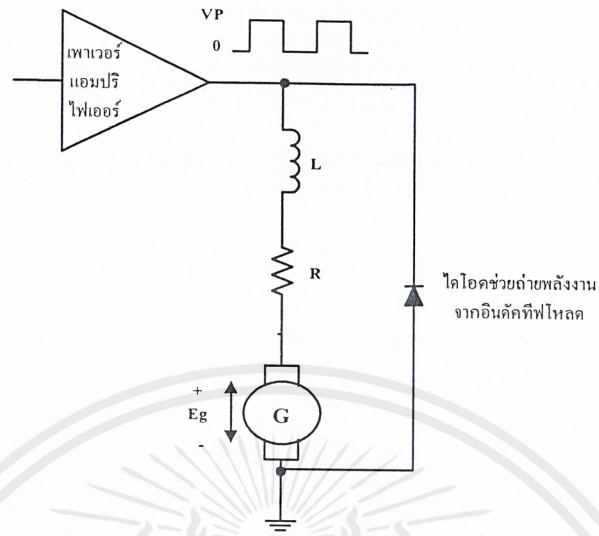
ในการพิจารณาคูณสมบัติของแรงดัน และกระแสของระบบ PWM ขึ้นแรกเราพิจารณาถึงมอเตอร์ในอุดมคติ และคุณสมบัติของมอเตอร์ในระบบ PWM วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.19



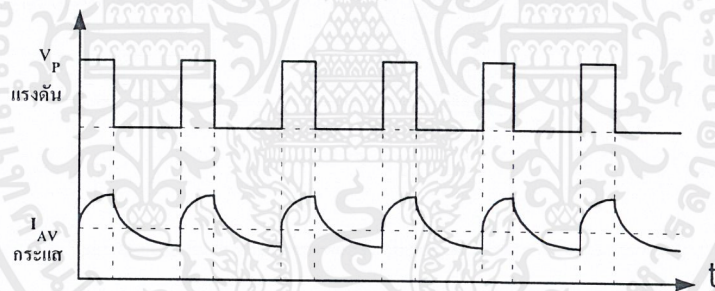
รูปที่ 2.19 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมความเร็วแบบ PWM

รูปคลื่นของกระแสที่ไหลในมอเตอร์ในระหว่างโหมดูล์ซันการตัดต่อ (Switching Mode) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงอัตราการตัดต่อ (Switching Rate) เท่านั้น แต่เพียงขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ (W) ผลรวมของค่าเหนี่ยวนำ (L) ความต้านทานของมอเตอร์ (R_s) และระดับของกระแสในรูปคลื่น

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อแจกจ่ายฟรีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 วงจรสมมุติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบควบคุม PWM



รูปที่ 2.21 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงดัน และกระแส

เราต้องการคำนวณหาการสูญเสียกำลัง (Power Loss) ในตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันจะถูกต่อ และตัด ที่ความถี่สูงการสูญเสียกำลังในระบบดังกล่าวอาจเกิดจากองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้ Eddy Current, Hysteresis Losses, Armature Commutation Losses, Viscous Friction Losses, Armature Resistance Losses ทั้งนี้โดยขึ้นอยู่กับ การออกแบบมอเตอร์

การคำนวณการสูญเสียกำลังในตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจาก ความต้านทานของ อาร์มาเจอร์ เราสามารถหาได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_L = R_a I_{rms}^2 \quad (2.13)$$

เพื่อให้หาความสัมพันธ์ระหว่างกระแส RMS ต่อกำกระแสเฉลี่ย (I_{av}) อัตราส่วนระหว่าง I_{rms} ต่อ I_{av} เราเรียกว่าฟอร์มแฟคเตอร์ (K)

$$K = \frac{I_{rms}}{I_{av}} \quad (2.14)$$

ค่ากระแสเฉลี่ยของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับแรงบิดของมอเตอร์

$$T_g = K_t I_{av} \quad (2.15)$$

แทนค่าลงในสมการการสูญเสียในตัวมอเตอร์ภายใต้สภาวะ PWM ได้เป็น

$$P_L = R_a K^2 I_{av}^2 \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) เราจะเห็นได้ว่าการสูญเสียในอาร์มาเจอร์จะขึ้นอยู่กับ I_{av} ฟอร์มแฟคเตอร์ (K) และความต้านทานของอาร์มาเจอร์ (R_a)

เราสามารถดูแหล่งกำเนิดอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียได้โดยแทนค่าสมการที่ (2.15) ลงในสมการที่ (2.16) ดังนี้

$$P_L = \frac{R_a}{K_t^2} K^2 T_g^2 \quad (2.17)$$

จากทั้งสมการ (2.16) และ (2.17) เราจะเห็นได้ว่าฟอร์มแฟคเตอร์มีอิทธิพลอย่างมากต่อความร้อนที่เกิดกับตัวมอเตอร์

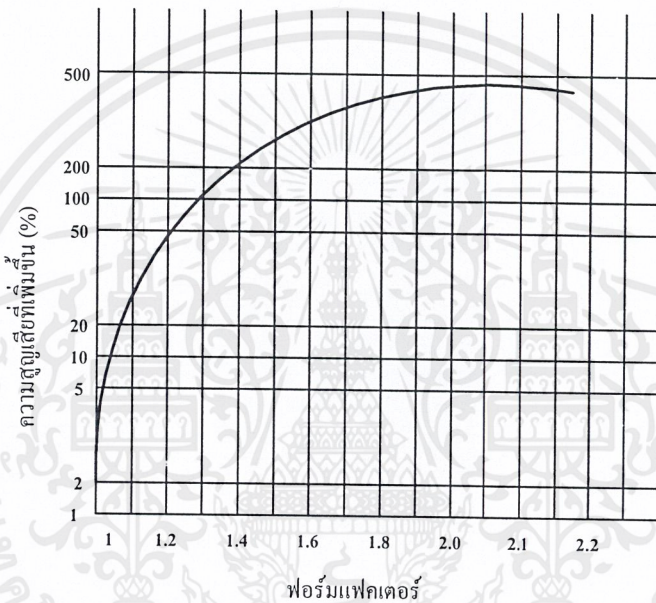
ในกรณีของ $K = 1$ ผลความร้อนที่เกิดขึ้นในค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์จากการใช้วงจรขยายเชิงเส้น

$$P = R_a I_{av}^2 \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าฟอร์้มแฟคเตอร์ $K = 2$ เราจะได้การสูญเสียในอาร์มาเจอร์เป็น 4 เท่า (เมื่อ $K = 1$) ดังนั้นเราสามารถสร้างกราฟที่เป็นคำตอบของการเพิ่มการสูญเสียในอาร์มาเจอร์เนื่องจากฟอร์้มแฟคเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.22

ในกรณีวงจรขยาย PWM ฟอร์้มแฟคเตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของพัลส์อิเล็คทริกคอลลอยท์ คอนสแต้นท์ของมอเตอร์ และค่าความเหนี่ยวนำที่นำมาต่ออนุกรมกับมอเตอร์



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในอาร์มาเจอร์ของเซอร์โวมอเตอร์กับฟอร์้มแฟคเตอร์

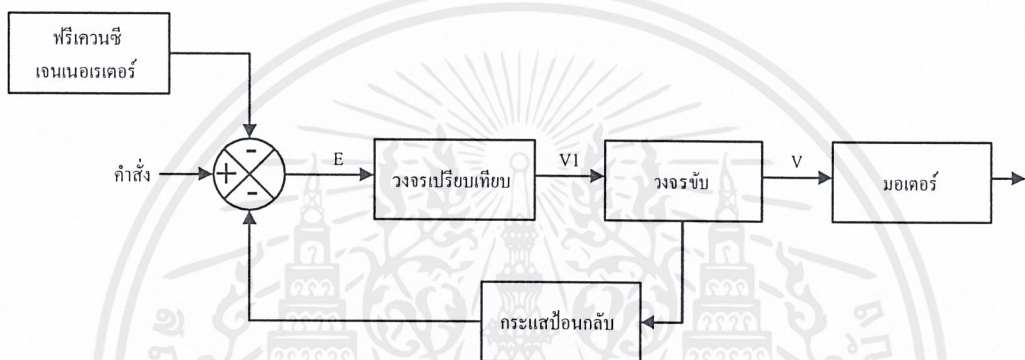
ผลจากการใช้วงจร PWM จะทำให้การสูญเสียในรูปของความร้อนในตัววงจรขยายลดลงอย่างมาก และเมื่อคิดถึงผลรวมของการสูญเสียกำลังทั้งหมดของระบบแล้วดีขึ้น (ผลการสูญเสียที่น้อยที่สุด) แต่ในกรณีการสูญเสียกำลังในตัวมอเตอร์ อาจจะมีค่าสูงกว่าในระบบที่ใช้วงจรขยายแบบเชิงเส้น (แบบ Class A)

มีองค์ประกอบอื่นๆ ที่เราจะต้องพิจารณาเมื่อใช้ระบบ PWM คือ การกำเนิดสัญญาณรบกวนซึ่งจะไปรบกวนในวงจรที่มีระดับต่ำ ถ้าไม่ได้ให้ความระมัดระวังเกี่ยวกับการป้องกันที่เหมาะสม และการต่อส่วนที่มีกระแสสูงของระบบ

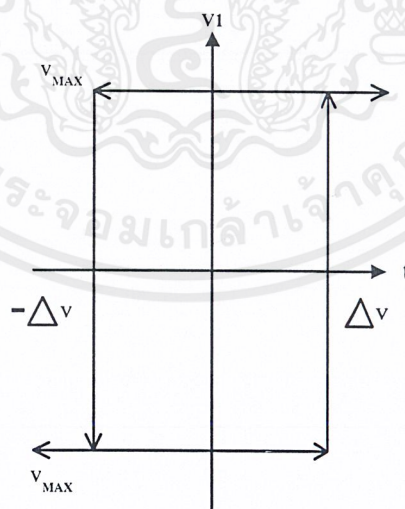
2.3.7 พิจารณาโครงสร้าง และการวิเคราะห์คุณสมบัติการทำงานของวงจร PWM

แผนผังการทำงานของวงจร PWM และมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ระบบจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ ดังต่อไปนี้

1) ตัวเปรียบเทียบ เป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง และ มีการป้อนกลับแบบบวกซึ่งยังผลให้ได้คุณสมบัติของฮิสเทเรซิส (Hysteresis) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะมีค่าทั้ง V_{\max} หรือ $-V_{\max}$



รูปที่ 2.23 ผังการทำงานของวงจรขยาย PWM



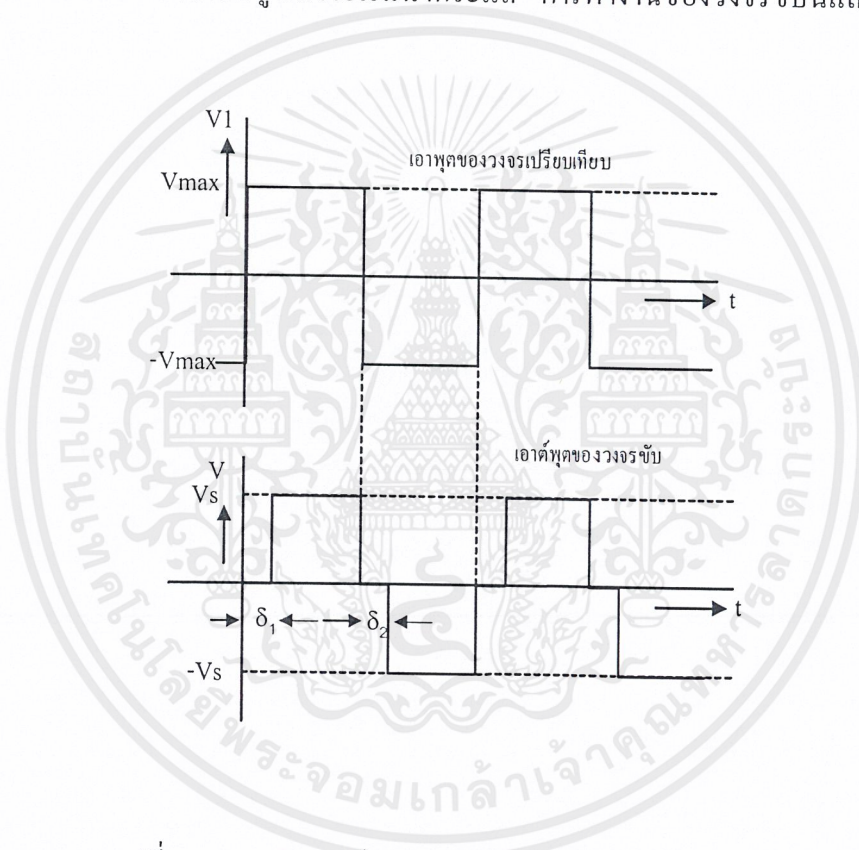
รูปที่ 2.24 ผลของการฮิสเทเรซิสในวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรขับ เป็นวงจรขยายกำลังที่มีเอาต์พุตเท่ากับแหล่งจ่าย V_s เมื่อตัวเปรียบเทียบแรงดันเป็นบวก และเท่ากับ $-V_s$ เมื่อตัวเปรียบเทียบแรงดันเป็นลบ ดังนั้นวงจรขับเป็นเสมือนฟังก์ชันการทำงานของอัตราขยายที่มีค่าคงที่

การตัดต่อของวงจรขยายกำลัง (วงจรขับ) จะกระทำเป็น 2 ชั้น เพื่อป้องกันการลัดวงจรคร่อมแหล่งจ่ายกำลัง

ชั้นแรก ทรานซิสเตอร์กำลังหยุดการนำกระแส และหลังจากหน่วงเวลา ชั้นที่สอง จากนั้นแล้วทรานซิสเตอร์กำลังอีกคู่หนึ่งจะเริ่มนำกระแส การทำงานของวงจรขับนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แรงดันเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบ และวงจรขับ

3) การป้อนกลับของกระแส ถ้าวงจรขับเป็นแบบ “T” จะสามารถรับรู้กระแสได้โดยต่อตัวความต้านทานอนุกรมกับมอเตอร์ และใช้การป้อนกลับ และเมื่อวงจรขับเป็นแบบ “H” ก็จะสามารถรับรู้กระแสได้จากปลายขาทั้งสองขาของ “H” และความแตกต่างกันของกระแสทั้งสองจะถูกป้อนกลับ วงจรการป้อนกลับของกระแสจะมีอัตราขยายคงที่หรือมีส่วนประกอบของการเปลี่ยนแปลงตามคุณสมบัติที่ต้องการ

4) มอเตอร์ และตัวเหนี่ยวนำ จะใช้ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เพื่อจำกัดไม่ให้กระแสเกินวงรอบการตัดต่อ ในการวิเคราะห์ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ให้พิจารณาตัวเหนี่ยวนำตัวนั้นเป็นส่วนหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์

5) ตัวกำเนิดความถี่ จะใช้ตัวกำเนิดความถี่ในวงจรขยัย PWM เพื่อเป็นตัวกำหนดให้ความถี่ของการตัดต่อกงที่ ตัวกำเนิดที่ใช้มักจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ป้อนให้กับตัวเปรียบเทียบ

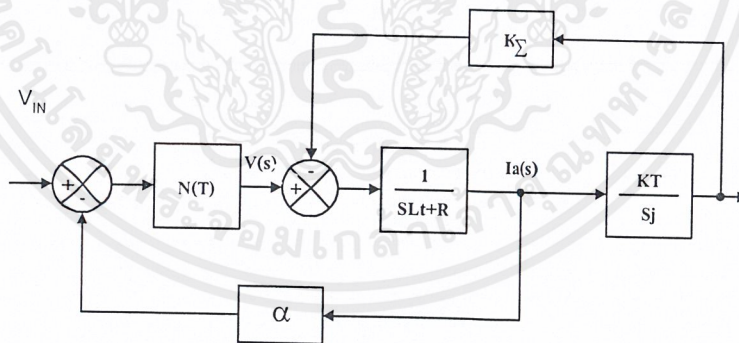
6) ฟังก์ชันการโอนย้ายของระบบ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจรขยัย PWM เราจำเป็นต้องหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ ของวงจร PWM ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอน

ส่วนประกอบของระบบแทนได้ด้วยฟังก์ชันการโอนย้ายดังแสดงในรูปที่ 2.26 ตัวเปรียบเทียบ และวงจรขับเป็นส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้น และเอาต์พุตของมันจะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตในทันทีสมมติว่า

$N(t)$ เป็น Describing ฟังก์ชันที่ใช้แสดงคุณสมบัติของตัวเปรียบเทียบ และวงจรขับ

R เป็นค่าความต้านทานของมอเตอร์

L' เป็นผลรวมของค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ร่วมกับค่าความเหนี่ยวนำภายนอกที่นำมาต่ออนุกรม



รูปที่ 2.26 ผังการทำงานของวงจร PWM และมอเตอร์

$$\frac{W(s)}{V_{in}} = \frac{N(t).1/(SL_T + R).K_T / S_J}{1 + N(t).1/(SL_T + R) + 1/(SL_T + R).K_T.K_E}$$

หรือ

$$\frac{W(s)}{V_{in}} = \frac{N(t).K_T}{(SL_T + R)S_J + N(t).S + K_T.K_E} \tag{2.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีทั่วไป $N(t)$ ที่มีค่าสูงมาก (เพราะว่าอัตราการขยายของวงจรมีค่าสูง) ภายใต้เงื่อนไขนี้ฟังก์ชันการโอนย้ายอาจจะมีค่าประมาณได้เป็น

$$\int \frac{\lim_{N(T)} W(S)}{Vin(S)} = \frac{K_T}{S_J} \quad (2.20)$$

ฟังก์ชันการโอนย้ายที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้วตามสมการ (2.20) เขียนเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันการโอนย้ายของวงจรมอเตอร์ที่ได้ทำให้อยู่ในรูปอย่างง่าย

จากแผนผังการทำงานของฟังก์ชันการโอนย้ายที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้ว ดังในรูปที่ 2.27 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของฟังก์ชันการโอนย้ายพิจารณาได้จากส่วนของการป้อนกลับ ในกรณีของฟังก์ชันการโอนย้ายของวงจรมอเตอร์ PWM วงจรมอเตอร์กำลังจะกลายเป็นวงจรมอเตอร์กระแส คือ จากวงจรขับของมอเตอร์เป็นการขับด้วยกระแส ฟังก์ชันการโอนย้ายของมอเตอร์จะมีค่าคงที่เป็น

$$\int \frac{W(S)}{Ia(S)} = \frac{K_J}{S_J} \quad (2.21)$$

จากฟังก์ชันการโอนย้ายสมการ (2.21) เห็นได้ว่าเราสามารถจะแปรฟังก์ชันการโอนย้ายนี้ไปได้โดยการแทนที่ของส่วนการป้อนกลับของกระแสถ้าหากใช้ของประกอบไดนามิกที่มีฟังก์ชันการโอนย้ายเป็น (S) ฟังก์ชันการโอนย้ายของระบบจะเป็น

$$\int \left[\frac{W(S)}{Vin} \right] \times \left[\frac{1/(S) \cdot K_t}{S_J} \right] \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โพลของ (S) ก็คือ ซีโรของฟังก์ชันการโอนย้ายของระบบ รูปแบบของสมการ (2.22) อาจจะใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรขยาย PWM และมอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบใหญ่กว่า สมการ (2.22) เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ของระบบแถบความถี่ และคุณสมบัติทั่วๆ ไปอย่างไรก็ตามสมการ (2.22) ไม่สามารถให้คุณสมบัติที่เด่นชัดของวงจรขยาย PWM ได้ และคุณสมบัติอื่นๆ ของวงจรขยาย PWM เราจะต้องพิจารณาเป็นกรณีพิเศษต่อไป

2.3.8 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการตัดต่อ และกระแส

สมมติว่าความถี่ในการตัดต่อมีความถี่สูง ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์จะมีค่าเกือบคงที่ ตลอดคาบเวลาของการตัดต่อ

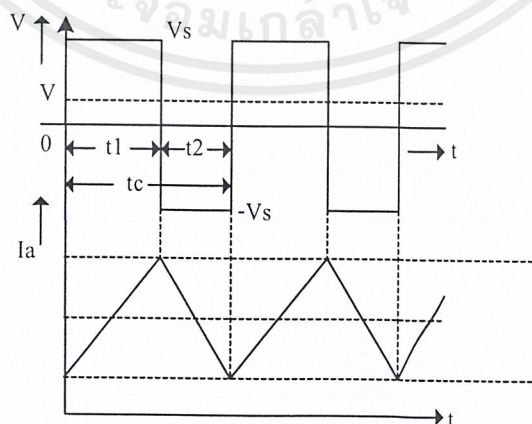
กำหนดให้ I_{av} เป็นค่าของกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านในมอเตอร์ เราก็จะหาค่าเฉลี่ยของแรงดันมอเตอร์ได้

$$V_{av} = RI_{av} + K_E \quad (2.23)$$

ในตอนนี้สมมติว่าแรงดันของวงจรขยายเท่ากับ V_s และการเปลี่ยนแปลงของกระแสในมอเตอร์มีค่าโดยประมาณเป็นเส้นตรง แรงดันของวงจรขยาย และกระแสของมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.28

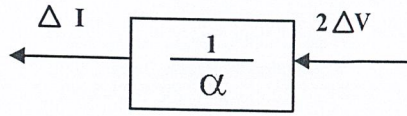
ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงของกระแสของมอเตอร์เท่ากับ 1 ซึ่งเมื่อถูกคูณด้วยจะทำให้เกิดแรงดันเปลี่ยนแปลง $2V$ เพื่อ ไปตัด หรือต่อตัวเปรียบเทียบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.28) ดังนั้น

$$I_A = 2V \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.28 แสดงถึงแรงดันของวงจรขยาย PWM และกระแสของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 แผนผังการทำงานของวงจรวงจรของส่วนที่ป้อนกลับกระแส

ในระหว่างช่วงเวลาที่แรงดันของวงจรวงจรขยาย PWM มีค่าเป็นบวก คือ t_1 และแรงดันของวงจรวงจรขยายเท่ากับ $+V_s$ และค่าเฉลี่ยของมอเตอร์แรงดันเท่ากับ V_{av} ดังนั้นความชันของกระแสเท่ากับความเร็ว $V_s - V_{av}$ และเราสามารถหาค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงของกระแสได้เป็น I_t

หรือ

$$I_t = \frac{V_s - V_{av}}{L_t} \cdot t_1$$

$$I_t = \frac{IL_1}{V_s - V_{av}} \quad (2.25)$$

ในทำนองเดียวกัน ในช่วงเวลาที่แรงดันของวงจรวงจรขยาย PWM มีค่าเป็นลบ $-V_s$ คือ t_2 และเราสามารถหาค่า t_2 ได้เท่ากับ

$$t_2 = \frac{IL_1}{V_s - V_{av}} \quad (2.26)$$

ผลรวมของคาบเวลาการตัด - ต่ t_c จะหาได้ ดังนี้

$$t_c = t_1 + t_2 = \frac{2IL_t V_s}{V_s^2 - V_{av}^2} \quad (2.27)$$

หรือแทนค่าสมการ (2.24) ลงในสมการ (2.27) จะได้เป็น

$$t_c = \frac{4VL_t V_s}{(V_s^2 - V_{av}^2)} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

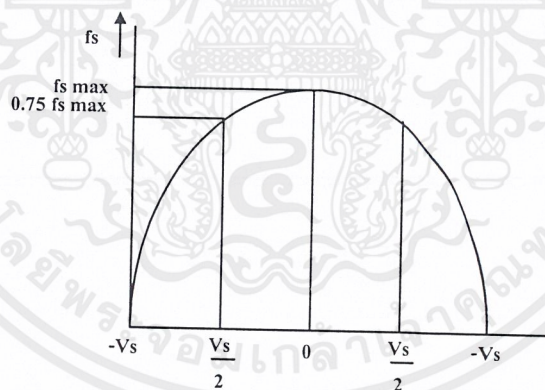
และเราหาความถี่ของการตัดหรือต่อได้เป็น

$$f_{S.\max} = \frac{(V_S^2 - V_{av})}{4V_L V_S} \quad (2.29)$$

เราจะสังเกตได้ว่าความถี่ของการตัด หรือต่อจะเป็นพาราโบลาฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยของแรงดันมอเตอร์ $V_{av} = 0$

$$f = \frac{V_S}{4V_L} \quad (2.30)$$

จากสมการ (2.29) เราสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการตัด หรือต่อได้เป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการตัดต่อ ในรูปของพาราโบลา ต่อค่าเฉลี่ยของแรงดันมอเตอร์

2.2.9 พลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์

การพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียในวงจรขยาย PWM ให้ลดลงได้สามารถทำได้โดยใช้การตัดต่อทรานซิสเตอร์เข้าสู่สถานะตัดต่ออย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามการกระทำนี้จะมีผลกระทบต่อพลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์อย่างไรไม่สามารถแสดงให้เห็นเด่นชัด ซึ่งจะได้ทำการพิจารณากันต่อไป

เราพิจารณาถึงมอเตอร์ และภาระที่กำหนดให้ซึ่งจะถูกขับเคลื่อนให้มีความเร็วเป็นไปตามข้อกำหนดอันหนึ่ง สมมติมอเตอร์ได้รับการขับเคลื่อนด้วยทั้งวงจรขยายเชิงเส้น และวงจรขยาย PWM ต่อไปจะได้ศึกษาถึงความแตกต่างของพลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ทั้งสองกรณีพลังงานเอาต์พุตของมอเตอร์ P_o จะเป็นอิสระหรือไม่ ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานของวงจรขยายเลย ดังนั้นความแตกต่างของพลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์จะเท่ากับความแตกต่างของพลังงานเอาต์พุตเมื่อมอเตอร์ขับด้วยวงจรขยายเชิงเส้น

กำหนดให้ I_a เป็นกระแสของมอเตอร์

V เป็นแรงดันของมอเตอร์

ดังนั้นพลังงานอินพุตที่จ่ายให้มอเตอร์ในกรณีนี้

$$(P_L)_{\text{เชิงเส้น}} = I_a V \quad (2.31)$$

เมื่อมอเตอร์ขับด้วยวงจรขยาย PWM พิจารณาพลังงานอินพุตของมอเตอร์จากวงจรขยาย PWM การเปลี่ยนแปลงของกระแสประมาณค่าได้เป็นเส้นตรง สมมติให้กระแส และแรงดันของมอเตอร์เหมือนกับในรูปที่ 2.30 จะมีค่าเฉลี่ยเป็น

$$\frac{I_{av}}{V_{av}} = \frac{I_a}{V} \quad (2.32)$$

ในกรณีนี้พลังงานอินพุตจะเท่ากับ

$$P_1 = f_{SO}^{t1+t} V_o(t) I(t) dt \quad (2.33)$$

เมื่อ f_s เป็นความถี่ของการตัดต่อ ดังกำหนดในสมการ (2.29) จากนั้นเราสามารถเขียนได้เป็น

$$\int P_1 = f_s V^{t_1} I(t) dt - V^{t_1+t_2} I(t) dt \quad (2.34)$$

ในตอนนี้เราแทนสมการ (2.26), (2.27) และ (2.29) ลงในสมการ (2.34) เราจะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\int P_1 = \frac{I_a IV}{2V} \quad (2.35)$$

จากสมการ (2.35) สามารถทำให้ง่ายขึ้นได้ด้วยการแทนค่าสมการ (2.24) คือ $I = 2V$

$$(P_1)_{\text{การตัด-ต่อ}} = I_a V \quad (2.36)$$

เมื่อเราเปรียบเทียบสมการ (2.36) กับสมการ (2.23) เราจะเห็นได้ว่าพลังงานอินพุตของมอเตอร์จะมีค่าเท่ากับทั้งสองกรณี ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ก็มีค่าเท่ากับ

อย่างไรก็ตามผลสรุปว่า พลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ที่ขับด้วยวงจรถายเชิงเส้นหรือวงจรถาย PWM มีค่าเท่ากันนั้นอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของกระแสเป็นเชิงเส้นกับเวลา แต่ความเป็นจริงแล้วไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นอาจมีพลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปได้บ้าง แต่เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่ค่อยสำคัญนัก

เนื่องจากการต่อค่าความเหนี่ยวนำอนุกรมเข้ากับมอเตอร์นั้นจะช่วยให้มอเตอร์นั้นลดค่าความสูญเสียลงไปได้แต่อย่างไรก็ดีการเลือกค่าความเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับมอเตอร์นั้นก็มีวิธีการดังนี้

1) การเลือกค่าความเหนี่ยวนำ ผลรวมค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ และค่าของความเหนี่ยวนำภายนอกที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์จะเป็นตัวกำหนดจุดสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้สามารถหาได้จากสมการ (2.25) และสมการ (2.26) ภายใต้การทำงานที่สมมาตรของ $V_{sv} = 0$

$$t_1 = t_2 = \frac{1}{2f_s} \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จาก

$$L_t = \frac{V_s}{2f_s I} \quad (2.38)$$

เนื่องจาก L_t ตามปกติจะมีค่ามากกว่าค่าเหนี่ยวนำของมอเตอร์ L_a ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำภายนอกที่นำมาต่ออนุกรมกับมอเตอร์จะมีค่าเท่ากับ $(L_t - L_a)$



บทที่ 3

การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

รถไฟฟ้ามีส่วนประกอบสำคัญในการออกแบบ ส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้ ขั้นตอนในการออกแบบ และการทำงานของโปรแกรมควบคุม และขั้นตอนในการออกแบบ และการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า

3.2 ขั้นตอนในการออกแบบ และการทำงานของโปรแกรมควบคุม

3.2.1 ขั้นตอนในการออกแบบ

การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้า และตรวจสอบสถานะต่างๆ ของรถไฟฟ้าซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน และตรวจสอบการทำงานของรถไฟฟ้า นั้นพัฒนามาจากภาษา Assembly for MCS-51 ที่ใช้กับไอซีเบอร์ AT89C51 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งดังนั้นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นในการพัฒนาโปรแกรมนั้นมี ดังต่อไปนี้

1) โปรแกรม Editor ของ DOS หรือ Editor ตัวอื่นที่สามารถเขียนไฟล์ให้มีนามสกุลเป็น .ASM ได้

2) โปรแกรม SXA51.EXE ที่ใช้ทำหน้าที่ในการแปลงไฟล์ที่มีนามสกุล .ASM ให้เป็นไฟล์นามสกุล .HEX ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจได้ เพื่อที่จะสามารถ Download โปรแกรมลงไปในไอซีได้

3) โปรแกรม EZ31 เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการ Download ไฟล์นามสกุล .HEX ที่ได้ทำการคอมไพล์จากโปรแกรม SXA51 เรียบร้อยแล้ว ซึ่งโปรแกรมจะใช้งานร่วมกับบอร์ด Easy Download 8951 ใช้กับไอซีที่มีจำนวนขาเท่ากับ 40 ขาเท่านั้น โดยสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ www.kmitl.ac.th/~kswichit ซึ่งจะมีรายละเอียดของการสร้างบอร์ดใช้งานและการใช้โปรแกรม EZ31

ลำดับขั้นตอนในการออกแบบซอฟต์แวร์ในการควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าสามารถอธิบายตามลำดับ ดังนี้ ศึกษาขอบเขตความต้องการของรถไฟฟ้าในเรื่องระบบเบรก และระบบสถานะ วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ศึกษามาเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด และ ออกแบบโปรแกรม

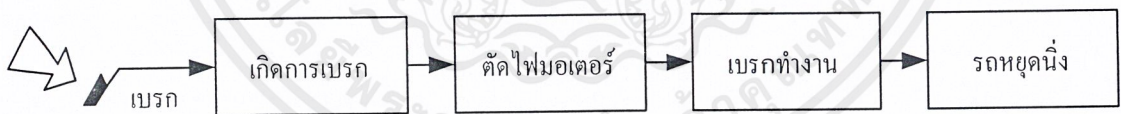
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ศึกษาขอบเขตความต้องการของรถไฟฟ้าในเรื่องระบบต่างๆ เช่น ระบบเบรก และระบบสถานะเดินหน้า หรือถอยหลังของรถไฟฟ้า รถไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายประเภทซึ่งได้แก่ รถไฟฟ้า BTS รถสนามกอล์ฟ รถสกูเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ปรากฏว่าระบบที่สำคัญที่ต้องศึกษาได้แก่ ระบบเบรก และระบบสถานะ

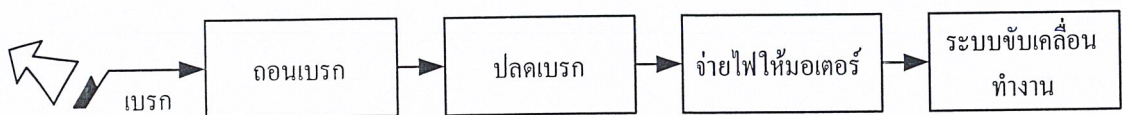
ระบบเบรกของรถไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นระบบเบรกไฟฟ้าที่ติดอยู่กับมอเตอร์เอง ลักษณะการทำงานโดยการตัดไฟที่จ่ายให้มอเตอร์เสียก่อนที่จะทำการเบรกโดยการใส่แรงเสียดทานจนทำให้รถสามารถหยุดนิ่งได้ ส่วนการทำงานหลังจากที่ทำการถอนเบรคนั้น ระบบเบรกจะปลดเบรกออกก่อนที่จะจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เพื่อทำให้มอเตอร์หมุน

ระบบสถานะได้แบ่งออกเป็นสองแบบด้วยกัน คือ แบบที่ 1 ใช้ระบบสถานะแบบรถยนต์โดยการทดเฟืองเพื่อเพิ่มความเร็วให้กับรถ ซึ่งระบบนี้มอเตอร์จะต้องทำงานเต็มที่ตลอดเวลา แบบที่ 2 เป็นการปรับความเร็วของมอเตอร์ให้มีความเร็วช้าตามความต้องการโดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์โดยที่มอเตอร์จะทดเฟือง เพื่อลดแรงให้กับมอเตอร์ก่อนที่จะต่อไปขับเคลื่อน

2) การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ศึกษามาเพื่อทำการเลือกวิธีที่เหมาะสม ในส่วนของระบบเบรคนั้นพบว่าในขณะที่ทำการเหยียบเบรคนั้น การทำงานของระบบคือ ระบบควบคุมจะทำการตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก่อนที่จะทำให้รถหยุดนิ่งหรือทำให้รถวิ่งช้าลง เพื่อความปลอดภัยของมอเตอร์แล้วหลังจากที่ถอนเบรก ระบบควบคุมก็จะทำการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เช่นเดิม ซึ่งสามารถแสดงลำดับการทำงานของระบบเบรก ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเบรกของรถไฟฟ้า ขณะเบรก

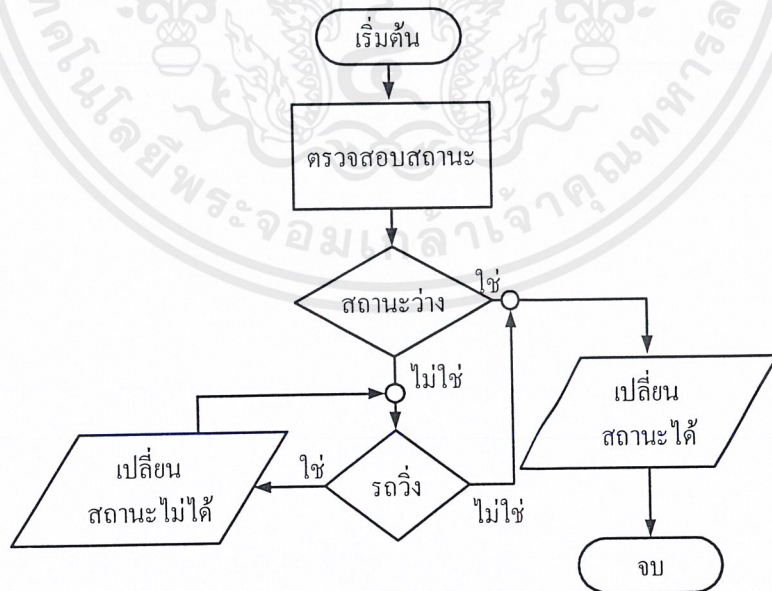


รูปที่ 3.2 การทำงานของระบบเบรกของรถไฟฟ้า ขณะถอนเบรก

ในส่วนของระบบสถานะ จากการศึกษาการทำงานของระบบสถานะของรถไฟฟ้าพบว่า ระบบสถานะของรถไฟฟ้ามีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ การปรับระดับความเร็วโดยการทดเฟือง และการปรับระดับความเร็วโดยการปรับระดับความเร็วที่ตัวมอเตอร์ เนื่องจากรถไฟฟ้าที่ต้องการสร้างนั้นต้องการที่จะนำเอาวงจรถวาย PWM เข้ามาเพื่อทำหน้าที่ในการปรับระดับความเร็วให้กับมอเตอร์ และเพื่อลดความยุ่งยากในการทดเฟืองเพื่อปรับระดับความเร็วดังนั้นจึงเลือกระบบสถานะแบบปรับระดับความเร็วที่ตัวมอเตอร์ ซึ่งสถานะจะมีอยู่ด้วยกัน 3 สถานะได้แก่ สถานะว่าง สถานะเดินหน้า และสถานะถอยหลัง

3) การออกแบบโปรแกรม โปรแกรมจะประกอบด้วย 4 ส่วนได้แก่

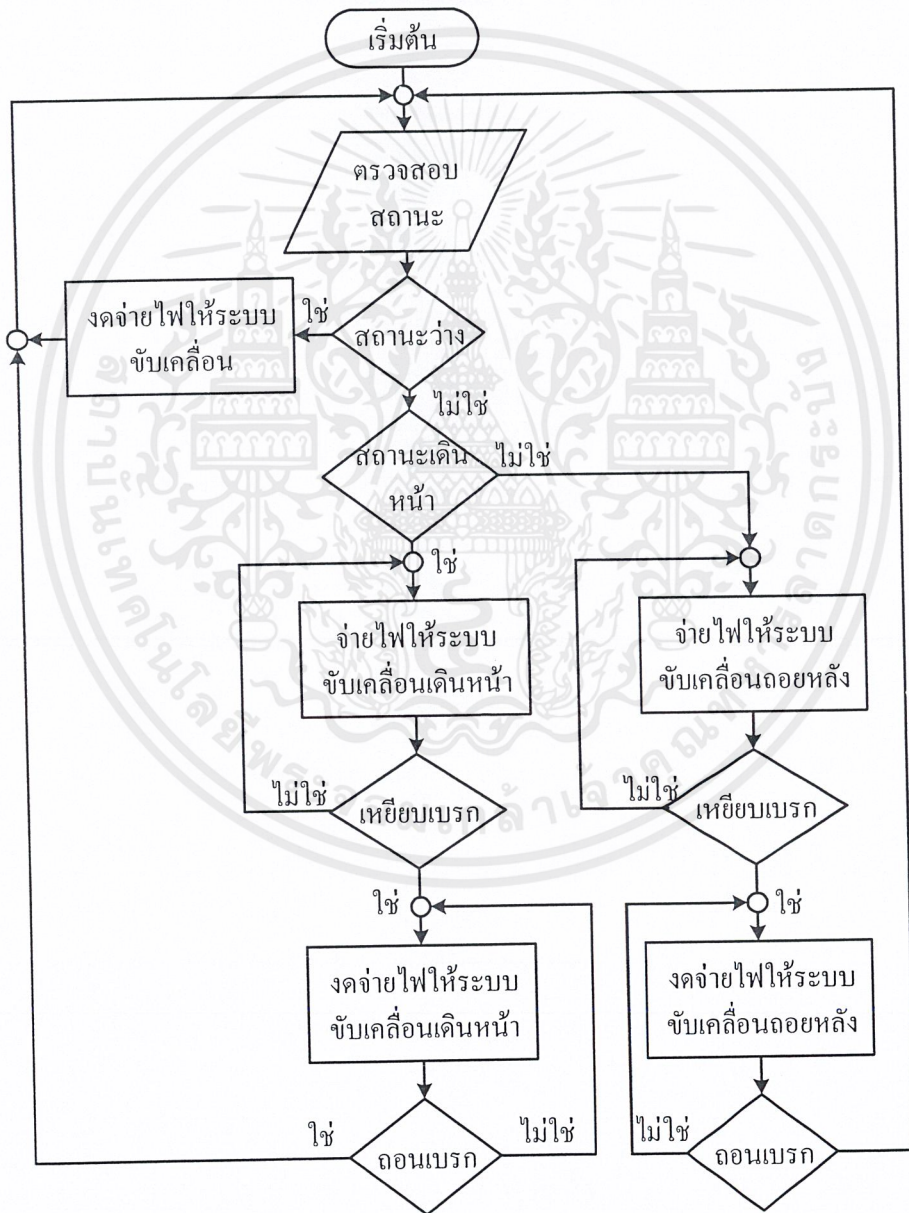
3.1) โปรแกรมหลักซึ่งจะทำหน้าที่ ในการตรวจสอบความพร้อมของรถ เพื่อทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่าขณะนี้รถสามารถเปลี่ยนสถานะได้หรือไม่ ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่รถวิ่งอยู่แล้วเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเดินหน้าเป็นสถานะถอยหลังหรือจาก สถานะถอยหลังเป็นสถานะเดินหน้าซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายให้กับระบบเฟือง และตัวมอเตอร์ได้ โดยโปรแกรมจะตรวจสอบว่าในขณะที่รถหยุดนิ่งแล้ว หรือยังถ่วงรถหยุดนิ่งก็สามารถเปลี่ยนสถานะได้ หรือถ้าเป็นสถานะว่างก็สามารถเปลี่ยนสถานะได้ ลักษณะการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

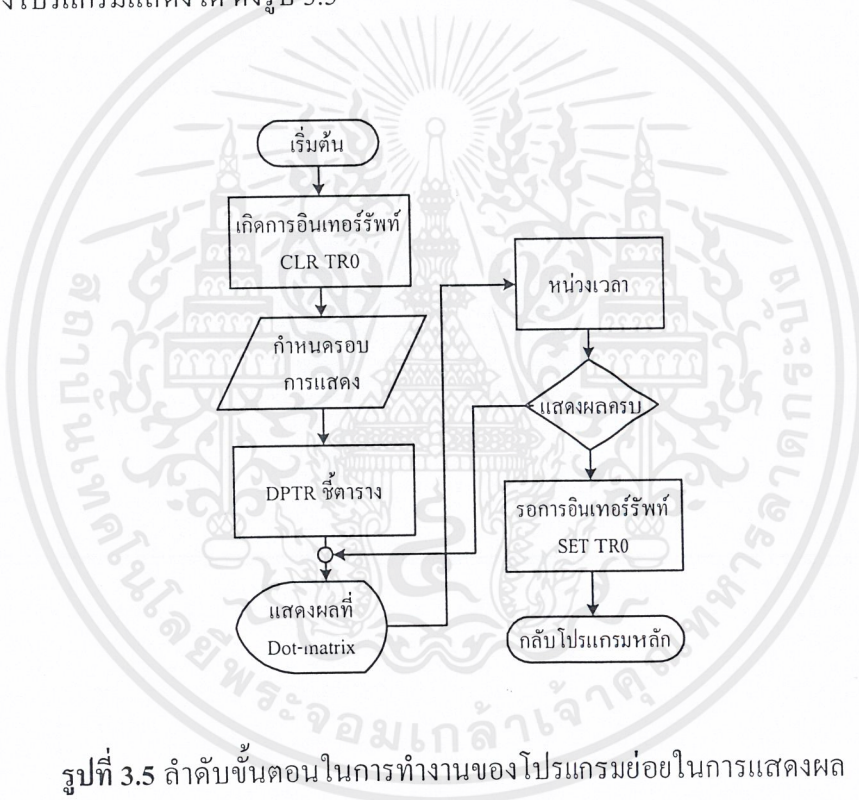
3.2) โปรแกรมย่อยตรวจสอบสถานะสถานะ โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการตรวจสอบว่าขณะนี้รถกำลังอยู่ในสถานะสถานะใดระหว่างสถานะว่าง สถานะเดินหน้า หรือสถานะถอยหลังเพื่อทำหน้าที่ตัดต่อไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เพื่อช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยการตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ในกรณีที่รถอยู่ในสถานะว่าง และในขณะที่รถเบรก ซึ่งลำดับชั้นการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนนี้แสดงได้ ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ลำดับชั้นการทำงานของโปรแกรมย่อยตรวจสอบสถานะสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

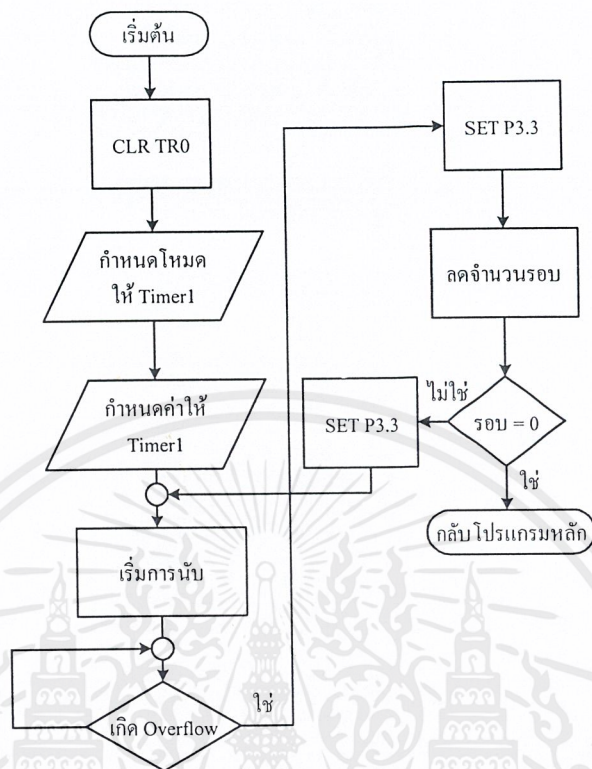
3.3) โปรแกรมย่อยแสดงผลสถานะต่างๆ ของรถ โปรแกรมจะทำหน้าที่แสดงผลว่าขณะนี้รถอยู่ในสถานะสถานะอะไร ระหว่างสถานะว่างจะแสดงตัวอักษร “S” สถานะเดินหน้าจะแสดงตัวอักษร “D” หรือสถานะถอยหลังจะแสดงตัวอักษร “R” ในการแสดงผลสถานะสถานะนั้นจะใช้คอนเทรริกซ์ แอลอีดี ขนาด 8X8 ลักษณะของโปรแกรมจะใช้การตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ Timer เพื่อกำหนดระยะเวลาในการแสดงผล เพราะเนื่องจากโปรแกรมจะต้องทำงานอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของโปรแกรมย่อยแสดงผลจะทำให้การแสดงผลเกิดการกระพริบได้ หรือเกิดการขาดหายเมื่อมีการกดสวิทช์เพื่อเลือกสถานะค้างเป็นเวลานาน ลักษณะลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมย่อยในการแสดงผล

3.4) โปรแกรมย่อยส่งเสียงเตือน โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการส่งเสียงเตือนเมื่อเกิดการกดสวิทช์ เพื่อเปลี่ยนสถานะเพื่อเป็นการบอกให้ทราบว่าการกดสวิทช์เกิดขึ้นและระบบควบคุมทำการเปลี่ยนสถานะให้เรียบร้อยแล้ว โดยการเปลี่ยนสถานะจะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อรถอยู่ในสถานะหยุดนิ่งแล้วเท่านั้น ถ้ารถไม่ได้หยุดนิ่งการกดสวิทช์เพื่อทำการเปลี่ยนสถานะระบบก็จะไม่ตอบสนองต่อการกดสวิทช์เพื่อเปลี่ยนสถานะ ในการเขียนโปรแกรมจะใช้ Timer 1 เป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการกำหนดความถี่ในการผลิตพัลส์ออกมาที่พอร์ต P3.3 ซึ่งความถี่ที่ใช้จะมีค่าประมาณ 8 kHz เป็นความถี่ที่หูของพวกเราสามารถรับรู้ได้ ลำดับการทำงานของโปรแกรมแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

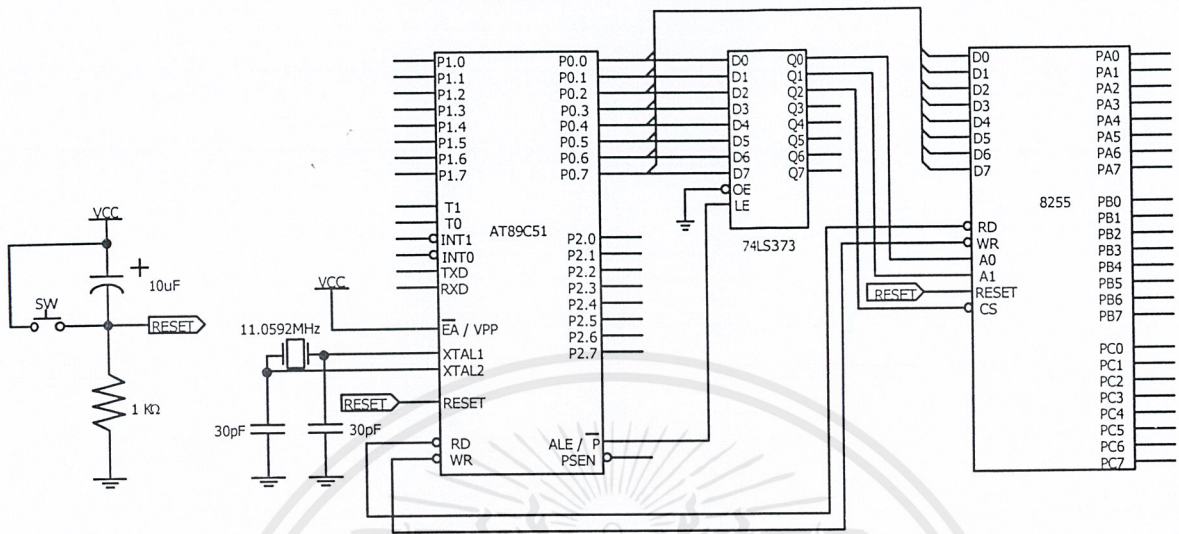


รูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมน้อยส่งเสียงเตือน

3.2.2 การทำงานของโปรแกรมควบคุม

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการทำงานในสถานะต่างๆ ของระบบว่าอยู่ในสถานะใด โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

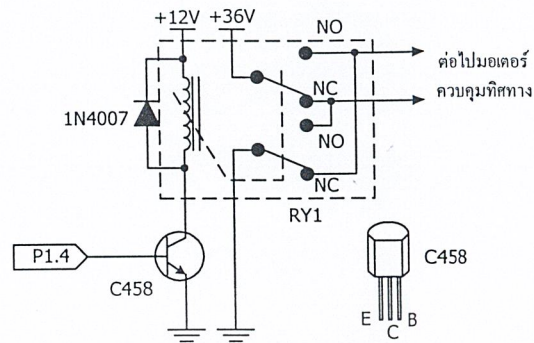
1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 เป็นไอซีขนาด 40 ขา ตัวถังแบบ DIP (Dual Packet Inline) มีพอร์ตใช้งานจำนวน 4 พอร์ต ได้แก่ พอร์ต 0, พอร์ต 1, พอร์ต 2, และ พอร์ต 3 MCS-51 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง คอยตรวจสอบสถานะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.8 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในส่วนของพอร์ตได้แบ่งหน้าที่ออกเป็น ดังนี้



รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

1.1) พอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็นขาแอดเดรส ให้กับ ไอซีเบอร์ 8255 และ ขา Data ของ 8255 เช่นกัน โดยต่อผ่าน ไอซีเบอร์ 74HC373 เพื่อทำหน้าที่คงสถานะแอดเดรสไว้ชั่วคราวโดย มีขา ALE ของ MCS-51 ตัวกำหนดจังหวะการทำงานว่าจะให้พอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็น แอดเดรสหรือ Data ซึ่ง พอร์ตนี้จะต่อกับขา $D_0 - D_7$ ของ 8255 แสดงดังรูปวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

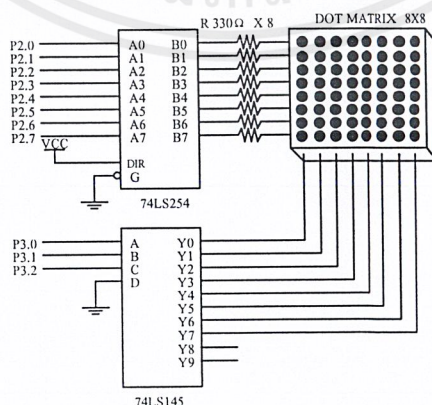
1.2) พอร์ต 1 ถูกแบ่งออกเป็น P1.0 เป็นบิตรับการกดสวิทช์เลือกสถานะว่าง P1.1 เป็นบิตรับการกดสวิทช์เลือกสถานะเดินหน้า P1.2 เป็นบิตรับการกดสวิทช์เลือกสถานะถอยหลัง P1.3 เป็นบิตที่ตรวจสอบว่ารถหยุดนิ่ง หรือยังซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนสถานะโดยที่ถ้ารถ ยังไม่หยุดนิ่งก็จะไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้ P1.4 เป็นบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางมอเตอร์เมื่อ P1.4 เป็น "0" มอเตอร์จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อ P1.4 เป็น "1" มอเตอร์จะหมุนใน ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยต่อผ่านไอซีเบอร์ ULN2001A เป็นไอซีขับเฟลอร์ที่สามารถรับกระแสได้ สูงสุด 500 มิลลิแอมป์ และนำไปควบคุมรีเลย์อีกทีหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 3.8 วงจรควบคุมทิศทาง มอเตอร์ P1.5 เป็นบิตที่ทำหน้าที่เป็นควบคุมการตัดต่อไฟให้กับวงจร Drive Motor เมื่อ P1.5 เป็น "0" จะเป็นการต่อไฟให้กับวงจร Drive Motor ถ้า P1.5 เป็น "1" เป็นการตัดไฟออกจากวงจร Drive Motor โดยที่ P1.5 จะต่อผ่านไอซี ULN2001A เพื่อควบคุมรีเลย์อีกทีหนึ่ง ซึ่งแสดงได้ ดังรูปที่ 3.8 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์



รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

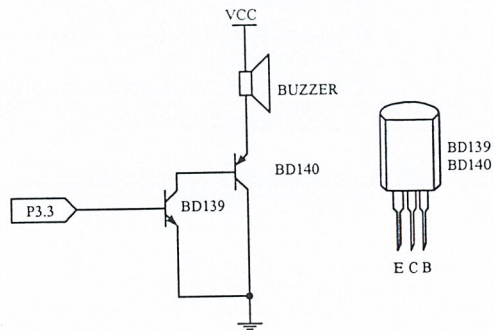
1.3) พอร์ต 2 เป็นพอร์ตที่ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงผลของคอตเมตริกซ์ขนาด 8 X 8 ทางด้านแนวนอนหรือทางด้านแนว โดยต่อผ่านไอซีเบอร์ 74LS245 เป็นไอซีบัฟเฟอร์ 3 สถานะที่ทำหน้าที่ช่วยขับกระแสให้กับคอตเมตริกซ์ให้สามารถเปล่งแสงออกมาได้แสดงดังรูปที่ 3.9 วงจรคอตเมตริกซ์

1.4) พอร์ต 3 แบ่งออกเป็น P3.0 ถึง P3.2 เป็นบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงผลของคอตเมตริกซ์ทางด้านแนวตั้ง หรือทางคอลัมน์ ซึ่งมีลักษณะการแสดงผลแบบ Multi Display โดยต่อผ่านไอซีเบอร์ 74LS145 เป็นไอซีถอดรหัสขนาด 10 บิต ซึ่งมีบิต A, B, C และ D ทำหน้าที่เป็นบิตเลือก โดยต่อ P3.0 เข้ากับขา A, P3.1 ต่อเข้ากับขา B, P3.2 ต่อเข้ากับขา C ส่วนขา D ต่อลงกราวด์ แสดงดังรูปที่ 3.9 วงจรคอตเมตริกซ์ P3.3 เป็นบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมบัชเซอร์เพื่อส่งเสียงเตือนให้ทราบว่าขณะนี้มีการกดสวิทช์ เกิดขึ้นโดยวงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.10 วงจรควบคุมบัชเซอร์



รูปที่ 3.9 วงจรคอตเมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รูปวงจรควบคุม Buzzer

3.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า

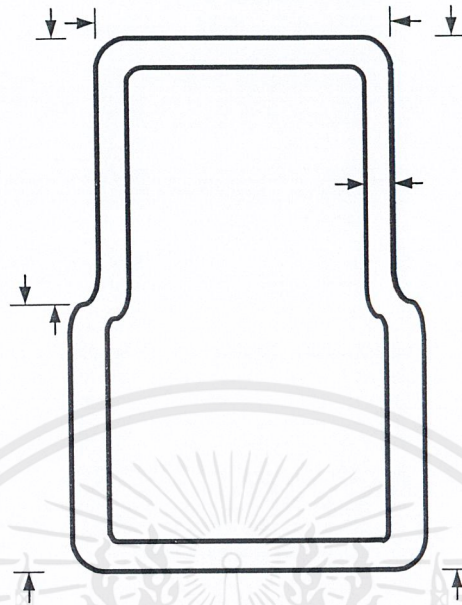
ในการออกแบบส่วนต่างๆของรถไฟฟ้ามีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนสามารถแบ่งส่วนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- 1) การออกแบบโครงสร้างของตัวรถไฟฟ้า
- 2) การออกแบบส่วนของการชาร์จ

3.3.1 การออกแบบโครงสร้างตัวรถไฟฟ้า

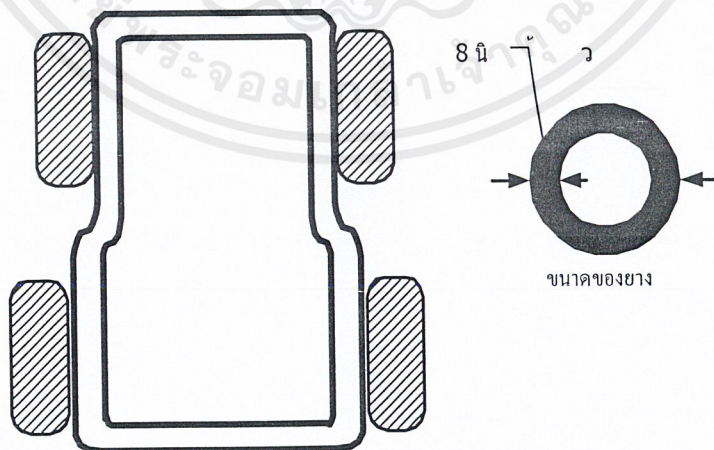
ในการออกแบบโครงสร้างของตัวรถไฟฟ้ามีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

- 1) ออกแบบโครงสร้างของรถไฟฟ้าส่วนชดเชย ต้องมีคุณสมบัติ คือ โครงสร้างจะคงทนได้ ต้องมีชดเชยที่แข็งแรงทนทาน และต้องออกแบบให้สามารถเข้ากับโครงสร้างที่เป็นอุปกรณ์รถไฟฟ้าของจริง เช่น ล้อ, ปีกนก, เพลาขับ, พวงมาลัย ฯลฯ รูปแบบ และต้องมีความสมดุลของส่วนต่างๆ ส่วนหน้ารถจะทำให้มีลักษณะที่สามารถวางล้อ และชุดขับเคลื่อนได้ และส่วนหลังรถจะมีลักษณะที่สามารถวางชุดขับเคลื่อนได้ทั้งหมด คือ จะต้องสามารถจะรับน้ำหนักของแบตเตอรี่ และรับน้ำหนักส่วนขับเคลื่อน เช่น มอเตอร์, เฟือง และโซ่ขับเคลื่อนได้ด้วย รูปแบบของโครงสร้างรถจะแสดงดังรูป 3.11



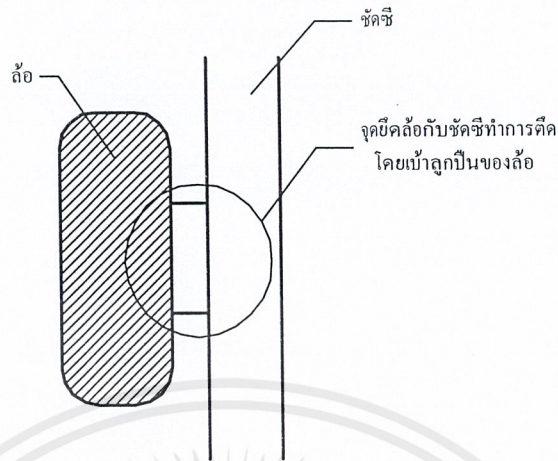
รูปที่ 3.11 รูปร่างซัคซี

2) การออกแบบโครงสร้างของรถไฟฟ้าส่วนล้อ ในการออกแบบโครงสร้างส่วนล้อนั้นจะเน้นถึงระบบการเลี้ยว และระบบการขับเคลื่อน คือ ในส่วนของล้อหน้านั้นจะทำการออกแบบให้ติดตั้งกับระบบเลี้ยว ส่วนด้านหลังจะต้องทำการติดตั้งกับส่วนของการขับเคลื่อน ดังจะแสดงในรูปที่ 3.12 การวางล้อเข้ากับซัคซี ขนาดของยาง และรูปที่ 3.13 แสดงการติดล้อกับซัคซี

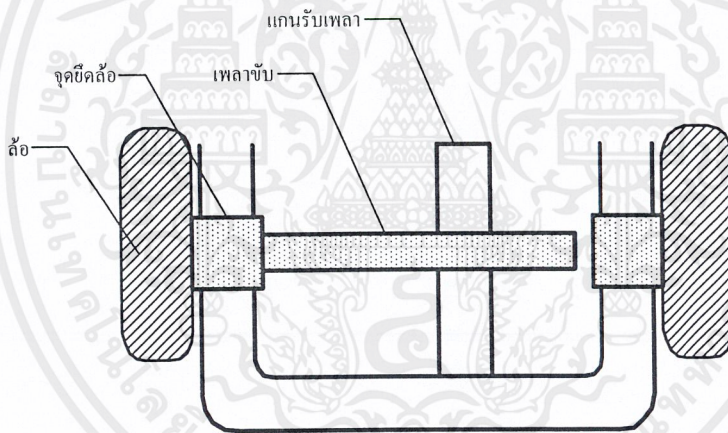


รูปที่ 3.12 การวางล้อเข้ากับซัคซี ขนาดของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



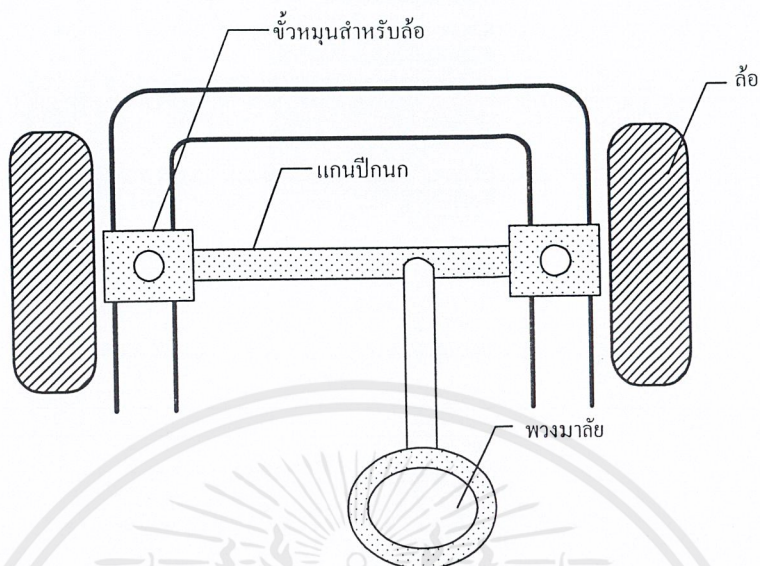
รูปที่ 3.13 การติดตั้งล้อกับซัดซี



รูปที่ 3.14 การวางล้อหลัง และส่วนการขับเคลื่อน

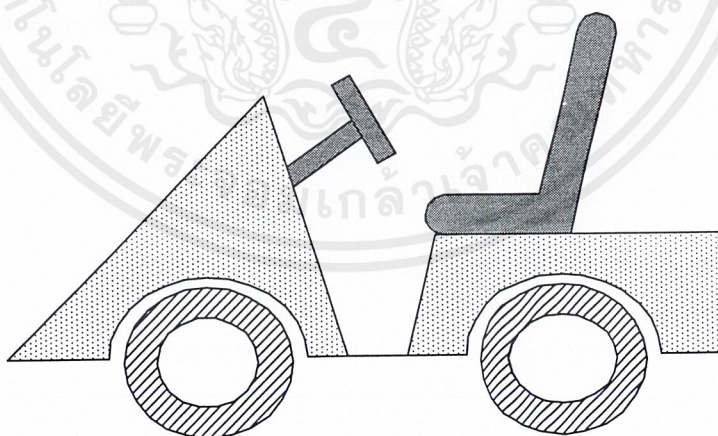
3) การออกแบบโครงสร้างของรถไฟฟ้าส่วนพวงมาลัย พวงมาลัยของรถไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงการวางปีกนก ที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนการวางพวงมาลัยนั้น ต้องทำการติดตั้งไว้ที่ล้อหน้า จากนั้นทำการติดปีกนกเข้ากับล้อหน้าทั้งสองข้าง และก็ทำการต่อเชื่อมเข้ากับพวงมาลัยสำหรับการขับเคลื่อนต่อไปในการออกแบบ การวางพวงมาลัยดังแสดงในรูปที่ 3.15 การวางพวงมาลัยในการขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การวางพวงมาลัยในการจับเคี้ยว

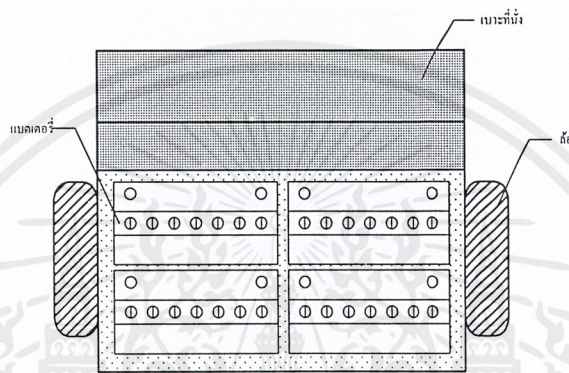
4) การออกแบบโครงสร้างของถังถังรถไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงรูปทรงภายนอกให้มีความสวย และอีกประการหนึ่งต้องคงทน และต้องมีที่สำหรับอำนวยความสะดวกต่างๆ ให้มีความพร้อมกับการใช้งาน เช่น ที่สำหรับไว้วางจรถต่างๆ ที่ไว้เบตเตอร์ ที่นั่งคนขับ



รูปที่ 3.16 โครงสร้างของโครงรถไฟฟ้าภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การออกแบบโครงสร้างของที่วางวงจรและแบตเตอรี่ไฟฟ้า ในการออกแบบที่วางวงจร และแบตเตอรี่ไฟฟ้าจำเป็นต้องทราบว่าจะวางมีอะไรบ้าง และต้องการวางแบตเตอรี่กี่ลูกที่ต้องการวางในส่วนนี้ เนื่องจากข้อมูลในส่วนนี้จะทำให้ทราบถึงขนาดของแบตเตอรี่และขนาดของวงจรที่ต้องการจะทำการวางการออกแบบในส่วนนี้จะดังแสดงในรูปที่ 3.7 การออกแบบที่วางแบตเตอรี่

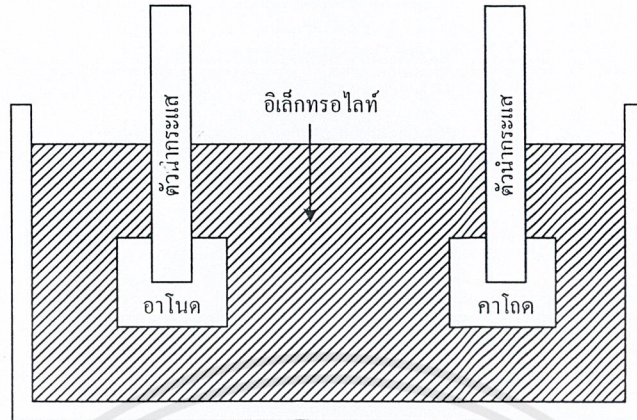


รูปที่ 3.17 การออกแบบที่วางแบตเตอรี่

3.3.2 การออกแบบส่วนวงจรชาร์จ

การออกแบบวงจรชาร์จนั้นต้องคำนึงถึงวงจรชาร์จไฟในลักษณะต่างๆ และทำการเลือกวงจรที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ตามลักษณะการใช้งานที่ต้องการที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และต้องคำนึงถึงส่วนต่างๆ ที่สำคัญอื่นๆ เช่น

1) เซลล์ของแบตเตอรี่รถยนต์ ภายในประกอบด้วยเซลล์มาต่ออนุกรมกัน 6 เซลล์โดยแต่ละเซลล์จะมีแรงดัน 2 โวลต์ จึงทำให้สามารถจ่ายแรงดันได้ 12 โวลต์ ซึ่งเป็นเซลล์ที่สามารถทำการประจุไฟฟ้าได้อีกหลังจากที่แบตเตอรี่ได้ถูกใช้งานจนกระแสน้ำลงไปทำให้นำกลับมาใช้งานได้ อีกคั้งนั้นจึงได้ถูกเรียกว่า เป็นเซลล์แบบทุติยภูมิ



รูปที่ 3.18 แบตเตอรี่รถยนต์

2) แรงดัน และความต้านทานที่ต้องนำมาพิจารณา ความต้านทานภายในของเซลล์ซึ่งเป็นความต้านทานเสมือน (Effective Resistance) ภายในเซลล์ซึ่งจะมีค่าน้อยมากในรูปที่ 3.18 แสดงถึงเซลล์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน (R_i) ทำการต่อกับความต้านทานภายนอก (R_x) ซึ่งอาจเป็นโหลดที่นำมาต่อก็ได้ หากทำการพิจารณาแล้วความต้านทานภายในก็จะมีผลต่อแรงดันและกระแสในส่วนที่จะนำไปใช้งาน เราสามารถคำนวณค่ากระแสที่ไหลในวงจรโดยใช้กฎของโอห์ม

$$I_x = \frac{V_T}{R_{i_T} + R_x} \text{ Ampere} \quad \text{และ} \quad V_x = \frac{R_x}{R_{i_T} + R_x} \times V_T \text{ Volt} \quad (3.1)$$

โดย I_x เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่าน R_x และ V_x เป็นแรงดันที่ตกคร่อม R_x ซึ่งเป็นส่วนของกระแส และแรงดันที่นำไปใช้งาน และเนื่องจากแบตเตอรี่นี้มีความต้านทานภายในจึงทำให้เกิดการเกิดกำลังงานสิ้นเปลืองไปโดยไม่สามารถนำมาใช้งานได้เท่ากับ

$$P = I_x^2 R_{i_T} \quad \text{หรือ} \quad \frac{(V_T - V_x)^2}{R_{i_T}} \quad \text{หรือ} \quad (V_T - V_x)I_x \quad (3.1)$$

ซึ่งสูญเสียไปในรูปของความร้อน ดังนั้นในการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานเพื่อให้ใช้ได้เต็มที่วงจรที่นำมาต่อเข้ากับแบตเตอรี่ ควรออกแบบให้มีความต้านทานอินพุตที่ค่อนข้างสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กำลังงานต่อชั่วโมง ลักษณะหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า คือ ค่าความจุของเซลล์ หรือก็คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เซลล์หนึ่งๆ สามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง กล่าวคือ แบตเตอรี่ที่นำมาใช้มีความจุ 70 แอมป์ต่อชั่วโมง หมายความว่า เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 70 แอมป์ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และหากจ่ายกระแสให้โหลดต่ำลงระยะเวลาใช้งานก็จะเพิ่มขึ้น และหากถ้าจ่ายกระแสให้โหลดสูงกว่า 70 แอมป์ ระยะเวลาที่ใช้งานก็จะน้อยกว่า 1 ชั่วโมง หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ ผลคูณของกระแส และชั่วโมงเวลาที่ได้จะต้องเท่ากับ 70 แอมป์ต่อชั่วโมง

4) การประจุกลับเข้าไปใหม่ การประจุเซลล์แบบตะกั่วกรดนั้นทำได้โดยการป้อนกระแส กลับเข้าไปในแบตเตอรี่โดยขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของ แหล่งจ่ายไฟก็ต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟโดยแหล่งจ่ายที่นำมาใช้จะต้องมีแรงดันที่คงที่ แรงดัน ของแหล่งจ่ายไฟที่นำมาใช้จะต้องอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์ หากเป็น แบตเตอรี่รถยนต์ก็จะมีแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์ ซึ่งสามารถทำการประจุโดยแหล่งจ่ายไฟที่ ระดับแรงดันไฟตรงที่มีค่าคงที่ในช่วง 13.2 ถึง 15 โวลต์ แต่โดยส่วนใหญ่่มักใช้แรงดันในการ ประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ ส่วนเรื่องของกระแสที่ทำการ ป้อนให้มันขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่ป้อนเข้าไป และสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่ หรือ ไม่ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูง และเซลล์คายประจุหมดเต็มที่ที่จะทำให้กระแสที่ไหลเข้า ประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกับการประจุไฟเข้าตลอดเวลา หรือ เซลล์ยังคายประจุไม่หมดแล้วทำการประจุเข้าไป กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำซึ่งที่ใช้ในงาน นี้เป็นกรณีหลังที่ได้กล่าว และเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุเต็มที่แล้ว ค่าของกระแสที่ทำการ ประจุก็จะมีค่าลดลงการประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของ แรงดันของแบตเตอรี่การประจุจะสิ้นสุด เมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายใน การประจุซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น โดยมีเงื่อนไขในการประจุเต็มภายในเวลา 5 ชั่วโมงมารวมกับกระแสขณะที่แบตเตอรี่ทำการคายประจุหมดเต็มที่ ซึ่งการประจุแบบรวดเร็ว เหมาะกับการประจุที่มีลักษณะแรงดันที่คงที่ไม่เช่นนั้นอาจทำความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถ ทำการแก้ไขได้ ในกรณีที่ใช้แรงดันในการประจุไม่คงที่ควรใช้แรงดันในการประจุน้อยลงเป็น ประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุดที่ต้องใช้ระยะเวลาการประจุ เกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

การประจุอย่างเร่งด่วน เป็นการประจุเซลล์ภายใน 2-3 นาที ด้วยอัตราการประจุสูงถึง 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยการวัดแรงดันของเซลล์ และตัดกระแสที่ใช้ประจุออก เมื่อแรงดันของเซลล์ขึ้นสูงถึงค่าที่ตั้งไว้แต่ก็มีอีกวิธีการหนึ่งหลังจากที่เซลล์หมดประจุอย่าง สมบูรณ์แล้วทำการประจุไฟเข้าไปโดยการกำหนดค่าของกระแสประจุที่คงที่ที่ใช้เวลาในการประจุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ต้องการกล่าวคือ ที่นำมาใช้งานกันหากเป็นกระแสทำการประจุขนาด 3C (3 เท่าของความจุ) จะถูกป้อนเป็นเวลา 20 นาที หรือจะใช้กระแสในการประจุเป็น 5C (5 เท่าของความจุ) ป้อนเข้าไปเป็นเวลา 12 นาที(เป็นวิธีการที่ทำการทดลองหลายๆ ครั้งเฉพาะแบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้กับเครื่องบินจำลองเท่านั้นโดยประจุแล้วทำการวัดระดับของแรงดัน และกระแสเทียบกับเวลาแล้วนำมาใช้กัน ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย และรวดเร็วแต่สิ่งที่ควรระวังหากทำการประจุมากเกินไปเพียง 2-3 วินาทีอาจทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ได้ จะใช้วิธีการนี้เหมาะกับในกรณีที่เซลล์จะต้องหมดประจุอย่างเต็มที่ และใช้กระแสในการประจุค่าที่แน่นอนเป็นระยะเวลาที่ถูกต้องจากที่กล่าวมาสำหรับโครงการนี้ได้นำเอาหลักการของการชาร์จประจุอย่างเร็วมาใช้คือจะใช้แรงดันที่มีค่าเป็น 16 โวลต์ ก็ประมาณ 1.33 เท่าของแรงดันแบตเตอรี่ และกระแสที่จ่ายให้ก็ประมาณ 15 แอมป์ซึ่งทำการประจุด้วยอัตราประมาณ

$$\frac{15}{70} \times 100 = 21.43\%$$

ของความจุ หรือ อัตรา $\frac{C}{4.67}$ ซึ่งจะใช้เวลาในการประจุประมาณ

$$\frac{100\%}{21.43\%} = 4.67 \text{ ชั่วโมง}$$

3 ชั่วโมง หรือ 4 ชั่วโมง + (0.67x60) นาที ประมาณ 4 ชั่วโมง 40 นาทีการใช้งานต้องการประจุที่รวดเร็ว และปลอดภัยโดยคำนึงถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ยาวนาน

3.4 การสร้างส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า

ในการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของรถสามารถแยกการสร้างเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

- 1) การสร้างส่วนของโครงรถ และระบบขับเคลื่อน
- 2) การสร้างส่วนของวงจรควบคุมต่างๆ และวงจรชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การสร้างส่วนของโครงรถ และระบบขับเคลื่อน

การสร้างส่วนของโครงรถ และระบบขับเคลื่อนนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่สามารถใช้ประกอบโครงสร้างรถได้ และทำการจัดหาวัสดุต่างๆ ในการผลิตโครงรถ เช่น เหล็กต่างๆ ที่ใช้ประกอบโครงสร้างหลัก และวัสดุอื่นที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่างๆ ดังจะอธิบายเป็นข้อๆ ดังนี้

1) การสร้างตัวถังรถ และการทำงานระบบขับเคลื่อนทางกล ในการสร้างตัวถังของรถไฟฟ้านั้นมีส่วนประกอบสำคัญอยู่หลายอย่าง สามารถอธิบายรายละเอียดได้เป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1.1) แหล่งที่สามารถจัดหาซื้ออุปกรณ์ ในการจัดซื้ออุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้องในการสร้างและการประกอบโครงสร้างของรถไฟฟ้านั้นแหล่งที่จัดหาซื้ออุปกรณ์ ต้องเป็นแหล่งที่ทำการจำหน่ายอุปกรณ์ที่ เกี่ยวกับรถยนต์หรืออะไหล่รถยนต์ต่างๆ จะมีราคาถูกกว่าที่เราจะทำการซื้อของใหม่มาทำ เช่น ในการประกอบล้อ เนื่องมาจากการออกแบบนั้นได้ทำการใช้ล้อจริงของรถยนต์ในการประกอบรถไฟฟ้าเราก็ต้อง นำคู่มือรถยนต์มาทำการ คัดแปลงเพื่อสามารถใช้งานเข้ากันได้ ในแหล่งที่จัดหาอุปกรณ์ได้ในนั้น ได้แก่ ย่านคลองถม เชียงกงต่างๆ

1.2) การประกอบตัวถัง และการวางระบบขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกเป็นข้อได้ ดังนี้

1.2.1) การประกอบล้อ ก่อนอื่นต้องทราบก่อนว่าล้อที่นำมาประกอบนั้นมีขนาดเท่าไร และต้องทำการตัดแปลงอย่างไร จากที่ทำการประกอบล้อที่ใช้กับ โครงงานนั้นต้องทำการถอดคู่มือออกมาก่อนเพื่อจะนำเอาเบ้าลูกปืนที่อยู่ภายในออกมาและทำการเชื่อมติดกับชดชี่ และปีกนกด้านหน้า ส่วนด้านหลังล้อที่เป็นล้อขับเคลื่อนต้องทำการนำเอาลูกปืนออกมา และทำการประกอบล้อติดเข้ากับเพลาลับด้วยเพื่อทำการขับเคลื่อนส่วนล้อหลังที่ไม่ได้ทำการขับเคลื่อนก็ทำการเชื่อมติดกับชดชี่ได้เลย ในการประกอบล้อมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทำการวัดระดับให้ได้ เพราะว่าในการใช้งานถ้ารถไม่ได้ระดับรถก็จะวิ่งไปแบบโครงเครงไม่สม่ำเสมอ

1.2.2) การสร้างตัวถัง จากที่ได้ทำการประกอบล้อเสร็จสิ้นแล้วเราต้องทำการสร้างตัวถังของรถ ทำการสร้างตัวถังตามแบบที่ได้ออกแบบเอาไว้ และทำการประกอบตัวถังโดยใช้สังกะสีแผ่นบางทำการสร้างถัง

3.4.2 การสร้างส่วนวงจรควบคุมต่างๆ และวงจรชาร์จของรถไฟฟ้า

ในการสร้างวงจรควบคุมต่างๆ และวงจรชาร์จของรถไฟฟ้าในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นขั้นตอนการทำงานนั้นจะเป็นส่วนของการสร้างลายวงจร หรือลายทองแดง เป็นต้น และการลงอุปกรณ์เป็นส่วนใหญ่ดังจะกล่าวถึงวิธีการดังต่อไปนี้

1) การออกแบบลายทองแดง โดยใช้โปรแกรม Protel 99 SE ในการออกแบบลายทองแดง โดยใช้โปรแกรม Protel 99 SE นั้นมีวิธีการสร้างอย่างคร่าวๆ ดังนี้คือ

1.1) ทำการวาดวงจรต่างๆ ลงในโปรแกรม Protel ในส่วนของ Schematic โดยใช้เครื่องมือที่มีอยู่ภายในโปรแกรม

1.2) เมื่อทำการวาด วงจรเสร็จแล้วจากนั้น ทำการเปลี่ยนจากลายวงจร ที่ทำการวาด ใน Schematic Document มาเป็นลายทองแดงในส่วนของ PCB Document

1.3) จากนั้นทำการเดินลายทองแดงให้เสร็จสิ้น และทำการพิมพ์ออกมา ก็จะได้แบบลายทองแดงออกมาใช้งาน

2) การทำลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ในการทำลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้นเราสามารถทำได้โดยวิธี และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.1) นำเอาแบบวงจรที่ได้พิมพ์ออกมานำไปทำการถ่ายเอกสารแผ่นใส

2.2) ทำการนำเอาแผ่นใส ที่ถ่ายเอกสารแล้ว มาทำการวางลงบนแผ่นทองแดง หรือแผ่นวงจรพิมพ์ และทำการวัด และตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้ขนาดกับแบบที่กำหนด

2.3) นำแผ่นใสกับแผ่นวงจรพิมพ์วางประกบกัน และทำการใช้เตารีดที่มีความร้อนปานกลางรีดจนลายที่ถ่ายเอกสารมานั้นติดเข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

2.4) นำเอาแผ่นวงจรพิมพ์ ที่มีลายของการถ่ายเอกสารติดอยู่ นำไปทำการแช่ลงในน้ำ กรดกัดวงจรพิมพ์ทำการกัดจนลายทองแดงที่ไม่มีลายหมดไป และนำมาล้าง

2.5) ทำการใส่สว่านดอก ที่มีขนาดเท่ากับ ขนาดของขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เเจาะให้ครบทุกตัวอุปกรณ์

3) ทำการใส่อุปกรณ์ต่างๆลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ในการใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้นมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

3.1) ทำการใส่อุปกรณ์ที่มีขนาดความสูงก่อนเสมอ เช่น ต้องทำการใส่ตัวต้านทานก่อนที่จะใส่ ทรานซิสเตอร์ เพราะว่าตัวต้านทานมีขนาดความสูงที่น้อยกว่า ทรานซิสเตอร์

3.2) ในการใส่อุปกรณ์ที่มีไวต่อความร้อน สามารถจะเกิดการเสียหาย เช่น อุปกรณ์

ทรานซิสเตอร์ หรือไอซี ควรทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้า

ขั้นตอนการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไฟฟ้าสามารถจะแบ่งเป็นส่วนย่อยได้ ดังนี้

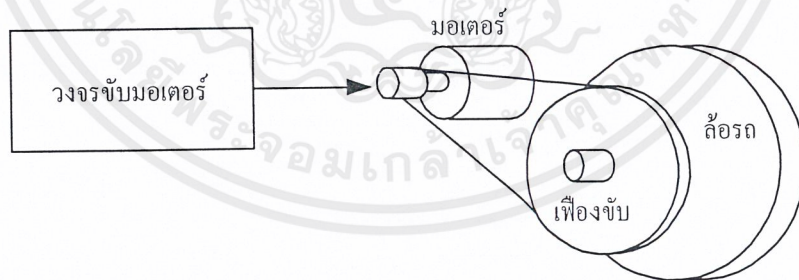
- 1) ขั้นตอนการทำงานของระบบขับเคลื่อน
- 2) ขั้นตอนการทำงานของวงจรขยายการตัดต่อ
- 3) ขั้นตอนการทำงานของวงจร PWM
- 4) ขั้นตอนการทำงานของวงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่

3.5.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบขับเคลื่อน

ในขั้นตอนการทำงานของระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) **วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์** วงจรขับเคลื่อนนั้นจะทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดัน และกระแสออกมาเพื่อควบคุมมอเตอร์ว่าจะต้องการให้มอเตอร์ หมุนเร็วหรือช้ามากน้อยเพียงใดในคุณสมบัติของวงจรขับเคลื่อนนั้น จะต้องทำจ่ายกระแส และแรงดันที่เพียงพอกับมอเตอร์เพื่อจะได้ไม่เกิดปัญหามอเตอร์ไม่หมุนถ้าจ่ายแรงดัน และกระแสไม่เพียงพอหรือตัวมอเตอร์ทำการดึงกระแสจนทำให้วงจรขับเคลื่อนเสียหาย

2) **ระบบการขับเคลื่อนโดยมอเตอร์** ระบบการขับเคลื่อนนั้นจะมีการทำงานดังรูปที่ 3.13 คือมอเตอร์จะทำหน้าที่ขับ สายพานเพื่อส่งแรงขับไปสู่เฟืองขับ และเฟืองขับก็ทำการขับล้อรถให้หมุนออกไปด้วย



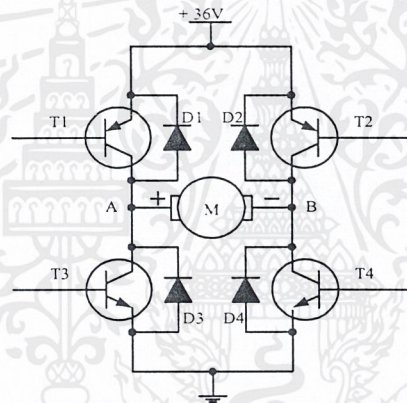
รูปที่ 3.19 การระบบขับเคลื่อน

3.5.2 ขั้นตอนการทำงานวงจรขยายการตัดต่อ

วงจรขยายเชิงเส้นที่ใช้ในระบบควบคุมความเร็วจะมีปัญหาเรื่องความร้อนที่ภาคเอาต์พุต ซึ่งจำเป็นต้องใช้พัดลมระบายความร้อนในการช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นที่มีขนาดกำลังมากกว่า 100 ถึง 200 วัตต์

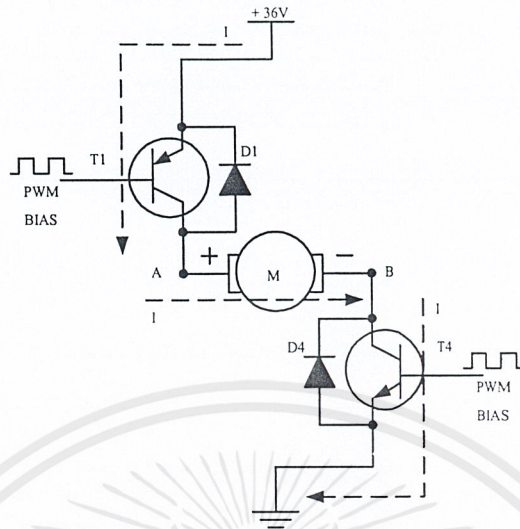
วงจรขยายการตัดต่อสามารถแก้ปัญหาเรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาคเอาต์พุตได้โดยเอาต์พุตของวงจรขยายการตัดต่อจะทำงานเป็นตัวตัดต่อ อย่างรวดเร็วจากสถานะที่ไม่นำกระแสไปสู่สถานะที่นำกระแสเต็มที่ ดังนั้นจะทำให้เอาต์พุตทำงานในย่านที่มีการสูญเสียน้อยที่สุด

วงจรขยายพัลส์วิดโมดูเลชันแบบยูนิโพลาร์มีลักษณะการทำงานที่ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นคู่ จากรูปสามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ ดังนี้



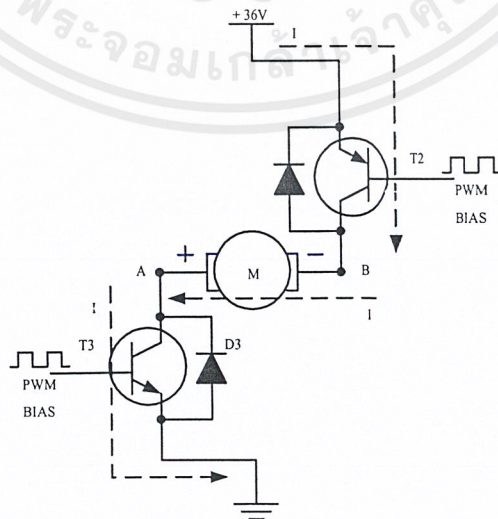
รูปที่ 3.20 วงจรขยาย PWM แบบยูนิโพลาร์

การควบคุมให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เราจะต้องจ่ายไฟไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ T_1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบ PNP และเป็นทรานซิสเตอร์แบบ NPN เมื่อเราจ่ายไฟไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ T_1 และมีสถานะ ON ส่วน ทรานซิสเตอร์ T_2 และ T_3 อยู่ในสถานะ OFF จะทำให้กระแสไหลผ่าน ทรานซิสเตอร์ T_1 ไปสู่จุด A ไหลผ่านมอเตอร์ไปหาจุด B ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T_4 ไหลลงกราวด์ทำให้ครบวงจรทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาแสดงดังรูปที่ 3.21 การควบคุมมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.21 การควบคุมมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

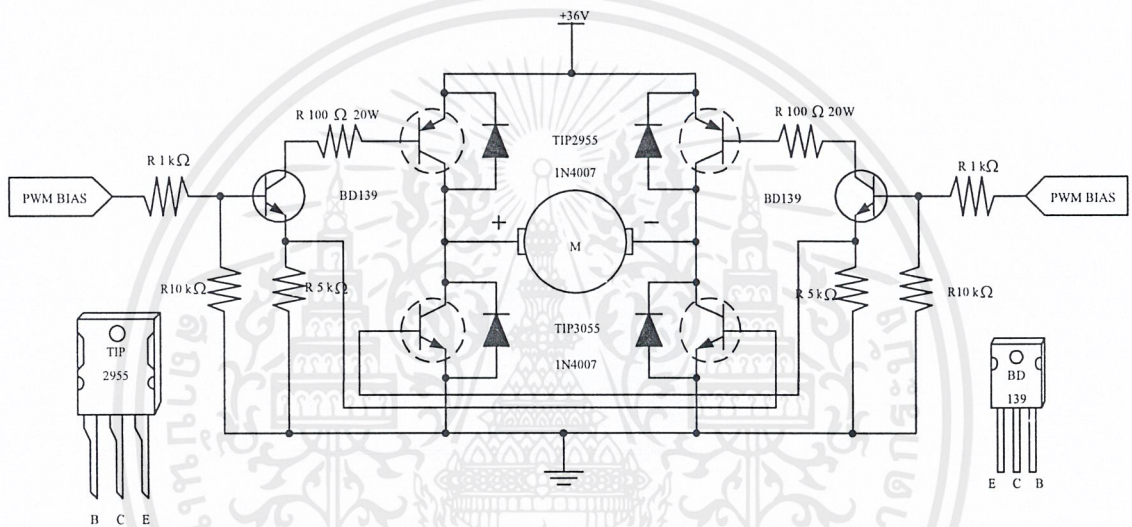
ส่วนการควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกานั้นสามารถทำได้โดย การจ่ายไฟไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ T_2 และ T_3 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบ PNP และ NPN ตามลำดับ ให้อยู่ในสถานะ ON ส่วน ทรานซิสเตอร์ T_1 และ T_4 ให้อยู่ในสถานะ OFF จะทำให้กระแสสามารถไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T_2 ไปยังจุด B ไหลผ่านมอเตอร์ ไปยังจุด A ผ่านทรานซิสเตอร์ T_3 ไหลลงกราวด์ ควบคุมให้มอเตอร์หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา แสดงดังรูปที่ 3.22 การควบคุมมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.22 การควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในภาคเอาต์พุตที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์นั้นจะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ชนิดคือ ชนิด PNP และ NPN ใช้เบอร์ TIP2955 และ TIP3055 ตามลำดับคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์สามารถทนกระแสได้สูง 25 แอมป์ แต่เนื่องจากว่าทรานซิสเตอร์ที่ผลิตในโรงงานนั้นมีคุณสมบัติไม่ตรงตามที่ได้ระบุไว้ จึงต้องนำเอาทรานซิสเตอร์ชนิดเบอร์ TIP2955 จำนวน 6 ตัวมาต่อขนานกันดังรูปวงจรรขยายภาคเอาต์พุต และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ TIP3055 จำนวน 6 ตัวเช่นกันมาต่อขนานกันดังรูปวงจรรขยายภาคเอาต์พุต



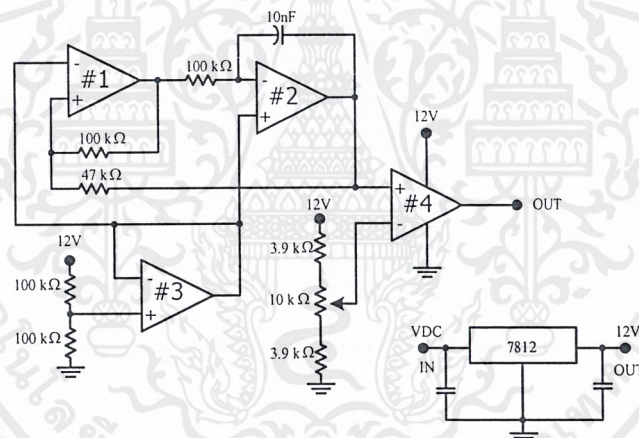
รูปที่ 3.23 วงจรรขยายภาคเอาต์พุต

3.5.3 ขั้นตอนการทำงานวงจร PWM

วงจร PWM เป็นวงจรจ่ายพัลส์เพื่อควบคุมความเร็ว DC Motor ซึ่งวงจรใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ วงจร PWM ทำงานโดยการผลิตพัลส์สี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ อัตราเฉลี่ยของแรงดันจะเริ่มจาก 0 ไปจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ PWM มีอัตราเฉลี่ยของพัลส์อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ วงจรจะใช้กำลังเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังงานทั้งหมดและจะจ่ายกำลังงานให้กับโหลดเกือบทั้งหมด และทำให้โหลดสามารถใช้กำลังงานได้ 79 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด ส่วน 21 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือนั้นจะหมดไปกับความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาคเอาต์พุต ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของพัลส์

1) สามารถผลิตความถี่ได้ 400 Hz

2) วงจรใช้พลังงานไป 1.5 มิลลิแอมป์ ที่แรงดัน 12 โวลต์ขณะที่ไม่มีโหลดการทำงานของ วงจรวงจร PWM ต้องการวงจร Oscillator ที่คงที่โดยจากวงจรใช้ไอซีเบอร์ LM324N เป็นไอซี Op-Amp ซึ่งภายในประกอบไปด้วย Op-Amp จำนวน 4 ชุดดังนี้ U_{1A} และ U_{1D} จะทำหน้าที่สร้างพัลส์สี่เหลี่ยม และพัลส์สามเหลี่ยมตามลำดับที่ความถี่ประมาณ 400 Hz U_{1C} ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างแรงดันอ้างอิง 6 โวลต์ที่เป็นเสมือนกราวด์ ให้กับพัลส์ทางด้าน (+) และ พัลส์ทางด้าน (-) U_{1B} เป็นตัวนำเอาพัลส์สามเหลี่ยมที่ได้จาก U_{1D} เข้าเป็นพัลส์อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันที่ขา 6 ซึ่งเป็นแรงดันที่ได้จาก R_6 , VR_1 และ R_7 มีลักษณะเป็นแรงดันแบบขั้นบันได ผลการเปรียบเทียบเมื่อแรงดันที่รับเข้ามานั้นมีค่าแรงดันน้อยกว่าแรงดันเฉลี่ยของพัลส์รูปสามเหลี่ยมจะทำให้ U_{1B} สร้างพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีระดับแรงดันเฉลี่ยสูง



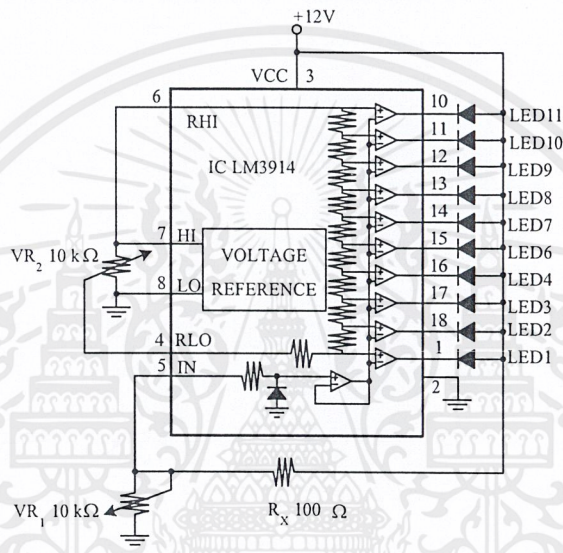
รูปที่ 3.24 วงจร PWM

3.5.4 ขั้นตอนการทำงานวงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่

วงจรมีบอกระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในขณะนั้น โดยใช้ไอซีเบอร์ LM3914 ซึ่งใช้แอลอีดี 10 ตัว เป็นตัวแสดงผลแบบลิเนียร์สเกล โดยจะกำหนดให้แสดงระดับแรงดันอยู่ในช่วง 11 ถึง 14 โวลต์ ซึ่งมีย่านความกว้างของแรงดันเท่ากับ 3 โวลต์ดังนั้นความแตกต่างของระดับแรงดันในการติดสว่างของแอลอีดีตัวข้างเคียงจะมีค่าเท่ากับ 0.3 โวลต์

การทำงานของวงจรภายในไอซีเบอร์ LM3914 จะมีวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงออกมาทางขา REF HI (ขา 7) และ REF LO (ขา 8) มีความแตกต่างของแรงดันเท่ากับ 2 ขา เท่ากับ 1.2 โวลต์ ดังนั้นเมื่อต่อขา 8 ลงกราวด์ที่ขา 7 จะมีแรงดันเท่ากัน และค่าแรงดันนี้จะนำไปเป็นค่าแรงดันอ้างอิง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงที่สุดจะทำให้แอลอีดีตัวสุดท้าย คือ แอลอีดี 10 ติดสว่าง นั่นแสดงว่าแรงดันอินพุตที่ขา 5 จะทำให้แอลอีดี 10 สว่างมีค่าเท่ากับ 1.2 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันสูงสุดที่วงจรแสดงผลได้ ส่วนแรงดันต่ำสุดที่ วงจรแสดงผลได้จะขึ้นอยู่กับแรงดัน R_{LO} ที่ขา 4 ซึ่งได้จากการแบ่งแรงดันอ้างอิง REFHI ที่ขา 7 ด้วย VR_2 เช่น ถ้าแรงดันที่ขา 4 มีค่า 0.8 โวลต์ ดังนั้นแรงดันอินพุตที่ขา 5 จะต้องมีความมากกว่า 0.8 โวลต์เล็กน้อย จึงทำให้แอลอีดี 1 ติดสว่าง



รูปที่ 3.25 วงจรตรวจระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่

ส่วน R_x และ VR_1 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากแบตเตอรี่ ให้ลดลงเป็นค่าที่ต้องการเพื่อป้อนเป็นแรงดันอินพุตที่ขา 5 ของไอซีแสดงระดับแรงดัน อัตราการแบ่งแรงดันหรือหารแรงดันสามารถหาได้จากแรงดันของแบตเตอรี่สูงสุดที่จะให้วงจรแสดงผล กับแรงดันอ้างอิงสูงสุดคือ R_{HI}

แรงดันอ้างอิงที่ต่ำที่สุดที่ขา 4 สามารถหาได้จากแรงดันแบตเตอรี่ค่าต่ำสุดที่ทำให้แอลอีดี 1 ทำงาน หารด้วยอัตราการแบ่งแรงดันของ R_x กับ VR_1 นั่นคือเพราะฉะนั้นเราต้องปรับ VR_2 ให้แรงดันที่ขา 4 มีค่า = 0.88 โวลต์หาค่า R_x และ VR_1

จากอัตราแบ่งแรงดันที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 11.67 โวลต์กำหนด R_x เท่ากับ 100 กิโลโอห์ม และแรงดันอินพุตที่ขา 5 สูงสุดเท่ากับแรงดันอ้างอิงสูงสุดเท่ากับ 1.2 โวลต์ และแรงดันแบตเตอรี่สูงสุด 14 โวลต์

ค่า VR₁ ที่ได้เป็นค่าที่วงจรต้องการจะใช้ความต้านทานคงที่ค่าอื่นๆ มาแทนไม่ได้ จึงต้องใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มาใช้แทน และปรับให้ได้ค่าตามที่คำนวณมาเป็นอันใช้ได้ เพราะฉะนั้น VR₁ จะใช้ค่าเท่ากับ 10 กิโลโอห์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในการทดลอง และผลการทดลองสามารถจะมีวิธีการ และขั้นตอนในการทดลอง และผลการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) วิธีการทดลอง และผลการทดลองการทำงานของโครงสร้างรถไฟฟ้า
- 2) วิธีการทดลอง และผลการทดลองระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า
- 3) วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
- 4) วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจร PWM
- 5) วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรชาร์จ

4.2 การทดลองการทำงานของโครงสร้าง

4.2.1 วิธีการทดสอบการรับน้ำหนัก

การทดสอบการรับน้ำหนักสามารถทำได้โดย การใช้สิ่งของน้ำหนักขึ้นไปวาง หรือคนขยับขึ้น ไปนั่งเพื่อให้รถทำการรับน้ำหนักว่าสามารถทำการรับน้ำหนักได้หรือไม่ในการทดสอบการรับ น้ำหนักนั้นจะกระทำโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) ทดลองให้โครงรถไฟฟ้าไฟฟ้รับน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ทำโดยการให้คน ที่มีน้ำหนัก ประมาณ 60 กิโลกรัมขึ้นไปนั่งแล้ว ทำการสังเกตล้อ หรือชั่งชั่งดูว่ามีผลกระทบอะไรหรือไม่
- 2) ทดลองให้โครงรถไฟฟ้าไฟฟ้รับน้ำหนัก 80 กิโลกรัม ทำโดยการให้คน ที่มีน้ำหนัก ประมาณ 80 กิโลกรัม หรือใช้สิ่งของช่วยให้น้ำหนักถึงที่กำหนด ขึ้นไปนั่งแล้ว ทำการสังเกตล้อ หรือชั่งชั่งดูว่ามี ผลกระทบอะไรหรือไม่
- 3) ทดลองให้โครงรถไฟฟ้าไฟฟ้รับน้ำหนัก 120 กิโลกรัม ทำโดยการให้คน ที่มีน้ำหนัก ประมาณ 60 กิโลกรัม 2 คน หรือใช้สิ่งของช่วยให้น้ำหนักถึงที่กำหนด ขึ้นไปนั่งแล้ว ทำการสังเกต ล้อหรือชั่งชั่งดูว่ามี ผลกระทบอะไรหรือไม่

4.2.2 ผลการทดสอบการรับน้ำหนัก

- 1) ผลการทดสอบการรับน้ำหนักที่น้ำหนัก 60 กิโลกรัม ผลการทดสอบปรากฏว่าโครงรถไฟฟ้าไฟฟ้ารับน้ำหนักได้เป็นอย่างดีลื่น และซัดซื่ออยู่ในสภาพปกติ
- 2) ผลการทดสอบการรับน้ำหนักที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม ผลการทดสอบปรากฏว่าโครงรถไฟฟ้าสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดีลื่น และซัดซื่ออยู่ในสภาพปกติ
- 3) ผลการทดสอบการรับน้ำหนักที่น้ำหนัก 120 กิโลกรัม ผลการทดสอบปรากฏว่าโครงรถไฟฟ้าสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี แต่ยางจะแบนนิคหน้อยลื่น และซัดซื่ออยู่ในสภาพปกติ

4.3 วิธีการทดลองและผลการทดลองระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

4.3.1 วิธีการทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์

การทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์นั้นสามารถทำได้ โดยการนำเอามอเตอร์ทำการต่อเข้ากับระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า และทดสอบโดยการต่อแบตเตอรี่ 36 โวลต์ เข้ากับมอเตอร์ และทำการสังเกตผลที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ว่ามอเตอร์สามารถรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ สามารถมีขั้นตอนการทดสอบได้ ดังนี้

- 1) ทดสอบ โดยไม่มีคนนั่ง การทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์มีแรงที่จะขับเคลื่อนรถได้หรือไม่ และทำการคอยตรวจสอบว่ามอเตอร์ทำงานหนัก หรือไม่ถ้าหนักเกินไปก็ควรที่จะหยุดการทดสอบ เพราะอาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้
- 2) ทดสอบโดยมีคนขับ 1 คน การทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์มีแรงที่จะขับเคลื่อนรถ และคนขับที่ทำการขับเคลื่อนได้หรือไม่ และทำการคอยตรวจสอบว่ามอเตอร์ทำงานหนัก หรือไม่ถ้าหนักเกินไปก็ควรที่จะหยุดการทดสอบ เพราะอาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้
- 3) ทดสอบโดยมีคนขับ 1 คน คนนั่ง 1 คน การทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์มีแรงที่จะขับเคลื่อนรถ คนขับ และคนนั่ง 1 คนที่ทำการขับเคลื่อนได้หรือไม่ และทำการคอยตรวจสอบว่ามอเตอร์ทำงานหนักหรือไม่ถ้าหนักเกินไปก็ควรที่จะหยุดการทดสอบ เพราะอาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้

4.3.2 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์

- 1) ผลการทดสอบโดยไม่มีคนนั่ง ผลการทดสอบปรากฏว่ารถสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี มอเตอร์สามารถจะทำงานได้เป็นปกติ ความเร็วอยู่ที่ 4-5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ทางเรียบ

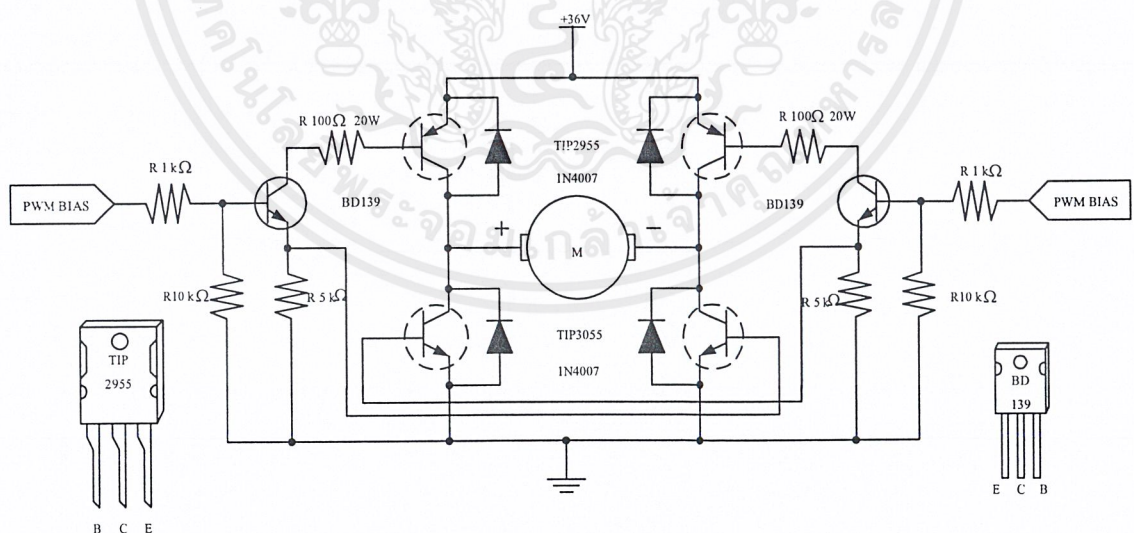
2) ผลการทดสอบโดยมีคนขับ 1 คน ผลการทดสอบปรากฏว่ารถสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี มอเตอร์สามารถจะทำงานได้เป็นปกติ ความเร็วอยู่ที่ 3-4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ทางเรียบ

3) ผลการทดสอบโดยมีคนขับ 1 คน และคนนั่ง 1 คน ผลการทดสอบปรากฏว่ารถสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี มอเตอร์สามารถจะทำงานได้เป็นปกติความเร็วอยู่ที่ 2-3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ทางเรียบ

4.4 วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรขับมอเตอร์

4.4.1 การทดสอบวงจรขับมอเตอร์

วงจรขับมอเตอร์ เป็นแบบยูนิโพลาร์ ต้องการใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ชนิด คือ แบบ PNP และ NPN โดย PNP เลือกใช้เบอร์ TIP2955 ส่วนชนิด NPN เลือกใช้เบอร์ TIP3055 ซึ่งเป็นคู่เมตซ์กัน จากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP2955 และ TIP3055 พบว่าสามารถทนกระแสได้สูงสุด 25 แอมป์ สามารถตอบสนองความถี่ได้ 3 MHz แต่เนื่องจากทรานซิสเตอร์ที่มีในท้องตลาด คุณสมบัติมีความคลาดเคลื่อนสูงจึงใช้ทรานซิสเตอร์จำนวน 12 ตัว คือ TIP2955 จำนวน 6 ตัว และ TIP3055 จำนวน 6 ตัว ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลองขณะที่มีมอเตอร์ไม่มีโหลด

เมื่อต่อแรงดันที่ระดับ 36 โวลต์ เมื่อทำการวัดแรงดันตกคร่อมที่ตัวมอเตอร์พบว่ามีความแรงดันตกคร่อมที่ตัวมอเตอร์ขณะที่มีมอเตอร์หมุนอยู่ปรากฏว่ามีความแรงดันตกคร่อม 35 โวลต์ เมื่อทำการวัดแรงดันตกคร่อมที่ขา CE ของทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP2955 ปรากฏว่ามีความแรงดันตกคร่อมที่ขา CE มีค่าเท่ากับ 0.5 โวลต์ และเมื่อทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมขา CE ของ ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP3055 พบว่ามีความแรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับ 0.2 โวลต์ และเมื่อทำการวัดกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ในขณะที่ปราศจากโหลดพบว่ามีความแรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับ 2.6 แอมป์ ดังนั้นเมื่อคำนวณค่าพลังงานที่ได้ในขณะที่มอเตอร์หมุนที่ปราศจากโหลดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังงาน} &= \text{แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์} \times \text{กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์} \\ &= 36 \text{ V} \times 2.6 \text{ A} \\ &= 93.6 \text{ W} \end{aligned}$$

4.4.3 การทดสอบเมื่อติดตั้งมอเตอร์เข้ากับโครงรถไฟฟ้า

ซึ่งโครงรถไฟฟ้ามี่น้ำหนักประมาณ 150 กิโลกรัม พบว่าเมื่อทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ในขณะที่รถออกตัวพบว่ามีความแรงดันตกคร่อมที่มอเตอร์มีค่าเท่ากับ 32 โวลต์ และเมื่อทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ที่ขา CE พบว่ามีความแรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ และแรงดันตกคร่อมที่ทรานซิสเตอร์ที่ขา CE พบว่ามีความแรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับ 1.2 โวลต์ วัดกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ในขณะที่รถออกตัววัดกระแสได้ 12 แอมป์ เมื่อทำการคำนวณหาค่ากำลังงานที่มอเตอร์สามารถจ่ายออกมาได้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังงาน} &= \text{แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์} \times \text{กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์} \\ &= 32 \text{ V} \times 12 \text{ A} \\ &= 384 \text{ W} \end{aligned}$$

4.4.4 การทดสอบเมื่อรถวิ่งด้วยความเร็วคงที่

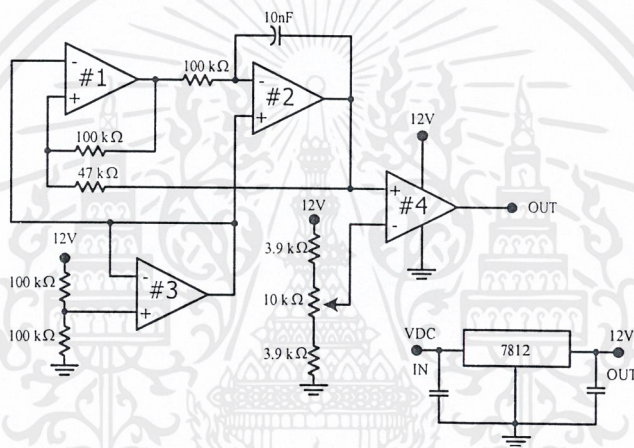
พบว่าเมื่อทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวมอเตอร์วัดแรงดันได้ 35 V วัดแรงดันที่ตกคร่อมที่ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP2955 ที่ขา CE วัดได้ 0.2 V และกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ได้ 6.5 แอมป์ ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณหาค่ากำลังที่มอเตอร์สามารถให้กำลังงานออกมาได้ในขณะที่รถวิ่งอยู่ในสภาวะความเร็วคงที่สามารถคำนวณออกมาได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังงาน} &= \text{แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์} \times \text{กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์} \\ &= 35 \text{ V} \times 6.5 \text{ A} \\ &= 227.3 \text{ W} \end{aligned}$$

จากคุณสมบัติของวงจร PWM ที่ใช้งานเป็นดังนี้ ใช้ไอซี Op-Amp เบอร์ LM324N ทำหน้าที่ผลิตความถี่ 400 Hz สามารถปรับความกว้างของ พัลส์เริ่มจากค่าเฉลี่ยแรงดัน 0 โวลต์ไปจนถึง 12 โวลต์ เมื่อนำเอาวงจรไปตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคปพบว่าอ่านค่าความถี่ได้ 500 Hz

เมื่อทำการปรับระดับสัญญาณโดยที่ไม่ได้ต่อเข้ากับวงจรขับมอเตอร์ สามารถปรับความกว้างของพัลส์จากระดับแรงดัน 0 ถึง 12 โวลต์

4.5 วิธีการทดลอง และผลการทดลองวงจรพัลส์วิดมอดูเลชั่น



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรพัลส์วิดมอดูเลชั่น

เมื่อนำเอาวงจร PWM ต่อเข้ากับวงจรขับมอเตอร์ ผลการปรับความกว้างของพัลส์สามารถปรับระดับแรงดันได้จาก 0 โวลต์ เป็นระดับต่ำสุดไปจนถึง 10.2 โวลต์ เป็นระดับสูงสุดในขณะที่ต่อวงจร PWM เข้ากับ วงจรขับมอเตอร์

4.6 วิธีการทดลองและผลการทดลองวงจรชาร์จ

4.6.1 การทดสอบวงจรชาร์จ

- 1) ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยแล้วทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟ AC 220V
- 2) ทำการวัดแรงดันที่เอาต์พุต A1 และ A2 จะมีระดับแรงดัน 17 โวลต์
- 3) ทำการป้อนแรงดันที่อินพุต A3 จากแหล่งจ่ายไฟตรง 13.5 โวลต์
- 4) โดยหากทำการต่อแบตเตอรี่เข้าที่ขั้วเอาต์พุต จะสังเกตว่ามีระดับแรงดันจะลดลงเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 โวลต์ เพราะแบตเตอรี่มีแรงดันที่ต่ำ และกระแสที่ไหลไปยังแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น

5) ทำการจับเวลาในการชาร์จได้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง 30 นาที

4.6.2 การทดสอบวงจรควบคุมการชาร์จ

1) ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยแล้วทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟ AC 220V

2) ทำการปรับแรงดันเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานให้มีระดับแรงดัน 6 โวลต์

4.6.3 การทดสอบวงจรป้องกัน

วงจรตรวจสอบแรงดัน ทำการป้อนแรงดันไฟตรงบวกที่มีค่า 5 โวลต์ 15 โวลต์ (+VCC) และ กราวด์ และแรงดันไฟในวงจรชุดชาร์จหลังอุปกรณ์ไดโอดบริดจ์ เร็กติไฟเออร์ ส่วนในขั้วต่อของ แบตเตอรี่นั้นทำการต่อแรงดันไฟตรงที่สามารถปรับค่าได้เข้าไป แล้ว ทำการปรับไว้ที่ระดับแรงดัน ไฟ 13.5 โวลต์ ป้อนเข้าไป ทำการปรับค่า VR₂ จนกระทั่งมีแรงดันตกคร่อม VR₂ มากกว่า 5 โวลต์ เล็กน้อย หรือพิจารณาจากการทำงานของรีเลย์ซึ่งจะทำการสับหน้าคอนแทกไปยังอีกด้านหนึ่ง จาก ที่ได้กระทำนั้นเป็นการทำให้รีเลย์ตัดไฟออกจากวงจรเมื่อแบตเตอรี่มีระดับแรงดันไฟที่ระดับ 12.8 โวลต์ซึ่งเป็นแรงดันที่สามารถนำไปใช้งานในการขับมอเตอร์ได้

วงจรตรวจสอบอุณหภูมิ ทำการป้อนแรงดันไฟตรงบวกที่มีค่า 5 โวลต์ 6.5 โวลต์ (จากชุด กำเนิดแรงดันให้วงจรควบคุม) สามารถทดสอบโดยการใช้หัวแร้ง หรืออุปกรณ์ความร้อนมาวาง ใกล้เทอร์มิสเตอร์ RTH₁ แล้วทำการปรับ VR₃ จนกระทั่งเอาต์พุตที่ Out_T มีระดับแรงดัน 0 โวลต์ แล้วนำอุปกรณ์ความร้อน หรือหัวแร้งออกที่เอาต์พุตก็จะมีระดับแรงดันประมาณ 6.5 โวลต์ จากที่ กล่าวมานำมาใช้ตรวจสอบความร้อนของอุปกรณ์เพื่อควบคุมให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างปลอดภัย

วงจรตรวจสอบกระแส ทำการป้อนแรงดันไฟตรงบวกที่มีค่า 15 โวลต์ (+VCC) 14.4 โวลต์ กราวด์และทำการป้อนแรงดันไฟตรงที่ ปรับค่าได้แทนแบตเตอรี่ทั้งขั้วบวกและขั้วลบทำการปรับ ไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้แรงดันตั้งแต่ 14.7 โวลต์ ขึ้นไประดับของแรงดันเอาต์พุตที่ส่งไปควบคุมจะมีค่าเป็น 0 โวลต์จากเดิมที่มีค่าเป็น 6.5 โวลต์ ซึ่งเป็นลักษณะของการนำตัวต้านทานมาต่อที่ขั้วลบ ของแบตเตอรี่เพื่อให้ทราบถึงกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมแล้วนำมา เปรียบกับแรงดันที่ตั้งไว้ โดยอาศัยกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่จุประมาณ 70 แอมป์ ได้อย่างปลอดภัย คู่กับค่าของตัวต้านทานที่นำมาต่อก็จะได้แรงดัน ที่เราจะสามารถนำมาเปรียบเทียบได้เพื่อส่งไป ควบคุมอุปกรณ์ต่อไป

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้น โดยการศึกษาที่ได้ทำการสร้างรถไฟฟ้าขึ้นมาทำให้ทราบถึงการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ที่นำมาใช้กับโครงรถไฟฟ้าการได้สร้าง และทดสอบวงจรต่างๆ คือวงจรขั้วมอเตอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ วงจรการควบคุมต่างๆ สามารถที่จะประกอบรถไฟฟ้าขึ้นมาได้จากแนวคิดของทีมงานภายในกลุ่ม และอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สร้างวงจรทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้เราได้ทราบถึง การรับน้ำหนักของโครงสร้างว่าสามารถจะรับน้ำหนักที่วางลงไปได้หรือไม่ และมอเตอร์จะมีกำลังพอที่จะสามารถขับเคลื่อนรถวิ่งออกไปได้หรือไม่ และวงจรขั้วมอเตอร์จะสามารถมีกำลังพอที่จะขั้วมอเตอร์ให้ขับเคลื่อนออกไปได้ ทั้งหมดนี้ก็ได้ทดสอบ และทดลองจนประสบความสำเร็จ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการจัดทำโครงงานรถไฟฟ้า เกิดปัญหาอยู่หลายประการ ดังนี้

1) ปัญหาที่เกิดจากโครงสร้างของตัวรถหนักเกินไป

แนวทางแก้ไข เนื่องจากที่ได้ทำการสร้างรถที่ใช้ส่วนประกอบโดยส่วนของรถไฟฟ้าจริงนั้น จึงทำให้เกิดปัญหาก็คือน้ำหนักของรถไฟฟ้า แนวทางการแก้ไขก็มีอยู่หลายประการ คือ

1.1) ออกแบบรถใหม่เพื่อที่จะลดน้ำหนักของตัวรถได้

1.2) ลดอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นเช่นเบาะรถ ที่มีน้ำหนักมากบันไดขึ้น ที่ใช้เหล็กเป็นส่วนประกอบ

1.3) ใช้อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา เช่น อลูมิเนียม

2) ปัญหาที่เกิดจากการออกแบบลายทองแดงเส้นเล็กเกินไป

แนวทางแก้ไข จากที่ได้ทำการสร้างวงจรขั้วมอเตอร์นั้น ในวงจรต้องการกระแสมาก และได้ทำลายทองแดงเล็กเกินไปจนทำให้ในการทดลองในครั้งแรกนั้นลายปรินต์ขาด และไหม้หมดแนวทางการ แก้ไขปัญหา จัดทำปรินต์ใหม่ให้ใหญ่ขึ้น

3) ปัญหาที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ขยายไม่ได้ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไขปัญหา ที่เกิดขึ้นจากที่อุปกรณ์ขยาย ที่ผลิตจากโรงงาน ปัญหานี้ได้สร้างผลกระทบกับ วงจรขับมอเตอร์ทำให้วงจรด้อยประสิทธิภาพลง วิธีแก้ไขปัญหาสามารถแก้ไขได้ 2 วิธีคือ

3.1) จัดซื้อกับผู้ผลิตที่ได้มาตรฐาน แต่ราคาจะสูง

3.2) ทำการต่อเพิ่มเพื่อให้กำลังที่เราต้องการ เช่น ต่อขานานทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ทนต่อกระแส และจะไม่ร้อน

4) ปัญหาที่เกิดจากกำลังของมอเตอร์

แนวทางแก้ไข เนื่องจากว่ารถจะวิ่งเร็ว หรือช้าจะขึ้นอยู่กับหลายประการ สิ่งที่สำคัญที่ขาดไม่ได้คือมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์เป็นส่วนที่สำคัญมากที่จะทำให้รถวิ่งได้ เร็วหรือช้า เนื่องจาก รถไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนั้นใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{4}$ แรงม้า และความเร็วอยู่ที่ 570 รอบต่อนาที และยังคง เพื่อองท้ายอีกประมาณ 1:3 ทำให้ความเร็วที่เกิดขึ้นนั้นไม่เร็วมากเท่าไร แนวทางแก้ไข ทำได้หลายวิธี คือ

4.1) เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลัง และความเร็วที่เพิ่มขึ้นแต่ราคาจะสูง และยังคงต้องเปลี่ยน วงจรขับมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

4.2) ทดเพื่อเพิ่มขั้นในให้มีกำลังและความเร็วเพิ่มขึ้น จะยุ่งยากในการออกแบบและต้อง ดัดแปลงแก้ไขโครงสร้างใหม่

5.3 แนวทางการพัฒนา

เนื่องมาจากการสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบนี้จะไม่สมบูรณ์ แนวทางการพัฒนาต่อจะสามารถ จะทำได้แบ่งเป็นข้อ ดังนี้

1) ทำการออกแบบโครงรถให้ดูทันสมัยขึ้นและมีน้ำหนักเบาต่อการควบคุมต่างๆ ไม่ว่าจะ เป็นการเลี้ยว แสดงการทำงาน เช่น บอกสถานะเกียร์

2) ทำการหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม เพื่อรถจะได้มีความเร็วเพิ่มมากขึ้น และมีกำลังในการขับเพิ่มมากขึ้น

3) ออกแบบวงจรควบคุมให้สามารถที่จะวิ่งอัตโนมัติได้ เช่น สามารถจำทางที่เคยกำหนดไว้ได้ และทำการเดินทางไปเองได้

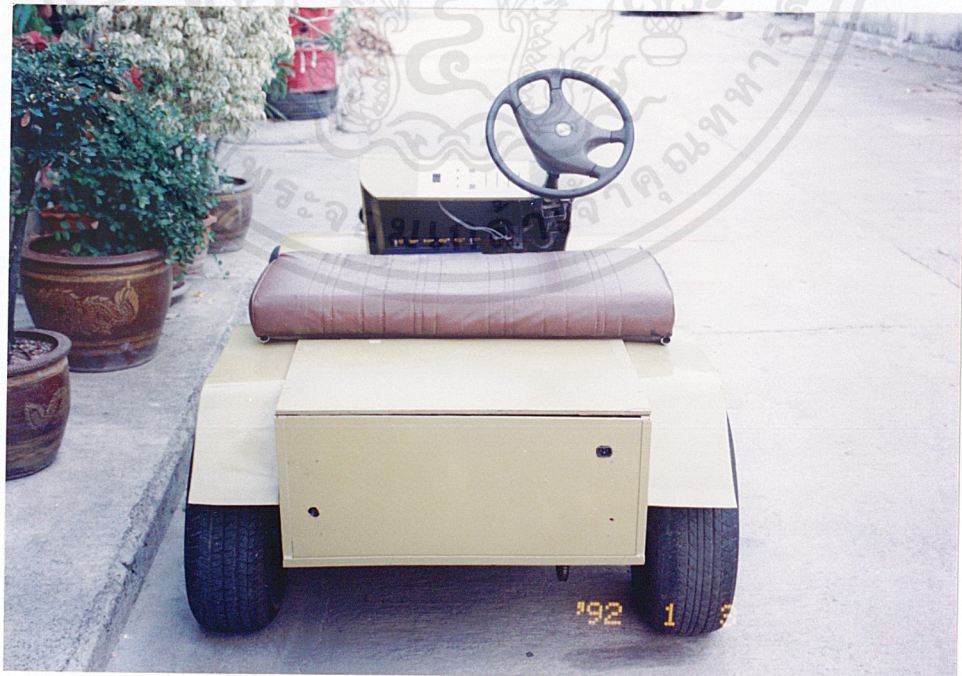


ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

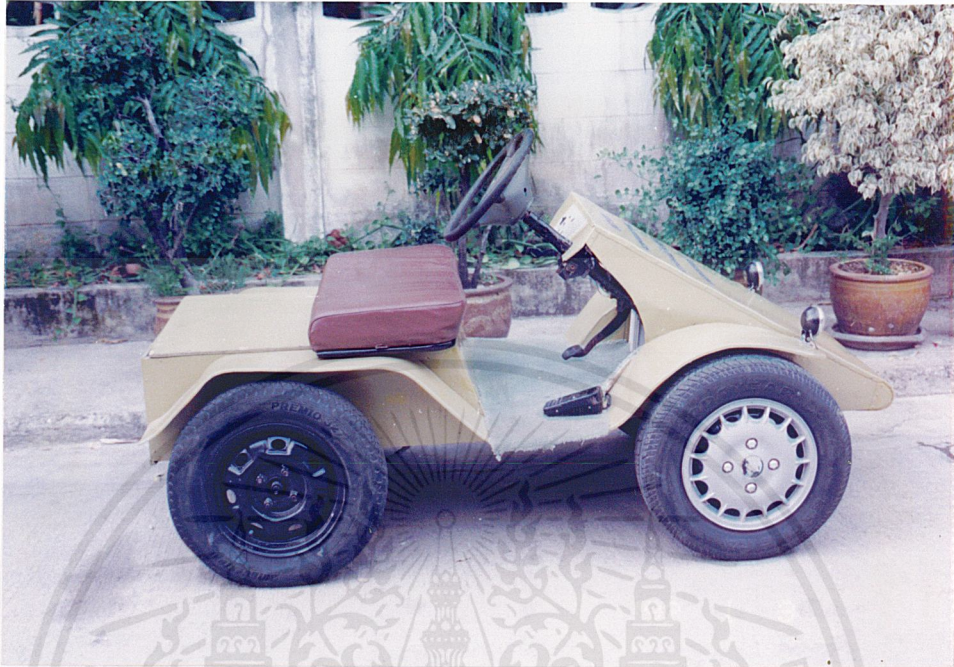


รูปที่ ก.1 ด้านหน้ารถไฟฟ้า

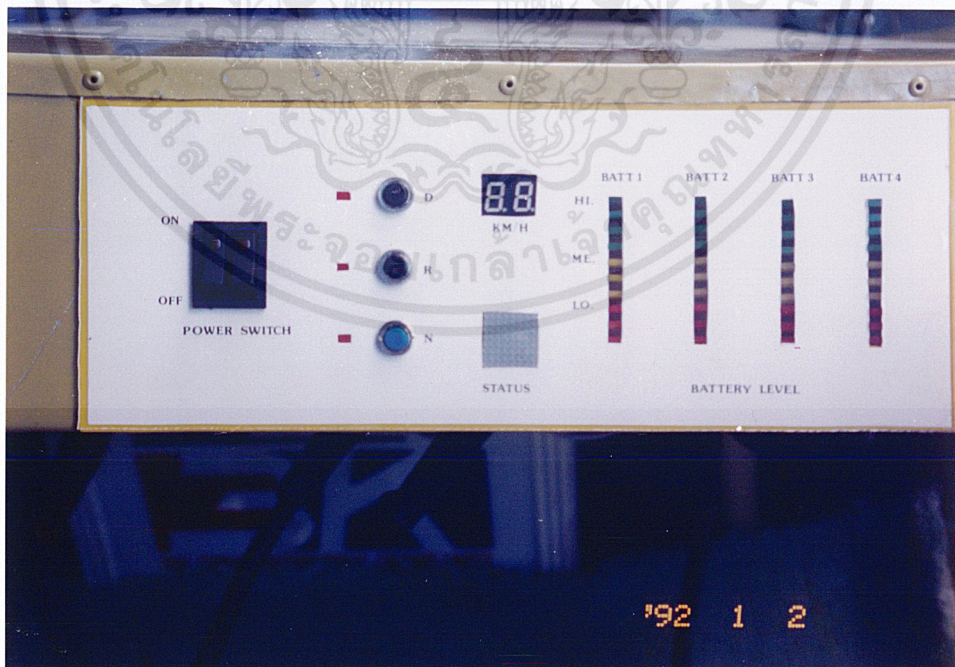


รูปที่ ก.2 ด้านหลังรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

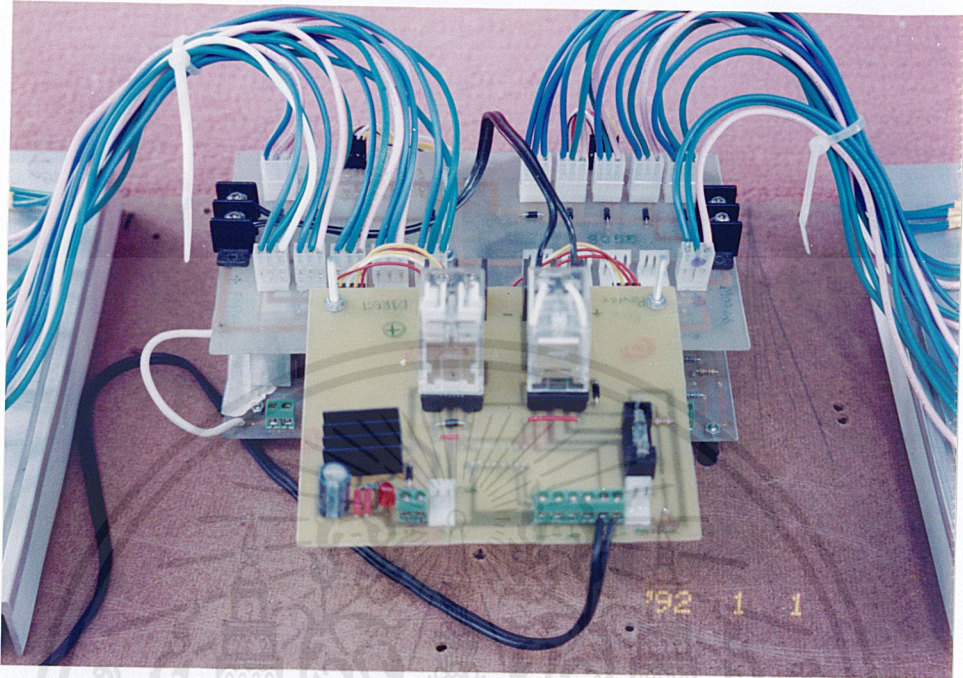


รูปที่ ก.3 ด้านข้างรถไฟฟ้า



รูปที่ ก.4 หน้าปัทม์ชุดควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

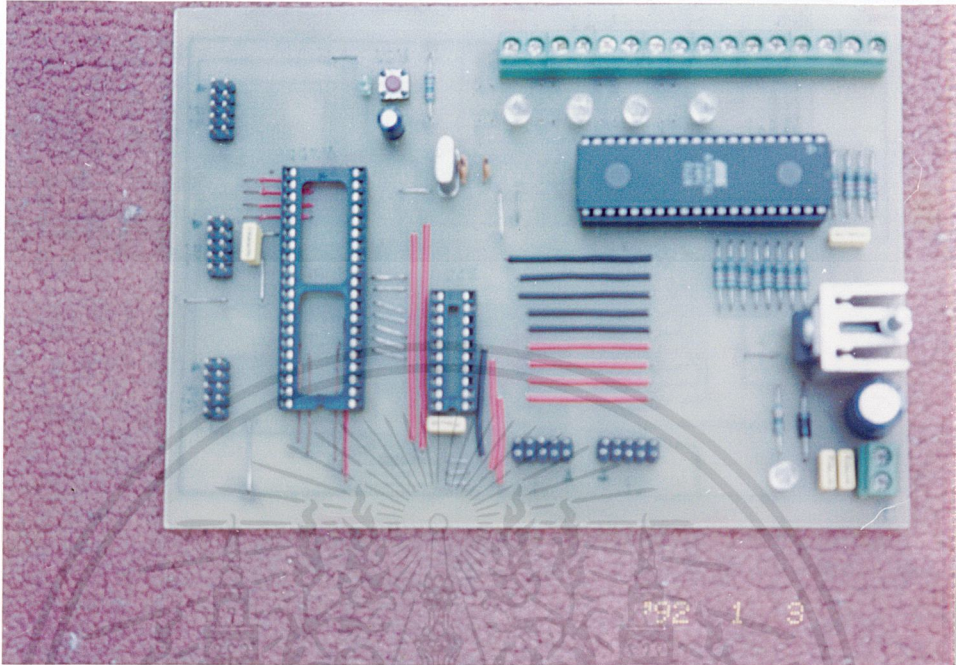


รูปที่ ก.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

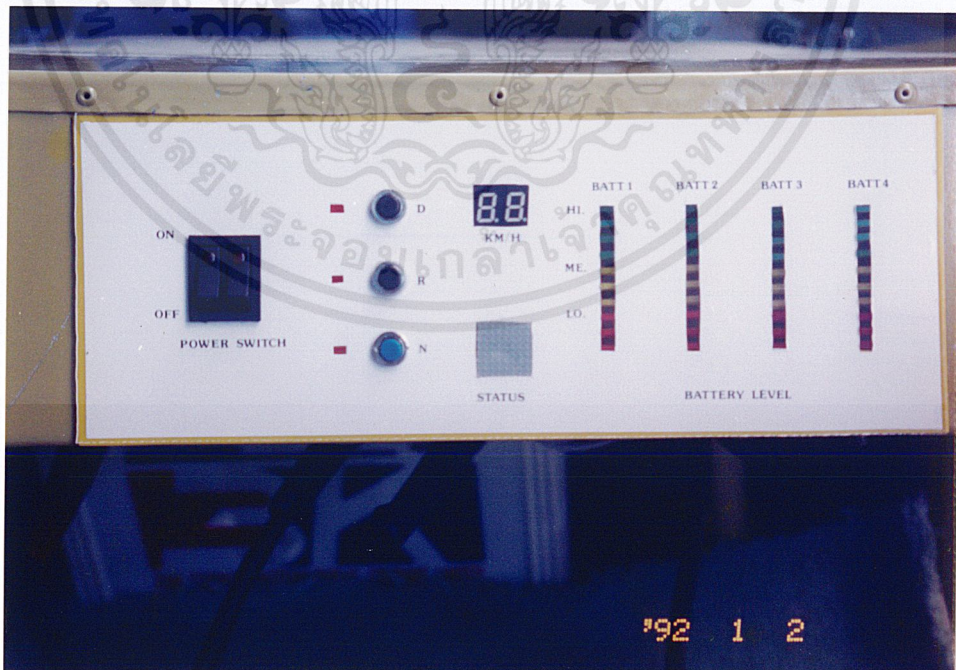


รูปที่ ก.6 ชุดขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

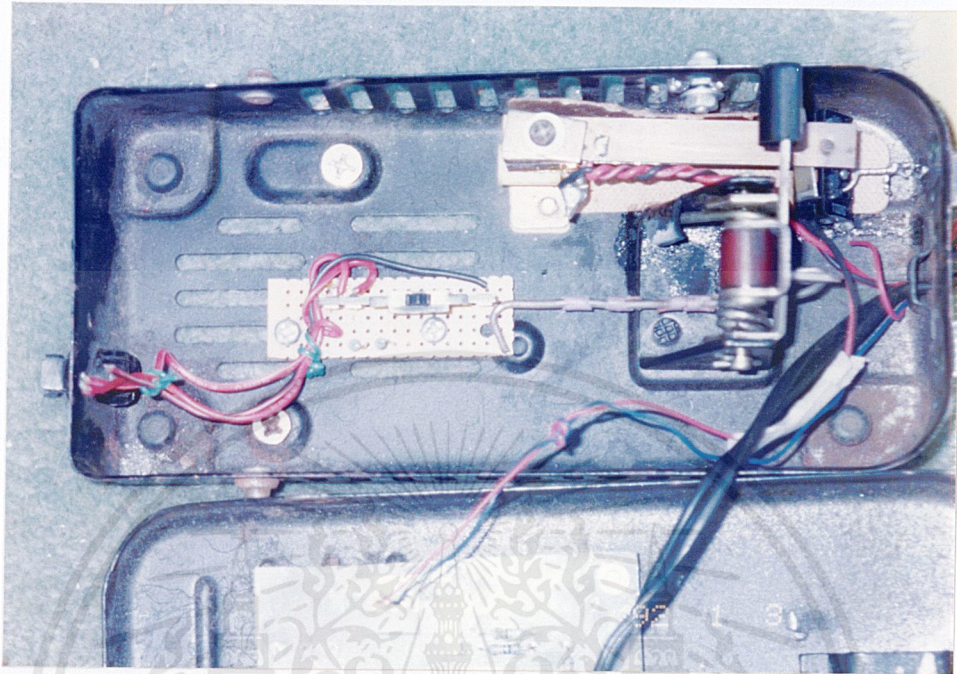


รูปที่ ก.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ก.8 วงจรแสดงผลสถานะเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



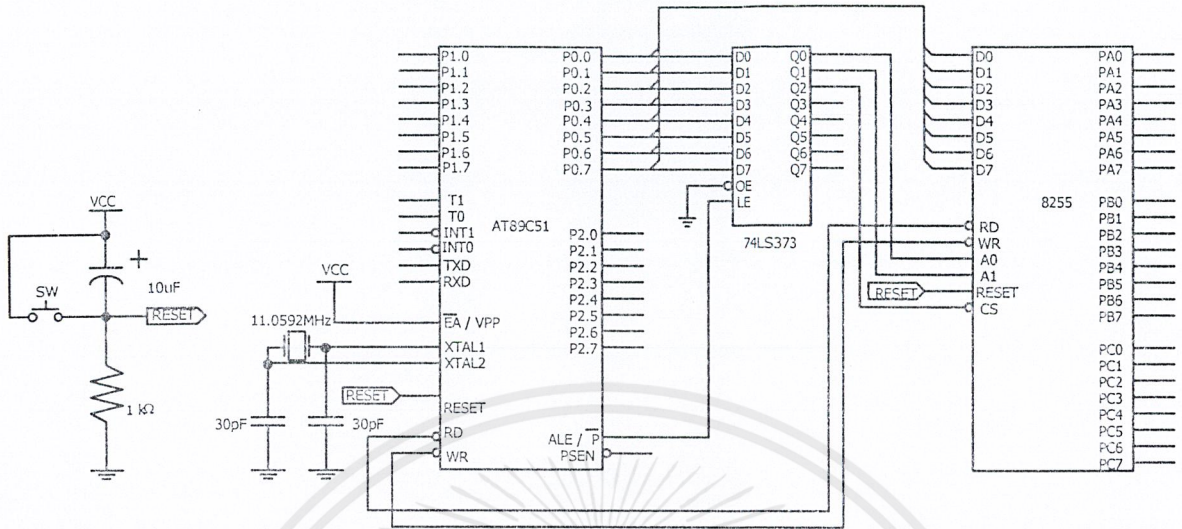
รูปที่ ก.9 วงจร PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

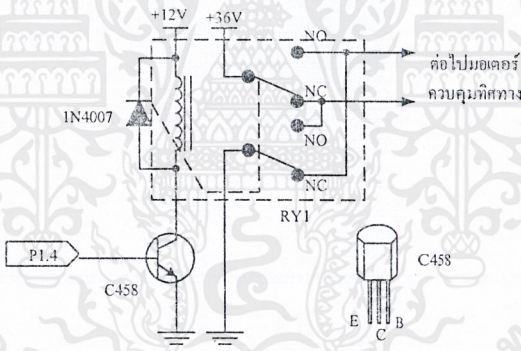


ภาคผนวก ข
วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

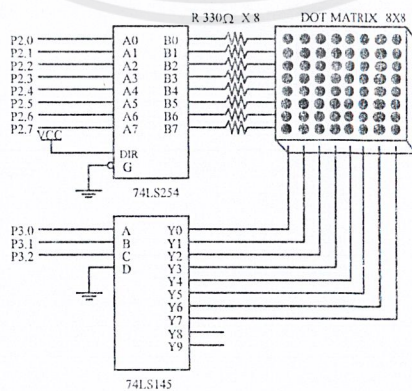
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

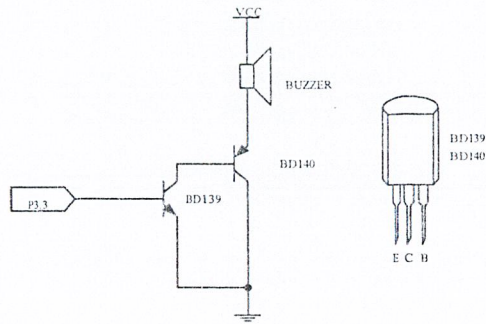


รูปที่ ข.2 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

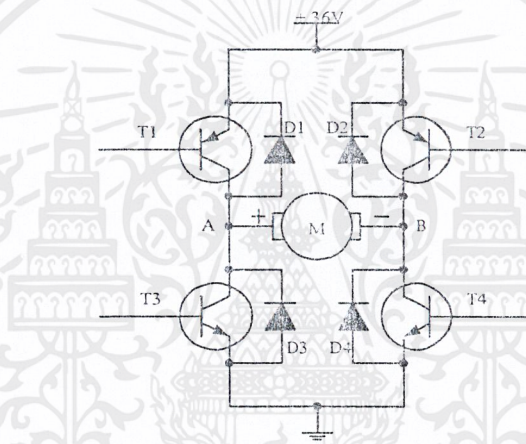


รูปที่ ข.3 วงจร Dot-matrix

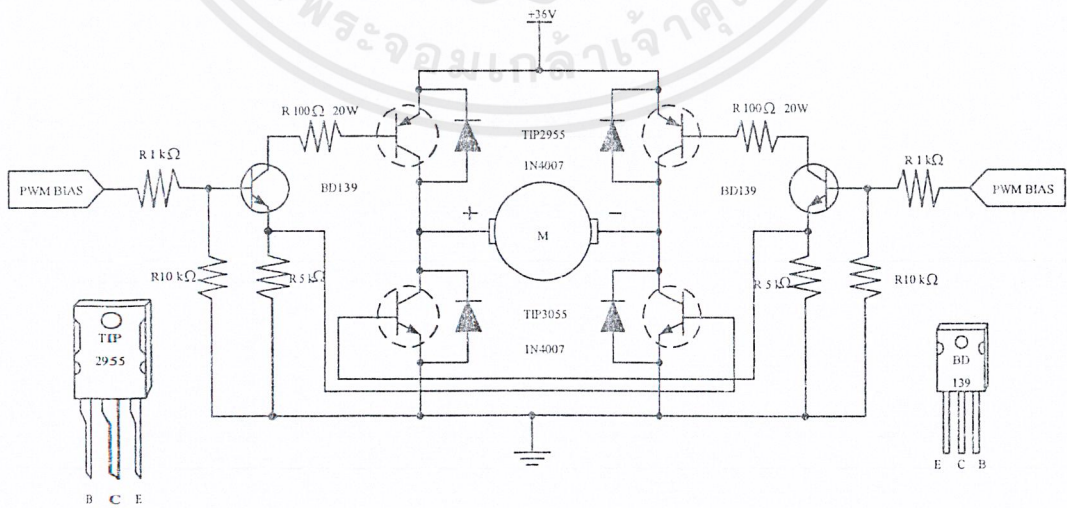
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 วงจร Buzzer

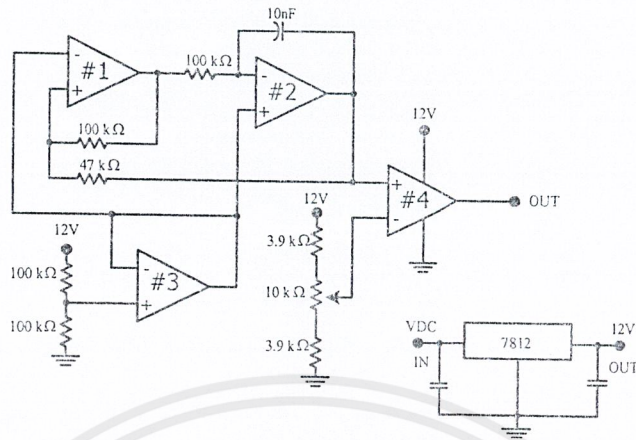


รูปที่ ข.5 วงจรขยาย PWM แบบยูนิโพลาร์

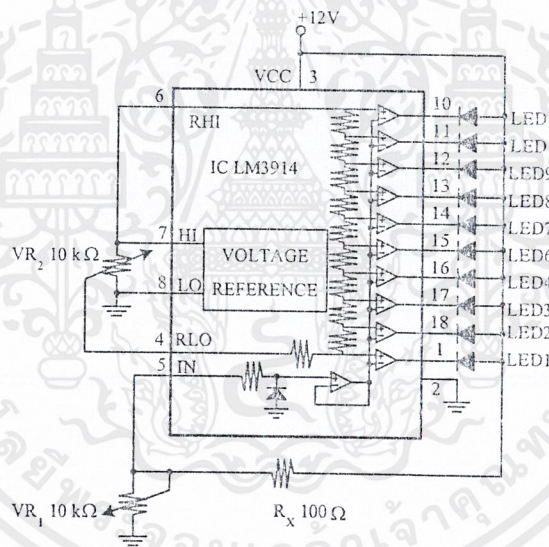


รูปที่ ข.6 วงจรขยายภาคเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

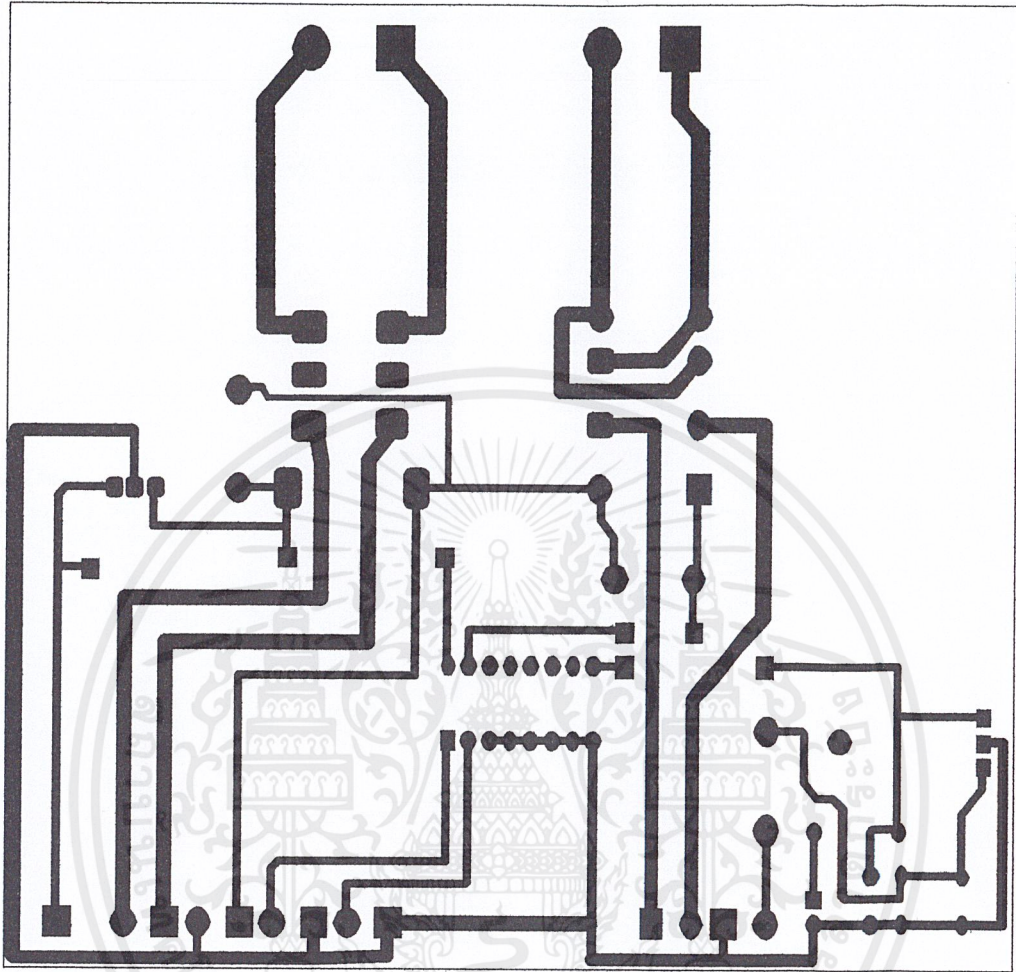


รูปที่ ข.7 วงจรขยาย PWM



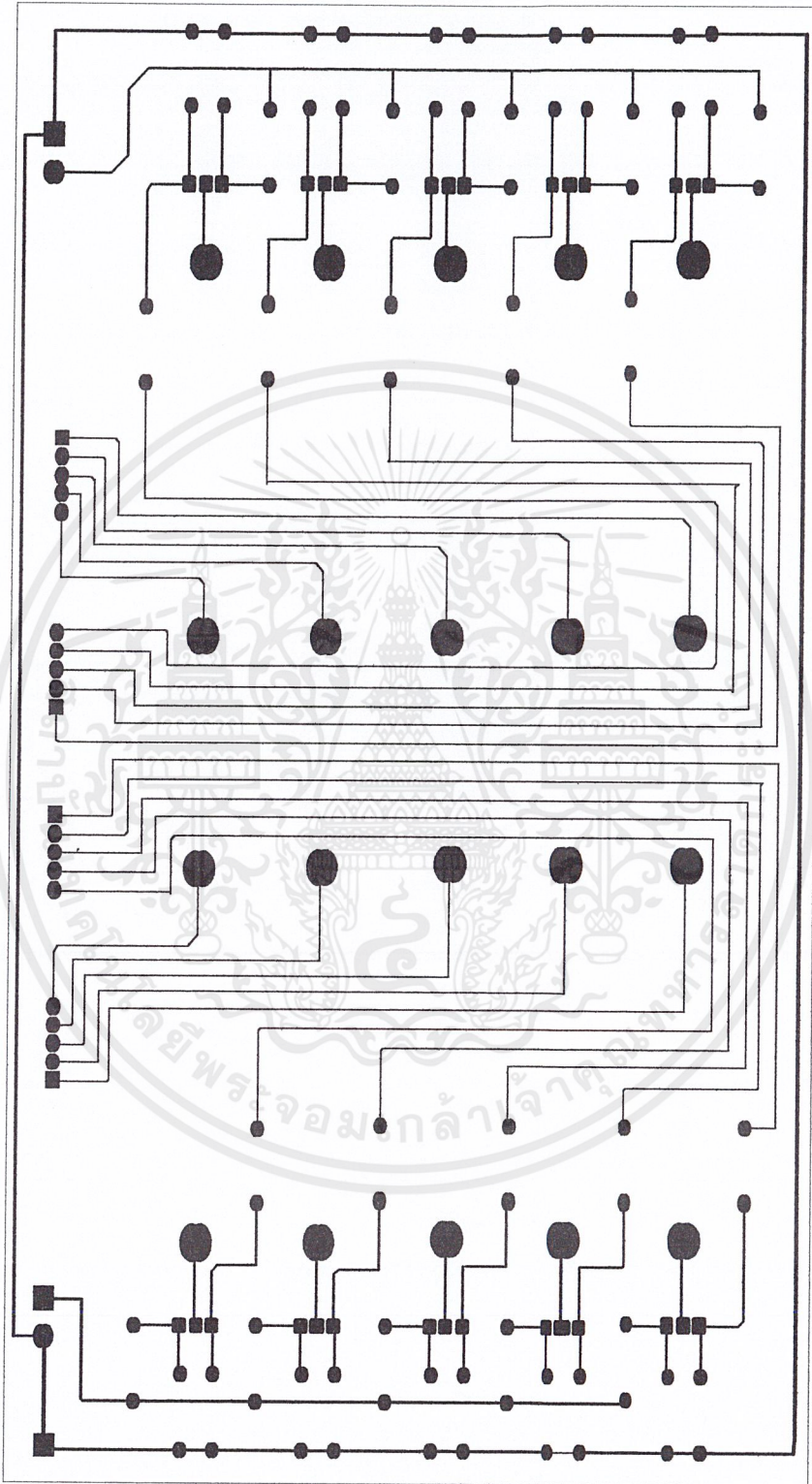
รูปที่ ข.8 วงจรตรวจระดับแรงดันแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



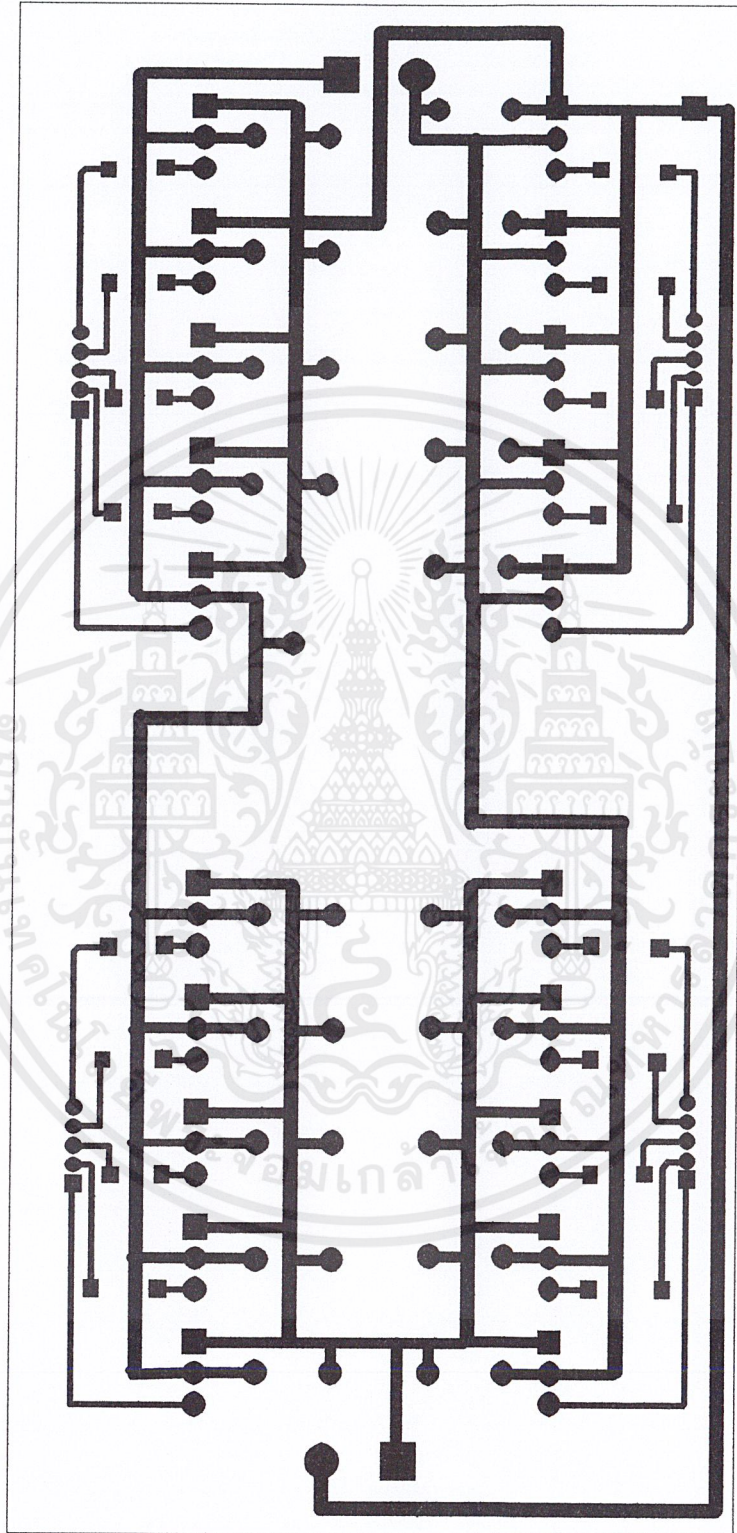
รูปที่ ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์การควบคุมสถานะเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรไบอัสกระแสให้กับภาคเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

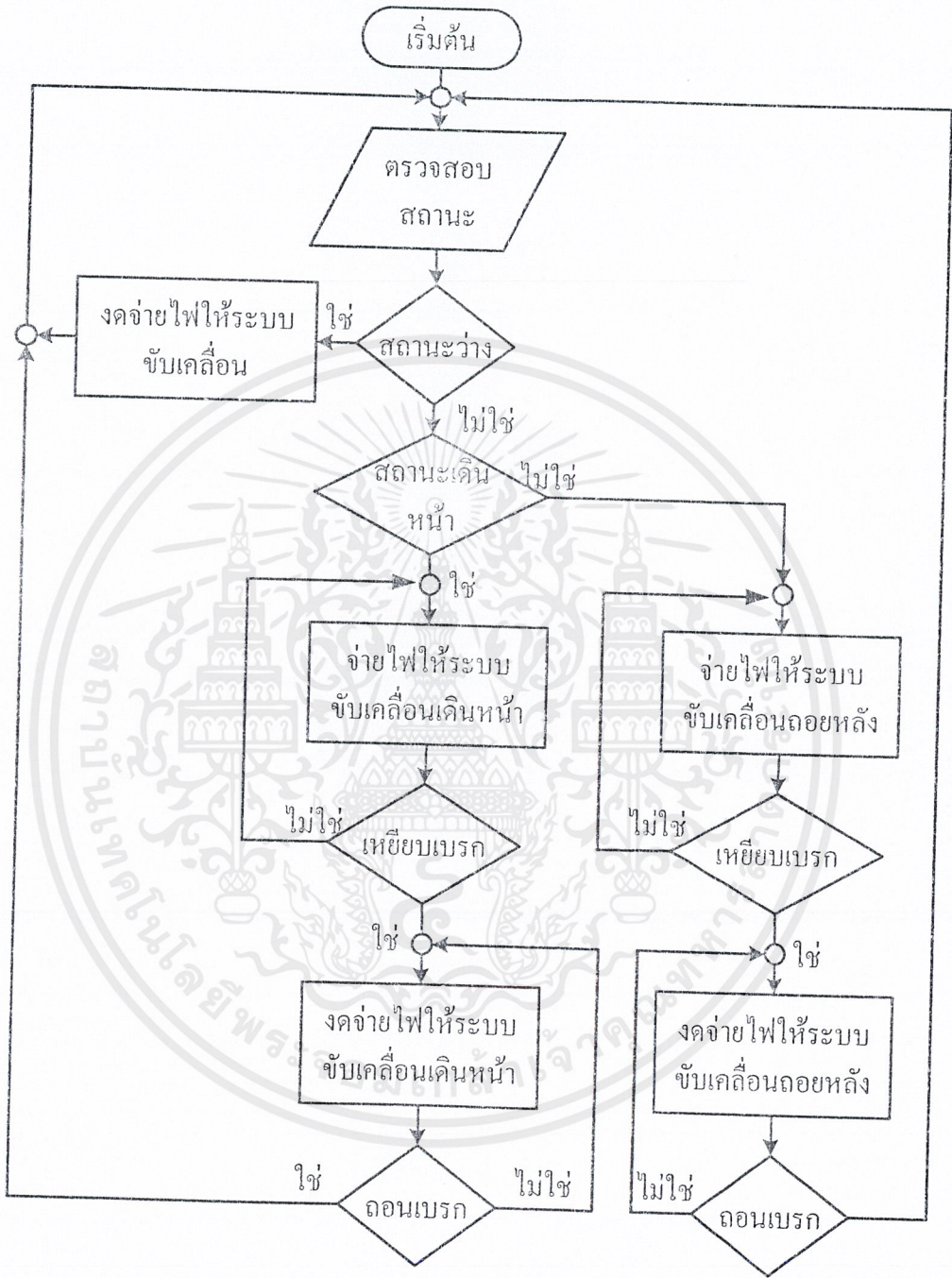


รูปที่ ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขั้วมอเตอร์ภาคเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

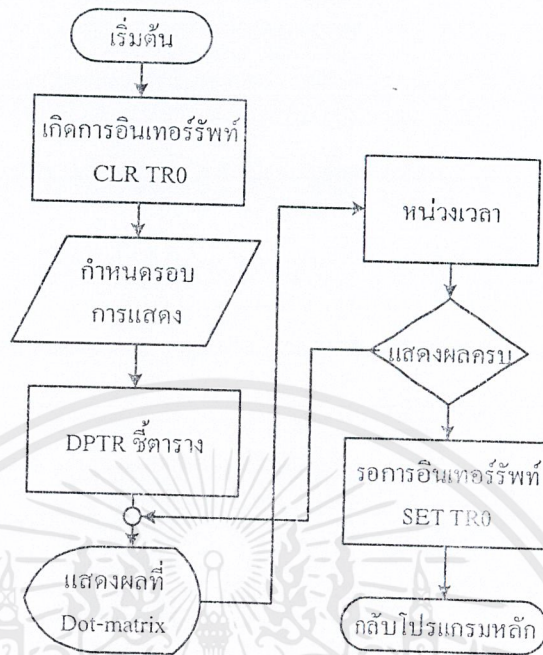


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

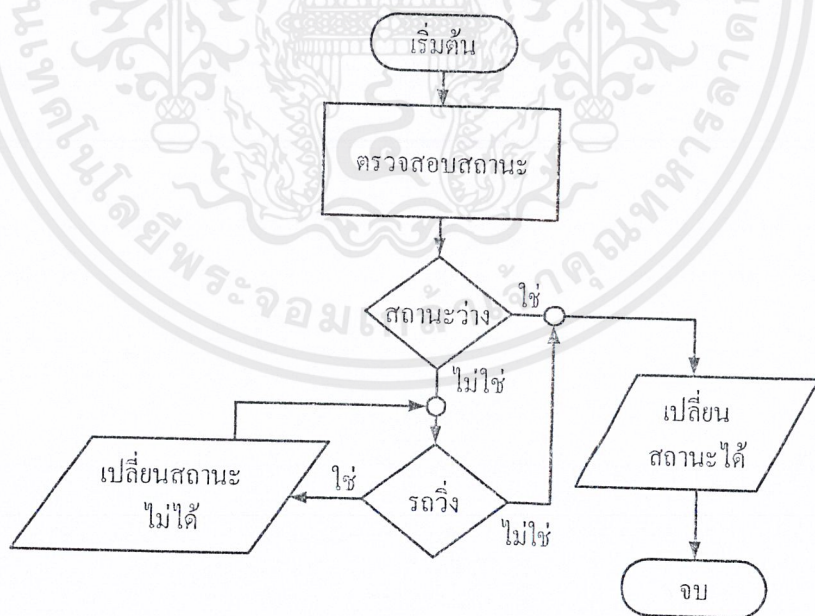


รูปที่ ๑.๑ ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

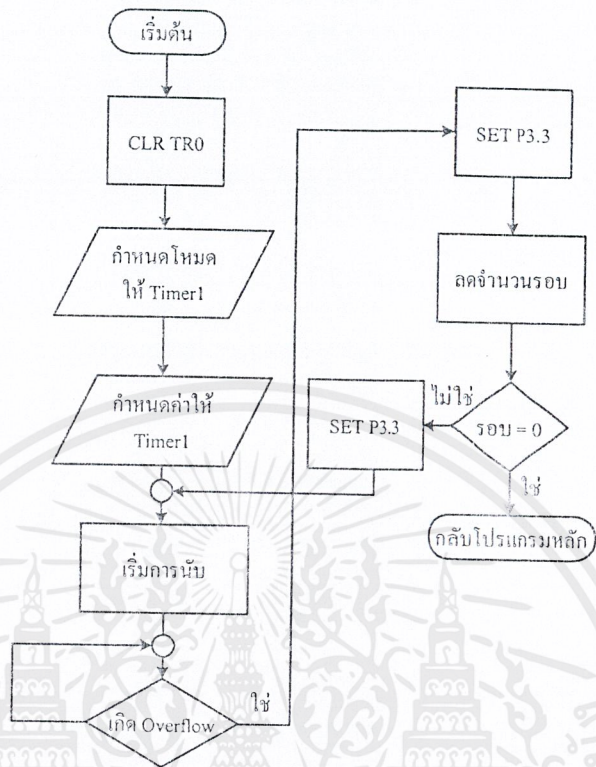


รูปที่ ค.2 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมในการแสดงผล



รูปที่ ค.3 ลำดับขั้นตอนการทำงาน of โปรแกรมตรวจสอบสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมส่งเสียงเตือนการเปลี่ยนสถานะ

```

;*****
;***** TEST IN SWITCH *****
;*****
ORG 0000H
BUFFER EQU 30H
LED1 EQU P1.0 ;SW STOP
LED2 EQU P1.1 ;SW FOR
LED3 EQU P1.2 ;SW RE
STOP EQU P1.3 ;CHECK BREAK
AND
DIR EQU P1.4 ;CONTROL
DIRECT MOTOR
CONNECT EQU P1.5 ;CONTROL
CONNECT POWER
DIRECT EQU P1.6 ;CONTROL
CONNECT DIRECT POWER FOR
DIRECTR EQU P1.7 ;CONTROL
CONNECT DIRECT POWER RE
BUZZER EQU P3.3 ;SOUND BEET
POS EQU P0.0 ;CONTROL
CONNECT POWER CIRCUIT
NEG EQU P0.1 ;CONTROL
CONNECT POWER CIRCUIT
LJMP MAIN
  
```

```

MAIN:
"ID.ED.22"      MOV R0,#01          ;SHOW
                MOV DPTR,#TABLE
SH1:            PUSH DPL          ;PUSH TABLE
                PUSH DPH
                MOV R1,#00H      ;DEFINE START
POINT OF TABLE
                MOV R3,#07H      ;DIRECT RUN
                LCALL SHIFT
                POP DPH
                POP DPL
                DJNZ R0,SH1
                INC DPTR        ;CHANGE START
POINT 1 DIGIT
CODE           CJNE A,#80H,SH1   ;CHECK STOP
                AJMP START
SHIFT:
SH2:           MOV R4,#01
                MOV A,R1
                MOV P3,R3
                CLR P2
                MOVC A,@A+DPTR   ;OPEN TABLE
                MOV P2,A
RELAY:         MOV B,#2FH        ;DELAY
                DJNZ B,$
                MOV P3,R3
                CLR P2
                NOP
                NOP
                DJNZ R4,SH2
                INC R1
                DEC R3
                CJNE R1,#08H,SHIFT ;CHECK LAST
COLUMN OF DOTMATRIX
FOR CHECK STOP CODE
                MOV A,R1
                MOVC A,@A+DPTR   ;OPEN TABLE
                RET
TABLE:         DB 00H,00H,00H,00H,00H,00H,00H,00H
;BLINK
                DB 00H,41H,7FH,7FH,41H,00H,00H
;"I"
                DB
41H,7FH,7FH,41H,41H,3EH,00H,01H,00H;"D."
                DB
00H,41H,7FH,7FH,49H,49H,49H,00H,00H;"E"
                DB
41H,7FH,7FH,41H,41H,3EH,00H,01H,00H;"D."
;"2"
                DB 00H,27H,4FH,49H,79H,33H
;"2"
                DB 00H,27H,4FH,49H,79H,33H
;BLINK
                DB 00H,00H,00H,00H,00H,00H,00H,00H,80H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SCAN_KEY:
    DELAY:  MOV R3,#0FH
;FUNCTION SCAN KEY
                DJNZ R3,$
    SCAN:    CLR POS
                CLR NEG
                MOV A,P1
;RECEIVE INPUT FROM P1
                MOV R3,#5FH
;DEBOUNCE
                DJNZ R3,$
                ANL A,#0FH
KEY PRESS      CJNE A,#0FH,CHECK                ;CHECK
                AJMP SCAN_KEY
;*****
;***** CHECK KEY PRESS *****
;*****
CHECK:
                CJNE A,#00001110B,CHECK2
                MOV BUFFER,#00000001B
                SETB CONNECT
;DISCONNECT POWER
                CLR DIR
;DISCONNECT DIRECT
LP1:           JNB LED1,LP1
                JNB STOP,RE1
                LCALL TONE_1                ;CALL
SOUND
RE1:           AJMP SCAN_KEY
CHECK2:        CLR POS
                CLR NEG
                CJNE A,#00001101B,CHECK3
                MOV BUFFER,#00000010B
                SETB DIR                ;SET DIRECT
CR/FORVERD
                CLR CONNECT
;CONNECT POWER
LP2:           JNB LED2,LP2
                JNB STOP,RE2
                LCALL TONE_1                ;CALL
SOUND
RE2:           LJMP SCAN_KEY
CHECK3:        CLR POS
                CLR NEG
                CJNE A,#00001011B,CHECK4
                MOV BUFFER,#00000100B
                CLR DIR                ;SET DERECT
CCR/REWARD
                CLR CONNECT                ;CONNECT
POWER
LP3:           JNB LED3,LP3
                JNB STOP,RE3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                DISPLAY:
FUNCTION          PUSH ACC                      ;DISPLAY
                MOV A,BUFFER
STOP              CJNE A,#00000001B,DATA1      ;PRESS KEY
                MOV DPTR,#TABLE_N
                AJMP CON
FORVERS          DATA1: CJNE A,#00000010B,DATA2 ;PRESS KEY
                MOV DPTR,#TABLE_D
                AJMP CON
REWERT           DATA2:                      ;PRESS KEY
                MOV DPTR,#TABLE_R
CON:              MOV R6,#01
CON3:            MOV R4,#10H
CON2:            MOV R5,#00H
                MOV A,R5
                MOVC A,@A+DPTR
                MOV P3,R4                      ;SEND DATA TO PORT
A DIGIT
                CLR P2
                MOV P2,A
RE_DIS:          MOV B,#00H
                DJNZ B,$
                INC R5
                INC R4
                CJNE R4,#18H,CON2
                DJNZ R6,CON3
                POP ACC
                SETB TR0                      ;SET
TIMER1 TO CONTINUE
                RETURN: RETI
;"S"
                TABLE_N: DB 00H,26H,4FH,49H,49H,79H,32H,00H
;"F"
                TABLE_D: DB 00H,60H,68H,68H,68H,7FH,7FH,00H
;"R"
                TABLE_R: DB 00H,31H,4BH,4EH,4CH,7FH,7FH,00H

                ;*****
                ;***** SOUND SW PRESS *****
                ;*****

TONE_1:          MOV R0,#02                      ;SOUND KEY PRESS
                CLR TF0
                CLR TR0
                CLR BUZZER
L2:              MOV R7,#100
                MOV TMOD,#10H                  ;SET MODE FOR TIMER2
AGAIN:           MOV TH1,#0FFH                ;FREQUENCY 6KHz
                MOV TL1,#59H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

COUNT:
DIRECT POWER                                ;FUNCTION CONNECT

        PUSH 06H
        PUSH 07H
        SETB POS
        SETB NEG
        CLR DIRECTR
DELAY1S_1:  MOV R7,#10
DELAY1S_2:  MOV R6,#0E6H
DELAY1S_3:  NOP
        NOP
        DJNZ R6,DELAY1S_3
        JB STOP,END_COUNT
        DJNZ R7,DELAY1S_2
        JB STOP,END_COUNT
        SETB DIRECT                          ;SET BIT CONNECT POWER
        LJMP DELAY1S_1
END_COUNT: CLR DIRECT                          ;DISCONNECT DIRECT
POWER
        CLR POS
        CLR NEG
        POP 07H
        POP 06H
        RET

COUNT2:
DIRECTR POWER                                ;FUNCTION CONNECT

        PUSH 06H
        PUSH 07H
        SETB POS
        SETB NEG
        CLR DIRECT
DELAY1S_4:  MOV R7,#10
DELAY1S_5:  MOV R6,#0E6H
DELAY1S_6:  NOP
        NOP
        DJNZ R6,DELAY1S_6
        JB STOP,END_COUNT2
        DJNZ R7,DELAY1S_5
        JB STOP,END_COUNT2
        SETB DIRECTR                          ;SET BIT CONNECT

```

รูปที่ ค.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของรถพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กฤษฎดา วิศวธีรานนท์ . เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดีจีคอล . กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดซียูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
2537
- ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล . คู่มืออิเล็กทรอนิกส์ . กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดซียูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
2538
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล . การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ . กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2542
- วรพจน์ กราแก้ววัฒนกุล ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล . เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 . กรุงเทพฯ : บริษัท อิน โนเวตีฟ เอ็กเนอริเมนต์ จำกัด. 2542
- วันสุระ ศรีไสดี . ประยุกต์/อินเตอร์เฟส ไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคปฏิบัติ . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ดวงกมล (2520) จำกัด. 2542

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์	นายฉัฐพล หนูชัยแก้ว
วันเดือนปีเกิด	5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	116/1 หมู่ 3 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520
ที่อยู่ปัจจุบัน	116/1 หมู่ 3 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์	0-2327-0357
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดปลุกศรีทธา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่วมเกล้า
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำวันพรุ่งนี้ให้ดีกว่าวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายบุญยิ่ง บุญชู
วันเดือนปีเกิด	5 ธันวาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ภูมิลำเนาเดิม	41 หมู่ 2 บ้านโพธิ์มูล ตำบลค่าน้ำแซบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
ที่อยู่ปัจจุบัน	13/10 หมู่ 3 ซอย เกกิงาม 3 ถนนคลองกรุง แขวงลำป่าทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	0-9610-7269
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโพธิ์มูลเพี้ยเก่า
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวารินชำราบ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	ได้รับรางวัลรองชนะเลิศลำดับที่ 3
ทุนการศึกษา	กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา
คติพจน์	ก่อนทำอะไรต้องรู้ความสามารถของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายประสงค์ จูเภา
วันเดือนปีเกิด	10 เมษายน พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดนครนายก
ภูมิลำเนาเดิม	41 หมู่ 12 ตำบลวังน้ำ อำเภอมือง จังหวัดนครนายก 26000
ที่อยู่ปัจจุบัน	801/2205 ตึก 2 อัสสามมือทอง ถนนหลวงแพ่ง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	0-9220-1629
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนชนนายกสงเคราะห์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนครนายกวิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	ชนะเลิศการประกวดสิ่งประดิษฐ์ของคน รุ่นใหม่ (ภาคตะวันออก) ปี พ.ศ.2542 ของคนรุ่นใหม่ ประเทศไทย ปี พ.ศ.2542
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	คบเพื่อนดีเป็นศรีแก่ตัว คบเพื่อนชั่วพาตัวมัว หมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานินพนธ์	นายอภิสิทธิ์ พรมเวียง
วันเดือนปีเกิด	4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดลพบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	46/2 หมู่ 5 ตำบลโพธิ์ทอง อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี 15110
ที่อยู่ปัจจุบัน	46/2 หมู่ 5 ตำบลโพธิ์ทอง อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี 15110
โทรศัพท์	0-3668-2550
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบ้านหมี่ใหญ่
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปิยะบุตร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	รองชนะเลิศลำดับที่ 2 ในงานสัปดาห์ วิทยาศาสตร์
ทุนการศึกษา	กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา
คติพจน์	ไม่มีใครเกิดมาแล้วเดินได้ ต้องหัดล้มแล้วลุก แล้วกลานและวันหนึ่ง เราจะต้องเดินได้เอง ด้วยสองขาของเราเอง อย่างสง่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้