สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ELECTRIC BICYCLE AUTOMATIC GEAR CONTROL

T059521

นายจเร ตั้งศิริเสถียร
นายดำเนิน พันตัน
นายสมเกียรติ เลียดประถม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เลขหมู่
เลขทะเบียน 59521
วัน,เดือน,ปี 7 มิ.ย. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b
i

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

Electric Bicycle Automatic Gear Control

ชื่อนักศึกษา 1. นายจเร ตั้งศิริเสถียร รหัสประจำตัว 46035303

2. นายดำเนิน พันตัน รหัสประจำตัว 46035312

3. นายสมเกียรติ เลียดประถม รหัสประจำตัว 46035356

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กิติพงค์ มะโน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.พิชญ์สินี มะโน

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
2. ผศ.กิติพงค์ มะโน	
3. อ.สุระชัย พิมพ์สาลี	
4. ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
5. อ.ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2548 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

<BT4720152>

จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

Electric Bicycle Automatic Gear Control

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การทำงานระบบเกียร์ของจักรยานและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อออกแบบวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ดีซีและชุดควบคุมการเปลี่ยนเกียร์
3. เพื่อสร้างจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ
4. เพื่อทดลองและทดสอบการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ
5. เพื่อนำจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติไปใช้ในการขับขี่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การทำงานระบบเกียร์ของจักรยานและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ได้วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ดีซีและชุดควบคุมการเปลี่ยนเกียร์
3. ได้ผลงานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ
4. ได้ทดลองและทดสอบการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ
5. สามารถทำจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติไปใช้ในการขับขี่ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	
นักศึกษา	นายจเร	ตั้งศิริเสถียร
	นายดำเนิน	พันตัน
	นายสมเกียรติ	เลียดประถม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กิติพงค์	มะโน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์พิชญ์สินี	มะโน
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอ จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ ซึ่งมีระบบควบคุมการขับเคลื่อนอยู่สองระบบคือ 1. ระบบการขับเคลื่อนโดยกำลังคน ซึ่งสามารถเปลี่ยนระดับเกียร์ได้ทั้งอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ 2. ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ระบบนี้สามารถปรับความเร็วได้ ซึ่งจริงๆแล้ว จักรยานคันนี้สามารถที่จะทำงานได้สองระบบพร้อมๆกันได้ ซึ่งผู้ขี่สามารถกดปุ่มขึ้นลงที่มือจับด้านซ้ายเพื่อเปลี่ยนเกียร์ตามต้องการ นอกจากนี้ยังมีสวิตช์ที่ยอมให้ผู้ขี่เลือกที่จะใช้ระบบการเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติหรือไม่

สำหรับหลักการทำงานของระบบการขับเคลื่อนด้วยดีซีมอเตอร์ไฟฟ้านั้น จะใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างของพัลส์ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ส่วนระบบการเปลี่ยนเกียร์นั้นจะใช้โฟโตอินเตอร์รัพเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการทดเกียร์ภายใน ร่วมกับไมโครคอนโทรเลอร์ นอกจากนี้ไมโครคอนโทรเลอร์ยังถูกนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วและของจักรยานและควบคุมระบบการแสดงผล จากผลการทดลอง ความเร็วสูงสุดของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติคันนี้จะอยู่ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ระดับพื้นดินในขณะที่น้ำหนักของผู้ขับขี่ไม่มากกว่า 90 กิโลกรัม และในการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งสามารถขับขี่ได้ระยะทางเฉลี่ยประมาณ 32 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Electric Bicycle Automatic Gear Control	
Student	Mr.Jaray	Tangsirisathian
	Mr.Dumnern	Puntun
	Mr.Somkiat	Liadprathom
Advisor	Asst.Prof. Kitipong	Mano
Co-Advisors	Mrs. Pitsini	Mano
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Telecommunication Engineering	
Academic Year	2004	

ABSTRACT

This thesis presents an Electric Bicycle Automatic Gear Control. It has two propelling systems. First: the propulsion by human power system, this system can change gear automatic and semi-automatic, Second: the DC electric motor propelling system, the speed of this system is adjustable. Actually, this bicycle can also operate in both systems at the same time. The rider can pressing either the up or down button in the left handle bar to shift to prefer gear. It also has the switch, which allows the rider to select either the manual gear or automatic gear changing.

The concept of DC motor propelling system is used pulse width control technique to control the speed of motor. For the gear changing system, the photo- interrupter and DC electric motor with internal repay gear is used. The processing unit in this bicycle used microcontroller to control the speed of the bicycle and control the monitor system. The result show, the maximum speed of this Electric Bicycle Automatic Gear Control is about 20 kilometers per hour on ground level with no more than 90 kilograms rider. The fully charge battery power allow the rider to travel approximately 32 kilometers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เนื่องด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิติพงค์ มะโน และอาจารย์พิชญ์สินี มะโน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการให้คำปรึกษา การดำเนินงาน และคำแนะนำในการแก้ปัญหาด้วยดีเสมอมา รวมทั้งคณาจารย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานการใช้อาคารสถานที่ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์เครื่องมือ คำแนะนำข้อคิดเห็นจนสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ได้จนลุล่วง ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ให้โอกาสที่ดีที่สุดมาทั้งชีวิต ให้การส่งเสริมทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดี ให้ความสนับสนุนทั้งกำลังใจและทุนทรัพย์ จนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอระลึกถึงด้วยหัวใจทั้งหมดไว้ ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับจักรยานไฟฟ้า	3
2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์	3
2.2.1 การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	4
2.2.2 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	7
2.2.3 การจำแนกชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยการพันขดลวด	8
2.2.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	9
2.2.5 ระบบควบคุมความเร็วสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์	12
2.3 หลักการของมอเตอร์ดีซี	13
2.3.1 ชนิดของมอเตอร์ดีซี	13
2.3.2 คุณสมบัติของมอเตอร์ดีซี	13
2.3.3 การรักษาระดับความเร็ว	16
2.3.4 แรงดึง	17
2.4 ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์	17
2.4.1 ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบเปิดลูป	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.2 ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบปิดลูป	21
2.4.3 การควบคุมความเร็วที่สามารถกลับทิศทางได้	23
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	24
2.5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	24
2.5.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	25
2.6 ระบบโฟโตอิเล็กตริกในงานอุตสาหกรรม	27
2.6.1 ส่วนประกอบของระบบโฟโตอิเล็กตริก	27
2.6.2 ชนิดตัวรับแสงของระบบโฟโตอิเล็กตริก	30
2.6.3 วิธีการตรวจจับของระบบโฟโตอิเล็กตริก	36
2.6.4 วิธีการพิจารณาเป้าวัตถุ	37
2.7 อัตราทดความเร็ว	39
2.8 มอดูเลตความกว้างพัลส์	41
2.8.1 Single-Pulse-Width-Modulation	41
2.8.2 Multiple-Pulse-Width-Modulation	42
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	44
3.1 กล่าวนำ	44
3.2 การออกแบบวงจร	44
3.2.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมระดับเกียร์	44
3.2.2 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	45
3.3 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	45
3.3.1 การออกแบบและการสร้าง	45
3.3.2 การทำงาน	46
3.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	46
3.4.1 การออกแบบและการสร้าง	46
3.4.2 การทำงาน	47
3.5 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	47
3.5.1 การออกแบบและการสร้าง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5.2 การทำงาน	48
3.6 วงจรแสดงผลความเร็ว	49
3.6.1 การออกแบบและการสร้าง	49
3.6.2 การทำงาน	49
3.7 วงจรทดสอบการปั่นด้วยเท้า	49
3.7.1 การออกแบบและการสร้าง	49
3.7.2 การทำงาน	50
3.8 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	51
3.8.1 การออกแบบและการสร้าง	51
3.8.2 การทำงาน	51
3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	52
3.9.1 การออกแบบและการสร้าง	52
3.9.2 การทำงาน	52
3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	52
3.10.1 การออกแบบและการสร้าง	52
3.10.2 การทำงาน	53
3.11 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	54
3.11.1 การออกแบบและการสร้าง	54
3.11.2 การทำงาน	55
3.12 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่	56
3.12.1 การออกแบบและการสร้าง	56
3.12.2 การทำงาน	56
3.13 การออกแบบทางด้านเครื่องกล	57
3.13.1 การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	57
3.13.2 การออกแบบชุดขายึดจับมอเตอร์ขับเคลื่อน	58
3.13.3 การออกแบบกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.13.4 การออกแบบกล่องมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	60
3.13.5 การออกแบบกล่องแสดงผล	62
3.13.6 โครงสร้างภายนอกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	63
3.14 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	64
3.14.1 แผนผังการทำงานเริ่มแรกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	63
3.14.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์	64
3.14.3 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบอัตโนมัติ	65
3.14.4 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบกึ่งอัตโนมัติ	67
3.14.5 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดแสดงผลความเร็ว	68
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	70
4.1 กล่าวนำ	70
4.2 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	70
4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	70
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง	71
4.2.3 ผลการทดลอง	71
4.3 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	71
4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	71
4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง	71
4.3.3 ผลการทดลอง	72
4.4 การทดลองระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง	73
4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	73
4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง	73
4.4.3 ผลการทดลอง	73
4.5 ทดลองความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลง	74
4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง	74
4.5.3 ผลการทดลอง	74
4.6 ทดลองระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ	75
4.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	75
4.6.2 ขั้นตอนการทดลอง	75
4.6.3 ผลการทดลอง	75
บทที่ 5 บทสรุป	76
5.1 สรุป	76
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	76
5.3 แนวทางการพัฒนา	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	79
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	89
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	105
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	114
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	130
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	137
ประวัติผู้แต่ง	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชื่อเรียกและความหมายทางกลและทางไฟฟ้าของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	4
2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	11
2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	11
2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งช่วง	12
4.1 ผลการทดลองการทำงานของวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	71
4.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	72
4.3 ผลการทดลองระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง	73
4.4 ผลการทดลองความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลง	74
4.5 ผลการทดลองระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ	75
ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	106
ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	106
ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	107
ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรแสดงผลความเร็ว	107
ค.5 รายการอุปกรณ์วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า	108
ค.6 รายการอุปกรณ์วงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	108
ค.6 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	109
ค.7 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ	109
ค.8 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	110
ค.9 รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์	111
ค.10 รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	111
ค.10 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	112
ค.11 รายการอุปกรณ์วงจรวัดชาร์จแบตเตอรี่	112
ค.11 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรวัดชาร์จแบตเตอรี่	113
จ.1 อาการ สาเหตุและวิธีแก้ไข	135
จ.2 คุณสมบัติ รายละเอียด	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดภายในเพื่อกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น 1 ขั้ว ในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนขดลวดอื่นๆ จะไม่ถูกกระตุ้น	6
2.2 การต่อวงจรขดลวดแบบกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กันทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่มาหยุดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง	6
2.3 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์	8
2.4 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์แบบ 5 สาย และ 6 สาย 4 เฟส	9
2.5 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ	9
2.5 (ต่อ) วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ	10
2.6 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายของดีซีมอเตอร์แบบขนาน	14
2.7 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายของดีซีมอเตอร์แบบอนุกรม	15
2.8 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง	17
2.9 วงจรการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบอนุกรมด้วยตัวความต้านทานและกราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วต่อแรงบิด	18
2.10 ทรานสฟอร์เมอร์ควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แบบขนาน	19
2.11 ตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์แบบขนานด้วย SCR แบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น	20
2.12 ระบบการควบคุมแบบลูปเปิดโดยใช้วิธีการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์	21
2.13 ระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบปิดลูป	22
2.14 การทำงานเพียงส่วนแรกของระบบควบคุมความเร็วแบบทิศทางเดียว	22
2.15 การทำงานได้ถึง 4 ส่วนของระบบควบคุมความเร็วแบบเซอร์โว	23
2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	26
2.17 คุณลักษณะทางเอาต์พุตโดยปกติของโฟโตไดโอด	31
2.18 การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	31
2.19 วงจรจำลองของโฟโตไดโอดและหารขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้น	32
2.20 การต่อโฟโตไดโอดในการนำไปใช้งาน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 การใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ	34
2.22 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง	35
2.23 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน	36
2.24 Single-Pulse-Width-Modulation	41
2.24 (ต่อ) Single-Pulse-Width-Modulation	42
2.25 Multiple-Pulse-Width-Modulation	43
3.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมระดับเกียร์	44
3.2 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	45
3.3 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	45
3.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	46
3.5 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	48
3.6 วงจรแสดงผลความเร็ว	49
3.7 วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า	50
3.8 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	51
3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	52
3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	53
3.11 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	54
3.11 (ต่อ) วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	55
3.12 วงจรชาร์จแบตเตอรี่	56
3.13 โครงร่างเดิมของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	57
3.14 ชุดขายึดจับมอเตอร์ขับเคลื่อน	58
3.15 กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	59
3.15 (ต่อ) กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	60
3.16 กล่องวงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	61
3.17 กล่องแสดงผล	62
3.18 โครงสร้างของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	63
3.19 แผนผังการทำงานเริ่มแรกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 แผนผังการทำงานของโปรแกรมชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์	65
3.21 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบอัตโนมัติ	66
3.22 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบกึ่งอัตโนมัติ	67
3.22 (ต่อ) แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบกึ่งอัตโนมัติ	68
3.23 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดแสดงผลความเร็ว	69
4.1 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	70
4.2 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	72
ก.1 ภาพด้านขวาของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	80
ก.2 ภาพด้านซ้ายของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	80
ก.3 ภาพชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	81
ก.4 ภาพชุดมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	81
ก.5 ภาพชุดตรวจสอบการปั่นด้วยเท้าของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	82
ก.6 ภาพชุดเซนเซอร์ความเร็วของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	82
ก.7 ภาพหน้ากล่องชุดจอแสดงผลของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	83
ก.8 ภาพของกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	83
ก.9 ภาพภายในของกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	84
ก.10 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	84
ก.11 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	85
ก.12 วงจรแสดงผลความเร็ว	85
ก.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	86
ก.14 วงจรวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	86
ก.15 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์	87
ก.16 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	87
ก.17 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.18 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์	88
ข.1 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	90
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	90
ข.3 การวางอุปกรณ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว	90
ข.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	91
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	92
ข.6 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1	92
ข.7 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	93
ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	94
ข.9 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2	94
ข.10 วงจรแสดงผลความเร็ว	95
ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแสดงผลความเร็ว	95
ข.12 การวางอุปกรณ์วงจรแสดงผลความเร็ว	95
ข.13 วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า	96
ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า	96
ข.15 การวางอุปกรณ์วงจรวงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า	96
ข.16 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	97
ข.17 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	97
ข.18 การวางอุปกรณ์วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์	98
ข.19 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	98
ข.20 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ	98
ข.21 การวางอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ	99
ข.22 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	99
ข.23 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ (ด้านบน)	100
ข.24 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ (ด้านล่าง)	100
ข.25 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	100
ข.26 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.27 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์	101
ข.28 การวางอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์	101
ข.29 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	102
ข.30 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	102
ข.31 การวางอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์	102
ข.32 วงจรชาร์จแบตเตอรี่	103
ข.33 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์และ 24 โวลต์	103
ข.34 การวางอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์	104
ข.35 การวางอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์	104
ง.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	115
ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	116
ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	117
ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	118
ง.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแสดงผลความเร็วของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	119
จ.1 ส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันในเมืองใหญ่ๆ มักจะเกิดปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงเวลาเร่งด่วนเป็นเวลานาน ทำให้ผู้ขับขี่เกิดความเครียด และนอกจากนี้แล้วราคาน้ำมันที่แพงขึ้นก็เป็นปัญหาในปัจจุบัน ทำให้ยังมีผู้นิยมใช้จักรยานเป็นพาหนะ เนื่องจากไม่ต้องใช้น้ำมัน และสามารถหลบหลีกในที่แคบๆ ได้ ทำให้จักรยานได้รับการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงยุคของจักรยานมีเกียร์ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาจักรยานที่มีเกียร์ปกติให้สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นเกียร์อัตโนมัติและสามารถขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดแรงในการขับขี่จักรยานและช่วยลดปัญหาการใช้เกียร์ที่ไม่เหมาะสมกับความเร็วด้วย

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1. สามารถเปลี่ยนระดับของเกียร์จักรยานได้โดยการควบคุมด้วยมือและอัตโนมัติ
2. สามารถขับขี่จักรยานด้วยเท้าและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ดีซี
3. สามารถบรรทุกน้ำหนักได้สูงสุด 90 กิโลกรัม
4. สามารถทำความเร็วได้สูงสุด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
5. มีจอแสดงผลความเร็วในการขับขี่จักรยานและระดับแรงดันของแบตเตอรี่
6. การชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้งสามารถขับขี่ได้สูงสุด 30 กิโลเมตร

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ซึ่งแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงงานและเนื้อหาในบทต่างๆโดยสังเขป

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติและส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงแผนผังการทำงานของโครงงาน ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน ตลอดจนการออกแบบ และการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและทดสอบรวมทั้งผลที่ได้จากการทดลองและทดสอบการทำงานในส่วนต่างๆ ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลการจัดทำโครงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางในการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบการติดตั้งจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรมทั้งหมดที่สร้างขึ้นเพื่อประกอบการทำงานของโปรแกรม

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้งานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับจักรยาน

จักรยานทั่วไป ส่วนมากเป็นจักรยานไม่มีเกียร์ มักจะขายสำเร็จรูปพร้อมอุปกรณ์ประกอบ เช่น บังโคลน ไฟหน้า ขาตั้ง บังโซ่ อานซ้อนท้าย รวมไปถึงตะแกรงหน้า จักรยานแบบนี้มีน้ำหนักมาก จึงต้องใช้แรงมาก แต่มีข้อดี คือ ราคาถูก (ประมาณ 1,500-3,000 บาท) และหาซื้อได้ทั่วไป รวมทั้งเมื่อชำรุดก็มีร้านซ่อมอยู่ทั่วๆไป

จักรยานมีเกียร์ จักรยานประเภทนี้ ก็คือจักรยานจ่ายกับข้าว ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละกิจกรรม และให้ปั่นเบาแรง โดยมีระบบเกียร์ให้เลือกตั้งแต่ 5 ถึง 18 เกียร์ และลดน้ำหนักรถลง ราคาสูงกว่าจักรยานทั่วไป หาซื้อได้ในราคา 2,000-5,000 บาท

จักรยานไฟฟ้า มีรูปลักษณ์ไม่ต่างจากจักรยานทั่วไป เพียงแต่นำระบบไฟฟ้ามาประกอบรวม ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เมื่อแบตเตอรี่หมดสามารถใช้เท้าปั่นเป็นจักรยานธรรมดาได้ ราคาจะแพงกว่าสกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า เนื่องด้วยโครงสร้างที่สิ้นเปลืองเหล็กมากกว่า อีกทั้งต้องมีระบบขับเคลื่อนของจักรยานด้วย

2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานกันมาก ไม่ว่าจะเป็นส่วนประกอบในหุ่นยนต์ เครื่องจักร เครื่องกลอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ต่างก็ต้องใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน เช่น ฟลอบปี้ไดรฟ์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ขนาดเล็กในการขับเคลื่อนหัวอ่านเขียนข้อมูลลงไปในพื้นผิวของแผ่นดิสก์เพื่อให้ตรงกับตำแหน่งของแทร็กที่ถูกต้อง ลักษณะคุณสมบัติของตัวมอเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 จะบอกถึงความหมายของข้อมูลแต่ละอย่างของมอเตอร์ แบ่งประเภทของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตามความหมายได้ 2 ประเภท คือ ทางไฟฟ้าและทางกล ทางไฟฟ้าใช้สำหรับออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชื่อเรียกและความหมายทางกลและทางไฟฟ้าของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

ชื่อทางกล	ความหมาย	ชื่อทางไฟฟ้า	ความหมาย
สเต็ปปิ้งแองเกิล	มุมที่หมุนไปใน 1 ช่วง มีค่า 360 ต่อจำนวนในการหมุนไป 1 รอบ	ยูนิโพลาร์กับไบโพลาร์	เป็นชนิดของการพันขดลวดบนตัวสเตเตอร์
เบรกกิ้งโมเมนต์	เป็นค่าโมเมนต์มากสุดในการบล็อกโรเตอร์ไม่ให้หมุน	ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	เป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสที่อัตราความเร็วช่วงสูงซึ่งสัมพันธ์กับฟลักซ์แม่เหล็ก
โมเมนต์ (ทอร์ค)	เป็นผลคูณระหว่างระยะทางที่ตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ	ค่าความต้านทาน (R)	เป็นตัวกำจัดกระแสที่ขดลวดบนสเตเตอร์กับที่โรเตอร์
อัตราการดึงเข้า	ความถี่ที่เริ่มสตาร์ทโดยที่ยังไม่มีแรงสูญเสีย	กระแสสเตเตอร์มากสุด	ขึ้นอยู่กับขนาดของขดลวดที่พัน
อัตราการดึงออก	อัตราของสเต็ปปิ้งเมื่อความเร่งคงที่		
โมเมนต์เฉื่อย (I)	เป็นการวัดแรงต้านของวัตถุต่อความเร่งเชิงมุม		

2.2.1 การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆ ไปโดยเมื่อทำการป้อนกำลังไฟฟ้าให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ จะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆ ไปซึ่งจะหมุนทันทีและตลอดเวลา สเต็ปปิ้งสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถใช้งานในระบบเปิด (Open Loop System) นั่นก็คือมันทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนกลับ (Feedback) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง จำเป็นที่ต้องมีการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้ และอะไรจะเป็นตัวบอกได้ว่าตำแหน่งถูกต้องแล้วหรือเกิดความผิดพลาด (Error)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอล (Digital) ไปเป็นการเคลื่อนที่ทางกล ดังนั้นการติดต่อกับอุปกรณ์ดิจิตอลก็เป็นไปได้ง่าย และวงจรขยายกำลังจากสัญญาณดิจิตอล (Digital Power Amplifier) ที่ใช้ก็มีราคาถูกกว่าวงจรขยายกำลังเชิงเส้น (Linear Power Amplifier) อีกด้วย

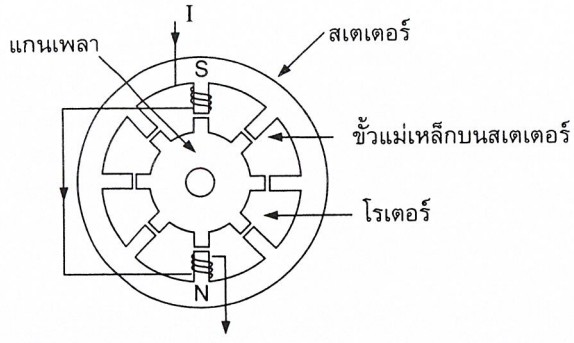
วิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ก็คือ การใช้สวิตช์ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ (Limit switch) เมื่อสเต็ปปิ้งมอเตอร์เริ่มหมุนและหมุนจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสวิตช์ตรวจจับสัญญาณก็จะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบและทราบการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้ตลอดเวลา ซึ่งโดยปกติในวงจรควบคุม จะมีการกำหนดจุดอ้างอิง (Reference Point) ไว้ เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นทำงานและตำแหน่งอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

ตัวอย่างง่ายๆ เช่นถ้าเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับฟลอปปี้ดิสค์ ก็จะได้ยินเสียงสเต็ปปิ้งมอเตอร์กำลังเคลื่อนที่เพื่อหาจุดอ้างอิงที่กำหนด หลังจากนั้นวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะเริ่มทำงาน โดยมันจะทราบถึงทุกๆ ช่วงที่กำลังขับเคลื่อนหัวอ่านหรือเขียนไปยังแต่ละแทร็คบนดิสค์

เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไปการที่จะทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (Roter) ได้ต้องมีการกระทำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็ก (Pole) การหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและกลับทิศทางไปมา โดยกระบวนการทางไฟฟ้าให้เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็ก (Magnetic Attraction) ที่ขั้วแม่เหล็กสร้างและหยุดสลับกัน ผลก็คือเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นบนสเตเตอร์โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าทีละคู่ของขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่ง โดยหยุดการสวิตชิ่งในลำดับต่อไปเสีย การหมุนกลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ทำการสวิตชิ่งกำลังไฟฟ้าให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางกลับกันหรือกลับลำดับการสวิตช์

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมา ซึ่งแต่ละซี่เหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ ดังนั้นเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ขึ้นด้านตรงข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็ก จะได้รับกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกันแต่ว่าจะไหลวนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของช่วงต่อวงรอบมากขึ้นตามไปด้วย

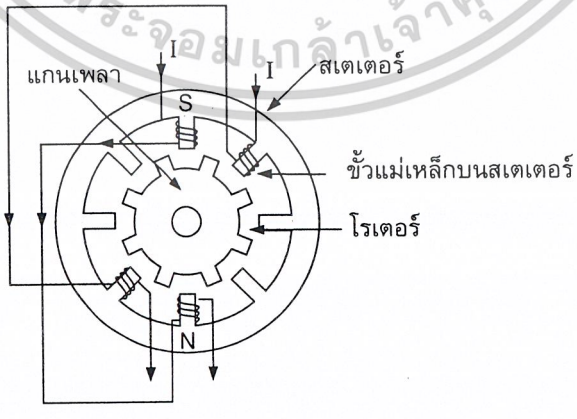
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดภายในเพื่อกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น 1 ขั้ว ในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนขดลวดอื่นๆ จะไม่ถูกกระตุ้น

อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานสามารถเริ่มจำนวนของช่วงได้อีกวิธีหนึ่งโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายใน โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วแม่เหล็กนั้น หรือเคลื่อนที่ไปครึ่งช่วงเท่านั้น และวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิด (Torque) มากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2

สเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยทั่วไปจะมีจำนวนของแม่เหล็กหรือจำนวนช่วงต่อรอบเป็นจำนวนมาก ปกติอยู่ที่ประมาณ 100-400 ช่วงต่อรอบ การมีจำนวนช่วงมากๆ นี้ไม่ได้เพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่สเตเตอร์ แต่ทำได้โดยเพิ่มจำนวนซี่ขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ จำนวนช่วงต่อรอบทั้งหมดจะได้จาก การคูณจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ และจำนวนซี่ที่โรเตอร์ เช่นถ้ามีขั้วแม่เหล็ก 3 ขั้วบนสเตเตอร์และ 8 ซี่ขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวนี้จะทำงานที่ 24 ช่วงต่อรอบ หรือหมุนเป็นมุม 15 องศาต่อช่วง



รูปที่ 2.2 การต่อวงจรขดลวดแบบกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กันทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่มาหยุดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้วงจรดิจิตอลควบคุม กำหนดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดสเตเตอร์แบบซีเควนเชียล ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ทุกช่วงได้ เช่นเดียวกับการควบคุมในวงจรดีซีเซอร์โว (DC Servo) แต่การควบคุมด้วยดิจิตอลไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ การเคลื่อนที่ทุกช่วงได้จากการคำนวณจำนวนรอบหรือมุมในการหมุนที่ต้องการ แล้วจึงส่งข้อมูลที่ได้ไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และพิกัดในการทำงาน อาทิ ความเร็วมุมในการเคลื่อนที่ ตำแหน่งของเพลา ถูกกำหนดจากข้อมูลที่ส่งมาควบคุม

2.2.2 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบ่งตามพื้นฐานได้เป็น 4 ชนิดคือ วาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance : VR), เพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet : PM), แบบไฮบริด (Hybrid) และชนิดเรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet)

ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance : VR) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบมัลติทูธ (Multi-Tooth) ทำจากเหล็กอ่อน จะทราบได้ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้โดยการทดสอบได้ง่ายคือใช้นิ้วหมุนเพลาของมอเตอร์และสังเกตมอเตอร์ชนิดนี้ที่โรเตอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางสนามแม่เหล็ก (Magnetism) จึงหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด ซึ่งแตกต่างจากชนิด PM และชนิดไฮบริดซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ เมื่อหมุนจะรู้สึกขัดๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้มีจุดด้อยในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่งและทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีช่วงในการหมุนสูง

ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet : PM) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก และบนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวร การควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยส์พันแยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด และโรเตอร์จะอยู่คงที่ที่ขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดเป็นแรงยึดหน่วงขึ้น สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่ง และความเร็วมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่นๆ

ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้งานในเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดไฮบริด จะมีโครงสร้างภายในซึ่งได้จากการรวมเอาโครงสร้างของสเตเตอร์ ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ และโครงสร้างของโรเตอร์จากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีแรงยึดหน่วงสูง, มีแรงบิดดึงและผลักได้ดี ซึ่งมีความคงที่และทำงานได้ดี ถึงแม้ว่าจะมีช่วงต่อรอบในการหมุนสูง

ชนิดเรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แม็กเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบใหม่อีกชนิดหนึ่ง เป็นชนิดที่ได้ทำการปรับปรุงมาจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

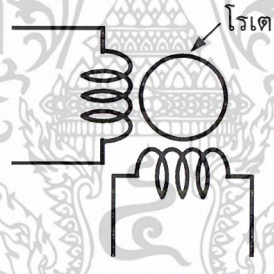
Magnet) โครงสร้างของโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งยึดกับเพลาของมอเตอร์ การทำงานของมอเตอร์ยังคงเป็นเช่นเดิม แต่ด้วยโครงสร้างแบบใหม่นี้ ช่วยทำให้เกิดโมเมนต์ของความเฉื่อยต่ำมาก มีอัตราเร่งสูง มอเตอร์ชนิดนี้จึงจัดเป็นอีกชนิดหนึ่ง และมีประสิทธิภาพสูงอีกหลายด้าน เช่น แรงบิดดึง กำลังทางกลที่ได้ของมอเตอร์ ความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก และความเร็วในการเริ่มหมุนและหยุดสูง

2.2.3 การจำแนกชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยการพันขดลวด

การพันขดลวดหรือคอยล์บนสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. แบบไบโพลาร์ (Bipolar)
2. แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์ มีการพันขดลวด 1 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยการกลับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งการกำหนดทิศการไหลของและการกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้าทำได้โดยการใช้สวิตชิ่งกลับขั้วไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.3

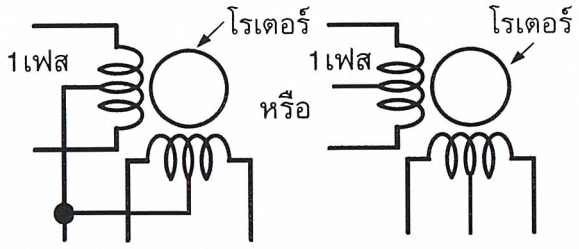


แบบ 4 สาย 2 เฟส

รูปที่ 2.3 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์

สำหรับยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็ก ในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาทำได้โดยการสวิตชิ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่งแทนเท่านั้น โดยปกติขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4

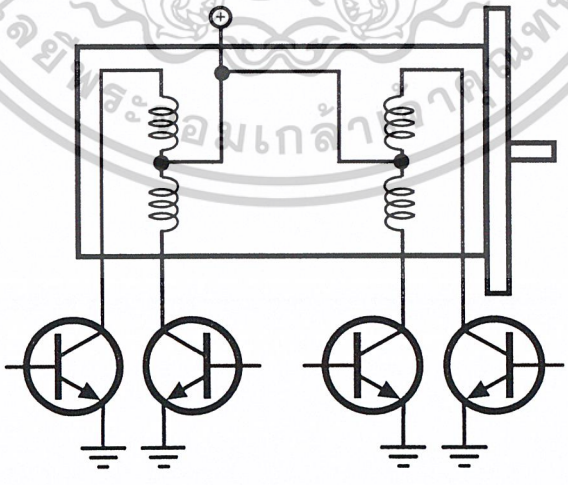
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์แบบ 5 สาย และ 6 สาย 4 เฟส

วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์นั้นทำได้ง่าย กว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะมันต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที รูปที่ 2.5 แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตชิ่งให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ว่าในแบบของยูนิโพลาร์เป็นวงจรที่ง่ายและไม่มีความซับซ้อนเลย

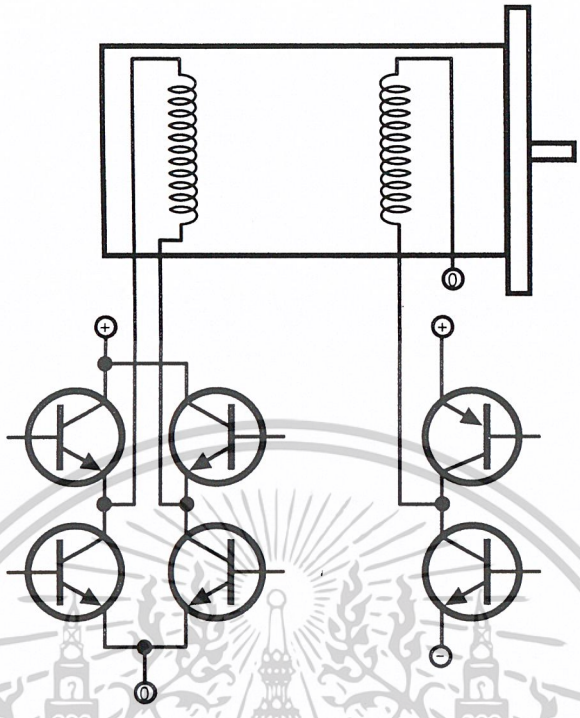
อย่างไรก็ตามการพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์ก็มีจุดด้อยตรงที่การพันแบบนี้จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์เพราะจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานเท่านั้นในระยะเวลาหนึ่ง



(ก) แบบของยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.5 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) แบบไบโพลาร์

รูปที่ 2.5 (ต่อ) วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ

การพิจารณาว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวใด มีการพันขดลวดแบบใดสังเกตได้ง่าย โดยถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรือทราบได้โดยการอ่านจากป้าย (Name Plate) ที่ติดอยู่กับมอเตอร์ก็ได้

2.2.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละช่วง ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ (Wave), แบบ 2 เฟส (Two Phase) และแบบครึ่งช่วง (Half Step) ทั้ง 3 แบบต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป

แบบเวฟเป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดไป ดังเช่นขดที่ 1, 2, 3, 4, หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

ช่วงที่	ขดที่ 1	ขดที่ 2	ขดที่ 3	ขดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	
4	-	-	-	ทำงาน

แบบ 2 เฟสเป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไป เช่นเดียวกับแบบเวฟ คือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรง จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียก็คือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

ช่วงที่	ขดที่ 1	ขดที่ 2	ขดที่ 3	ขดที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

แบบครึ่งช่วงเป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของช่วงต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงช่วงมีระยะสั้นและแต่ละช่วงเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องทำการหมุนถึง 2 ช่วง จึงจะได้เท่ากับ 1 ช่วงเต็มเหมือนกับในการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับ 2 เฟส จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งช่วง

ช่วงที่	ขดที่ 1	ขดที่ 2	ขดที่ 3	ขดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	ทำงาน	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.2.5 ระบบควบคุมความเร็วสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

การใช้งานสเต็ปปิ้งมอเตอร์แต่ละตัวนั้นสามารถกำหนดรูปแบบการทำงานได้หลายลักษณะ เช่น การเลือกใช้ตารางการขับเฟส การกำหนดความเร็ว การกำหนดจำนวนช่วง หรือลักษณะการทำงานมีลักษณะเป็นการทำงานตามโปรแกรม แต่เดิมจะออกแบบวงจรดิจิตอลในลักษณะของวงจรตามลำดับ ซึ่งสามารถจำตารางการขับเฟสได้การหมุนของมอเตอร์ในลักษณะทวนเข็ม ส่วนตามเข็มจะกำหนดโดยการสับสวิตช์ ผู้ใช้ก็มีหน้าที่ส่งสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรซึ่งจะกำหนดความเร็วของมอเตอร์ได้ แต่การเปลี่ยนตารางการขับเฟสนั้นจะทำได้ก็ต่อเมื่อต้องเปลี่ยนบอร์ดวงจรนั่นเอง ซึ่งต่อมาบริษัทผู้ผลิตสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้ผลิตไอซี ซึ่งในไอซีตัวเดียวนี้สามารถเลือกตารางการขับเฟสและสามารถใช้กับมอเตอร์ทั้งระบบ 3 เฟส และแบบ 4 เฟส โดยการกำหนดค่าให้กับอินพุตของไอซี ส่วนการเลือกการหมุนทวนเข็มและตามเข็มก็ยังใช้การสับสวิตช์ ผู้ใช้ก็มีหน้าที่คือ ส่งสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซี จะกำหนดความเร็วของมอเตอร์เช่นเดียวกันจากที่กล่าวมาในแบบแรก จะเห็นว่ามีความไม่สะดวกในการใช้งานเพราะต้องสับเปลี่ยนบอร์ดวงจร ส่วนแบบที่สองนั่นเนื่องจากไอซีดังกล่าวผลิตมาเป็นจำนวนน้อย เพราะผู้ที่จะนำมาใช้ส่วนมากจะเป็นผู้ที่นำมาศึกษาการใช้งาน จึงทำให้ราคาของไอซีดังกล่าวมีราคาแพงดังนั้นจึงมีวิธีการใหม่ คือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เพราะความสามารถในตัวไมโครโปรเซสเซอร์จึงสามารถกำหนดในรูปแบบการทำงานได้อย่างมากมาย โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงวงจรที่ใช้เลย จึงมีความสะดวกในการใช้งาน และการศึกษาการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์อย่างมาก

2.3 หลักการของมอเตอร์ดีซี

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่า มอเตอร์ดีซี และที่ขับเคลื่อนด้วยกระแสไฟสลับเรียกว่ามอเตอร์เอซี นอกจากนั้นยังมีมอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอาจขับเคลื่อนได้ทั้งกระแสไฟสลับและกระแสไฟตรง ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดีซีจะตรงข้ามกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยสิ้นเชิง แต่สำหรับโครงสร้างแล้วจะเหมือนกันทุกประการ จึงสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้ทำหน้าที่มอเตอร์ดีซีได้

2.3.1 ชนิดของมอเตอร์ดีซี

การแบ่งชนิดของมอเตอร์ดีซีตามลักษณะการกระตุ้นด้วยตัวเอง จะเหมือนกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) มอเตอร์ดีซีแบบขนาน

2) มอเตอร์ดีซีแบบอนุกรม

3) มอเตอร์ดีซีแบบผสม

มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกนั้นกระแสที่ป้อนให้ชุดขดลวดสนาม และขดลวดอาร์เมเจอร์จะมาจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซึ่งแยกชุดกัน ส่วนแบบกระตุ้นตัวเองนั้นจะมาจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชุดเดียวกัน ในกรณีที่ต้องการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีโดยการปรับระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ดีซี จะใช้มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกเป็นกรณีพิเศษเท่านั้น แต่โดยทั่วไปจะใช้แบบกระตุ้นตัวเองเป็นส่วนมาก ในโครงงานปริญญานิพนธ์นี้จะเลือกใช้มอเตอร์ดีซีแบบผสมในการทำชิ้นงาน

2.3.2 คุณสมบัติของมอเตอร์ดีซี

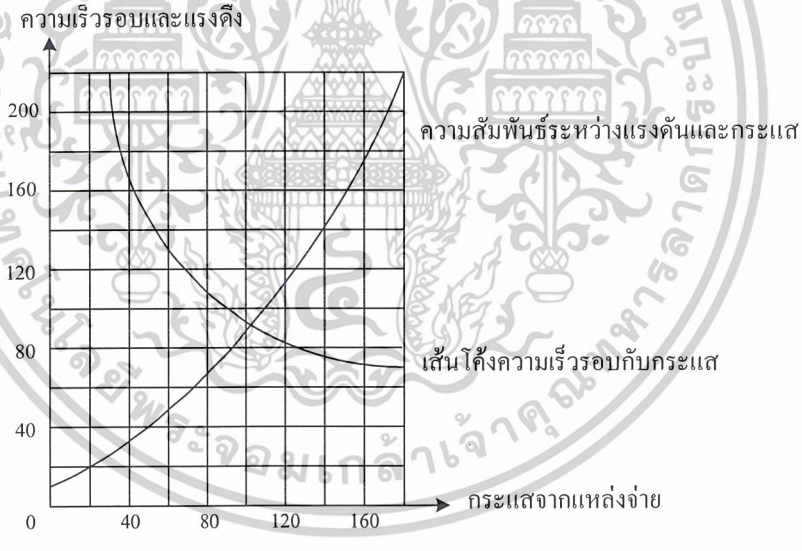
1) มอเตอร์ดีซีแบบขนาน

สำหรับกรณีของมอเตอร์แบบขนาน เนื่องจากวงจรขนาน และวงจรอาร์เมเจอร์ซึ่งต่อขนานกันได้รับไฟกระแสตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าชุดเดียวกัน เมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายและความต้านทานสนามที่ค่าคงที่ ถึงแม้ว่าโหลดจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงก็ตามจะได้ฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์ค และกระแสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.7 ขณะมอเตอร์ทำงาน ถ้าทำการลดโหลดให้มีค่าต่ำลง กระแสจากแหล่งจ่ายไฟจะมีค่าต่ำลงด้วย แต่เนื่องจาก Φ มีค่าเกือบคงที่ เมื่อ V คงที่ ดังนั้นความเร็วรอบจะลดลงน้อยมาก นั่นคือ การรักษาระดับความเร็วมีค่าน้อยมาก ดังแสดงด้วยเส้นโค้งในรูปที่ 2.6 และเส้นโค้งนี้เรียกว่า เส้นโค้งความเร็วรอบกับกระแสซึ่งมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงในระดับแนวนอน

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น เป็นกรณีที่ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องปฏิกิริยาของขดลวดอาร์เมเจอร์ ถ้าคำนึงถึงเรื่องปฏิกิริยาของขดลวดอาร์เมเจอร์ด้วยแล้ว สำหรับกรณีที่ I_a มีค่าน้อยๆ Φ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกรณีที่ I_a มีค่ามากๆ Φ จะมีค่าลดลงบ้างเล็กน้อยทำให้การรักษาระดับความเร็วในภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลด มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องปฏิกิริยาของขดลวดอาร์เมเจอร์ จากคุณสมบัติอันนี้จะเห็นว่ามอเตอร์แบบขนานจะเหมาะกับงานที่ต้องการลักษณะการรักษาระดับความเร็วน้อยๆ เป็นอย่างยิ่ง เช่น งานด้านเครื่องมือเครื่องจักร เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการแรงดึงสูงๆ



รูปที่ 2.6 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายของดีซีมอเตอร์แบบขนาน

2) มอเตอร์ดีซีแบบอนุกรม

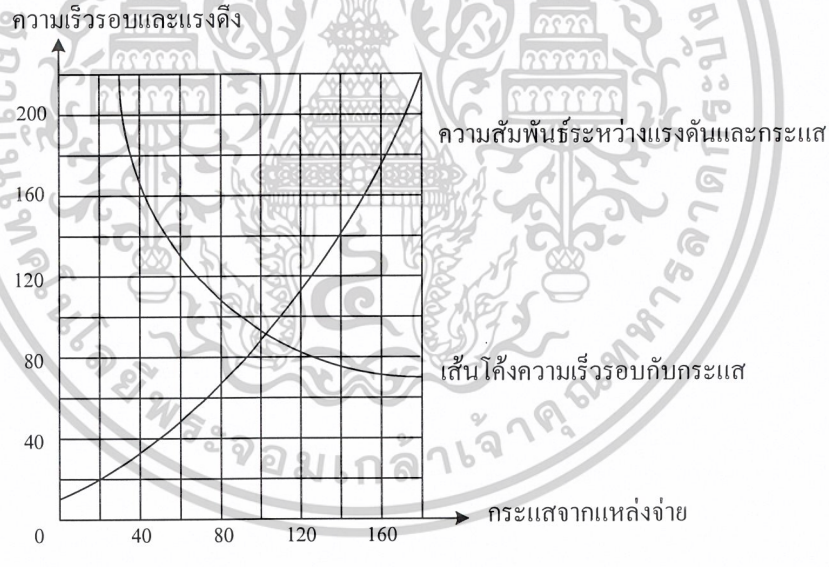
มอเตอร์แบบอนุกรมจัดอยู่ในประเภทที่สามารถเปลี่ยนความเร็วรอบได้ แสดงในรูปที่ 2.7 มอเตอร์ดีซีแบบอนุกรมจะต่างกับแบบขนานตรงที่ว่า Φ จะไม่คงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มลดตามกระแส I_a และในบริเวณเส้นตรง ที่อยู่ต่ำกว่าส่วนโค้งงอของเส้นโค้งแมกเนไตเซชั่นลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปมอเตอร์จะใช้กระแส 1.3-1.7 เท่าของกระแสพิกัดในการขับเคลื่อนให้หมุน ดังนั้น แรงดึงที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนจะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่กระแสพิกัดมาก ยิ่งให้กระแสขับเคลื่อนมีค่ามากแรงดึงขับเคลื่อนจะยิ่งมีค่ามากขึ้นเช่นกัน นั่นคือ ถ้าใช้กระแสขับเคลื่อนในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน มอเตอร์อนุกรมจะใช้แรงดึงขับเคลื่อนได้มากกว่า

มอเตอร์แบบขนานจัดอยู่ในประเภทความเร็วรอบคงที่ ขณะที่มอเตอร์แบบอนุกรมจัดอยู่ในประเภทที่สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วรอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

จากเส้นโค้ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้า มอเตอร์แบบอนุกรมนี้ จะเห็นว่าไม่ว่าจะทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลดหรือมีโหลดต่ออยู่น้อยมาก โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าที่แรงดันพิกัดหรือจะทำการปลดโหลดออกหมด หรือเพียงบางส่วน ในขณะมอเตอร์ทำงานก็ตาม ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์ดีซีแบบอนุกรมจึงตั้งเป็นกฎห้ามไม่ให้ใช้สายพานในการหมุนขับเคลื่อนระหว่างตัวมอเตอร์กับโหลด



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายของดีซีมอเตอร์แบบอนุกรม

3) มอเตอร์ดีซีแบบผสม

มอเตอร์ดีซีที่อาศัยคุณสมบัติการทำงานร่วมกันของขดลวดอนุกรม (ให้แรงดึงขณะเริ่มเดินเครื่องสูง) และขดลวดแบบขนาน (ให้ความเร็วรอบเกือบคงที่) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ มอเตอร์ดีซีแบบผสม มอเตอร์ชนิดนี้จะให้กระแสจำนวนมากไหลผ่านขดลวดอนุกรมในช่วงเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินเครื่องจึงให้คุณสมบัติของมอเตอร์ดีซีแบบอนุกรมในช่วงนี้ กล่าวคือ ให้แรงดึงขณะเริ่มเดินเครื่องที่สูงกว่ามอเตอร์ดีซีแบบขนานในปริมาณของกระแสเริ่มเดินเดียวกัน หลังจากนั้นมีความเร็วรอบ n สูงขึ้นเรื่อยๆ กระแส I_a ซึ่งไหลผ่านขดลวดอนุกรมจะน้อยลงเรื่อยๆ ทำให้คุณสมบัติของขดลวดอนุกรมที่แสดงออกลดน้อยลง ช่วงการทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้จะแสดงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับมอเตอร์ดีซีแบบขนาน คือ ให้ความเร็วรอบที่เกือบคงที่มอเตอร์ดีซีแบบผสมนี้เหมาะที่จะนำไปขับเคลื่อนโหลดในลักษณะเช่น ลิฟต์ เป็นอย่างยิ่ง

ในอุตสาหกรรมการผลิตบางชนิด ต้องการความเร็วรอบคงที่ตลอดไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตามนั้น แม้จะเลือกใช้มอเตอร์ดีซีแบบขนานก็ไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะจากคุณสมบัติทางด้านความเร็วรอบของมอเตอร์แบบขนานนี้จะเห็นว่า เมื่อโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเศษและส่วนความเร็วรอบจะมีค่าไม่เท่ากัน

ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้มอเตอร์ดีซีแบบดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์ และในช่วงการเปลี่ยนแปลงของโหลดจากสภาวะไร้โหลดจนถึงโหลดเต็มที่นั้น จะให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเศษและส่วนในสมการความเร็วรอบเท่ากัน ดังนั้นการรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าประมาณศูนย์

เนื่องจากมอเตอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์นั้นมีข้อเสียมาก จึงไม่นิยมใช้ในกรณีที่ต้องใช้มอเตอร์ที่ให้ความเร็วรอบที่คงที่จะหันไปใช้มอเตอร์เอซีชนิดอื่นแทน

2.3.3 การรักษาระดับความเร็ว

การรักษาระดับความเร็ว คือ ค่าซึ่งแสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในมอเตอร์ที่ให้ความเร็วรอบคงที่ และหมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอบหมุนจากสภาวะโหลดเต็ม ที่มาเป็นสภาวะไร้โหลดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ และอัตราการเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของความเร็วรอบในสภาวะโหลดเต็มที่ คำจำกัดความนี้คล้ายกับการรักษาระดับแรงดัน ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วิธีการทดลองเพื่อหาค่าระดับความเร็ว คือ ให้เดินเครื่องมอเตอร์ดีซีขนานหรือแบบดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยการป้อนแรงดันพิกัดเข้าขั้วอินพุตของมอเตอร์ จากนั้นให้เพิ่มโหลดของมอเตอร์ขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าโหลดเต็มที่ หลังจากที่อุณหภูมิตามส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ได้เพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวแล้ว ให้ทำการวัดจำนวนรอบหมุนของมอเตอร์ขณะนั้น สมมติให้มีค่าเป็น n จากนั้นให้ปลดโหลดของมอเตอร์ออกให้หมดแล้วจึงวัดความเร็วรอบ แรงดันระหว่างขั้วที่ป้อนให้มอเตอร์นั้นจะต้องปรับไว้ที่ค่าคงที่เสมอตลอดการทดลอง สำหรับค่าความต้านทานในวงจร สนามนั้นต้องมีค่าคงที่

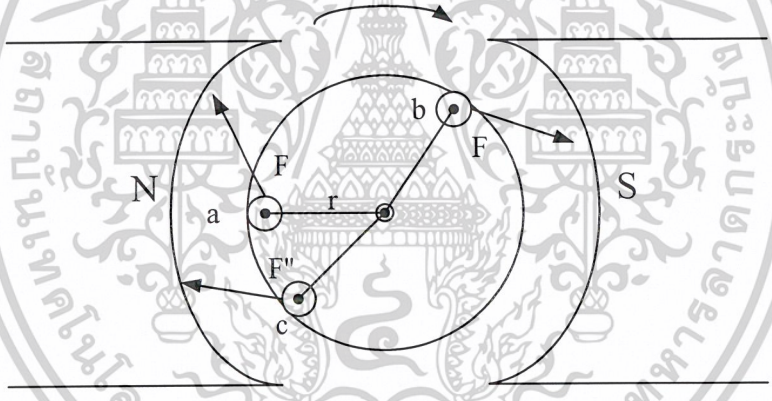
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เช่นกันโดยไม่มีการปรับซึ่งในเรื่องนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ามาช่วยในการรักษาระดับความเร็วและความเร่งของมอเตอร์เพื่อให้มีความเที่ยงตรงมากที่สุด

2.3.4 แรงดึง

ในรูปที่ 2.8 แสดงแรงที่กระทำบนลวดตัวนำ (a) ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง เป็นระยะ r เมตร ในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวงของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ แรงที่กระทำบนลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ Fxr ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ให้หมุนเคลื่อนที่ไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์มีช่องเป็นจำนวนมาก และแต่ละช่องก็มีลวดตัวนำจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้น แรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำทั้งหมดจะมีโมเมนต์ ซึ่งพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อรวมโมเมนต์ทั้งหมดนี้เข้าด้วยกันจะได้เป็นผลรวมของโมเมนต์โดยที่ T_a คือ แรงดึงที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น m-N ดังนั้นแรงดึง คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.8 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

2.4 ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์

ระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ คือ ระบบที่สามารถกำหนดความเร็วให้คงที่หรือแปรค่าไปได้ตามที่เราต้องการด้วยการกำหนดค่าสัญญาณอินพุตโดยในโครงงานนี้จะใช้ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่สามารถกลับทิศทางได้ ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ามาช่วยในการควบคุมระดับความเร็วและความเร่งตลอดจนในเรื่องของการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้มีความเที่ยงตรงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59521

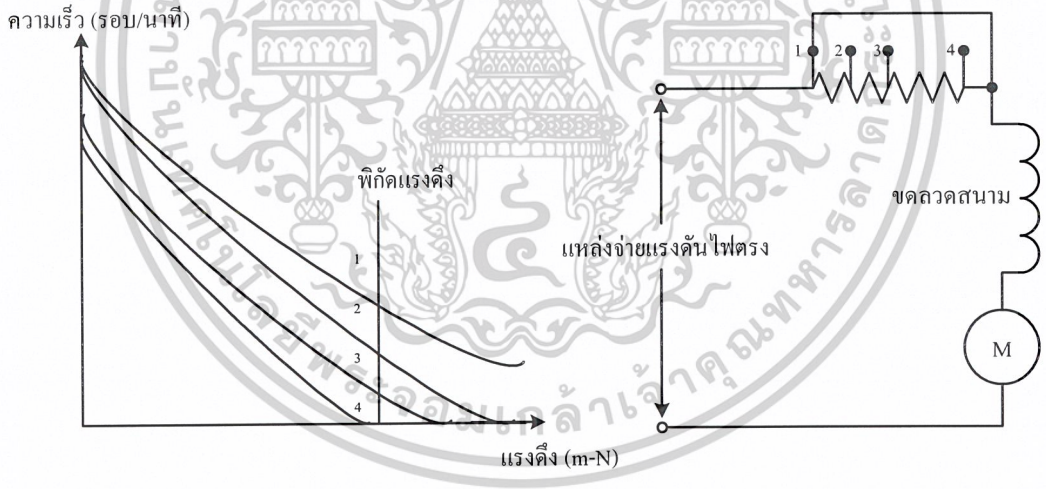
ในรูปที่ 2.8 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระตุ้นรอบจุดศูนย์กลางของระบบโดยที่การแปรค่าไปของความเร็วจะต้องอยู่ภายในย่านของระบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ การควบคุมแบบเปิดลูป และการควบคุมแบบปิดลูป

2.4.1 ระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบเปิดลูป

ระบบการควบคุมความเร็วชนิดนี้ยังสามารถแยกได้ดังนี้ คือ

1) ตัวควบคุมแบบความต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้เป็นวิธีการควบคุมที่ง่ายที่สุด และใช้ในยุคแรกๆ มีประสิทธิภาพ การควบคุมความเร็วอยู่ในพิสัย 4:1 และให้การรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ไม่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด และแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง การควบคุมแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียไปในตัวความต้านทาน รูปที่ 2.9 แสดงถึงตัวอย่างการควบคุมความเร็วของมอเตอร์อนุกรมด้วยตัวควบคุมแบบความต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กๆ



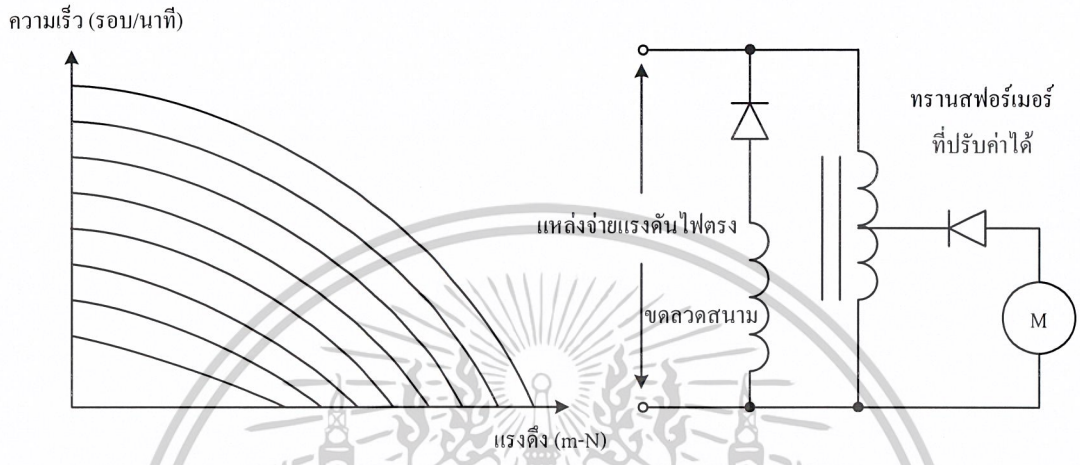
รูปที่ 2.9 วงจรการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบอนุกรมด้วยตัวความต้านทาน และกราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วต่อแรงบิด

การควบคุมแบบนี้ให้คุณสมบัติการเริ่มเคลื่อนที่ที่ดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงจัดมากในขณะที่มีโหลดน้อย การควบคุมแบบนี้จะเป็นประโยชน์เฉพาะในภาวะที่เป็นแรงต้านคงที่ และการควบคุมแบบนี้จะให้การรักษาระดับความเร็วลดลงเมื่อความเร็วลดลง ทำให้เป็นการยากที่จะทำให้พิสัยการควบคุมกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การควบคุมแบบทรานสฟอร์เมอร์ที่ปรับค่าได้กับตัวเรียงกระแส

การควบคุมนี้สามารถขับมอเตอร์กระแสตรงได้พิสัยความเร็ว 10 : 1 และให้การรักษาระดับประสิทธิภาพที่ดีกว่า



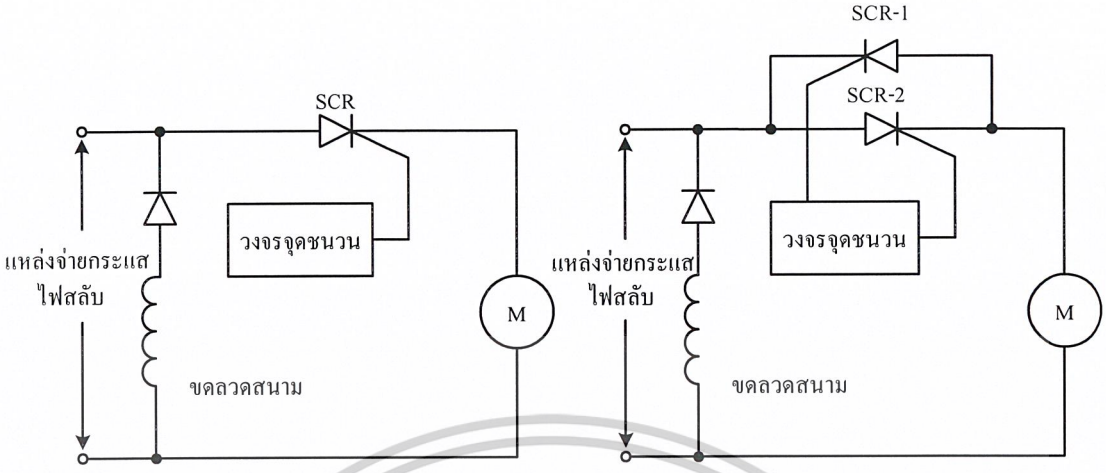
รูปที่ 2.10 ทรานสฟอร์เมอร์ควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แบบขนาน

รูปที่ 2.10 แสดงถึงการควบคุมโดยใช้วาริแอกบังคับแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์แบบขนาน โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดสนามคงที่ ผลของคุณสมบัติความเร็วแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการควบคุมด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้และให้การรักษาระดับความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดพิสัยความเร็วที่กว้างกว่า

3) ตัวควบคุมแบบไทริสเตอร์

การทำงานเป็นแบบครึ่งคลื่นจะให้คุณสมบัติคล้ายกับการควบคุมด้วยวาริแอก อย่างไรก็ตามระบบของ SCR ที่ทำงานแบบเต็มคลื่น สามารถให้พิสัยการควบคุมความเร็วได้ถึง 20 : 1 เมื่อใช้เทคนิคการชดเชย IR (หมายถึง เทคนิคการรับรู้กระแสและป้อนกลับเป็นระบบปิดลูป) ด้วยวิธีการชดเชยการควบคุมความเร็วนี้ สามารถให้การรักษาระดับความเร็วได้ถึง 3% จากไม่มีโหลดถึงสภาวะที่มีโหลดเต็มที่ รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์แบบขนานด้วย SCR แบบครึ่งคลื่น และแบบเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



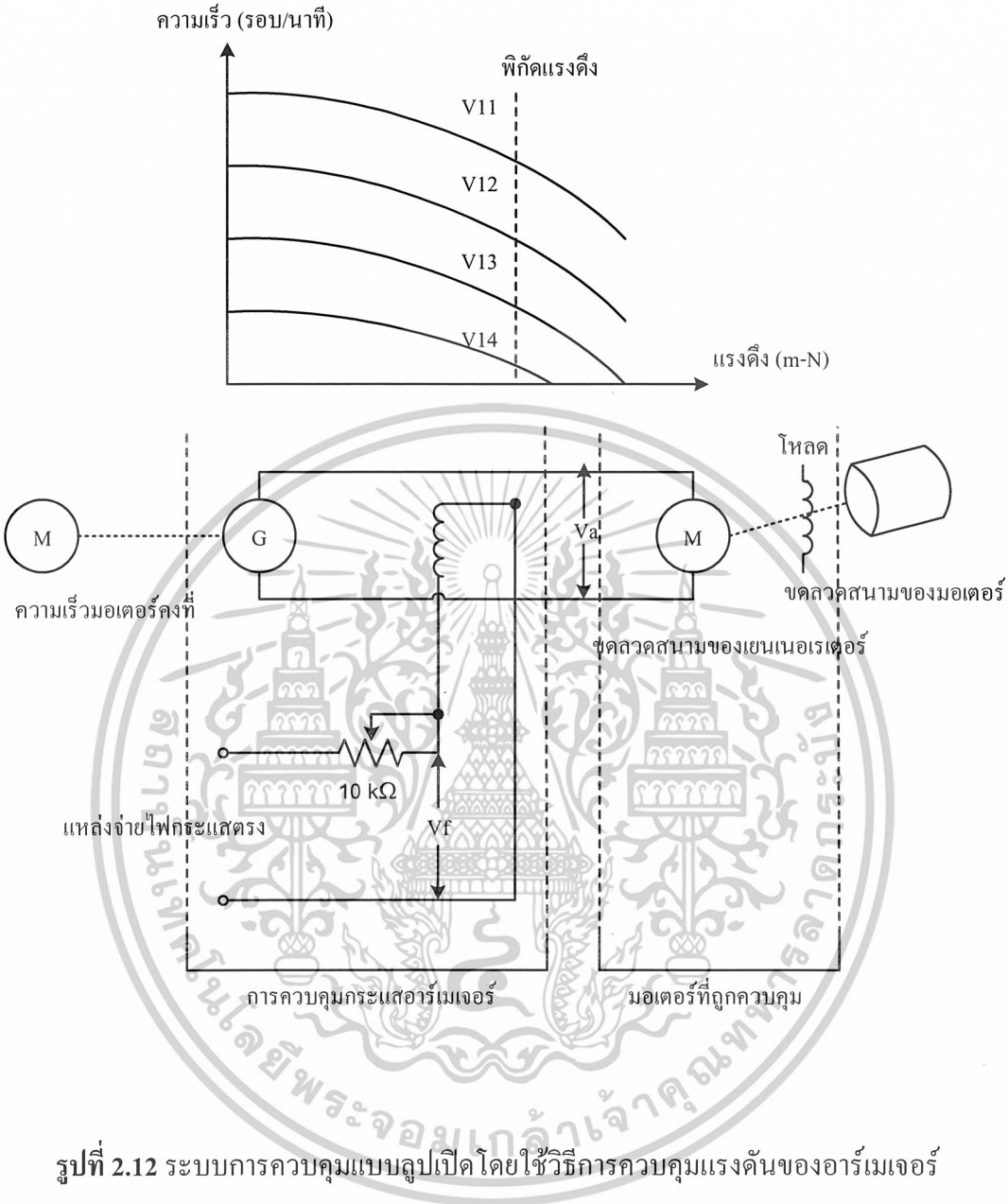
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์แบบขนานด้วย SCR แบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น

4) การควบคุมความเร็วแบบควบคุมอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ด้วยเยนเนอเรเตอร์

เป็นวิธีการควบคุมความเร็วแบบเปิดลูป ดังรูปที่ 2.12 มอเตอร์ที่มีความเร็วคงที่จะใช้เป็นตัวขับเคลื่อนเยนเนอเรเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าของขดลวดสนามสูงควบคุมให้แปรค่าได้ ดังนั้น เยนเนอเรเตอร์จะเป็นตัวผลิตแรงดันไฟฟ้าที่ปรับค่าได้ จ่ายให้กับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ และผลที่ได้เรื่องคุณสมบัติแรงบิดความเร็วที่ดีกว่าเนื่องจากการควบคุมแบบนี้ให้การรักษาความเร็วที่เป็นอิสระต่อความเร็วที่ตั้งไว้

ผลรับที่ได้ของการควบคุมแบบนี้ ให้คุณสมบัติที่เหนือกว่าการควบคุมวิธีต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมด อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาที่แพงของชุดมอเตอร์เยนเนอเรเตอร์ และส่วนการควบคุมขดลวดสนามของเยนเนอเรเตอร์ ทำให้การควบคุมความเร็ววิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลดีกับการควบคุมมอเตอร์ขนาดเล็กๆ การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมมอเตอร์ขนาดใหญ่ๆ ตั้งแต่ 1 แรงม้าขึ้นไป เพราะว่าคุณสมบัติขยายกำลังไฟฟ้าของชุดมอเตอร์เยนเนอเรเตอร์เหมาะสมที่จะใช้ในการควบคุมลูปปิด ในยุคแรกๆ เมื่อหลอดสูญญากาศกำลังสูงและเครื่องขยายแบบแม่เหล็กเริ่มนำมาใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

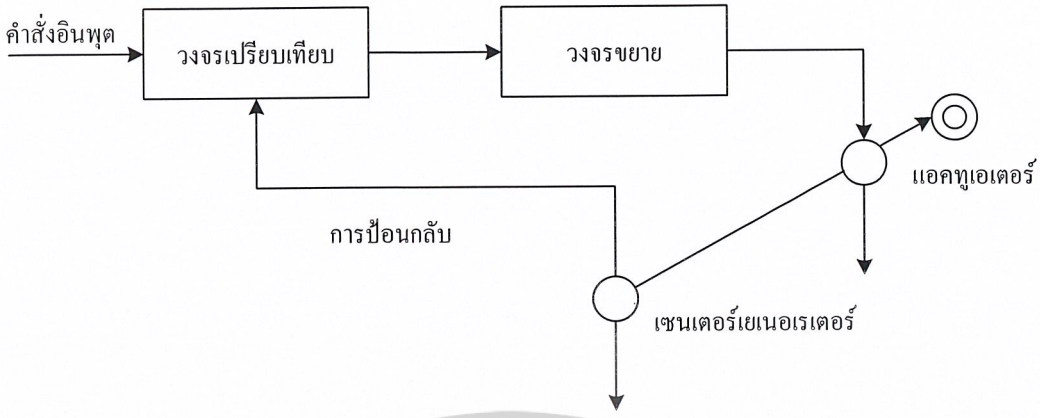


รูปที่ 2.12 ระบบการควบคุมแบบลูปเปิดโดยใช้วิธีการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์

2.4.2 ระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบปิดลูป

ระบบนี้แสดงในรูปที่ 2.13 แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การควบคุมความเร็วแบบรักษาระดับและการควบคุมความเร็วแบบเซอร์โว

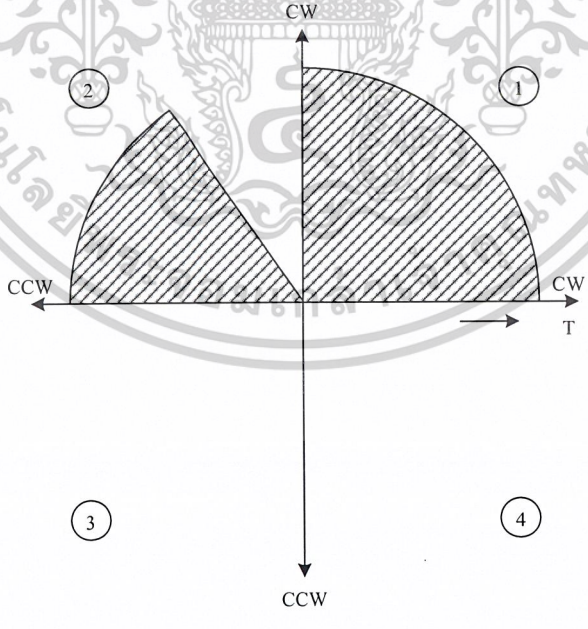
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบปิดลูป

1) การควบคุมความเร็วแบบเร็คกูเลเตอร์

จะเป็นการบังคับความเร็วแบบทิศทางเดียวโดยทำงานในควอดแดรนซ์แรกเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ระบบนี้ไม่สามารถจะให้แรงบิดของดีซีมอเตอร์ที่มีค่าเป็นลบ และไม่สามารถกลับทิศทางของความเร็วได้



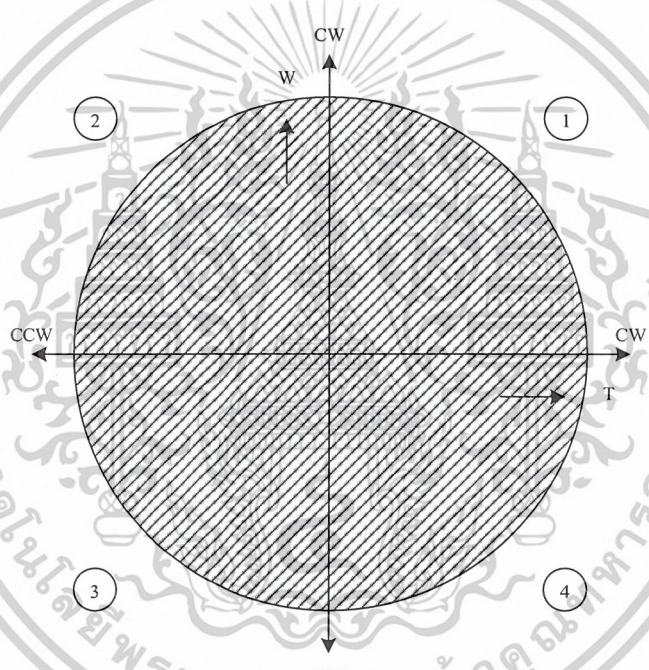
รูปที่ 2.14 การทำงานเพียงส่วนแรกของระบบควบคุมความเร็วแบบทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการควบคุมความเร็วแบบทิศทางเดียวนี้ เราสามารถจะเพิ่มไดนามิคเบรคเข้าไปในระบบได้ทำให้เราสามารถจำกัดแรงบิดลบของควอดแดรนซ์ที่ 2 ได้ แต่เนื่องจากการบังคับใน ควอดแดรนซ์ที่ 2 นี้อยู่ในพื้นที่การควบคุมให้มอเตอร์หยุดหมุน ดังนั้น เราถือได้ว่าการควบคุมความเร็วแบบเร็กกูเลเตอร์เป็นการควบคุมแบบด้านเดียว

2) การควบคุมความเร็วแบบเซอร์โว

จะเป็นการบังคับความเร็วได้ 2 ทิศทางนอกจากนี้ยังสามารถให้ความเร็ว และแรงบิดของมอเตอร์ได้ทั้งในทิศทางลบและบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.15 แสดงถึงพื้นที่การควบคุมแบบเซอร์โว คือ สามารถทำงานได้แบบ 2 ทิศทางหรือเป็นการควบคุมได้ 4 ด้าน



รูปที่ 2.15 การทำงานได้ถึง 4 ส่วนของระบบควบคุมความเร็วแบบเซอร์โว

2.4.3 การควบคุมความเร็วที่สามารถกลับทิศทางได้

โครงงานนี้จะใช้การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่สามารถกลับทิศทางได้และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาช่วยในการควบคุม ซึ่งให้การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบใช้แหล่งจ่ายไฟแบบขั้วเดียวและสามารถกลับทิศทางการหมุนได้

การใช้สวิตช์ที่กลับทิศทางได้นี้ให้อยู่ที่ตำแหน่งกลาง ก็จะให้สภาวะการควบคุมแบบไดนามิคแบบ เพื่อเป็นการลดไม่ให้สวิตช์กลับทิศทางของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไปในเมื่อมอเตอร์ยังหมุนอยู่ในทิศทางเดิมซึ่งอาจเป็นเหตุให้ทรานซิสเตอร์พังวงจรกลับทิศทางซึ่งอาจทำงานได้ด้วยรีเลย์แทนที่จะใช้สวิตช์ ที่ทำงานด้วยมือจึงทำให้ระบบการควบคุมความเร็วที่มีคุณสมบัติควบคุมได้สองทิศทาง สำหรับการบังคับในระยะทางไกล วิธีการควบคุมแบบนี้ปกติใช้งานไม่ได้ผลดีในระบบการควบคุมตำแหน่งแบบปิดลูปหรือในระบบเซอร์โวควบคุมความเร็ว ระบบเซอร์โวปกติจะมีการเปลี่ยนกลับทิศทางอยู่ตลอดเวลารอบๆ จุดสมดุล ดังนั้นหน้าสัมผัสของรีเลย์จะสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลิตโดยบริษัทอินเทล มีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1980 ต่อมาบริษัทฟิลลิปส์และซีเมนต์ได้รับลิขสิทธิ์ในการผลิตจำหน่ายและได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น

MCS-51 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่นซึ่งจะมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดของหน่วยความจำภายในและหน่วยทำงานภายในที่แตกต่างกัน

2.5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

1) หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต

2) หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์

3) หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Data Memory) ขนาด 128 กิโลไบต์

4) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบต์

5) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์

6) หน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์ พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต แบบขนานจำนวน 4 พอร์ต (32 บิต) แยกกันอย่างอิสระ

7) มีวงจรนับ/จับเวลา ขนาด 16 บิต 2 ชุด ทำงานได้ 4 โหมด

8) มีพอร์ตการสื่อสารอนุกรมรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) สามารถเลือกรูปแบบการส่งได้ 4 รูปแบบ

9) รับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้ 6 แหล่ง กระโดดไปทำงานตอบสนองได้ 5 ตำแหน่ง

10) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

11) นำข้อมูลมาทำงาน AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 1 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบขึ้นด้วยเกตชนิดต่างๆ เช่น AND OR NOT ซึ่งเกตเหล่านี้ จะนำเอามาออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่างๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น

1) หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU)

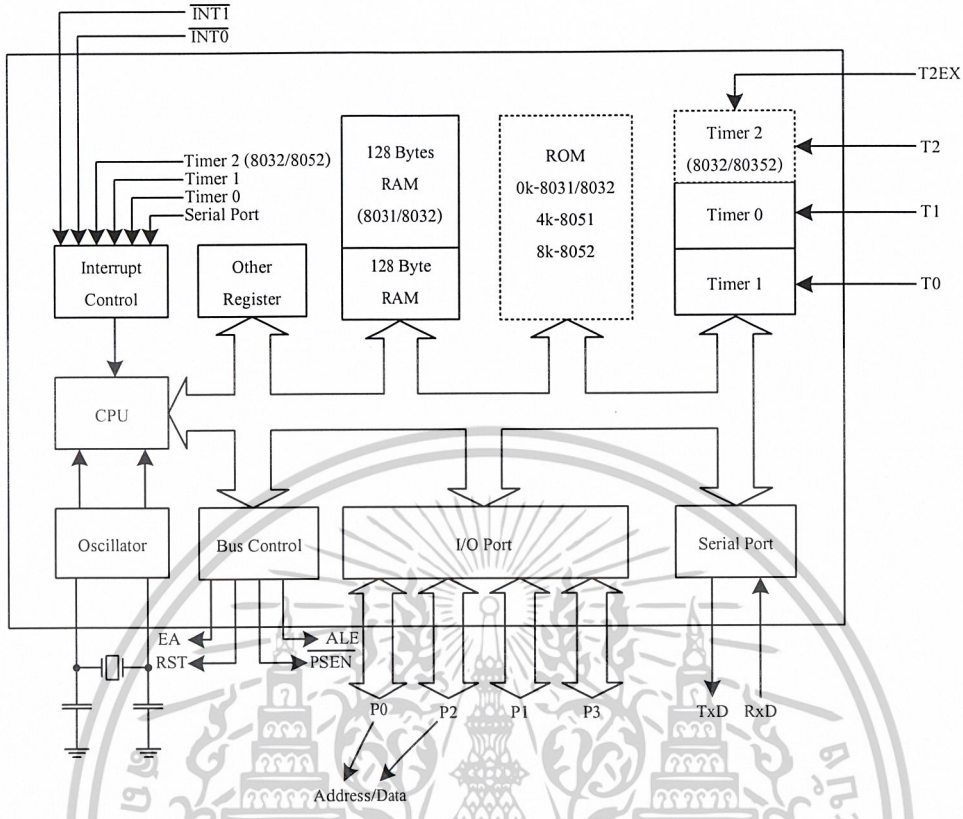
ส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ เรียกว่า วงจรควบคุม (Control Unit) สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม ได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ อุปกรณ์รับข้อมูลหรือส่งข้อมูลออก ซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะและส่วนควบคุมบัสก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วย การสร้างสัญญาณจากวงจรควบคุมจากหน่วยประมวลผลกลางนี้ทำการสร้างสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อให้ทุกๆ ส่วนทำงานประสานกันอย่างถูกต้อง ในหน่วยประมวลผลกลางยังประกอบด้วยส่วนประมวลผล (Arithmetic Logic Unit) ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การลบ บวก คูณ หรือหารข้อมูล แล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ต้องการ

2) หน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำมีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ในการนำข้อมูลเข้าและออกจากหน่วยความจำจำเป็นต้องรู้ตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำ ในการนำข้อมูลเข้าไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียนข้อมูลและการนำข้อมูลออกจากหน่วยความจำ เรียกว่า การอ่านข้อมูล ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งจะมีขนาด 8 บิต ดังนั้น แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะสามารถเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 00000000_2 ถึง 11111111_2 หรือ 00H ถึง 0FFH ในการติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

ตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ซึ่ง MCS-51 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดสูงสุดชนิดละ 65,536 ตำแหน่ง (64 กิโลไบต์) ดังนั้นการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐานสองทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ 65,536) ข้อมูลที่อ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำในตำแหน่งที่เราต้องการโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำเพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยวงจรถอดรหัสคำสั่งทำการสร้างสัญญาณควบคุมจากคำสั่งที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำโปรแกรม

3) อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Device)

อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตเป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือนำข้อมูลออกจาก MCS-51 ทำให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้แก่ 4 I/O Port, Time/Counter 0, Time/Counter 1 และ Serial Port

3.1) 4 อินพุต/เอาต์พุต (4 I/O Port) หรือพอร์ตแบบขนาน เป็นที่สำหรับใช้รับส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 มีทั้งหมด 4 พอร์ต โดยแต่ละพอร์ตจะรับส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ตจะใช้งานมากกว่า 1 อย่างก็ได้

3.2) ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 (Time/Counter) ซึ่งเป็นวงจรนับที่สามารถทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก MCS-51 ก็ได้ สามารถตั้งค่าเริ่มต้นของการนับและอ่านค่าการนับได้โดยหน่วยประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) พอร์ตอนุกรม (Serial Port) หน่วยประมวลผลกลางจะอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมเป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก MCS-51 เรียงไปที่ละบิตออกจากขา Tx และในการรับข้อมูลจะรับเข้ามาที่ละบิตทางขา Rx แล้วจึงจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้หน่วยประมวลผลกลางอ่านไปใช้งานต่อไป

ใน MCS-51 มีพอร์ตให้ใช้งานได้หลายแบบ ทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆ ได้มากมาย การจะนำพอร์ตไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุม

2.6 ระบบโฟโตอิเล็กตริกในงานอุตสาหกรรม

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำช่วยให้ระบบโฟโตอิเล็กตริกทำงานได้เร็วขึ้น สะดวก และดีขึ้นกว่าเดิมมาก แหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่พวกโฟโตทรานซิสเตอร์ วงจรขยายดีๆ และสวิตช์สารกึ่งตัวนำเหล่านี้ช่วยให้การใช้งานระบบโฟโตอิเล็กตริกมีอายุการใช้งานยืนนานขึ้น ลดผลรบกวนจากแสงสว่างภายนอก และเหมาะสำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

ถึงแม้ว่าระบบโฟโตอิเล็กตริกสมัยใหม่จะมีข้อดีขึ้นหลายประการก็ตาม แต่ยังคงอาศัยหลักการเหมือนระบบเดิม คือ ใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงมายังตัวรับแสง ซึ่งตัวรับแสงจะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นแรงดันไฟฟ้าส่งต่อไปยังวงจรขยาย เพื่อทำให้ค่าแรงดันสูงขึ้นไปส่งต่อให้กับอุปกรณ์ด้านเอาต์พุต ซึ่งอาจเป็นรีเลย์หรือสวิตช์ โดยรีเลย์หรือสวิตช์จะไปควบคุมอุปกรณ์ส่วนอื่นต่อไป เมื่อมีวัตถุใดๆ มากันทางเดินของแสงไม่ให้ผ่านหรือสะท้อนแสงหรือลดความเข้มของแสงที่ส่งไปยังตัวรับจะทำให้สภาพการทำงานของตัวรับแสงเปลี่ยนไป แล้วมีผลให้การควบคุมรีเลย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย อุปกรณ์สมัยใหม่ในระบบโฟโตอิเล็กตริกมีให้เลือกใช้ได้หลายอย่าง เช่น ตัวรับแสงก็มีทั้งชนิดเป็นโฟโตเซล โฟโตไอโอดหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตเซลจะให้สัญญาณไฟฟ้า เมื่อมีแสงมากระทบถูกส่วนรับแสงของมัน โฟโตไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านมากขึ้น เมื่อมีแสงมาตกกระทบตัวมัน โฟโตทรานซิสเตอร์จะนำกระแสมากขึ้น เมื่อมีแสงมากระทบถูกตัวมัน ส่วนแหล่งกำเนิดแสงก็มีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่จะตรวจจับ ความเร็วในการตรวจจับ ลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่จะตรวจจับ และสภาพการใช้งานแตกต่างกันไป

2.6.1 ส่วนประกอบของระบบโฟโตอิเล็กตริก

ระบบโฟโตอิเล็กตริก ประกอบด้วยส่วนต่างๆ จำนวน 4 ส่วนหลักๆ คือ แหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสง วงจรขยาย และอุปกรณ์ทางเอาต์พุต ระบบโฟโตอิเล็กตริกจะดีได้ก็ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ 4 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แหล่งกำเนิดแสง

เป็นตัวส่งพลังงานแสงไปยังตัวรับแสง แหล่งกำเนิดแสงอาจเป็นหลอดไฟหรือแอลอีดีก็ได้ แอลอีดีที่ใช้ในระบบควบคุมจะเป็นชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งให้แสงออกมาในย่านความถี่ใกล้ๆ กับความถี่ของอินฟราเรด (แสงใต้แดง) แหล่งกำเนิดแสงแบบแอลอีดีมีข้อดีเหนือกว่าหลอดไฟแบบไส้ (Incandescent Lamp) คือ แอลอีดีไม่มีไส้หลอด สามารถทนแรงสั่นสะเทือนได้สูง อายุการใช้งานนานกว่า คือ 100,000 ชั่วโมง นอกจากนี้ความยาวคลื่นของแสงที่แอลอีดีส่งแสงออกมาเป็น 0.9 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่โฟโตทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิกอนทำงานได้ดีมาก ยิ่งกว่านั้นแอลอีดีที่ให้แสงซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาคน ยังทำให้การควบคุมมีเสถียรภาพดีและมีการรบกวนจากแสงภายนอกน้อยมาก

ระบบโฟโตอิเล็กตริกที่ใช้แอลอีดีจะสามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้ เพราะเราให้แอลอีดีส่งแสงมาในลักษณะเป็นพัลส์ เพื่อให้ได้ความเข้มของแสงในการส่งสูง โดยไม่ทำให้อายุใช้งานของแสงสั้นลง วงจรของตัวรับแสงจะต้องซิงโครไนซ์กับพัลส์ที่แอลอีดีส่งมา ดังนั้นไม่ว่าแสงภายนอกจะแรงเพียงใดก็ไม่รบกวนสัญญาณ ส่วนหลอดไฟแบบไส้เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง เพราะหลอดไฟแบบไส้มีการตอบสนองเร็วกว่าแอลอีดี สำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูงกว่า 600 ครั้งต่อวินาที ควรใช้หลอดไฟแบบไส้

2) ตัวรับแสง

เป็นส่วนแปลงพลังงานแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตัวรับแสงมีอยู่หลายชนิด

2.1) โฟโตเซลแบบแคดเมียมซัลไฟต์ เป็นตัวรับแสงที่ง่ายที่สุด มันจะเปลี่ยนลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อได้รับแสง แต่มีผลตอบสนองช้ากว่าตัวรับแสงชนิดอื่นมาก โฟโตเซลชนิดนี้เหมาะกับงานที่ต้องการความไวสูง

2.2) โฟโตไดโอดให้การตอบสนองเร็วสูงกว่าโฟโตเซลมาก แต่ความไวต่อแสงน้อยกว่า

2.3) โฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นตัวรับแสงที่ให้การตอบสนองเร็วมากพอที่จะตรวจจับสัญญาณพัลส์ของแสงที่เป็นช่วงสั้นมากๆ ได้ และมีความไวต่อแสงมากกว่าโฟโตไดโอดมาก

3) วงจรขยาย

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากตัวรับแสงให้แรงขึ้นแล้วส่งไปยังภาคเอาต์พุต นอกจากนี้ในบางกรณีที่ต้องการหน่วงเวลาของสัญญาณไว้ช่วงหนึ่งก่อนที่จะส่งไปยังภาคเอาต์พุต ก็สามารถหน่วงให้ช้าลงได้ด้วยวงจรขยาย วิธีการหน่วงเวลาที่ใช้กันบ่อยๆ ก็มีดีเลย์ดรอป (Delay-Drop) วันช็อต (One-Shot) และดีเลย์ วันช็อต (Delayed One-Shot)

3.1) ดีเลย์ดรอป เป็นวิธีการหนึ่งที่จะให้เอาต์พุตไปควบคุมอุปกรณ์พวกรีเลย์หรือสวิตช์ให้ทำงานได้ เมื่อมีวัตถุมากั้นลำแสงอยู่นานช่วงเวลาหนึ่ง วิธีการนี้ใช้ในการจับตาดูเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาเท่าๆ กัน เช่น ในการทำงานผิดพลาดของสายพานส่งเกิดติดขึ้นมา วัตถุบนสายพานจะมาออรวมกัน และตัดลำแสงไว้นานผิดปกติ เช่นนี้ระบบก็จะทำงานได้

3.2) วันช็อต อุปกรณ์ด้านเอาต์พุตจะยังคงการทำงานอยู่เป็นช่วงเวลาหนึ่งหลังจากที่ตัวรับแสงได้รับการทริก หลังจากนั้นเอาต์พุตจะหยุดการทำงาน เมื่อครบรอบของเวลาไทมิ่ง (Timing Cycle) ลักษณะการทำงานเช่นนี้มีประโยชน์มาก เช่น ในกรณีที่มีวัตถุวิ่งตัดแสงเร็วมากจนไม่สามารถทำให้เอาต์พุตทำงานบางอย่าง ประเภทการสตาร์ทมอเตอร์ การหยุดหรือทำให้อุปกรณ์ที่นับทำงาน ตัววันช็อตจะเป็นตัวตั้งเวลาหลังจากสัญญาณมาทริก (ขณะที่วัตถุวิ่งตัดแสง) วันช็อตจะยืดเวลาให้เอาต์พุตทำงานนานขึ้นจนพอเพียงที่จะทำงานตามต้องการได้

3.3) ดีเลย์ วันช็อต มีการทำงานคล้ายกับวันช็อต เพียงแต่จะมีช่วงหน่วงเวลาหนึ่งหลังจากมีวัตถุวิ่งตัดแสงเอาต์พุตจึงจะทำงานได้ ตัวอย่างการใช้งานนี้ใช้กับงานที่ต้องการให้ช่วงเวลาที่ลำแสงถูกตัดอยู่นานกว่าช่วงเริ่มทำงานของเอาต์พุต เช่นบางระบบต้องการให้อุปกรณ์ที่เกิดหยุดทำงานกะทันหันจะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์หรือควบคุมโซลินอยด์ใหม่ทันทีไม่ได้ ต้องหน่วงไว้ช่วงเวลาหนึ่งก่อนจึงจะสตาร์ททำงานใหม่ได้ก็ใช้วิธีดีเลย์ วันช็อต

นอกจากจะเป็นส่วนหน่วงเวลาแล้ว วงจรขยายยังทำหน้าที่อื่นได้อีกด้วยวงจรขยายบางชนิดมีการปรับอัตราการขยายได้ เพื่อทำให้ปริมาณแสงที่ได้มีความสม่ำเสมอ สำหรับการตรวจจับดูว่าลำแสงที่ตัวรับแสงได้รับมานั้นเป็นลำแสงที่ผ่านมาเต็มที่หรือมีวัตถุกรองแสงบางอย่างกั้นไว้ (ซึ่งยอมให้แสงผ่านได้) คุณสมบัติข้อนี้มีประโยชน์ในการตรวจจับเกี่ยวกับสีหรือวัตถุโปร่งแสง ซึ่งวงจรขยายแบบอื่น จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด-เปิดไป เมื่อมีแสงมาถูกตัวรับแสงเต็มที่กับเมื่อแสงกระจายไปบางส่วน (วัตถุกรองแสงมากั้น)

4) ภาคเอาต์พุต

ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เมื่อได้รับสัญญาณจากวงจรขยาย ส่วนนี้ถือว่าเป็นอุปกรณ์ต่างหากของระบบโฟโตอิเล็กตริกก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะพบว่ามักติดอยู่ใกล้ๆ กับวงจรขยายอุปกรณ์ใช้ภาคเอาต์พุตที่พบเห็นได้ทั่วไปมีรีเลย์ธรรมดา ไฮบริดจ์สวิตช์ และเอาต์พุตที่เป็นระดับสัญญาณทางตรรก (Logic Level Output)

4.1) รีเลย์ เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตที่ใช้กันมากในปัจจุบันและสามารถทำงานด้วยค่ากระแสโหลดสูงๆได้ อย่างไรก็ตาม รีเลย์มีอายุการใช้งานสั้นและให้ผลตอบสนองช้าอยู่ในช่วงเวลาประมาณจาก 0.01 ถึง 0.025 วินาที ดังนั้นการใช้งานกับวัตถุที่เคลื่อนที่เร็วมากหรือการนับด้วยอัตราเร็วมากจึงใช้รีเลย์ไม่ได้ การใช้งานที่เหมาะสมคือ การสตาร์ทมอเตอร์ การเบรค การควบคุมโซลินอยด์ และกระดิ่งไฟฟ้าเหล่านี้เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2) ไฮบริดจ์สวิตช์ เป็นสวิตช์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์สารกึ่งตัวนำ (ไตรแอกนั่นเอง) และหรีดสวิตช์ขนาดเล็กหรือออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto-Isolator) หน้าที่การทำงานคล้ายกับรีเลย์ธรรมดา แต่จะเป็นสวิตช์สำหรับไฟสลับเท่านั้น ไฮบริดสวิตช์มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าให้ความเชื่อถือได้มากกว่า และให้การตอบสนองเร็วกว่ารีเลย์ธรรมดา โดยทั่วไปผลการตอบสนองของไฮบริดจ์สวิตช์อยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.01 วินาที โดยที่ไฮบริดสวิตช์สามารถทำงานด้วยกระแสน้อยเพียง 2 ถึง 5 แอมป์ และตามธรรมดาใช้เป็นสวิตช์เดี่ยวตัวเดียวเท่านั้น โหลดทั่วๆ ไปที่ใช้แก่ตัวนับแบบไฟฟ้ากล รีเลย์ และโซลินอยด์

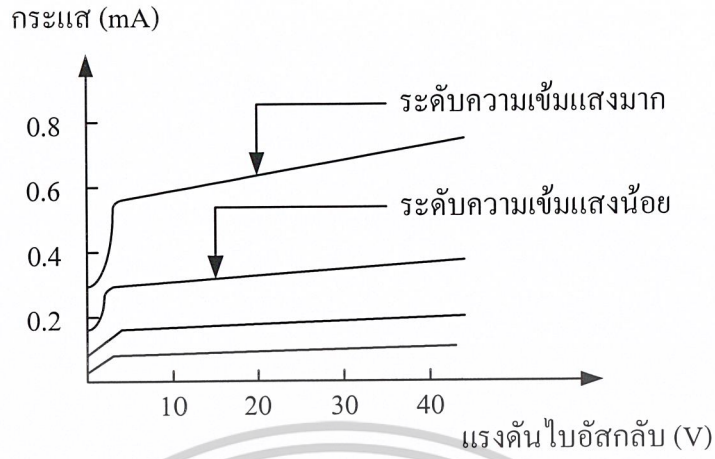
4.3) เอาต์พุตเป็นระดับสัญญาณตรรก มีทั้งชนิดที่ให้เอาต์พุตเป็นแรงดัน ทำหน้าที่จ่ายกระแสหรือให้เอาต์พุตเป็นสวิตช์ (ทำหน้าที่ดึงกระแสจากภายนอก) อุปกรณ์พวกนี้เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีอายุการใช้งานยาวนานและให้ผลตอบสนองเกือบทันทีที่มีสัญญาณเข้ามักใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์และหน่วยควบคุมต่างๆ ชนิดเป็นแหล่งจ่ายกระแสจะให้แรงดันไฟตรงเอาต์พุต 12 หรือ 24 โวลต์ ที่กระแส 0.03 ถึง 0.06 แอมป์ อุปกรณ์ที่เป็นแบบดึงกระแสจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์แทนที่จะให้เอาต์พุตเป็นแรงดันซึ่งให้แรงดันต่ำก็ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กระแสต่ำแทน (0.05 ถึง 0.25 แอมป์ ที่ 30 โวลต์) อุปกรณ์นี้ใช้เป็นสวิตช์สำหรับโหลดทางอิเล็กทรอนิกส์

2.6.2 ชนิดตัวรับแสงของระบบโฟโตอิเล็กตริก

1) โฟโตไดโอด

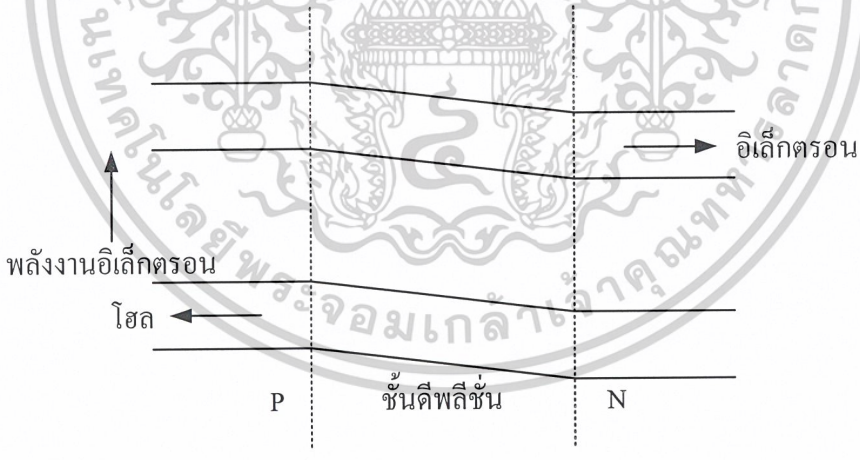
เป็นไดโอดรอยต่อ PN ซึ่งรอยต่อ PN สามารถรับแสงได้สะดวก ปกติสร้างจากผลึกเยอรมันเนียมหรือซิลิกอน แต่เพื่อให้ได้กระแสรั่วสูงๆ จึงมักใช้ผลึกเยอรมันเนียม ในขณะที่ไดโอดได้รับไบอัสกลับและรอยต่อไม่ได้รับแสงกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ ก็คือ กระแสรั่วของรอยต่อ PN ซึ่งในที่นี้เรียกว่า “กระแสรั่วไหล (Dark Current : I_d)” ถ้าเป็นเยอรมันเนียมอาจมีค่าสูงถึง 10 มิลลิแอมป์ แต่สำหรับซิลิกอนจะมีค่าต่ำมากอาจเป็น 20 นาโนแอมป์ ในขณะนี้ถ้าหากรอยต่อ PN ได้รับแสงกระตุ้นจากภายนอกจะมีผลทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเกิดขึ้น พาหะส่วนน้อยนี้จะได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าที่รอยต่อสามารถทำให้เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้ จึงเกิดเป็นกระแสไหลผ่านรอยต่อ ซึ่งเรียกว่า “กระแสโฟโต (Photo Current : I_p)” ดังนั้นขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันย้อนกลับและถูกแสงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดประมาณ I_d+I_p ค่ากระแสโฟโตจะเพิ่มขึ้นหากรอยต่อได้รับแสงที่มีความเข้มมากขึ้น ในกรณีที่จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูง ก็สามารถปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นแบบ P-I-N ไดโอดได้ เพราะโครงสร้างของ P-I-N จะช่วยลดค่าประจุไฟฟ้าที่รอยต่อและในกรณีที่ต้องการให้ไดโอดมีความไวต่อแสงก็ควรมีเลนส์รวมแสงให้ตกกระทบที่รอยต่ออย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 คุณลักษณะทางเอาต์พุตโดยปกติของโฟโตไดโอด

เมื่อสารกึ่งตัวนำได้รับสารโปรตอนจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไหลขึ้นนั่น คือ เมื่อเกิดการแตกตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮล การแตกตัวจะเกิดบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือบริเวณที่แสงตกกระทบมากๆ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่า การกระจายของแสงหรือสนามไฟฟ้าในสารตัวนำไดโอดมีลักษณะไม่สม่ำเสมอในบริเวณรอยต่อ PN ที่บริเวณดีพลีชั่นโดยทั่วไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อตัวโฟโตไดโอดซึ่งควรจัดให้โปรตอนส่วนใหญ่ถูกดูดซับบริเวณรอยต่อหรือดีพลีชั่นให้มากที่สุด ตรงความลึกที่โปรตอนจะผ่านไปได้ก่อนจะดูดซับพลังงานแสงที่บริเวณผิวหน้าไป

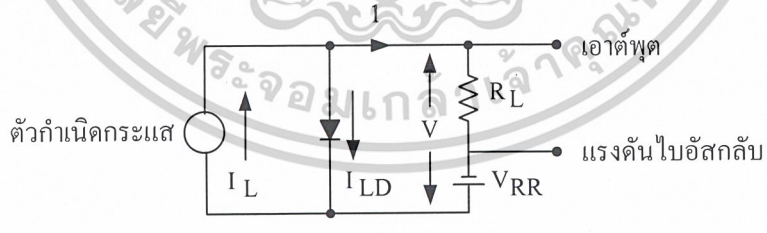
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นจะสามารถผ่านผลึกได้ลึกกว่า ดังนั้นเพื่อให้โฟโตไดโอดสามารถตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นที่กว้างอยู่ควรจะมีชั้น P ที่บาง เพื่อให้ความยาวคลื่นสั้นจะเจาะผ่านเข้ามาได้ และมีบริเวณดีพลีชั่นที่หนาแน่นมากๆ เพื่อให้ได้รับแสงของโปรตอนสูงสุดจากโปรตอนที่มีความยาวคลื่นยาวผ่านความหนาแน่นของบริเวณดีพลีชั่นขึ้นอยู่กับไบอัสกลับและค่าความต้านทานของบริเวณที่มีการแยกตัวของอิเล็กตรอน-โฮล

โดยปกติไม่มีการไบอัสกลับก็สามารถเกิดพื้นที่ดีพลีชั่นได้ ซึ่งสนามที่เกิดจากการแพร่พาหะรอยต่อระหว่าง PN การไบอัสกลับจะช่วยเพิ่มสนามและขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้นไปอีก

2) แบบจำลองของวงจรโฟโตไดโอด

แบบจำลองของโฟโตไดโอดแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ค่ากระแส I_L จะขึ้นอยู่กับบริเวณแสงที่ตัวไดโอดได้รับ ในกรณีไม่มีการให้ไบอัสโฟโตไดโอด กระแส I_L จะทำให้ขั้วแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโถด กระแส I_L ส่วนหนึ่งจะไหลกลับผ่านตัวไดโอด การทำงานโดยไม่ให้การไบอัสเรียกว่า "โหมดโฟโตโวตาอิก (Photo Votaic Mode)" การทำงานในโหมดโฟโตโวตาอิกสามารถทำงานได้ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบลอกาลิธึมขึ้นอยู่กับค่าโหลดตัวต้านทานการทำงานของโหมดลอกาลิธึมจะเกิดขึ้นเมื่อโหลดมีค่าสูงมากๆ ส่วนการทำงานแบบเชิงเส้นจะเกิดขึ้นเมื่อโหลดมีความต้านทาน เมื่อเทียบกับความต้านทานไดนามิกของโฟโตไดโอด ค่าศักดาสูงสุดในการทำงานแบบไม่ให้ไบอัส คือ V_L ประมาณ 100 มิลลิโวลต์ ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ ถ้าค่า R_L สูงกว่าจะทำให้มีความไวมากกว่าแต่ช่วงการตอบสนองเชิงเส้นจะลดลง ค่า R_L สูงสุดจะอยู่ในช่วง 5 เมกะโอห์ม ถึง 550 เมกะโอห์ม



รูปที่ 2.19 วงจรจำลองของโฟโตไดโอดและหารขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้น

การทำงานแบบให้ไบอัสกลับ เรียกว่า โฟโตเคอเรนท์โหมด (Photocurrent Mode) ซึ่งมีข้อดีกว่าโฟโตโวตาอิก คือ

2.1) มีความเร็วสูง

2.2) เสถียรภาพดี

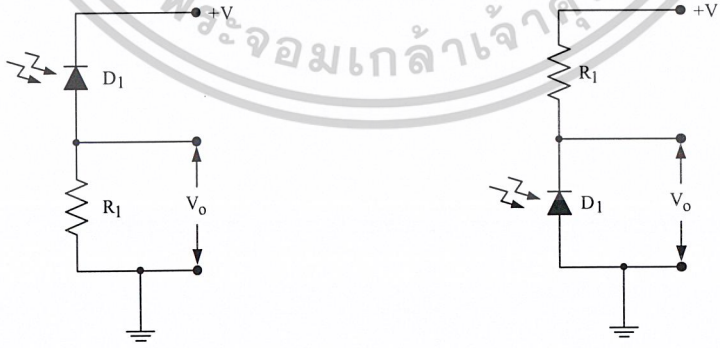
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) ช่วงไดนามิกส์สูงกว่า

2.4) สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิสูงกว่า

จากลักษณะของโฟโตไดโอดเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติไวต่อแสง โปรตอนจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้น โฟโตไดโอดเป็นตัวตรวจจับแสงชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกออกแบบขึ้นมาจากการเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าเมื่อใดที่รอยต่อ PN ได้รับการไบอัสกลับ จะเกิดกระแสรั่วไหลย้อนกลับและอิมพีแดนซ์ต่อ PN นี้มีความไวต่อแสงมากเป็นพิเศษ คือ จะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืดและมีอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่ออยู่ในที่สว่าง ไดโอดทั่วไปนั้นจะถูกหุ้มรอยต่อนี้ไว้ด้วยวัตถุทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น แต่โฟโตไดโอดซึ่งถูกผลิตขึ้นมาเพื่อปรากฏการณ์นี้โดยเฉพาะ ดังนั้นรอยต่อจึงจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่แสงสามารถผ่านได้ดีที่สุด ไดโอดชนิดนี้มีสองแบบ คือ ชนิดที่ตอบสนองต่อแสงผ่านอินฟราเรด ในการนำไปใช้งานโฟโตไดโอดจะถูกต่อในลักษณะได้รับการไบอัสกลับสำหรับแรงดันเอาต์พุต เป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลดที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอดและกราวด์ ดังรูปที่ 2.20 โฟโตไดโอดจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวกับสัญญาณไฟสลับที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว สำหรับการประยุกต์ใช้งานโฟโตไดโอดที่ตอบสนองต่อแสงอินฟราเรด เช่น การใช้ในวงจรควบคุมระยะไกล วงจรสัญญาณเตือนต่างๆ ที่ใช้แสงอินฟราเรดในการควบคุม

เนื่องจากไดโอดชนิดนี้มีความเร็วสูง จึงถูกนำไปใช้งานเป็น High Speed Tape Reader ในอุปกรณ์ Character Recognition นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆ ได้อีกมากมาย เช่น ใช้เป็นตัวนำแสง โดยการให้แรงดันไบอัสตรง อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะภาพทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าในขณะที่รอยต่อได้รับแสงจะมีค่าสูงกว่าปกติ



(ก) การต่อแรงดันเอาต์พุตที่โหลด (ข) การต่อแรงดันเอาต์พุตที่ไดโอด

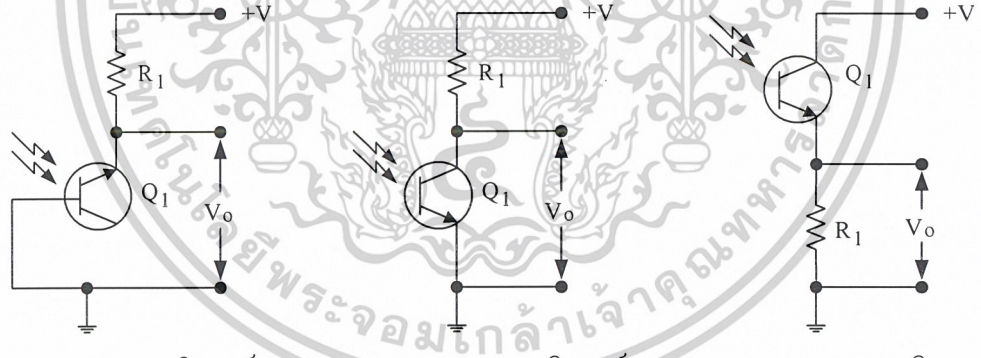
รูปที่ 2.20 การต่อโฟโตไดโอดในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) โฟโตทรานซิสเตอร์

เป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นเหมือนทรานซิสเตอร์ทั่วไป แต่ขาเบสจะสามารถรับแสงได้ง่าย โฟโตทรานซิสเตอร์มีทั้งชนิด NPN และ PNP ปกตินิยมนำไปประกอบวงจรแบบอิมิเตอร์ร่วมโดยที่ขั้วของเบสอาจจะถูกทิ้งไว้หรือต่อกับอิมิตเตอร์โดยผ่านความต้านทานก็ได้ หลักการทำงานเบื้องต้นจะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปแต่โฟโตทรานซิสเตอร์จะไม่มีขาเบส ซึ่งกระแสเบสจะได้จากการเปลี่ยนแปลงที่ตกกระทบบริเวณรอยต่อสาร PN ตามที่กล่าวมาแล้ว

การใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์มีอยู่ด้วยกันดังนี้ การต่อใช้งานพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.21 โดยรูปที่ 2.21 (ก) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับการทำงานเหมือนกับโฟไดโอดทุกประการ ส่วนรูปที่ 2.21 (ข) และ 2.21 (ค) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยไว้และเมื่อใดที่ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงก็จะมีกระแสไหลผ่านรอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ผ่านจากคอลเลคเตอร์มายังอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก กระแสนี้จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่มีค่าเพิ่มขึ้น



(ก) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกต่อลงกราวด์ (ข) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยไว้ (ค) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยเช่นกัน

รูปที่ 2.21 การใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบโฟโตไดโอดกับโฟโตทรานซิสเตอร์มีความไวต่อแสงมากกว่าประมาณ 100 เท่า แต่ในด้านความถี่ใช้งานสูงสุดสำหรับโฟโตทรานซิสเตอร์จะใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่าโฟโตไดโอดหลายเท่า ในการใช้งานอาจจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตทรานซิสเตอร์ เพื่อให้สามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้งานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้ความถี่สูงๆ โดยเมื่อค่าความต้านทานปรับค่าได้ลัดวงจรก็จะทำหน้าที่เป็นโฟโตไดโอด

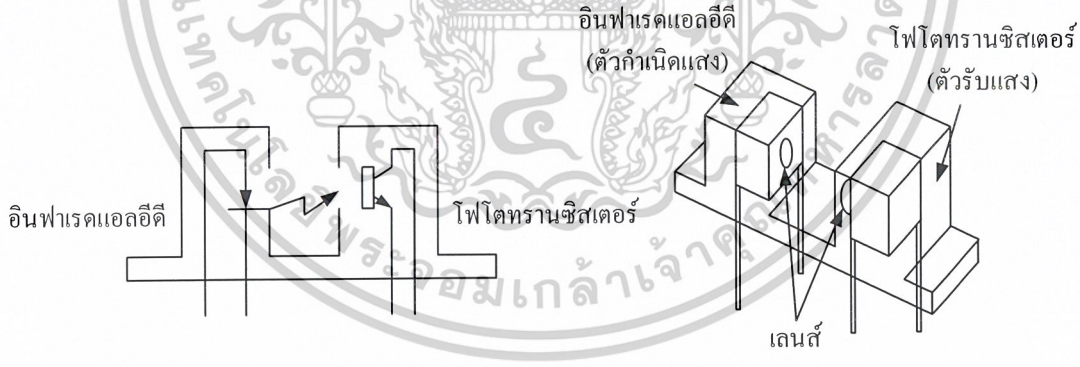
4) โฟโตเซนเซอร์

โฟโตเซนเซอร์หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโตอินเตอร์รัพเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนกัน ต่างกับโฟโตคัปเปอร์ตรงที่ตัวกำเนิดแสงจะจ่ายแสงออกมาภายนอกและแสงนั้นจะรับด้วยตัวรับแสงที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์ตัวเดียวกัน โฟโตเซนเซอร์มี 2 แบบ คือ แบบส่องแสงโดยตรงและแบบสะท้อนแสง

4.1) โฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

โฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรงตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางห่างกัน 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตรหันหน้าเข้าหากัน แสงจะวิ่งจากตัวกำเนิดแสงผ่านช่องว่างนี้ไปยังตัวรับแสง ถ้ามีสิ่งกีดขวางมากั้นการเดินของแสง ตัวรับแสงจะรับแสงและส่งสัญญาณออกมาต่างจากปกติ

ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟราเรดแอลอีดี ส่วนตัวรับแสงจะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์หรือดาร์ลิงตันโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.22 ในกรณีที่ใช้ในบริเวณที่มีแสงโดยรวมมากจะติดฟิลเตอร์กรองแสงธรรมชาติที่บริเวณตัวรับแสงด้วย

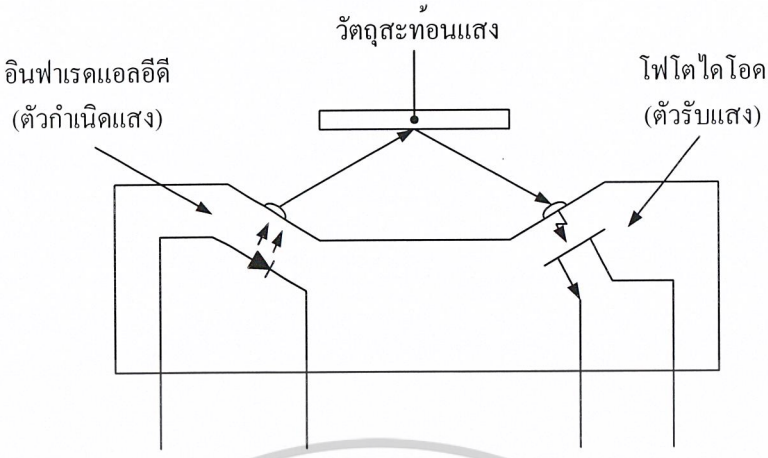


รูปที่ 2.22 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

4.2) โฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน

บางครั้งเรียกว่า "โฟโตอินเตอร์รัพเตอร์แบบสะท้อน" มีทั้งตัวกำเนิดแสงเหมือนกับแบบแรก เพียงแต่ทั้ง 2 ตัวไม่หันหน้าเข้าหากัน แต่เรียงอยู่ด้านเดียวกัน แสงจากตัวกำเนิดแสงจะส่องออกไปด้านนอกและจะไม่เข้าตัวรับเลย แต่ถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ารับแสงที่ส่องออกมาจะสะท้อนกับวัตถุและสะท้อนกลับไปที่ตัวรับแสง จะทำให้ได้สัญญาณออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน

ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟราเรดแอลอีดี ตัวรับแสงจะเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ จากโครงสร้าง โฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน จะเห็นว่าผลของแสงโดยรอบจะมีผลต่อการทำงานมาก ดังนั้นที่ตัวรับจะติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อกรองแสงธรรมชาติออกไปที่ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง บางครั้งจะมีเลนส์ติดตั้งไว้ ถ้ามีเลนส์จะสามารถตรวจจับการเข้ามาใกล้ของวัตถุตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ขึ้นไปจนถึงหลายมิลลิเมตร แต่แบบนี้จะไม่ไวเท่ากับแบบแรก

2.6.3 วิธีการตรวจจับของระบบโฟโตอิเล็กตริก

วิธีการตรวจจับมีง่ายๆ อยู่ 5 แบบ เป็นชนิดของการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวรับแสง วิธีการเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวัสดุของวัตถุ ขนาด และระยะห่างระหว่างวัตถุกับแหล่งกำเนิดแสง

1) วิธีส่องสว่างโดยตรง (Through-Beam Method)

เป็นวิธีที่ใช้ตัวรับแสงที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง และทำงานเมื่อมีวัตถุมาบังหรือกั้นแสงไว้ โดยทั่วไปวัตถุนั้นต้องบังแสงไว้ให้ได้หมด ระบบจึงจะทำงานแต่บางระบบก็อาจออกแบบให้ทำงานเมื่อวัตถุบังแสงไว้เพียงบางส่วนก็ได้ เนื่องจากระบบนี้ใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องตรงมายังตัวรับแสง จึงสามารถตรวจจับวัตถุได้ในระยะไกลถึง 50 ฟุตหรือมากกว่า วัตถุที่จะตรวจจับได้ต้องเป็นวัตถุทึบไม่โปร่งแสง ระบบนี้สามารถตรวจจับได้แม้วัตถุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 นิ้ว

2) วิธีแพร่สะท้อนแสง (Diffuse Reflection)

ใช้แสงส่องไปยังพื้นผิวที่เรียบหรือไม่เป็นมัน ซึ่งแสงจะสะท้อนไปยังตัวรับแสง แสงที่สะท้อนจะลดความเข้มลงแต่ยังคงแรงพอที่จะส่งไปให้ตัวรับแสงได้ แม้ว่าแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะอยู่กล่องเดียวกันก็ตาม แต่ทิศทางการส่งแสงและสะท้อนรับแสงจะไม่เกี่ยวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางที่ไกลที่สุดที่จะใช้ได้ผลตามปกติไม่เกิน 4 หรือ 5 ฟุต และเป้าวัตถุที่จะตรวจจับจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 4 ถึง 6 นิ้ว วิธีการนี้ใช้งานได้ดีที่สุดสำหรับวัตถุเรียบและมีสีอ่อน

3) วิธีสะท้อนผิวมัน (Specular Reflection)

เป็นวิธีการส่งแสงไปยังพื้นผิวที่จะทำให้แสงจะสะท้อนเป็นมุมกลับเข้าตัวรับแสง เนื่องจากมุมที่จะจัดต้องพอดีตรงกับตัวรับแสง ดังนั้นตำแหน่งของเป้าวัตถุที่จะตรวจจับต้องเที่ยงตรงมาก จึงใช้ได้ในระยะใกล้ คือ ไม่เกิน 6 นิ้ว ขนาดของเป้าวัตถุไม่จำกัด แต่บางครั้งเนื่องจากตำแหน่งของพื้นผิวที่จะสะท้อนแสงให้ตรงกับตัวรับแสงมีผลให้ต้องจำกัดขนาดของเป้าวัตถุอยู่บ้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน

4) วิธีสะท้อนย้อนกลับ (Retroreflectoin)

เป็นวิธีการส่งแสงไปยังตัวสะท้อนแสงพิเศษ (พื้นที่ใช้ปกติมักเป็นพลาสติก ของเหลว และสีที่ทาก็ใช้แทนได้ พื้นผิวที่สะท้อนจะประกอบด้วยส่วนเล็กๆ ภายในเป็นมุมต่างๆ ซึ่งจะช่วยสะท้อนแสงกลับไปยังที่เดิมได้) แหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะอยู่ใกล้กันมาก ใช้งานได้ไกลสูงสุดประมาณ 30 ฟุต หรือมากกว่า เป้าวัตถุที่ตรวจได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 นิ้ว เป็นอย่างน้อยแผ่นพื้นผิวที่เป็นตัวสะท้อนจะติดอยู่ทางด้านหนึ่งบนเป้าวัตถุที่จะตรวจจับซึ่งมีแสงส่งไปถูกได้ หรือให้เป้าวัตถุอยู่กลางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับตัวสะท้อนก็ได้ การตรวจจับวัตถุผ้าต้องให้วัตถุอยู่กลางแหล่งกำเนิดแสงกับตัวสะท้อนจึงจะตรวจจับได้ แต่ควรใช้ระบบที่ปรับความไวได้ด้วย เพราะความเข้มของแสงจะลดลงเมื่อวัตถุผ้ามากั้นไว้ (แสงผ่านวัตถุผ้า 2 ครั้งจึงลดลงมาก)

5) วิธีลำแสงตัดกัน

ใช้กับวัตถุขนาดเล็ก การควบคุมที่เที่ยงตรง และการทำงานความไวสูง โดยไม่ต้องใช้เลนส์ช่วย

2.6.4 วิธีการพิจารณาเป้าวัตถุ

การเลือกใช้ระบบโฟโตอิเล็กตริกให้เหมาะสมกับการใช้งานต้องพิจารณาถึงเป้าวัตถุที่จะมากั้นลำแสงด้วย สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ขนาดของเป้าวัตถุ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเป้าวัตถุ ชนิดของเป้าวัตถุ ระยะห่างระหว่างเป้าวัตถุกับแหล่งกำเนิดแสง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสว่างของสภาพแวดล้อมช่วยในการตัดสินใจด้วย

1) ขนาดของเป้าวัตถุ

ดูจากขนาดพื้นที่หน้าตัดที่มาคั่นลำแสง โดยทั่วไปจะคิดพื้นที่ซึ่งตัดตั้งฉากกับลำแสง ขนาดของวัตถุนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงที่จะใช้ด้วย บางครั้งการตรวจจับจะใช้วิธีการตรวจจับลักษณะบางอย่างบนพื้นผิวที่กั้นแสง เช่น ตรวจจับรูดโหว่ ช่องว่าง หรือส่วนที่นูนขึ้นมาของชิ้นส่วน เครื่องจักร ตัวอย่างเช่น การวัดปริมาณ จะใช้การตรวจจับพื้นผิวของเป้าวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งชิ้นที่ผ่านมาตามสายพานมากั้นลำแสง แต่สำหรับการตรวจจับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ประกอบสำเร็จด้วยเครื่องอัตโนมัติว่าประกอบเรียบร้อยดีหรือไม่ ต้องใช้วิธีการตรวจดูรูเล็กในตำแหน่งที่กำหนดไว้แน่นอนว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องแสดงว่าชิ้นส่วนนั้นใช้ไม่ได้ โดยทั่วไปแล้วยิ่งเป้าวัตถุอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดแสงมากก็จะลดขนาดวัตถุที่จะตรวจจับลงได้มาก สำหรับวิธีการส่องแสงไปยังตัวรับแสงโดยตรงและวิธีสะท้อนย้อนกลับนั้น การลดอัตราขยายของวงจรที่ใช้ให้น้อย (ตามธรรมดาจะมีปุ่มปรับอัตราขยายอยู่ในตัว) ก็สามารถลดขนาดของเป้าวัตถุที่จะตรวจจับลงได้ ส่วนวิธีแพร่สะท้อนลำแสงและวิธีสะท้อนผิวมันจะกลับกันกับวิธีข้างต้น

2) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเป้าวัตถุ

ใช้พิจารณาประกอบกับขนาดของเป้าวัตถุและผลตอบสนองของวงจรขยาย ในการใช้งานส่วนใหญ่มักจะไม่ต้องคำนึงถึงผลตอบสนองของวงจรขยาย เพราะวัตถุจะกั้นลำแสงไว้นานกว่า 1 วินาที ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของวงจรขยาย อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของเป้าวัตถุเร็วมาก ก็ต้องพิจารณาผลตอบสนองของวงจรขยายไว้ด้วย วงจรขยายทั่วไปมีผลตอบสนองในช่วง 50 ไมโครวินาที ถึง 2 มิลลิวินาที ถ้าแหล่งกำเนิดแสงเป็นแอลอีดีวงจรขยายที่ใช้จะมีผลตอบสนองช้าลงเล็กน้อย เพราะวงจรขยายทำงานจากสัญญาณพัลส์

วงจรที่มีผลตอบสนองเร็วมากต้องมีความไวสูงมาก เพื่อให้สามารถทำงานได้ แม้ว่าลำแสงที่โฟโตทรานซิสเตอร์รับมาจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ไม่ต้องการผลตอบสนองที่เร็วเป็นพิเศษหรือไวสูงมาก ดังนั้นจึงปรับวงจรขยายให้คลาดไปได้บาง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้ดีขึ้น

3) ชนิดของเป้าวัตถุ

ลักษณะของพื้นผิววัตถุว่าเรียบด้านหรือเป็นมัน และคุณสมบัติในการกั้นกรองลำแสงว่าทึบฝ้าหรือโปร่งแสง ตัวอย่างเช่น แผ่นแก้วเป็นวัตถุมันที่โปร่งแสง พลาสติกเป็นแผ่นมันและฝ้า เหล็กกล้าของเครื่องจักรเป็นมันและทึบ กระดาษมีลักษณะเรียบและฝ้า ผ้าเป็นวัตถุด้านและเป็นฝ้า ลักษณะต่างๆ ของเป้าวัตถุซึ่งเป็นปัจจัยในการเลือกระบบโฟโตอิเล็กตริก โดยทั่วไปแล้วระบบโฟโต อิเล็กตริกแบบหนึ่งก็เหมาะสมการตรวจจับเป้าวัตถุเฉพาะอย่างหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ระบบส่องลำแสงโดยตรงใช้ในการตรวจจับแผ่นแก้วใสหน้า 1/8 นิ้วย่อมไม่ได้ผล การใช้วิธีสะท้อนผิวมันจะดีกว่า เป้าวัตถุที่เป็นฝ้าต้องการระบบโฟโตอิเล็กตริกแบบสะท้อนแสงจึงจะทำงานได้ดี แต่ถ้าแหล่งกำเนิดแสงไม่แรงนัก และสามารถลดอัตราขยายของวงจรขยายลงได้ก็สามารถใช้วิธีให้วัตถุฝ้ากั้นลำแสงในการใช้งานก็ได้ ซึ่งระบบส่องลำแสงตรงก็ยังพอใช้ได้ ถ้าต้องการใช้งานโดยให้วัตถุฝ้าตัดลำแสง วิธีที่ดีที่สุด คือ วิธีสะท้อนย้อนกลับ เพราะลำแสงที่ผ่านวัตถุฝ้าแล้วกลับมาเข้าตัวรับแสงจะถูกลดความเข้มลงไปอีก 2 ครั้ง จึงตรวจจับได้ง่าย สำหรับวัตถุที่ผิวเป็นมันต้องระวังในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ระบบสะท้อนย้อนกลับ เพราะว่าวัตถุจะสามารถจะสะท้อนแสงย้อนกลับมายังตัวรับแสงทำให้สัญญาณที่ได้รับผิดพลาดมาก ทางที่ดีควรใช้ระบบส่องลำแสงตรงสำหรับวัตถุที่ผิวเป็นมัน

4) ระยะห่างระหว่างเป้าวัตถุกับแหล่งกำเนิดแสง

ระยะห่างที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นหลายอย่าง เช่น ความสกปรกของสภาพแวดล้อมจะกั้นลำแสงกระจายหรือลดความเข้มของลำแสงได้ ระยะห่างนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มของลำแสงมาก การจะหาระยะห่างสำหรับการใช้งาน ต้องหาระยะห่างที่สุดที่ระบบจะทำงานได้ในสภาวะที่สภาพแวดล้อมไม่สกปรก แล้วก็ระยะห่างที่สุดในสภาวะที่สภาพแวดล้อมสกปรกที่สุดที่อุณหภูมิและแรงดันให้ได้เท่ากัน ซึ่งระยะทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดของระบบนี้เอง การควบคุมระบบโฟโตอิเล็กตริกจะมีระยะห่างที่สุด 30 ฟุต ซึ่งสภาพแวดล้อมต้องสะอาดมาก ถ้าสภาพแวดล้อมสกปรกก็จะต้องปรับระยะห่างให้น้อยลง

เมื่อรู้ระยะห่างที่สุดในการทำงานสำหรับสภาพแวดล้อมที่สะอาดมากแล้ว การเลือกระยะห่างในการใช้งานจริงๆ ก็คิดเปรียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของระยะห่างนั้น สำหรับโรงงานที่สะอาดควรเลือกระยะห่าง 75% ของค่าระยะห่างที่สุดที่ทดลองได้ในสภาพแวดล้อมที่สะอาดมาก ถ้าสภาพแวดล้อมที่สกปรกเล็กน้อยมีฝุ่นสีอ่อนๆ ก็ลดระยะเหลือ 50% และลดลงเหลือ 25% สำหรับสภาพแวดล้อมที่สกปรกมากขึ้นที่มีฝุ่นดำ หรือละอองของเหลวกระจายในสภาพแวดล้อมนั้น และสภาพแวดล้อมที่สกปรกมากก็ลดลงเหลือ 10%

5) แสงสว่างของสภาพแวดล้อม

การสะท้อนแสงจากที่อื่นอาจก่อให้เกิดสัญญาณที่ผิดพลาดได้ โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟแบบไส้ที่ใช้ในสถานที่ เช่น โรงหล่อ โรงงานเหล็กกล้า บริเวณที่ทำการเชื่อมโลหะ บริเวณที่มีแดดจ้าการใช้งานต้องปรับแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงด้วยเลนส์และกระจกพิเศษ เพื่อบีบลำแสงให้พุ่งตรงจากแหล่งกำเนิดไปเข้าตัวรับแสงจริงๆ และลดผลของแสงสว่างจากภายนอกลง โดยคุณสมบัติต่างๆ ยังดีเหมือนเดิม แต่ถ้าใช้แอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงจะขจัดผลของแสงสว่างภายนอกลงไปได้ เพราะแอลอีดีส่งแสงเป็นพัลส์ไปยังตัวรับแสง แสงอื่นๆ จะไม่มีผล

2.7 อัตราทดความเร็ว

อัตราทด (velocity ratio) m_ω คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วของล้อขับต่อความเร็วรอบของล้อตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_{\omega} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.1)$$

โดยที่ m_{ω} คือ อัตราทด

n คือ ความเร็วรอบ rpm

1) ความต้องการการเคลื่อนที่ของรถ (Automotive Resistance)

ในการขับเคลื่อนรถมีความต้านทานที่จะต้องพิจารณา คือ ความต้านทานจากลม ความต้านทานการหมุน เราได้นำค่าความต้านทานเนื่องจากแรงเสียดทานมาคิดเพียงอย่างเดียว และได้คำนวณแรงในแนวทางราบเพียงอย่างเดียว

2) ความต้านทานเนื่องจากอากาศ (Air Resistance)

รถทุกชนิดที่วิ่งบนท้องถนนนั้นเมื่อยางสัมผัสกับถนนในขณะที่ล้อหมุนเพื่อวิ่งไปข้างหน้าจะเกิดแรงเสียดทานการหมุนกลิ้งกับผิวถนน และอีกอย่างหนึ่งคือ แรงต้านทานการหมุนจากรถเนื่องจากรถต้องวิ่งแหวกอากาศออกไปซึ่งที่ความเร็วต่ำ แรงต้านทานการหมุนจากลมน้อยมากจนไม่สามารถเปรียบเทียบกับแรงเสียดทานการหมุน แต่ถ้ารถวิ่งด้วยความเร็วสูงแรงต้านทานจากลมจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง

3) ความต้านทานเนื่องจากการหมุน (Rolling Resistance)

ความต้านทานนี้เกิดเมื่อรถเคลื่อนที่ โดยมีองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

ความต้านทานของการกระแทก (Impact Resistance) ผิวถนนที่ขรุขระจะทำให้ล้อยางยืดหยุ่นและเปลี่ยนไปตามรอยขรุขระ ค่ารอยขรุขระรถมีมากหรือยางมีสภาพยืดหยุ่นไม่ดี จะเกิดการกระแทกขึ้นระหว่างยาง และผิวถนนขนาดของแรงกระแทกขึ้นอยู่กับวัตถุที่ทำพื้นถนน น้ำหนักรถ และความเร็ว

ความต้านทานที่ผิวถนน (Surface Resistance) คือความเสียดทานระหว่างยางกับ ผิวถนนระหว่างรถเคลื่อนที่ค่าของความต้านทาน ที่อยู่กับผิววัสดุที่ถนนและสภาพพื้นถนนที่ขับอยู่ว่าแห้งเปียก และเหลวเป็นโคลน ผิวถนนที่แห้งจะมีความต้านทานน้อยกว่าผิวถนนที่เปียกหรือเป็นโคลน

ความต้านทานภายในตัวรถ (Internal Resistance) จะเกิดขึ้นจากตลับลูกปืน เพลา แกนล้อเป็นต้น เมื่อชิ้นส่วนเหล่านี้เคลื่อนที่จะเกิดการเสียดสีกับชิ้นงานส่วนอื่นๆ ทำให้เกิดการ สึกหรอ ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานนี้ คือ ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นปริมาณอากาศในล้อและชนิดของยาง ขณะรถเคลื่อนที่นั้นความต้านทานที่ผิวถนนและความต้านทานในตัวรถจะค่อนข้างมีค่าคงที่ จะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถ โดยมีความต้านทานของการกระแทกจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 มอดูเลตความกว้างพัลส์

วิธีการควบคุมแบบนี้สามารถแก้ไขข้อเสียของแบบการควบคุมความกว้างของพัลส์ได้โดยสามารถที่จะช่วยลดฮาร์โมนิคลงได้มากกว่า ซึ่งการควบคุมทำได้โดยการแบ่งความกว้างของพัลส์ในช่วงครึ่งไซเคิลออกเป็นพัลส์ย่อยๆ หลายๆ พัลส์แล้วนำไปขับอุปกรณ์เพาเวอร์สวิตชิ่งที่มีเทคนิคการสร้างอยู่หลายวิธีเช่น

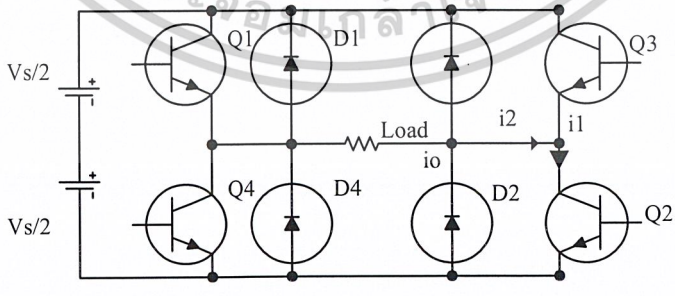
การใช้วงจรควบคุมไฟสลับซึ่งอาจจะเป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรในบางขณะหรืออาจจะเป็นสวิตช์ตัดที่ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลง

การใช้วิธีเปลี่ยนค่าไฟกระแสตรงที่ขาเข้าของอินเวอร์เตอร์โดยการควบคุมการเรียงกระแส (Controlled Rectifier) หรือการใช้ DC-DC Converter

การควบคุมแพทเทิร์นของการสวิตช์โดยการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นพาหะ (Carrier wave) กับสัญญาณอื่นๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดความถี่ได้ เช่น รูปคลื่นไซน์ ระดับไฟตรง ซึ่งจะได้กล่าวถึง PWM ในแบบต่างๆ ดังนี้

2.8.1 Single-Pulse-Width-Modulation

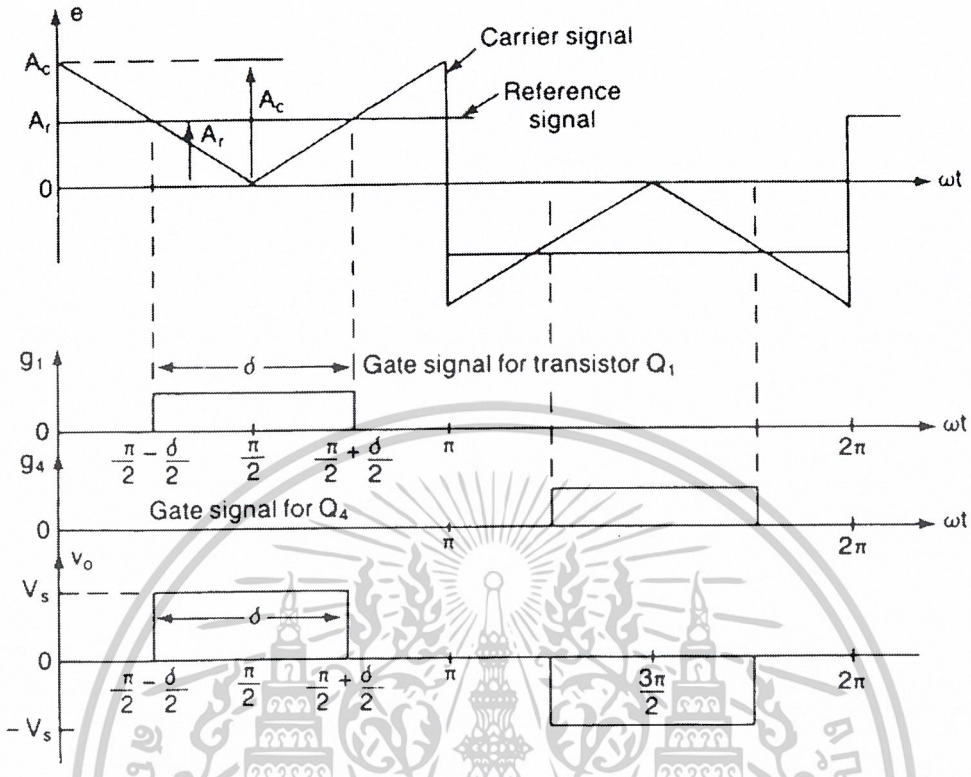
เทคนิคการควบคุมแบบ Single-Pulse-Width-Modulation นี้จะมีเพียงหนึ่งพัลส์ต่อครึ่งไซเกิล ความกว้างของพัลส์จะเปลี่ยนตามแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์รูปที่ 2.24 เป็นลักษณะของสัญญาณเกท (gating signal) และแรงดันเอาต์พุตของ Single-phase full-bridge inverters. สัญญาณเกทจะเกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบกันจากแรงดันไฟตรงที่มีแอมปลิจูดเป็น A_r กับรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่มีแอมปลิจูดเป็น A_c ซึ่งความถี่ของสัญญาณอ้างอิง (Reference signal) จะแสดงถึงความถี่มูลฐานของแรงดันเอาต์พุต



(ก) circuit

รูปที่ 2.24 Single-Pulse-Width-Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



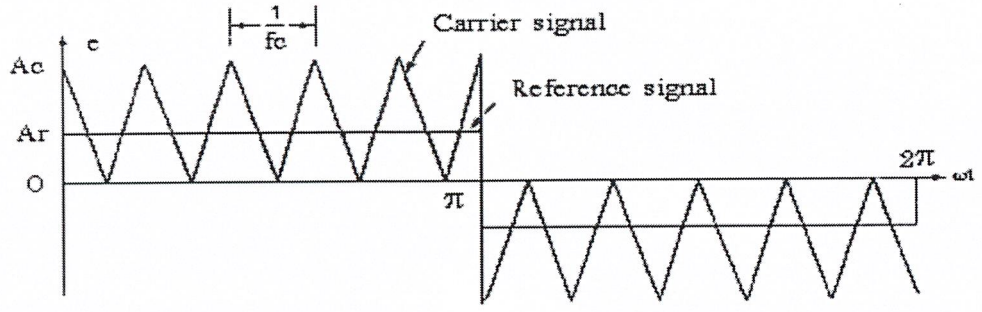
(ข) Gating signals and Output voltage

รูปที่ 2.24 (ต่อ) Single-Pulse-Width-Modulation

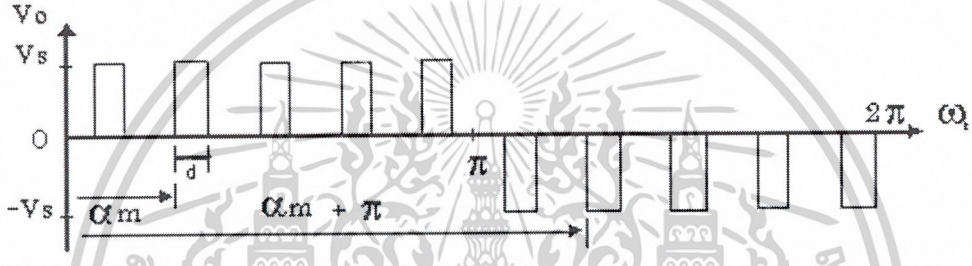
2.8.2 Multiple-Pulse-Width-Modulation

เทคนิคนี้ฮาร์โมนิคจะลดลงโดยการเพิ่มจำนวนพัลส์ในทุกๆ ครึ่งไซเคิลของแรงดันเอาต์พุต สัญญาณเกทที่ใช้ในการเทอร์นออนและเทอร์นออฟทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.25 (ก) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับระดับไฟตรง การเปลี่ยนค่ามอดูเลตชั่นอินดักซ์จาก 0 ถึง 1 จะทำให้ความกว้างของพัลส์ เปลี่ยนจาก 0 จนถึง π/P และแรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 0 จนถึง V_s รูป 2.25 (ข) เป็นแรงดันเอาต์พุตของการมอดูเลตชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Gate signal generation



(ข) Output voltage

รูปที่ 2.25 Multiple-Pulse-Width-Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

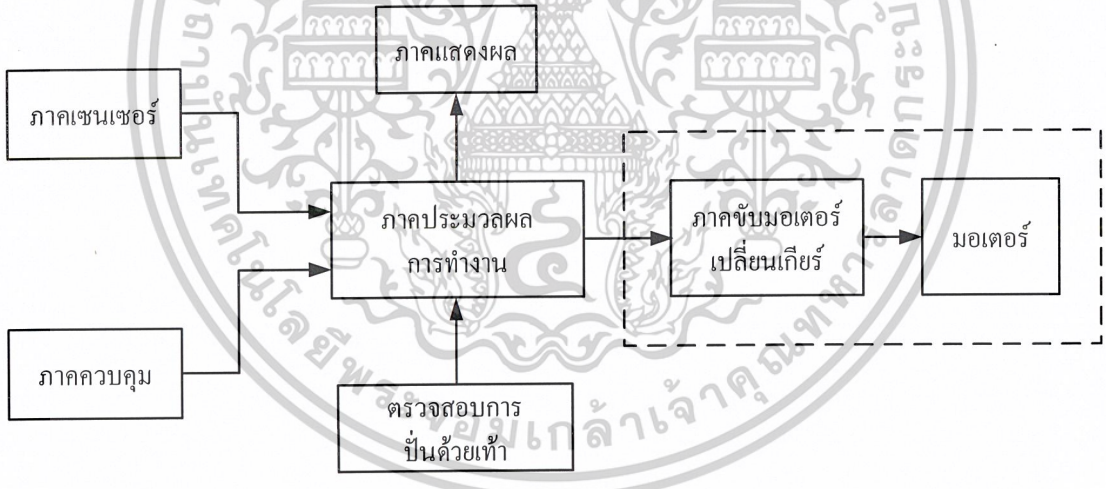
3.1 กล่าวนำ

จากหลักการ และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติสามารถทำการออกแบบ และสร้างวงจรการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติในแต่ละส่วน โดยมีขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การออกแบบ ไปจนถึงการสร้าง และการทำงาน ดังต่อไปนี้

3.2 การออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติจะแบ่งตามขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.2.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมระดับเกียร์



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมระดับเกียร์

จากแผนผังการทำงานของระบบควบคุมระดับเกียร์ในรูปที่ 3.1 สามารถแยกโครงสร้างการทำงานในแต่ละส่วนของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติได้ดังนี้

1) วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

2) วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3) วงจรแสดงผลความเร็ว

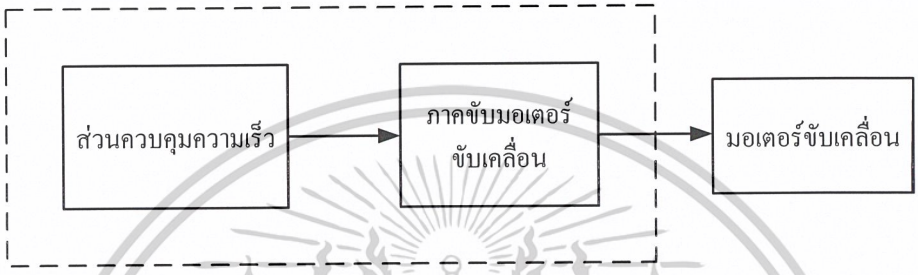
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

5) วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

6) วงจรแหล่งจ่ายไฟ

3.2.2 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

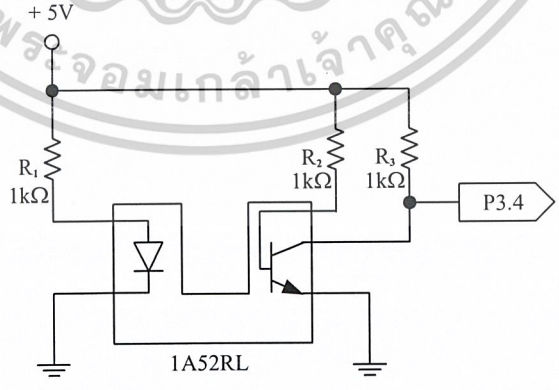


รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

3.3 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

3.3.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรเซนเซอร์ความเร็วเป็นวงจรที่ใช้วัดความเร็วการเคลื่อนที่ของจักรยานโดยใช้ออปโต้อินเตอร์รัพเตอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์



รูปที่ 3.3 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

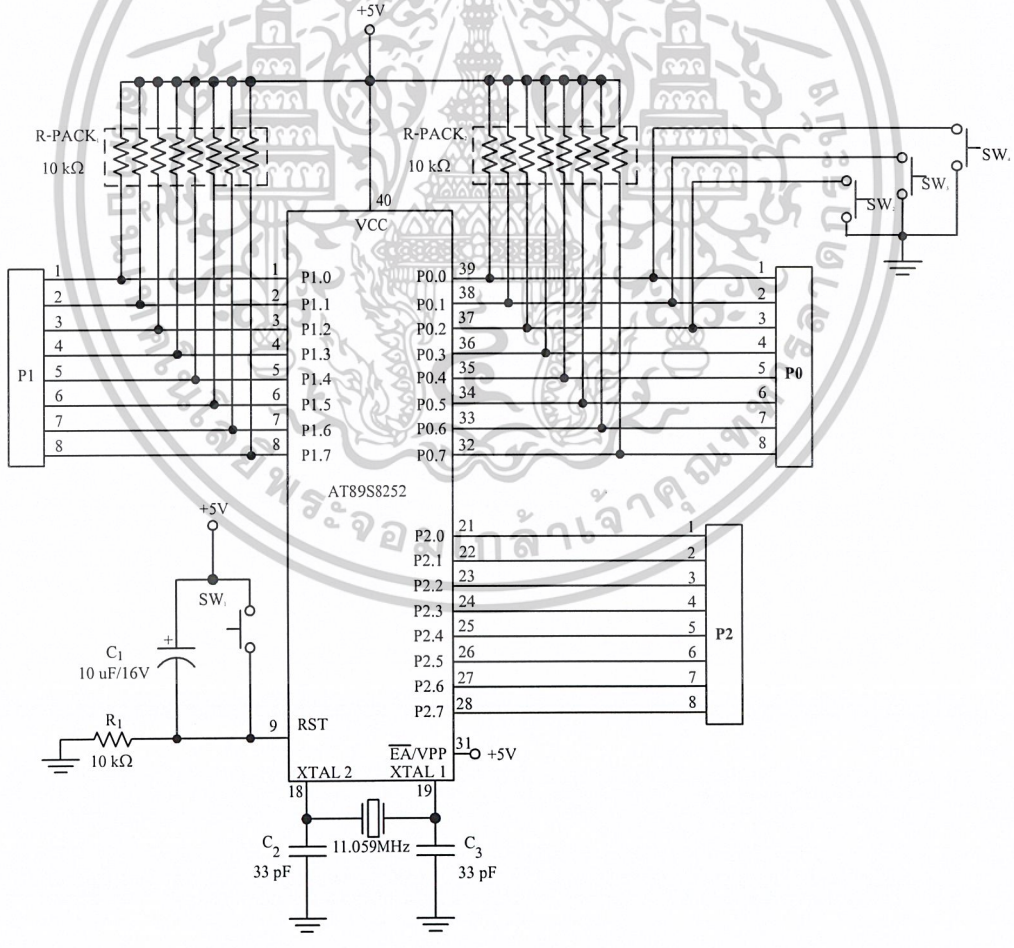
3.3.2 การทำงาน

เมื่อจ่ายไบอัสให้กับออปโต้อินเตอร์รัพเตอร์ในสภาวะที่ไม่มีวัตถุทึบแสงตัดผ่านจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ขา 3 เป็น 0 โวลต์และถ้ามีวัตถุทึบแสงตัดผ่านจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ขา 3 มีค่าแรงดันประมาณ 5 โวลต์ดังรูปที่ 3.3

3.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

3.4.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับคำสั่งการทำงานและควบคุมการเปลี่ยนเกียร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252 เป็นตัวประมวลผลการทำงาน



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทำงาน

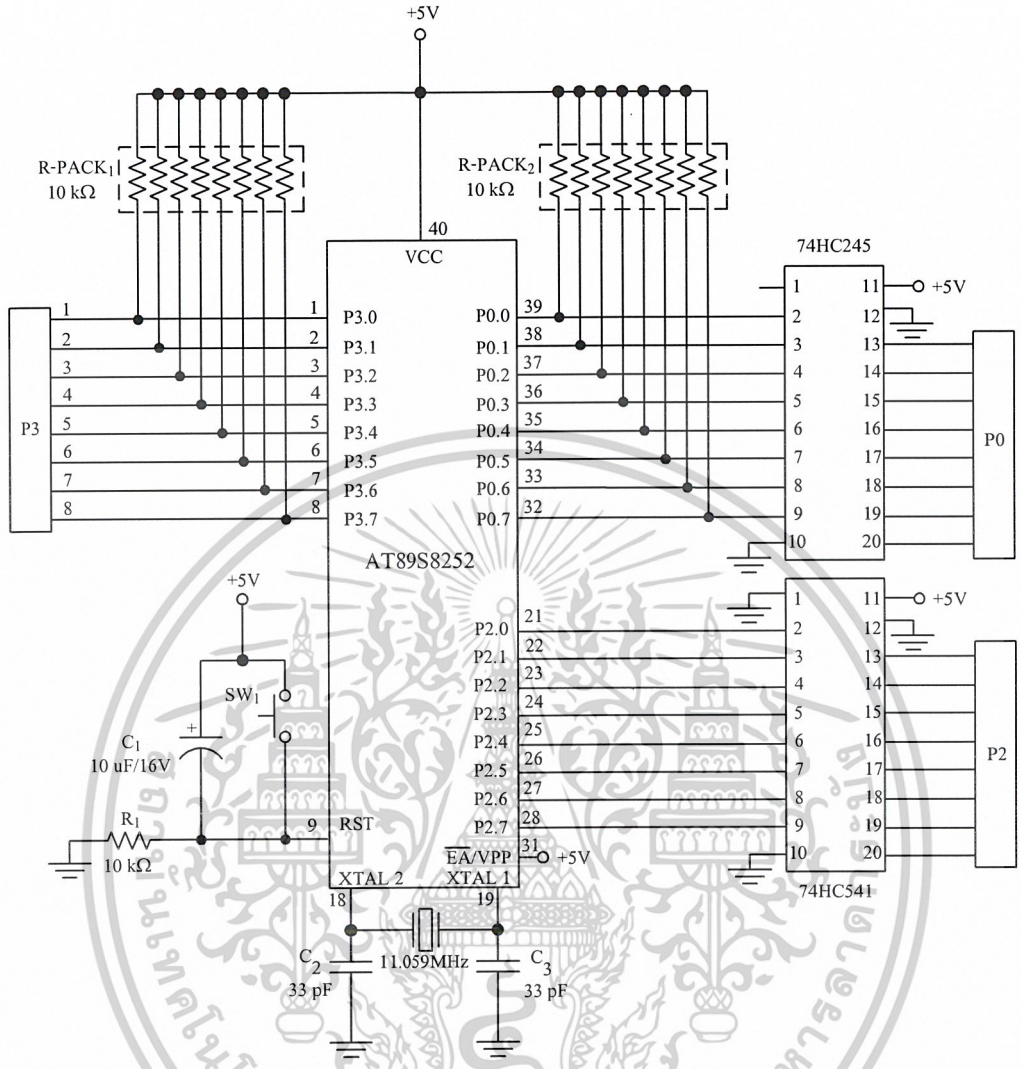
จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252 ในการควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ ซึ่งจะบรรจุโปรแกรมที่ทำงานในโหมดการเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งจะรับค่าของความเร็วเข้ามาที่พอร์ต P2 และจากสวิตช์ SW_2 , SW_3 , SW_4 และ สัญญาณตรวจสอบการปั่นด้วยเท้าเข้าที่พอร์ต P0 เพื่อทำการประมวลผลและผลที่ได้จากการประมวลผลจะส่งออกทางพอร์ต P1 เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้สามารถเปลี่ยนเกียร์ขึ้นลงได้ และจัดเก็บข้อมูลของระดับเกียร์ลงใน EEPROM ด้วย

3.5 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

3.5.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากภาคเซนเซอร์ก่อนที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S52 ทำการประมวลผลออกมาเป็นค่าของความเร็วในการเคลื่อนที่ของจักรยานและส่งต่อไปยังวงจรแสดงผลความเร็วซึ่งจะทำหน้าที่แสดงค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของจักรยานในขณะนั้นซึ่งวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2 จะทำงานอย่างต่อเนื่องเมื่ออยู่ในระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและระบบการปั่นด้วยเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

3.5.2 การทำงาน

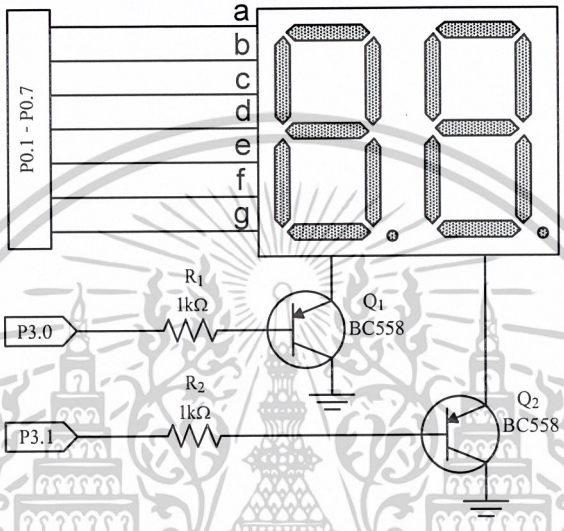
จากรูปที่ 3.5 เป็นวงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณจากวงจรเซนเซอร์เข้าทางขาพอร์ต P3.4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S52 แล้วทำการประมวลผล เพื่อหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ จากนั้นจะส่งออกพอร์ต P0 ไปยังไอซี เบอร์ 74HC245 เพื่อทำการขยายกระแส ก่อนที่จะแสดงผล พอร์ต P2 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลความเร็วไปให้กับวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรแสดงผลความเร็ว

3.6.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรแสดงผลความเร็วทำหน้าที่ในการแสดงผลความเร็วการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติโดยมีส่วนแสดงผลตัวเลข 7 ส่วนสองหลักเป็นตัวแสดงผล



รูปที่ 3.6 วงจรแสดงผลความเร็ว

3.6.2 การทำงาน

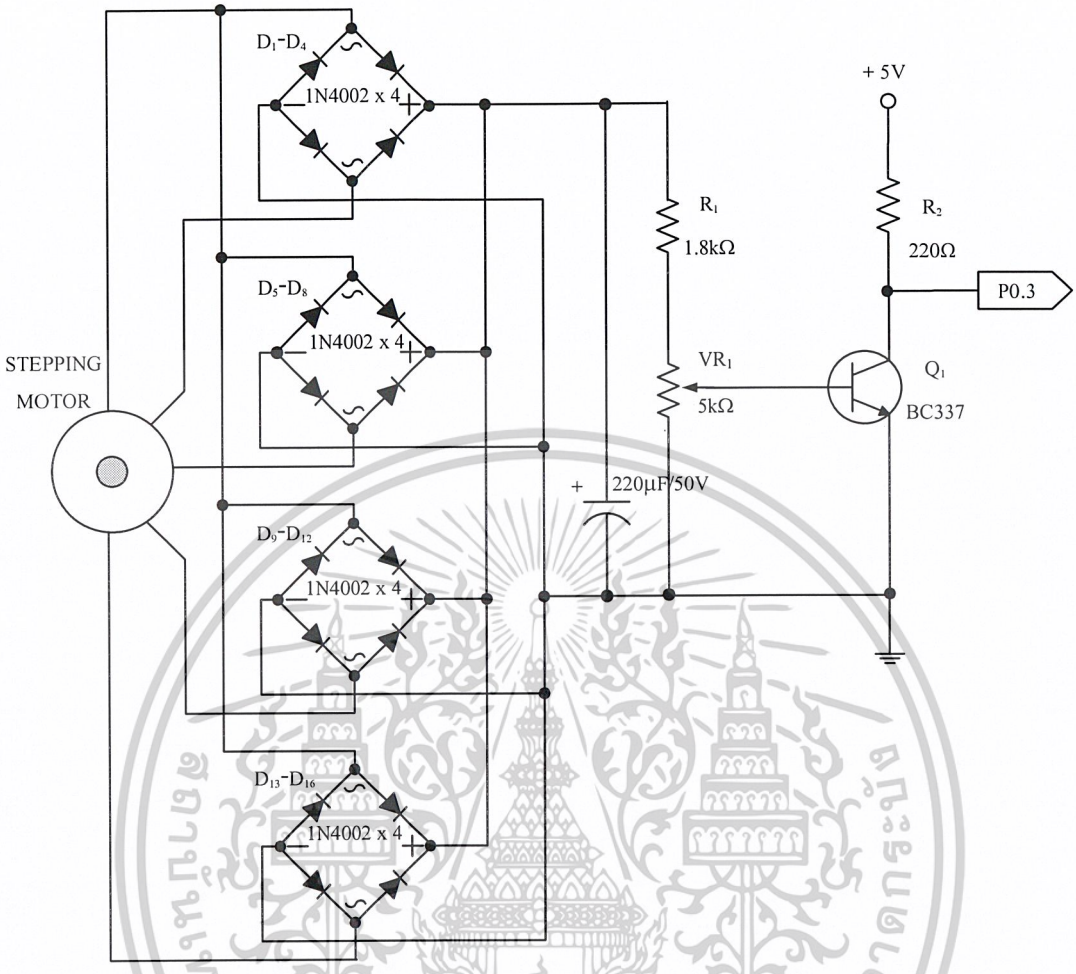
จากรูปที่ 3.6 วงจรแสดงผลความเร็วจะรับข้อมูลมาจากพอร์ต P0 เข้าสู่ส่วนแสดงผลตัวเลข 7 ส่วนและมีสัญญาณควบคุมหลักของส่วนแสดงผลตัวเลข 7 ส่วนซึ่งรับเข้ามาจากพอร์ต P3.0และ P3.1 และผ่านตัวต้านทาน R_1และR_2 เพื่อเป็นการจำกัดกระแสก่อนที่จะไบอัสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1และQ_2

3.7 วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

3.7.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้าเป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบการปั่นจักรยาน โดยนำมาใช้ในการตัดสินใจก่อนทำการเปลี่ยนเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

3.7.2 การทำงาน

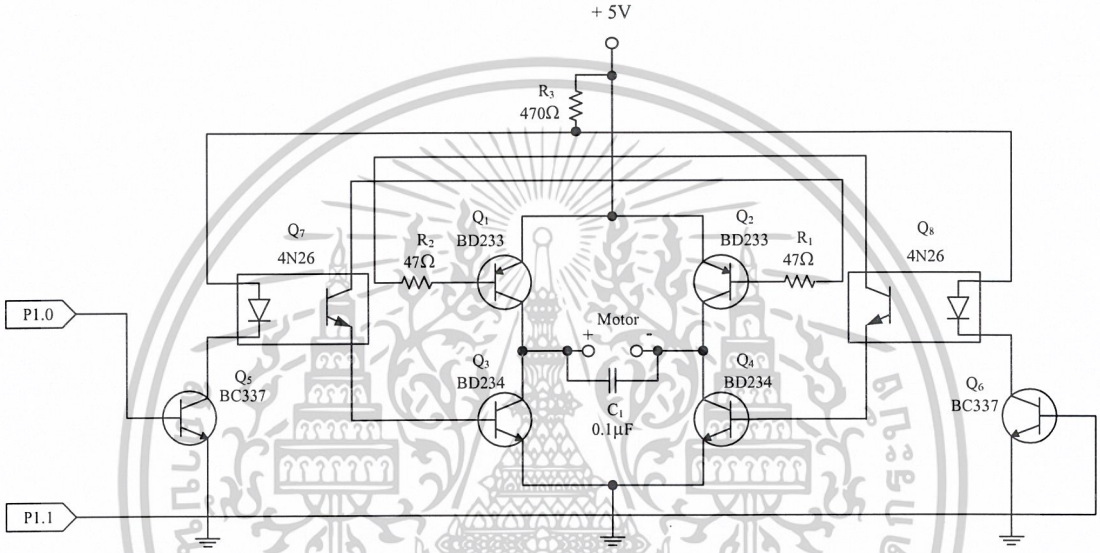
วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้าจะใช้ วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นไดนาโม เมื่อหมุนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรจะหมุนไปตัดขดลวดที่พันอยู่รอบๆ เรียกว่าสเตเตอร์ซึ่งจะมีอยู่ถึง 4 เฟสด้วยกัน ขดลวดจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วที่โรเตอร์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 4 เฟส เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นจะผ่านวงจรเร็กติไฟร์เต็มคลื่นแบบบริดจ์ทั้ง 4 เฟส เอาต์พุตที่ได้จากวงจรเร็กติไฟร์ทั้ง 4 วงจรจะถูกนำมาขนานกันคือ บวกต่อบวก ลบต่อลบ แล้วทำให้เรียบยิ่งขึ้นด้วยตัวเก็บประจุ จากนั้นจะใช้ VR_1 เพื่อทำหน้าที่แบ่งแรงดันก่อนไบอัสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 เพื่อป้อนสภาวะ “0” หรือ “1” ให้กับขาพอร์ต P0.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าป้อนสภาวะ “0” แสดงว่ามีการปั่นอยู่ แต่ป้อนสภาวะ “1” แสดงว่าไม่มีการปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

3.8.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์เพื่อให้มอเตอร์สามารถหมุนเพิ่มหรือลดระดับของเกียร์จักรยานได้ และมีกระแสเพียงพอสำหรับการขับมอเตอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

3.8.3 การทำงาน

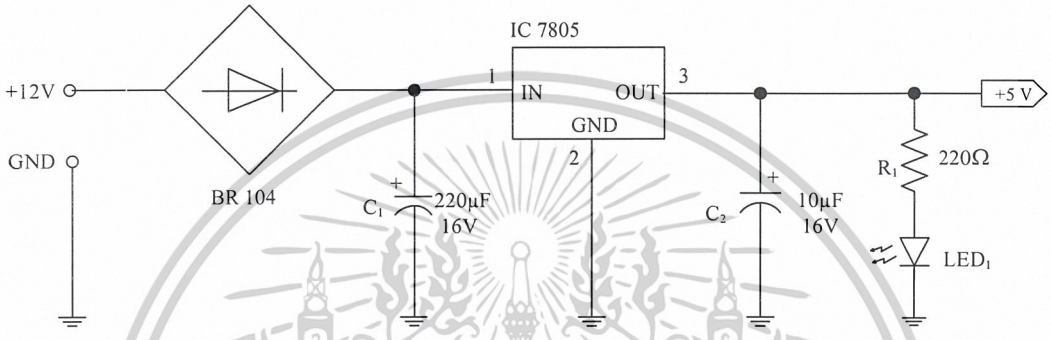
จากดังรูปที่ 3.8 เป็นวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์จำนวน 6 ตัวและโฟโต้ไดโอดจำนวน 2 ตัว โดยป้อนลอจิกที่พอร์ต P1.0 ให้เป็นสถานะลอจิก “1” และให้มีสถานะลอจิก “0” ที่พอร์ต P1.1 ซึ่งทำให้ Q_5 นำกระแสและส่งผลให้ Q_2และQ_3 นำกระแสไปด้วย ดังนั้นกระแสจะไหลจากขา E ของ Q_2 ผ่านไปยังมอเตอร์ผ่านขา C และผ่านไปยังขา E ของ Q_3 ในที่สุดและส่งผลให้มอเตอร์มีทิศทางการหมุนไปทางซ้าย ในทำนองเดียวกันหากเรากำหนดให้ลอจิกที่พอร์ต P1.0 เป็นสถานะลอจิก “0” และให้มีสถานะลอจิก “1” ที่พอร์ต P1.1 จะทำให้ Q_6 นำกระแสและส่งผลให้ Q_1และQ_4 นำกระแสไปด้วย ดังนั้นมอเตอร์จึงมีทิศทางการหมุนไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

3.9.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรแหล่งจ่ายไฟ ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับทุกส่วนของวงจร ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายแรงดันจำนวน 2 ชุด คือ แหล่งจ่ายแรงดันขนาด 12 โวลต์และแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

3.9.2 การทำงาน

วงจรแหล่งจ่ายไฟมีลักษณะการทำงานของวงจร คือ ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ได้แรงดันตามต้องการ ดังรูปที่ 3.9 เป็นการลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7805 เพื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร ส่วนแรงดันขนาด 12 โวลต์จากแบตเตอรี่สามารถนำมาใช้กับวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ได้โดยตรง

3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

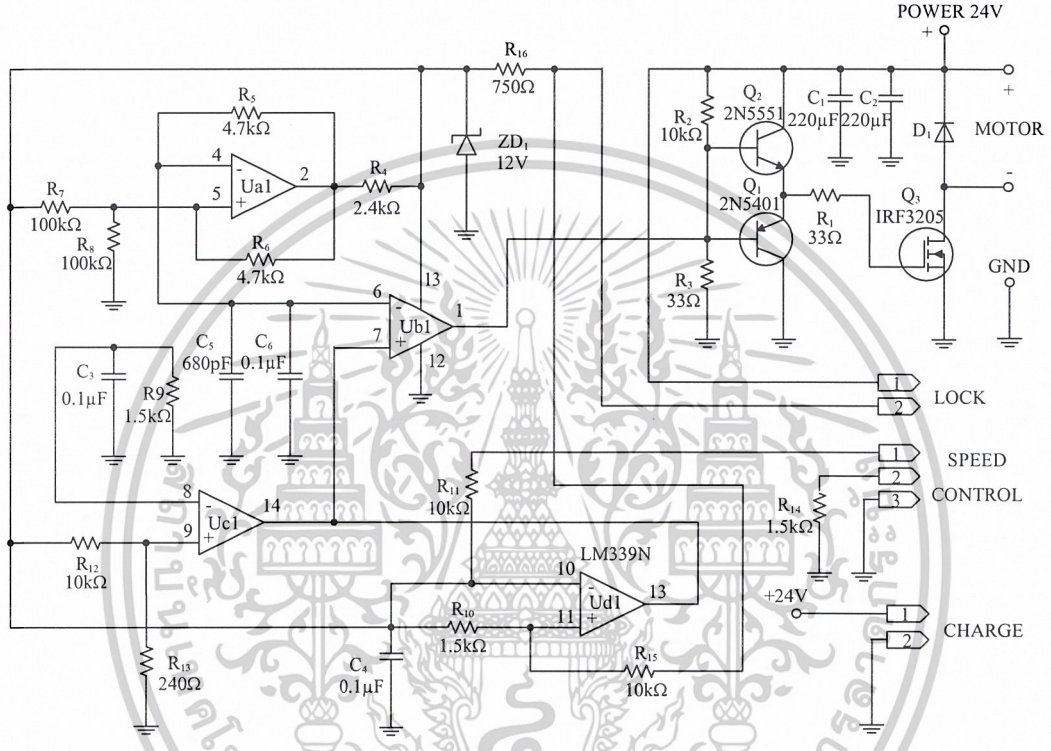
3.10.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์กระแสตรง หรือมอเตอร์กระแสสลับจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1) วงจรภาคควบคุมคือ นำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับขนาดแรงดันกระแสตรงที่สามารถแปรค่าได้ ทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ได้ตามขนาดแรงดันกระแสตรงที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรภาคกำลังใช้การจะออกแบบวงจรในส่วนของภาคกำลัง จะต้องทราบขนาดของมอเตอร์ว่ามีกี่วัตต์ และจะใช้แหล่งจ่ายพลังงานกี่โวลต์ เพื่อนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่ากระแสใช้งาน และนำค่ากระแสใช้งานไปทำการออกแบบหาขนาดของตัวสวิตช์ชิ่ง และต้องมีไดโอดเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ ซึ่งถ้าไม่มีการป้องกันในส่วนนี้จะทำให้วงจรได้รับความเสียหายได้



รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

3.10.2 การทำงาน

รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ไอซีเบอร์ LM339N ในส่วนของกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกระแสตรงด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ การเปรียบเทียบแรงดัน และการสร้างแรงดันอ้างอิง ซึ่งมีการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ คือ วงจรเปรียบเทียบแรงดันได้รับอินพุตเป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม และจากนั้นวงจรระดับแรงดันกระแสตรง จะทำการเปรียบเทียบซึ่งจะทำให้ความกว้างของพัลส์เปลี่ยนแปลงตามแรงดันกระแสตรง ซึ่งเมื่อความกว้างของพัลส์เปลี่ยนแปลงนั่นก็หมายถึงค่าแรงดันเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ก็จะได้แรงดันเฉลี่ยที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามตัวต้านทานปรับค่าได้ ก่อนที่จะป้อนเข้ากับ

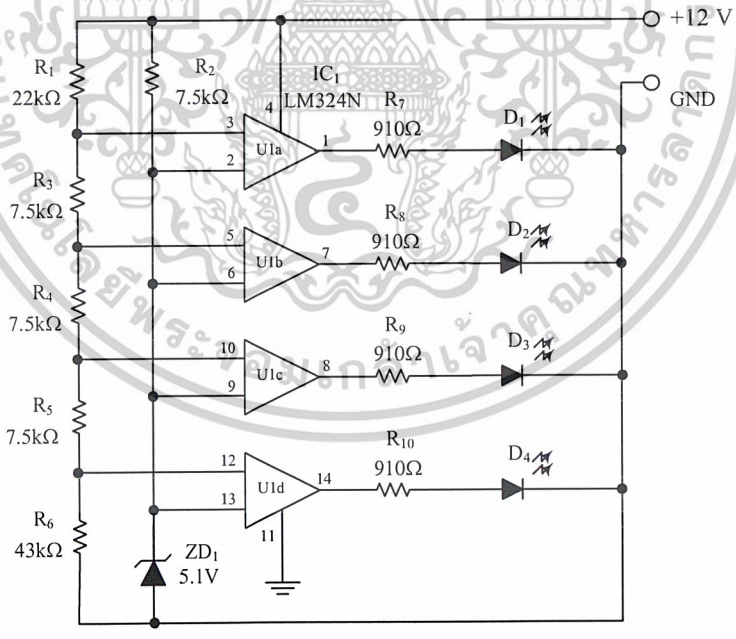
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำให้ขาเกตของมอสเฟต การทำงานของมอสเฟตจะทำงานด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขาเกต เพื่อควบคุมกระแสระหว่างขาเดรนและขาซอส นั่นคือถ้าแรงดันที่ขาเกตมาก กระแสที่ขาเดรนและซอส จะมากและถ้าแรงดันที่ขาเกตน้อยกระแสที่ขาเดรนและซอสจะน้อย เมื่อมอสเฟตทำงาน ก็จะทำให้กระแสไหลผ่านมอสเฟต ทำให้วงจรภาคกำลังครบวงจรก็จะทำให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่งนอกจากนั้นยังมี D_1 เป็นไดโอดป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ แสดงดังรูปที่ 3.10

3.11 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

3.11.1 การออกแบบและการสร้าง

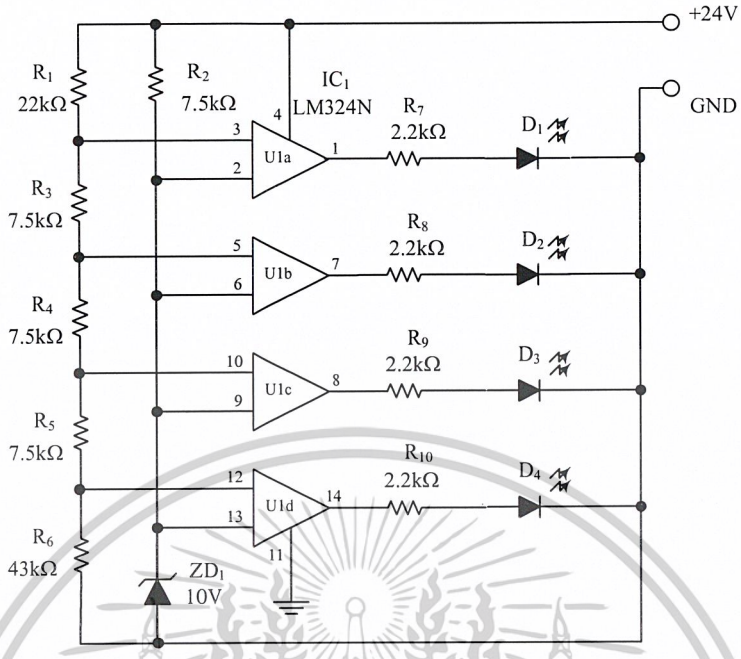
วงจรวัดระดับแบตเตอรี่จะแบ่งเป็น 2 วงจรคือ วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์ซึ่งเป็นวงจรที่ตรวจสอบระดับแรงดันแบตเตอรี่โดยจะแสดงผลของระดับแรงดันแบตเตอรี่ผ่านไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยใช้ ไอซีออปแอมป์ LM 324N เป็นตัวเปรียบเทียบระดับแรงดันแบตเตอรี่กับแรงดันอ้างอิง



(ก) วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 V

รูปที่ 3.11 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 V

รูปที่ 3.11 (ต่อ) วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

3.11.2 การทำงาน

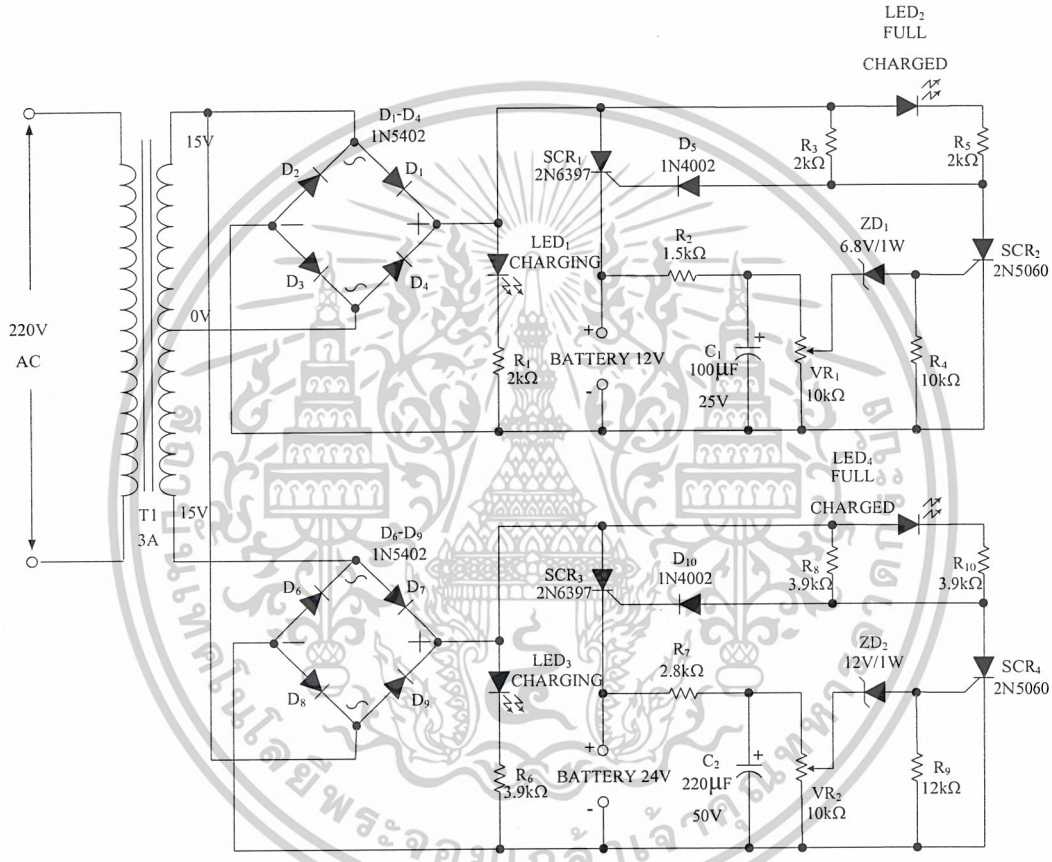
การทำงานของวงจรวัดระดับแบตเตอรี่จะใช้ออปแอมป์เบอร์ LM324N ต่อในลักษณะวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งวงจรเปรียบเทียบแรงดันนั้นจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวก สัญญาณที่เอาต์พุต จะมีค่าเป็นลบและมีขนาดเกือบเท่ากับ V_{CC} จากแหล่งจ่าย จากรูปที่ 3.11 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่จะเห็นได้ว่าอินพุตที่ขั้วลบจะใช้ซีเนอร์ไดโอด ZD_1 ควบคุมค่าแรงดันให้คงที่เพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวก ซึ่งจะมีตัวต้านทานต่อลำดับขั้นระหว่างออปแอมป์แต่ละตัว ซึ่งถ้าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวกตัวไหนน้อยกว่าแรงดันอินพุตที่ขั้วลบก็จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงตัวนั้นดับ โดยที่วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์จะใช้ซีเนอร์ไดโอด 5.1 โวลต์และที่วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์จะใช้ซีเนอร์ไดโอด 10โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

3.12.1 การออกแบบและการสร้าง

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบ่งเป็น 2 วงจรคือ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์และวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงแรงดันขนาด 15-0-15 โวลต์ กระแสขนาด 3 แอมป์วงจรจะหยุดชาร์จเมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว



รูปที่ 3.12 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.12.2 การทำงาน

การทำงานของวงจรในรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เริ่มต้นที่แรงดันไฟ AC220V จะผ่านมายังหม้อแปลง เพื่อแปลงแรงดัน และนำมาผ่านชุดไดโอดบริดจ์ เพื่อเรียงกระแสไฟสลับให้ออกมาเป็นไฟกระแสตรง เริ่มแรก SCR_1, SCR_3 จะทำงาน เนื่องจากมีแรงดันไฟบวก ไหลผ่าน R_3, R_8 เพื่อจำกัดกระแสให้ลดลงและไหลผ่านไดโอด D_5, D_{10} เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับ ก่อนที่จะไบอัสให้กับขา G ของ SCR_1, SCR_3 ขณะที่ SCR_1, SCR_3 นำกระแส จะทำให้แรงดันไฟบวก ไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขา K และไปป้อนให้กับขั้วบวกของแบตเตอรี่ SCR_1, SCR_3 จะนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับไปมาอย่างเร็วด้วยความถี่ 100 เฮิรตซ์ เนื่องจากแรงดัน ที่ออกจากไดโอดบริดจ์นั้นถูกเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ลักษณะของแรงดันที่ได้จะเป็นรูปคลื่นไซน์ซีกบวกต่อเนื่องกันไป การตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ว่าเต็มแล้วหรือยังจะมีหลอดไฟ LED_2, LED_4 เป็นตัวแสดงการทำงาน วงจรจะรับแรงดันจากขั้วบวกของแรงดันจากขั้วบวกของแบตเตอรี่ผ่าน R_2, R_7 เพื่อลดกระแสโดยมี C_1, C_2 เป็นตัวกรองแรงดันให้เรียบ จากนั้นจะผ่าน VR_1, VR_2 เพื่อปรับการแบ่งแรงดันที่จะป้อนให้กับซีเนอร์ไดโอด ZD_1, ZD_2 ก่อนที่จะส่งไบอัสให้กับขา G ของ SCR_2, SCR_4 การปรับค่า VR_1, VR_2 ทำให้ SCR_2, SCR_4 นำกระแส โดย R_4, R_9 จะเป็นตัวช่วยให้ SCR_2, SCR_4 ทำงานมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อ SCR_2, SCR_4 ทำงานจะทำให้แรงดันไฟลบไหลจากขา K ไปยังขา A เป็นผลให้ LED_2, LED_4 สว่าง และขณะเดียวกัน SCR_1, SCR_3 ก็จะหยุดนำกระแส

3.13 การออกแบบทางด้านเครื่องกล

ในการออกแบบทางด้านเครื่องกลของโครงงานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติมีความยุ่งยากพอสมควร เพราะในการออกแบบชุดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องทดสอบให้สามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 80 กิโลกรัม และต้องทำความเร็วได้สูงสุด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จึงเลือกใช้มอเตอร์ที่มีกำลังวัตต์ 200 วัตต์ ขนาด 24 โวลต์ และเป็นมอเตอร์กระแสตรงที่มีเกียร์ทดในตัว ซึ่งจะสามารถรับน้ำหนักและทำความเร็วได้ตามที่ต้องการ

การออกแบบทางด้านเครื่องกลของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติสามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.13.1 การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

รูปที่ 3.13 โครงร่างเดิมของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

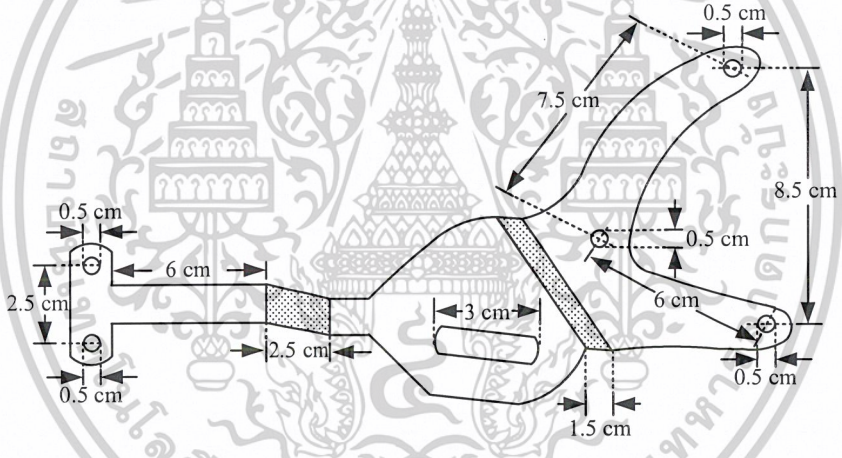
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบส่วนของโครงนั้นเป็นการนำโครงของจักรยานที่ใช้อยู่ทั่วไปมาทำการพัฒนาให้เข้ากับโครงงานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

โดยการนำชุดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และชุดการเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติที่ควบคุมการเปลี่ยนเกียร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นไป การติดตั้งบนตัวโครง และทำให้จักรยานสามารถปรับระดับเกียร์ได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 3.13 แสดงโครงร่างเดิมของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

3.13.2 การออกแบบชุดขายึดจับมอเตอร์ขับเคลื่อน

ขายึดมอเตอร์ขับเคลื่อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดมอเตอร์กับตะเกียบหลังของจักรยาน ในการออกแบบจะต้องออกแบบให้ขายึดมอเตอร์ มีความแข็งแรงทนต่อแรงดึงของมอเตอร์ขณะที่ขับเคลื่อนจักรยานให้เคลื่อนที่ โดยใช้เหล็กหนา 7 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ชุดขายึดจับมอเตอร์ขับเคลื่อน

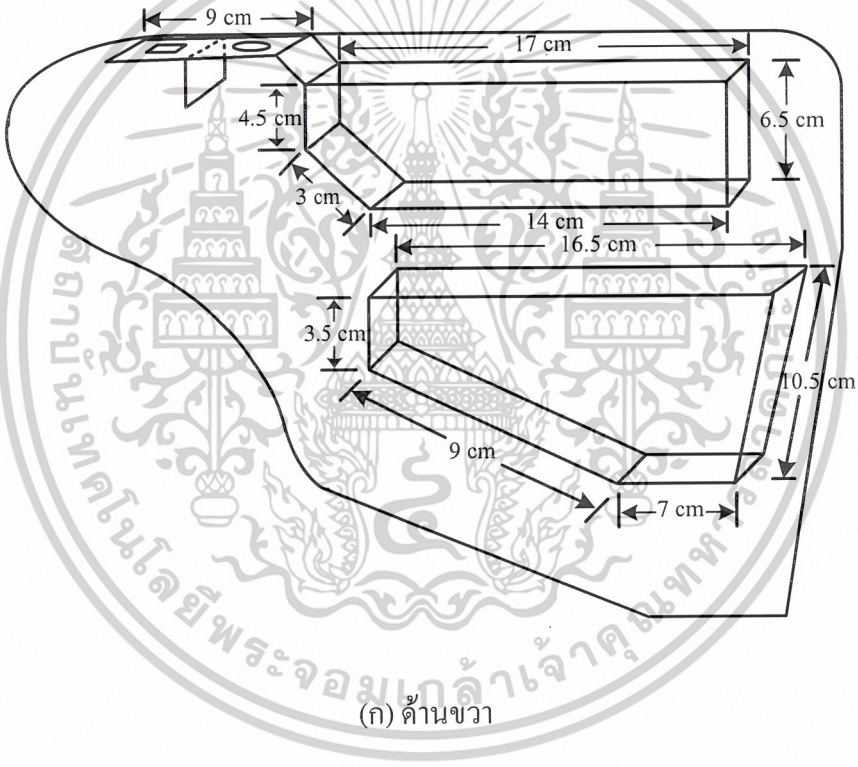
3.13.3 การออกแบบกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ คือ กล่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการติดตั้งวงจรต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1และ2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ และวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวงจรเหล่านี้จะรวมอยู่ภายในกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบและการสร้างกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ ไม่สามารถที่จะออกแบบและสร้างให้มีขนาดที่คงที่และตายตัวได้ เนื่องจากโครงสร้างของจักรยานแต่ละคันมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นกับรุ่นของจักรยาน ดังนั้นในการออกแบบและการสร้างกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์จึงขึ้นอยู่กับรถจักรยานที่จะนำมาติดตั้ง

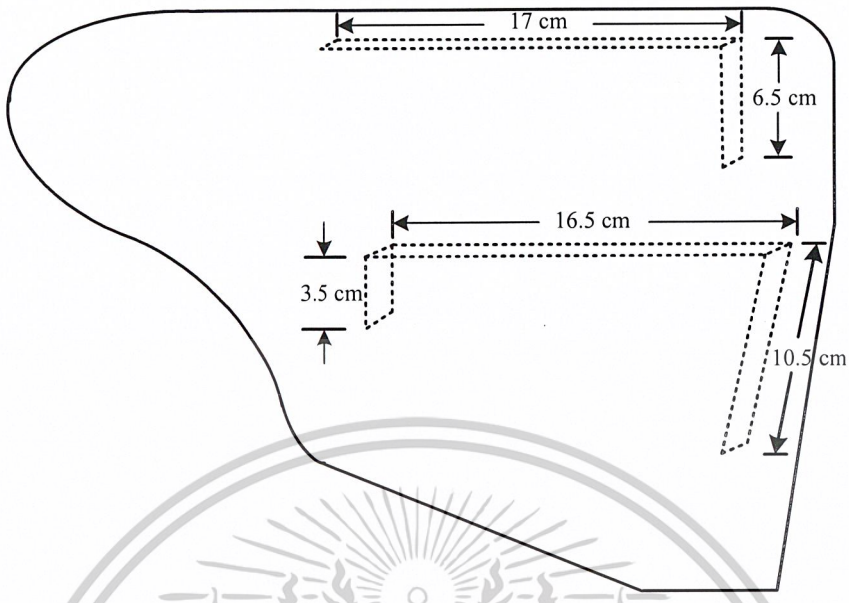
สำหรับรถจักรยานต้นนั้นแบบการออกแบบและการสร้างกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์จะสร้างโดยวัดขนาดจากโครงของจักรยานแล้วจึงนำแผ่นพลาสติกอะคลิลิกแต่ละชิ้นมาประกอบตามที่ออกแบบไว้



(ก) ด้านขวา

รูปที่ 3.15 กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



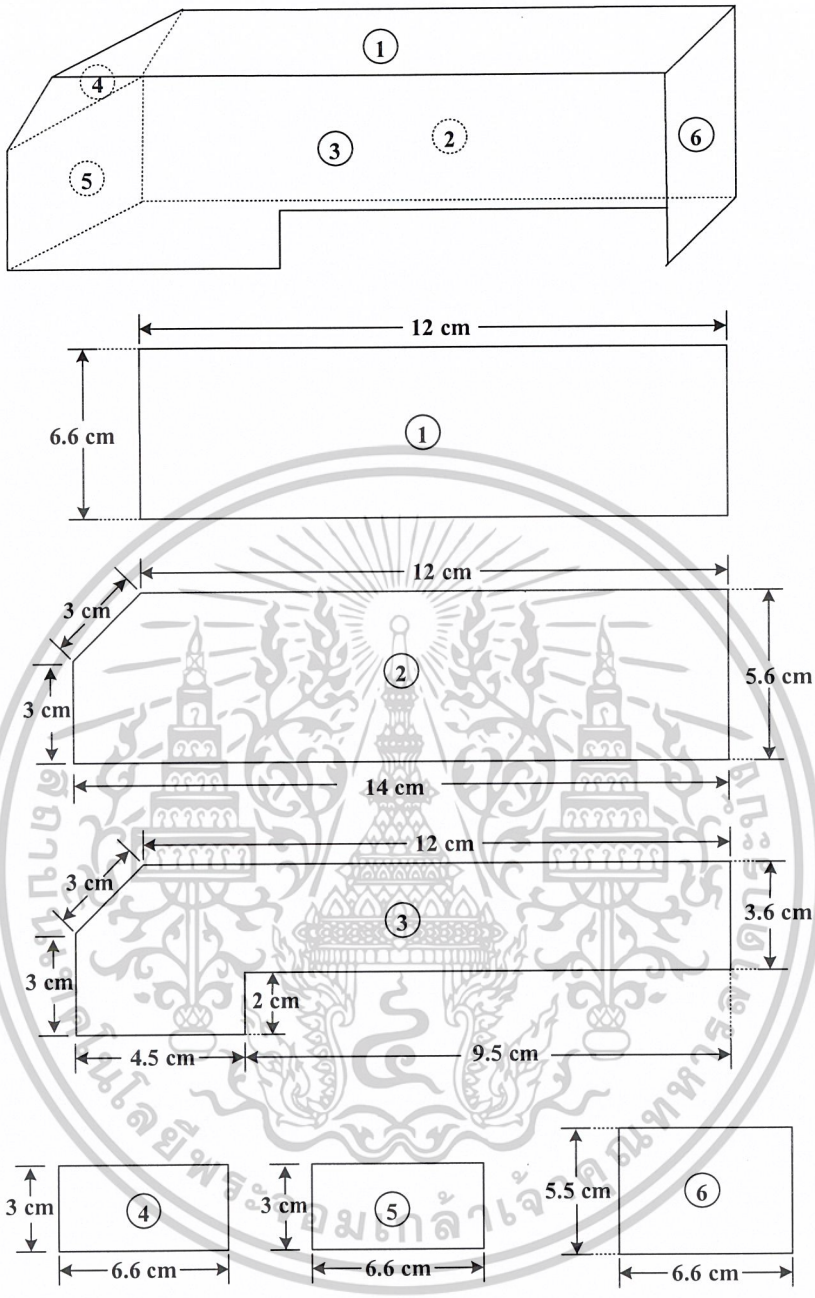
(ข) ด้านซ้าย

รูปที่ 3.15 (ต่อ) กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

3.13.4 การออกแบบกล่องมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

กล่องมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ คือกล่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการป้องกันน้ำและสิ่งสกปรกเข้าไปในมอเตอร์ ดังนั้นจะต้องออกแบบกล่องให้มีลักษณะปิดมิดชิด และการสร้างทำได้โดยการวัดขนาดของที่ยึดมอเตอร์และความสูงของมอเตอร์ แล้วทำการวาดลงบนแผ่นพลาสติกอะคลิลิกขนาด 3 มิลลิเมตร ทำการตัดและนำมาประกอบติดกันทีละชิ้นส่วน ตามที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

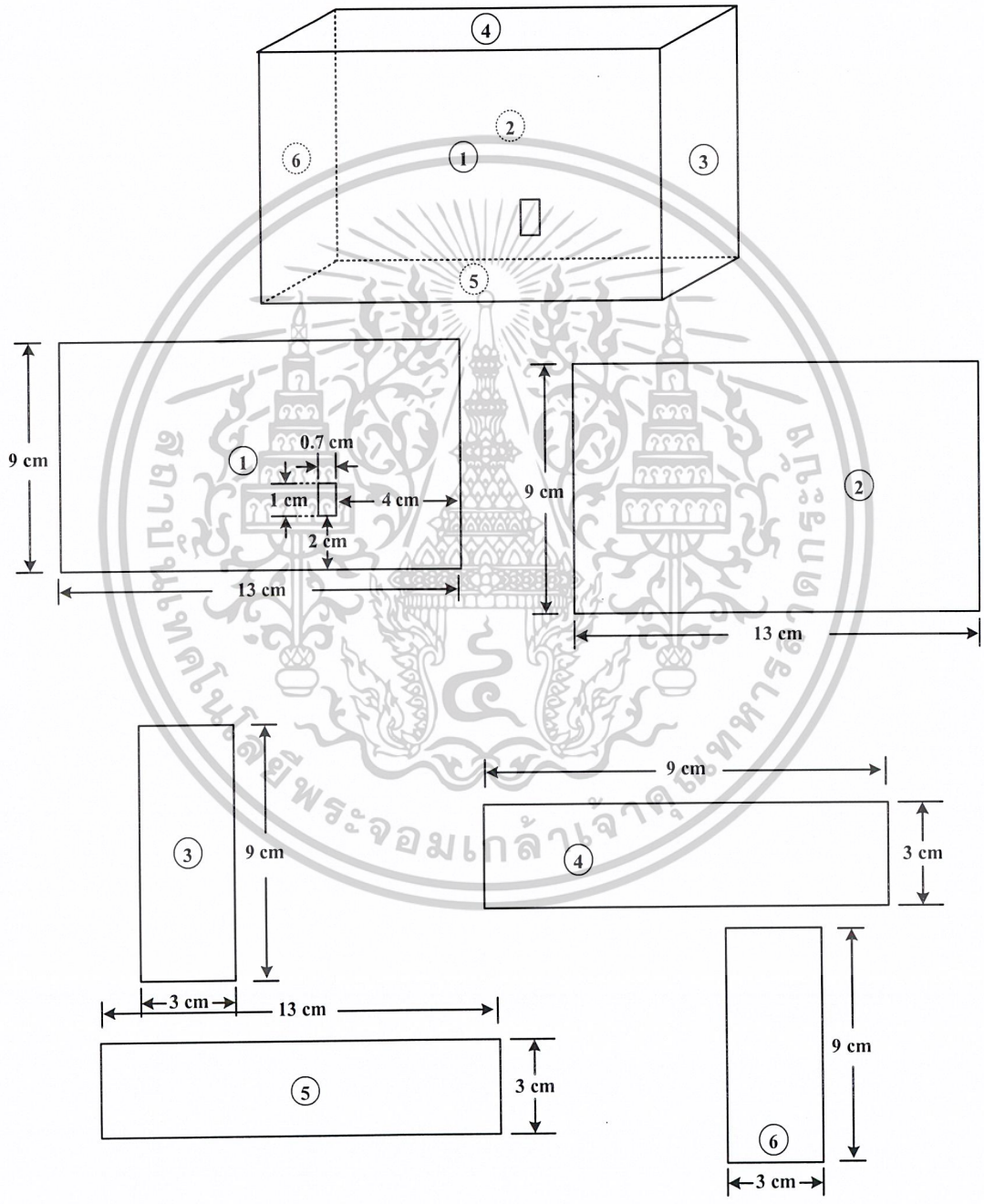


รูปที่ 3.16 กล่องวงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.5 การออกแบบกล่องแสดงผล

กล่องแสดงผลเป็นกล่องที่ใช้ในการติดตั้งสวิตช์เลือกตำแหน่ง “Auto” หรือ “Manual” วงจรแสดงผลความเร็ว วงจรตรวจสอบแบตเตอรี่ 12 โวลต์และ 24 โวลต์ ดังนั้นการออกแบบกล่องวงจรต้องมีลักษณะที่แข็งแรงและป้องกันน้ำเข้าไปภายในกล่องได้

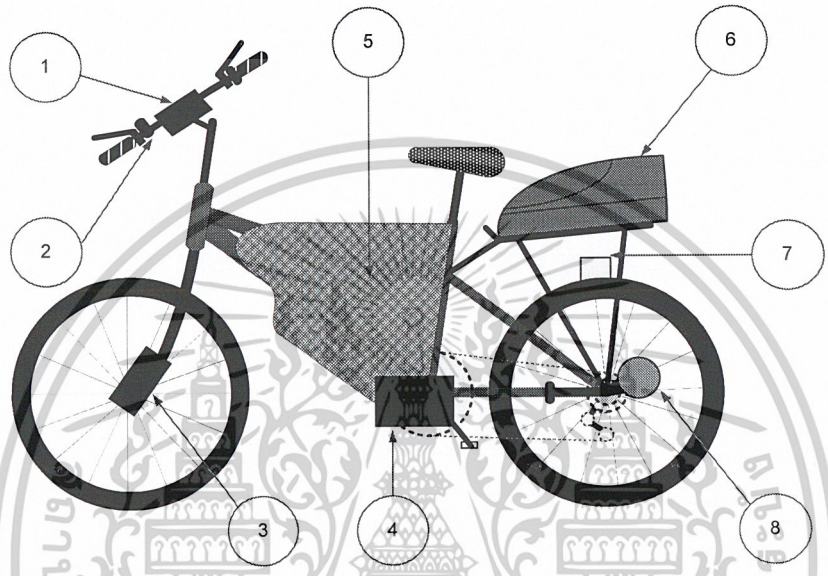


รูปที่ 3.17 กล่องแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.6 โครงสร้างภายนอกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ส่วนนี้เป็นอุปกรณ์ที่เรานำมาประกอบเข้าเป็นจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ เพื่อให้สามารถวางวงจรและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติได้ ส่วนโครงสร้างจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ส่วนนี้เป็นอุปกรณ์ที่เรานำมาประกอบเข้าเป็นจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติเพื่อให้สามารถติดตั้งวงจรและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติได้

จากรูปที่ 3.18 เป็นส่วนประกอบต่างๆ ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

หมายเลข 1 กล่องแสดงผล

หมายเลข 2 กล่องปรับระดับเกียร์กึ่งอัตโนมัติ

หมายเลข 3 ชุดเซนเซอร์วัดความเร็ว

หมายเลข 4 ชุดตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

หมายเลข 5 กล่องวงจรควบคุมระบบการทำงาน และวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

หมายเลข 6 กล่องใส่แบตเตอรี่ 24 โวลต์

หมายเลข 7 มอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

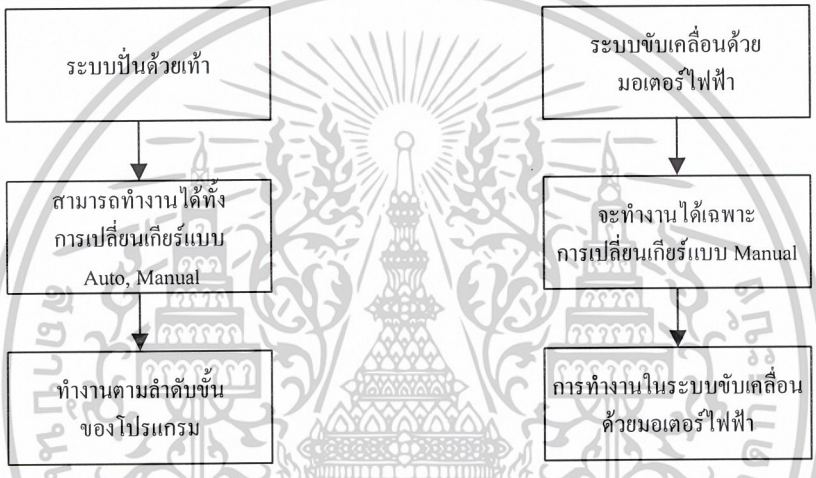
หมายเลข 8 มอเตอร์ขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

3.14.1 แผนผังการทำงานเริ่มแรกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

จากรูปเป็นแผนผังการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ เมื่อเริ่มต้นการทำงานจะเข้าสู่ขั้นตอนเลือกระบบการทำงานซึ่งมี 2 ระบบการทำงาน คือ ระบบปั่นด้วยเท้าและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อเลือกระบบการทำงานแล้วสามารถเลือกรูปแบบการเปลี่ยนระดับเกียร์ได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ เมื่อเลือกระบบการทำงานแล้วจักรยานก็จะทำงานตามแบบที่เลือก แผนผังการทำงานเริ่มแรกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.19

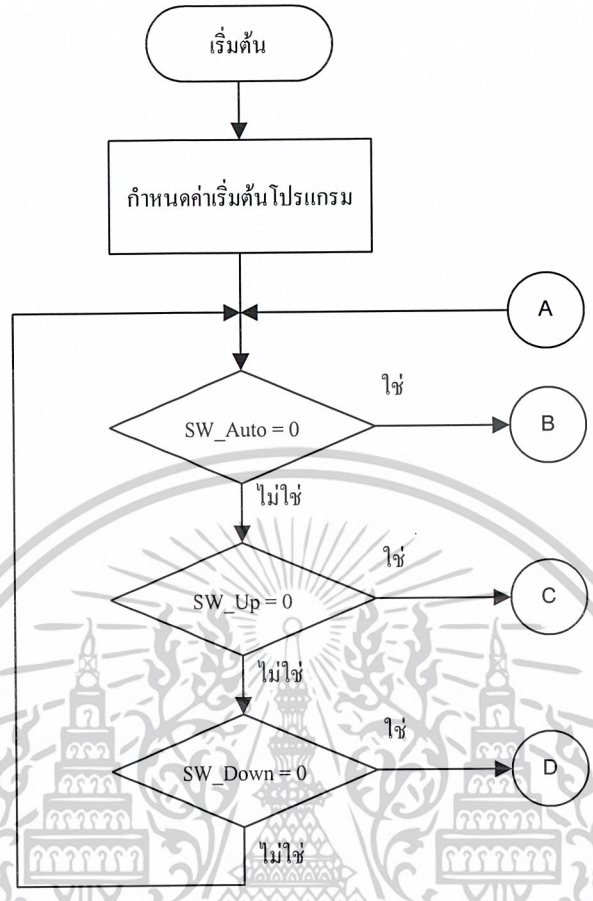


รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานเริ่มแรกของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

3.14.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์

จากรูปเป็นแผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก เมื่อเริ่มต้นการทำงานจะเข้าสู่ขั้นตอนเลือกโหมดการทำงานซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ เมื่อเลือกโหมดการทำงานแล้วอุปกรณ์ก็จะทำงานตามโหมดที่เลือก แสดงดังรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

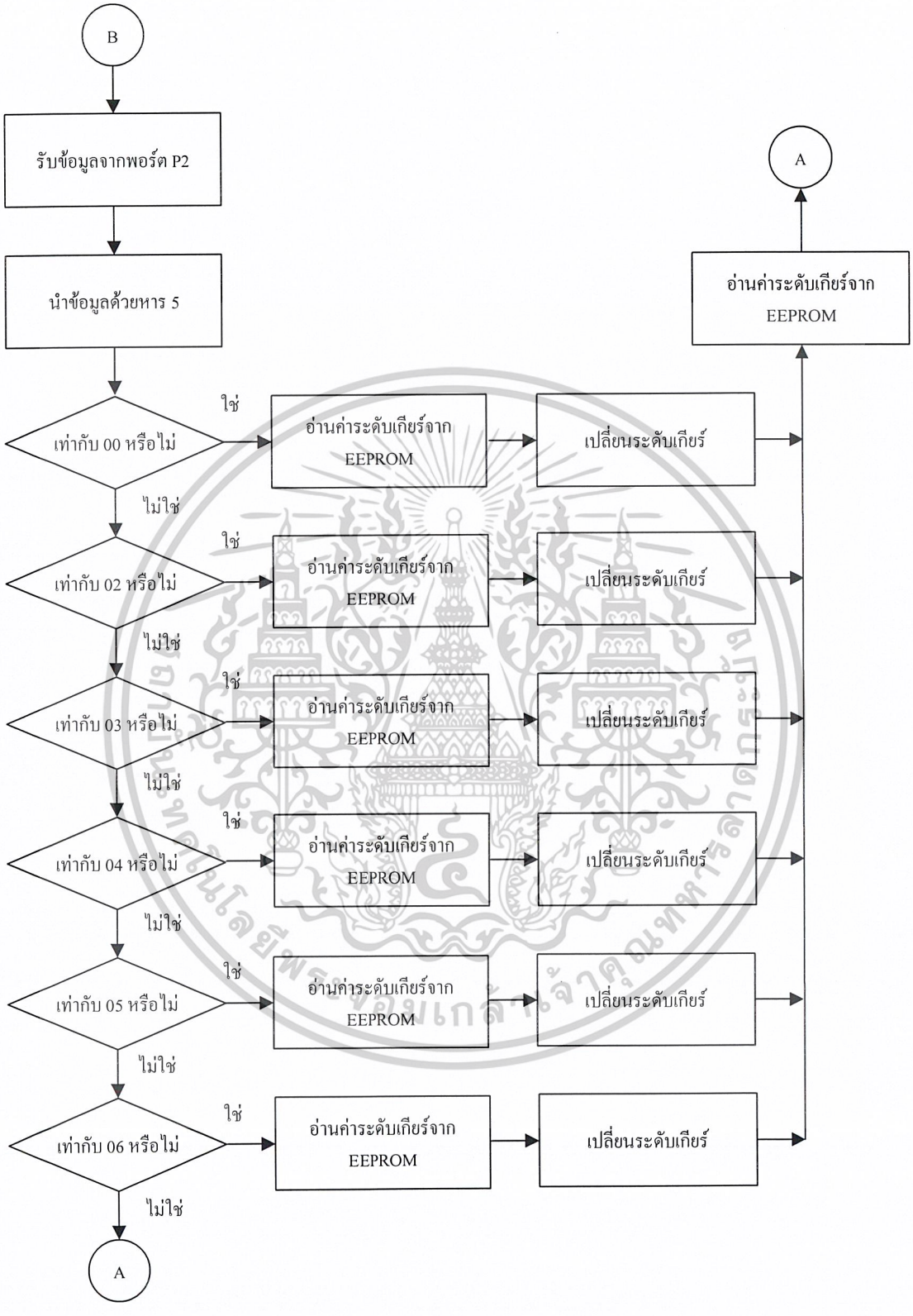


รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานของโปรแกรมชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์

3.14.3 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบอัตโนมัติ

เมื่อเริ่มต้นการทำงานในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่เข้ามาทางพอร์ต P2 ของวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 แล้วคำนวณค่าความเร็วที่ได้เพื่อปรับระดับเกียร์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบอัตโนมัติ

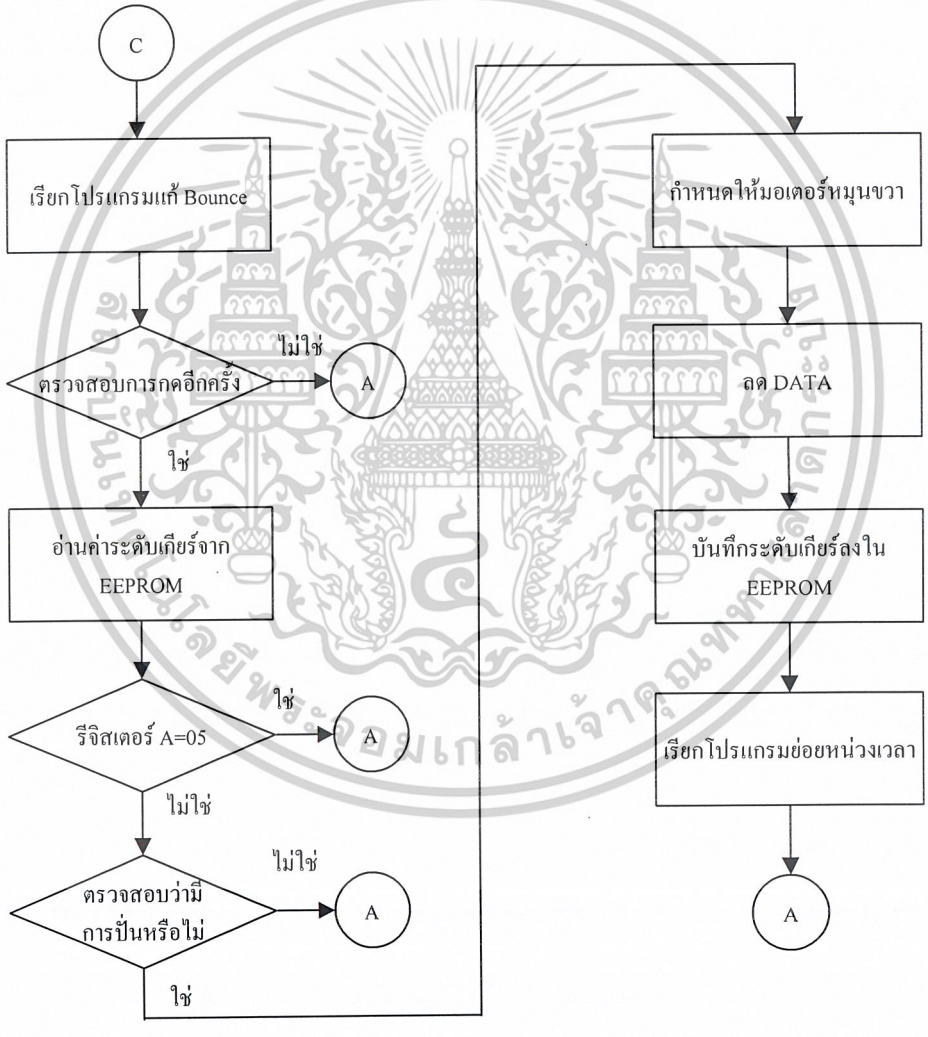
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14.4 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์แบบกึ่งอัตโนมัติ

เมื่อเริ่มต้นการทำงานในโหมดการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจจับการกดสวิตช์ โดยจะมี 2 สถานะ คือ

1. กดสวิตช์ปุ่ม “UP” ก็จะสั่งงานให้มีการปรับระดับเกียร์ขึ้น
2. กดสวิตช์ปุ่ม “DOWN” ก็จะสั่งงานให้มีการปรับระดับเกียร์ลง

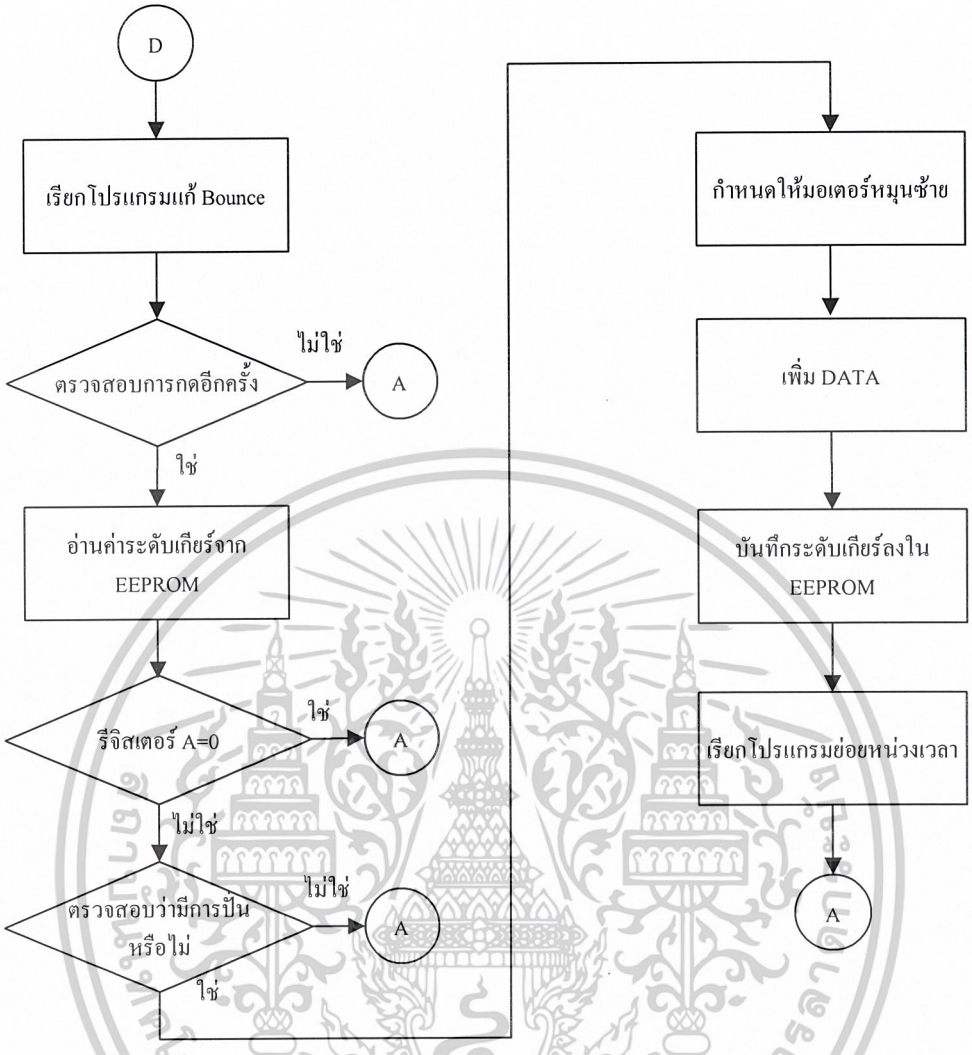
แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก แสดงดังรูปที่ 3.22



(ก) แสดงการทำงานแบบปรับระดับเกียร์ขึ้น

รูปที่ 3.22 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมกึ่งอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



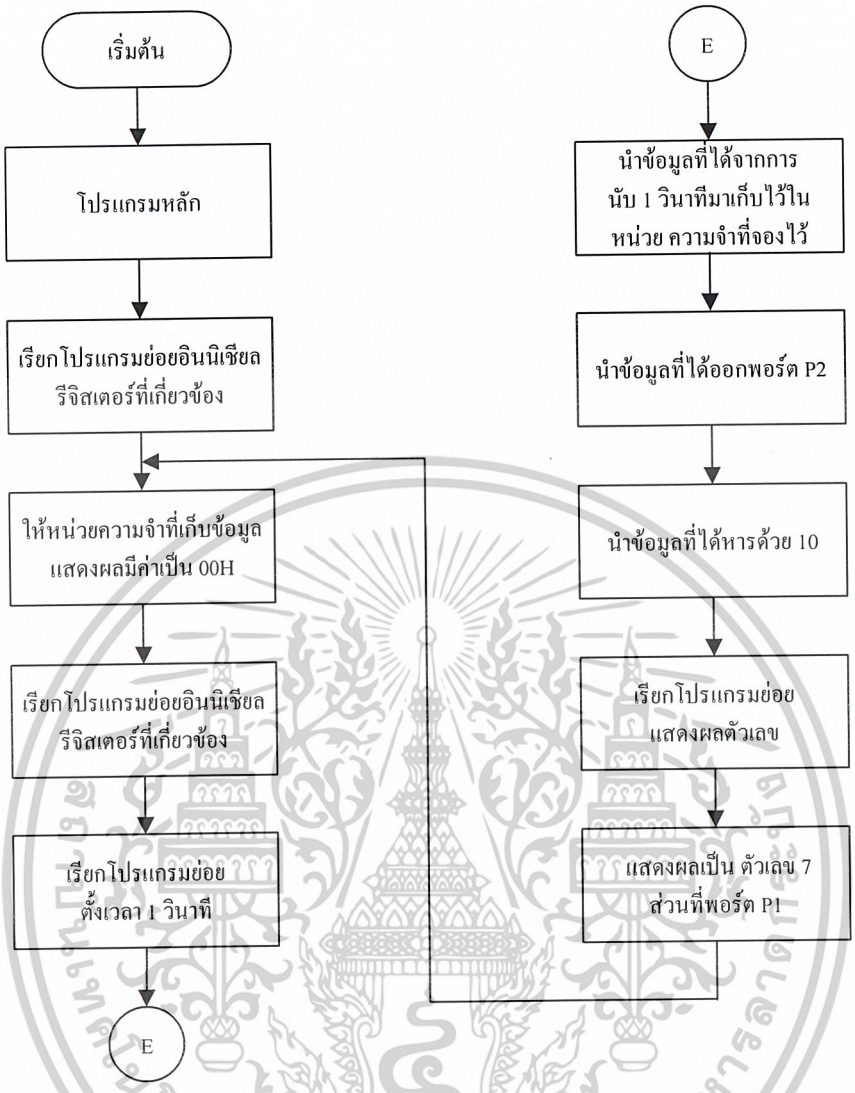
(ข) แสดงการทำงานแบบปรับระดับเกียร์ลง

รูปที่ 3.22 (ต่อ) แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดควบคุมกึ่งอัตโนมัติ

3.14.5 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดแสดงผลความเร็ว

เมื่อเริ่มต้นการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากชุดเซนเซอร์ความเร็วแล้วจึงคำนวณออกมาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ก่อนที่จะส่งไปยังชุดวงจรแสดงผลพร้อมกับส่งค่าความเร็วออกทางพอร์ต P2 ของวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แผนผังโปรแกรมการทำงานของชุดแสดงผลความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

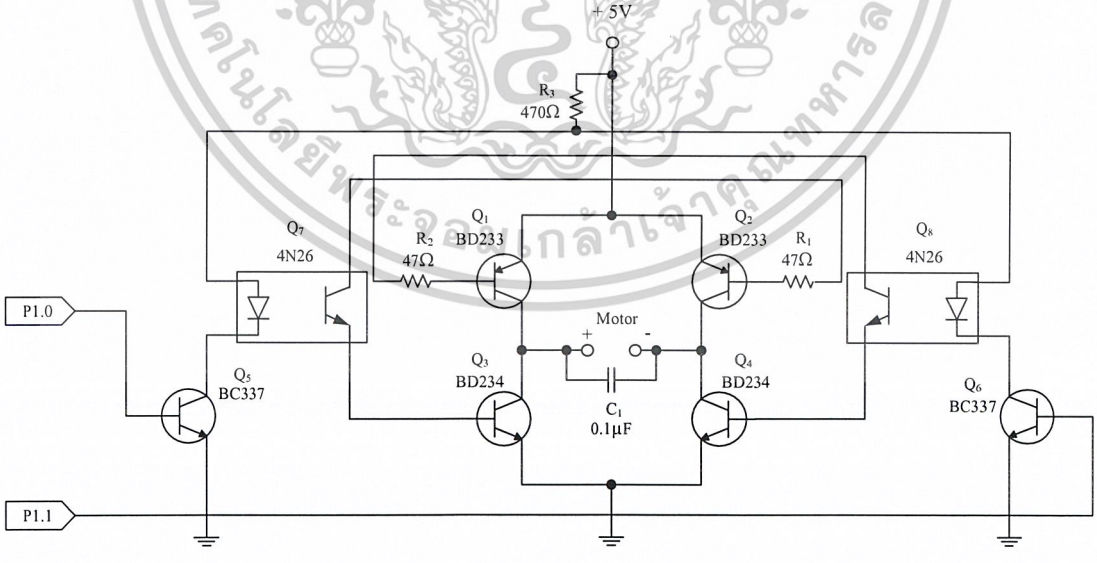
4.1 กล่าวนำ

การทดลองการทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองการทำงานของวงจรต่างๆ และการทดลองทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยทดสอบในส่วนของการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์

4.2 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) แผงวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์
2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เปลี่ยนระดับเกียร์
3) โวลต์มิเตอร์



รูปที่ 4.1 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการต่อมอเตอร์ในวงจร

2) ทดลองป้อนโปรแกรมควบคุมการทำงานให้กับวงจรขับมอเตอร์โดยผ่านออกที่พอร์ต P1.0และP.1.1 ของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 เพื่อสั่งให้วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ทำงาน

3) พิจารณาระดับสัญญาณอินพุตที่ได้จากวงจรและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการทำงานของวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

ลำดับที่	อินพุตพอร์ต P1.0	อินพุตพอร์ต P1.1	การทำงานของมอเตอร์	ทิศทางการหมุนของมอเตอร์
1	Low	Low	ไม่ทำงาน	ไม่หมุน
2	High	Low	ทำงาน	หมุนขวา
3	Low	High	ทำงาน	หมุนซ้าย

4.2.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้

4.3 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) แผงวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนจักรยานและคันเร่งควบคุมความเร็ว

4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

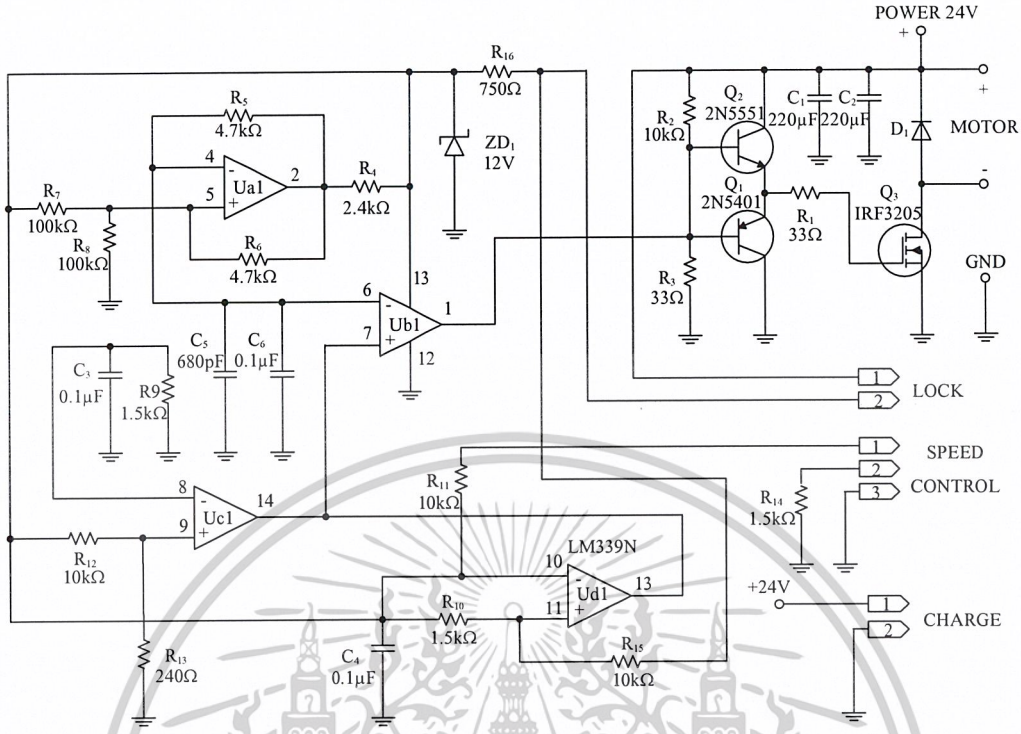
1) ต่อแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ เข้าไปในวงจร

2) บิดคันเร่งควบคุมความเร็วและต่อมอเตอร์ขับเคลื่อนเข้าไปในวงจร

3) พิจารณาแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่มอเตอร์ขับเคลื่อน

4) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

ลำดับที่	บิดคันเร่ง(เปอร์เซ็นต์)	การทำงานของมอเตอร์	แรงดันที่เอาต์พุต
1	0	ไม่ทำงาน	0 โวลต์
2	25	ทำงาน	5โวลต์
3	50	ทำงาน	13โวลต์
4	75	ทำงาน	20โวลต์
5	100	ทำงาน	25โวลต์

4.3.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามระดับของการบิดคันเร่ง ซึ่งระดับแรงดันที่ได้เป็นไปอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติขณะแบตเตอรี่เต็ม

4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของจักรยานให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

2) หมุนกุญแจของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติให้อยู่ตำแหน่ง “ON”

3) กดสวิตช์ระบบการทำงานให้อยู่ในตำแหน่ง “ไฟฟ้า”

4) นำจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติขับขี่ขณะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

5) จดบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.3 เมื่อ LED 1, 2, 3 และ 4 ดับตามลำดับ

6) ทำตามขั้นตอนที่ 1-5 จนครบ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง

LED แสดงสถานะแบตเตอรี่	ครั้งที่ 1 ระยะทาง(กิโลเมตร)	ครั้งที่ 2 ระยะทาง(กิโลเมตร)	ครั้งที่ 3 ระยะทาง(กิโลเมตร)
LED สีเขียว (1)	29.4	29.2	29.2
LED สีเขียว (2)	32.3	32	32
LED สีเหลือง (3)	33	32.8	32.8
LED สีแดง (4)	-	-	-

4.4.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งสรุปได้ว่าเมื่อ LED ดวงที่ 1 ดับ จะได้ระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 29.26 กิโลเมตร เมื่อ LED ดวงที่ 2 ดับจะได้ระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 32.1 กิโลเมตร เมื่อ LED ดวงที่ 3 ดับจะได้ระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 32.86 กิโลเมตรและไม่สามารถใช้งานต่อได้เพราะแรงดันของแบตเตอรี่ไม่เพียงพอที่จะทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนหมุนแต่ระยะทางที่ได้ทั้งหมดเฉลี่ยเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ทดลองความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลง

4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) ผู้ทดสอบที่มีน้ำหนักประมาณ 50, 60, 70, 80 และ 90 กิโลกรัม

2) จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของจักรยานให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

2) หมุนกุญแจของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติให้อยู่ตำแหน่ง “ON”

3) กดสวิตช์ระบบการทำงานให้อยู่ในตำแหน่ง “ไฟฟ้า”

4) นำจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติขับขี่ขณะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

5) จดบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.4

6) ทำลำดับตามขั้นตอนที่ 1-5 จนครบ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลง

น้ำหนักของผู้ขี่จักรยาน (กิโลกรัม)	ครั้งที่ 1 ความเร็วสูงสุด (กิโลเมตร / ชั่วโมง)	ครั้งที่ 2 ความเร็วสูงสุด (กิโลเมตร / ชั่วโมง)	ครั้งที่ 3 ความเร็วสูงสุด (กิโลเมตร / ชั่วโมง)
50	23	23	22
60	22	22	21
70	21	20	20
80	21	20	20
90	20	20	19

4.5.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปทั้ง 3 ครั้งสรุปได้ว่าจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติสามารถรับน้ำหนักของผู้ขับขี่ได้มากกว่าที่ได้ออกแบบไว้และยังทำความเร็วได้สูงสุดถึง 23 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่น้ำหนัก 50 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ทดลองระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ

4.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

4.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของจักรยานให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

2) หมุนกุญแจของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติให้อยู่ตำแหน่ง “ON”

3) กดสวิตช์ระบบการทำงานให้อยู่ในตำแหน่ง “ปั่น”

4) ปั่นจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติในระดับความเร็วต่างๆ จนกระทั่งระดับเกียร์อยู่ตำแหน่งเกียร์ 6

5) สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงตามตารางที่ 4.5 แล้วทำการบันทึกค่า

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ

ระดับเกียร์	ความเร็ว (กิโลเมตร / ชั่วโมง)
เกียร์6	0-9
เกียร์5	10-14
เกียร์4	15-19
เกียร์3	20-24
เกียร์2	25-29
เกียร์1	30 ขึ้นไป

4.6.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองระบบการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ นั้น ระบบทำการเปลี่ยนได้เหมาะสมกับความเร็ว ระบบจะเริ่มทำการเปลี่ยนแบบอัตโนมัติโดยที่จะต้องทำการปั่นด้วยความเร็ว 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่ระดับเกียร์ 5 และหลังจากนั้นระดับจะเพิ่มขึ้นทุกความเร็ว 5 กิโลเมตร/ชั่วโมงจนถึงความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมงซึ่งจะเป็นระดับเกียร์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุป

จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติเป็นการออกแบบพัฒนาจักรยานแบบมีเกียร์อยู่เดิมให้สามารถขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าโดยไม่ต้องอาศัยแรงในการขับขี่จักรยานและสามารถเปลี่ยนเกียร์ได้โดยอัตโนมัติหรือแบบกึ่งอัตโนมัติขณะที่มีการออกแรงขับขี่ ซึ่งจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัตินั้นจะมีการใช้แบตเตอรี่ด้วยกัน 2 ชุดคือแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์และ 24 โวลต์โดยแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์จะทำการจ่ายแรงดันไปยังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการเปลี่ยนระดับของเกียร์และจ่ายแรงดันให้กับวงจรเร็กกูเลต เพื่อแปลงไฟฟ้า 12 โวลต์ให้เหลือ 5 โวลต์ และวงจรเร็กกูเลตก็จะทำการจ่ายแรงดันให้กับวงจรต่างๆ เช่น วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 วงจรเซนเซอร์ วงจรทดสอบการปั่น และวงจรแสดงผล ซึ่งวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 เป็นตัวรับคำสั่งว่าจะให้ทำงานอยู่ในระบบอะไร โดยในระบบไฟฟ้าจะสามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนพร้อมกับการปั่นและสามารถเปลี่ยนระดับเกียร์ในโหมดกึ่งอัตโนมัติได้ ส่วนในการเลือกระบบปั่นจะสามารถเปลี่ยนระดับเกียร์ได้ทั้งในแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ และแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์จ่ายแรงดันให้กับระบบขับเคลื่อนที่ด้วยระบบไฟฟ้า ส่วนวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2 จะใช้ในการแสดงผลของความเร็วขณะที่จักรยานกำลังเคลื่อนที่ โดยจะรับข้อมูลจากวงจรเซนเซอร์มาประมวลผลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งข้อมูลออกไปแสดงที่วงจรแสดงผล ดังนั้นวงจรแสดงผลจะทำการแสดงออกมาเป็นค่าความเร็วในขณะที่กำลังขับขี่อยู่

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดลองโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา เนื่องจากวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เกิดการดึงกระแสไฟฟ้า ทำให้อุณหภูมิในวงจรสูงขึ้น ทำให้ทรานซิสเตอร์ TIP 3055 เกิดความเสียหายอันเป็นสาเหตุทำให้วงจรไม่ทำงาน ทำให้วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ไม่สามารถล็อกตำแหน่งเกียร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข ทำการเปลี่ยนจากวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์มาใช้วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีเฟืองทดรอบแทน

2. ปัญหา รีดสวิตช์ ที่ใช้ในวงจรเซนเซอร์ความเร็วมีการสั่นสะเทือนที่หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์ทำให้ค่าความเร็วในการเซนเซอร์ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงมาก

แนวทางแก้ไข ใช้ออปโต้อินเตอร์รัพเตอร์แทน เพราะออปโต้อินเตอร์รัพเตอร์มีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ที่ใช้หน้าสัมผัสทำให้ไม่เกิดการสั่นสะเทือนของหน้าสัมผัส

3. ปัญหา เนื่องจากเพลาล้อรถจักรยานด้านหน้ามีความยาวของเพลาสั้นเกินไปไม่สามารถที่จะติดตั้งวงจรเซนเซอร์ได้

แนวทางแก้ไข เปลี่ยนเพลาของล้อด้านหน้าให้มีความยาวมากขึ้น

4. ปัญหา เนื่องจากกระแสที่ออกจากพอร์ต P1 ของวงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1 คือไอซี เบอร์ AT89S8252 ทำให้การทำงานของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติไม่สามารถทำงานได้

แนวทางแก้ไข ใช้ทรานซิสเตอร์ BC 337 มาขยายกระแสเพิ่มขึ้นเพื่อให้ออปโต้ทำงานได้

5. ปัญหา ขณะทดลองขับขี่ด้วยการใช้ระบบไฟฟ้าสเตอร์หลังจักรยานหลุด

แนวทางแก้ไข ทำการยึดใหม่ โดยการเชื่อมสเตอร์หลังติดกับดุมล้อหลังจักรยาน

6. ปัญหา เมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ลดลง ทำให้การทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์หมุนด้วยเวลาที่ไม่คงที่ ซึ่งทำให้ระดับเกียร์อยู่ผิดตำแหน่ง

แนวทางแก้ไข ใช้วงจรเร็กกูเลตต่อเข้าทางด้านอินพุตที่จ่ายให้กับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

5.3 แนวทางการพัฒนา

ในการพัฒนาจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ ให้มีความสามารถในการทำงานได้ดีขึ้นสามารถพัฒนาโครงงานได้ดังนี้

1. พัฒนาให้มีการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่มีการปั่นจักรยานด้วยเท้า
2. พัฒนาให้มีไฟหน้าและไฟท้ายเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ในเวลากลางคืน
3. พัฒนาให้มีการตัดไฟให้กับมอเตอร์เพื่อเป็นการประหยัดไฟฟ้าในแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเบรก
4. พัฒนาให้รถจักรยานมีน้ำหนักโดยรวมน้อยกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ประกอบผล. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอลโทรลเลอร์.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท แซทโฟร์ พริ้นติ้ง จำกัด. 2541

ธนาวุฒิ ไกรฤทธิ. **ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2538

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท อินโนเวดิฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. ม.ป.ป

แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์,(ผู้เรียบเรียง) **โครงงาน HOBBY ELECTRONICS.** เล่มที่ 121. กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2545

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

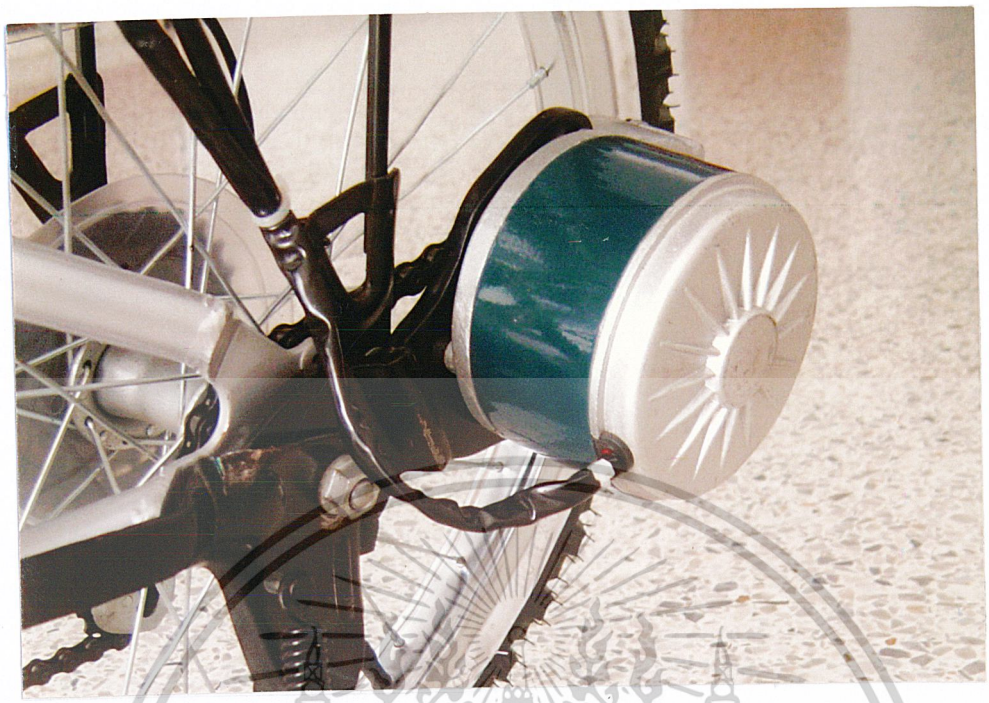
ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 ภาพด้านขวาของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

รูปที่ ก.2 ภาพด้านซ้ายของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ภาพชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

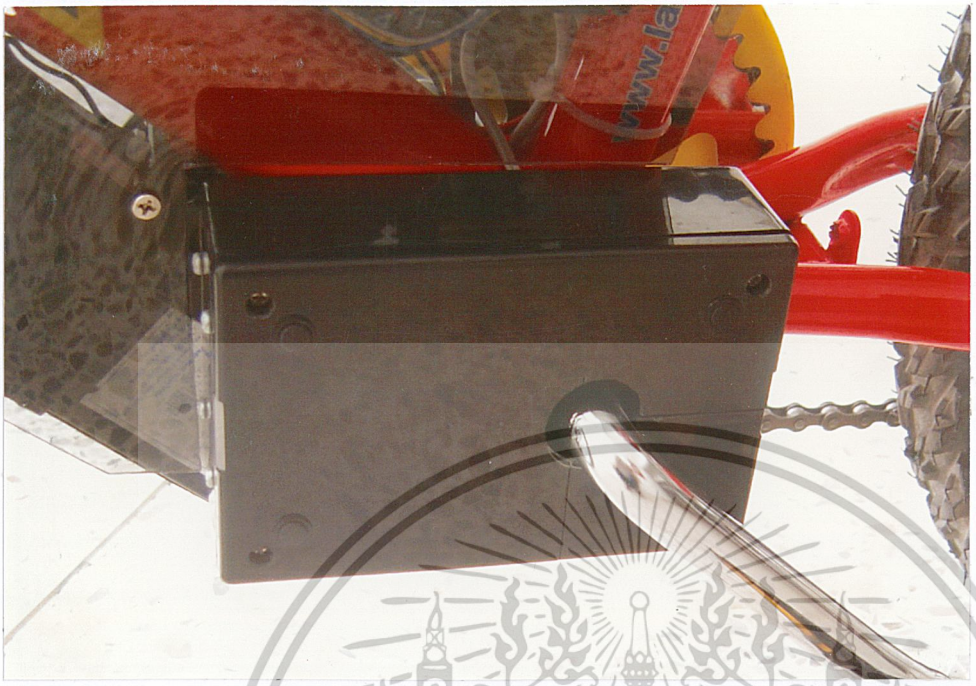
รูปที่ ก.4 ภาพชุดมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 ภาพชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

รูปที่ ก.4 ภาพชุดมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

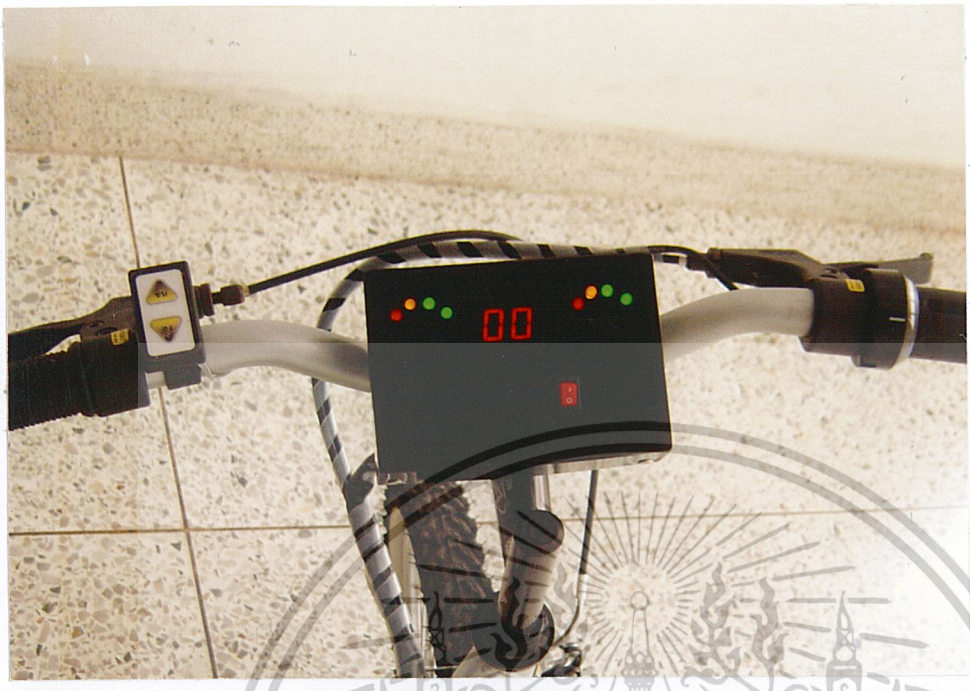
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ภาพชุดตรวจสอบการปั่นด้วยเท้าของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

รูปที่ ก.6 ภาพชุดเซนเซอร์ความเร็วของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

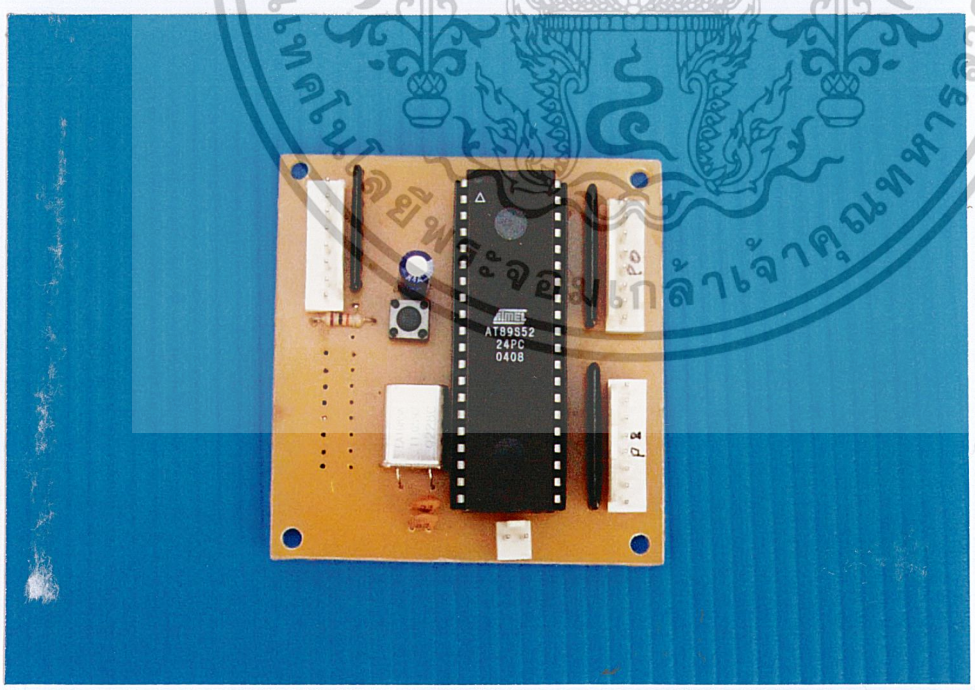


รูปที่ ก.7 ภาพหน้ากล่องชุดจอแสดงผลของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

รูปที่ ก.8 ภาพของกล่องวงจรควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์
เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

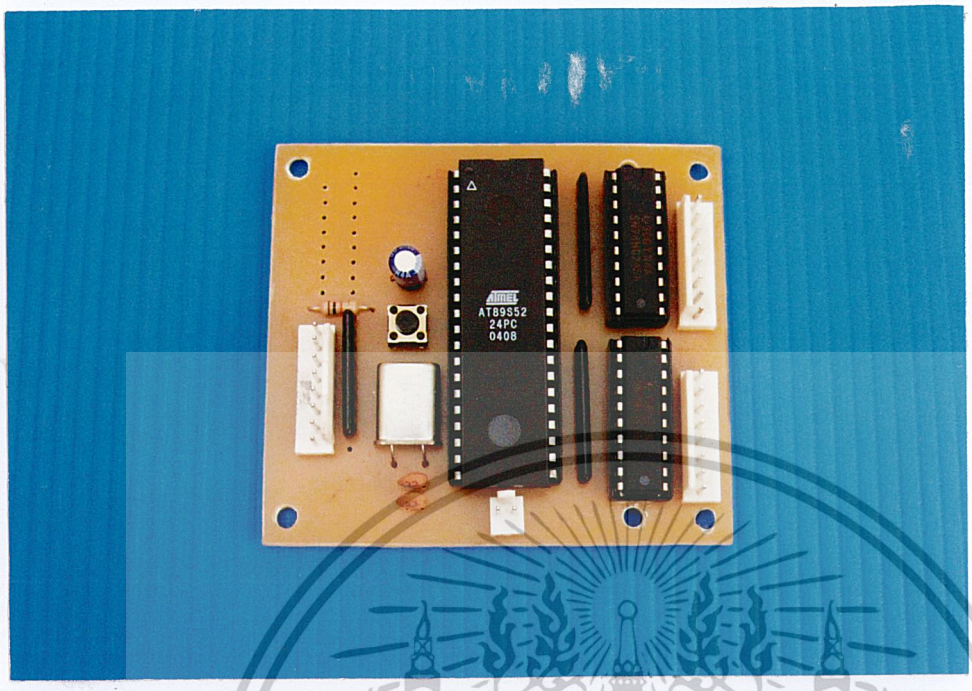
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.9 ภาพภายในของกล่องวงจรระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์ของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ



รูปที่ ก.10 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

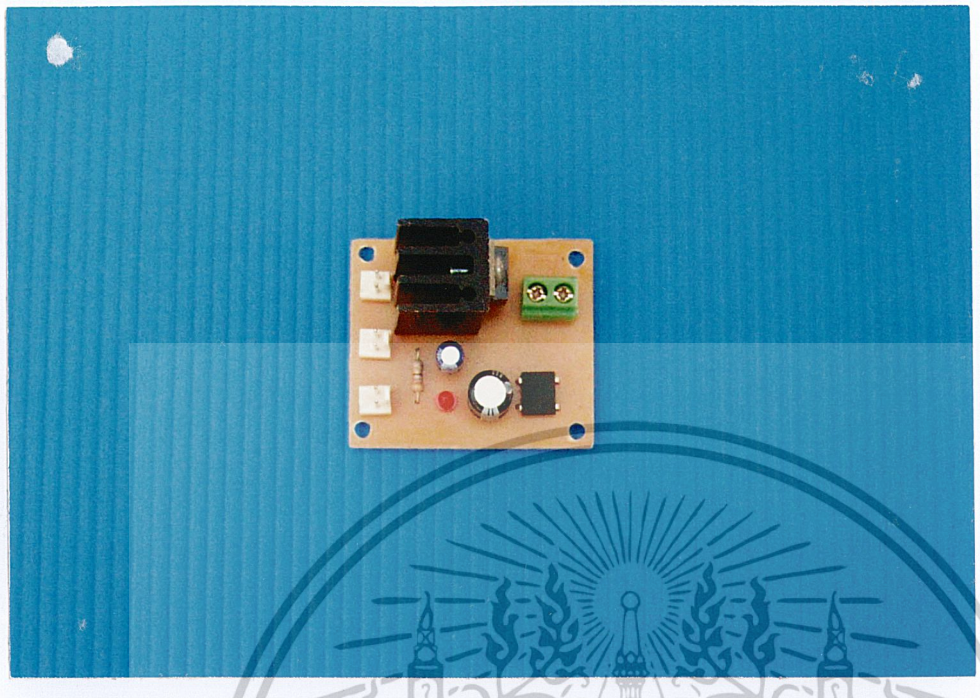
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



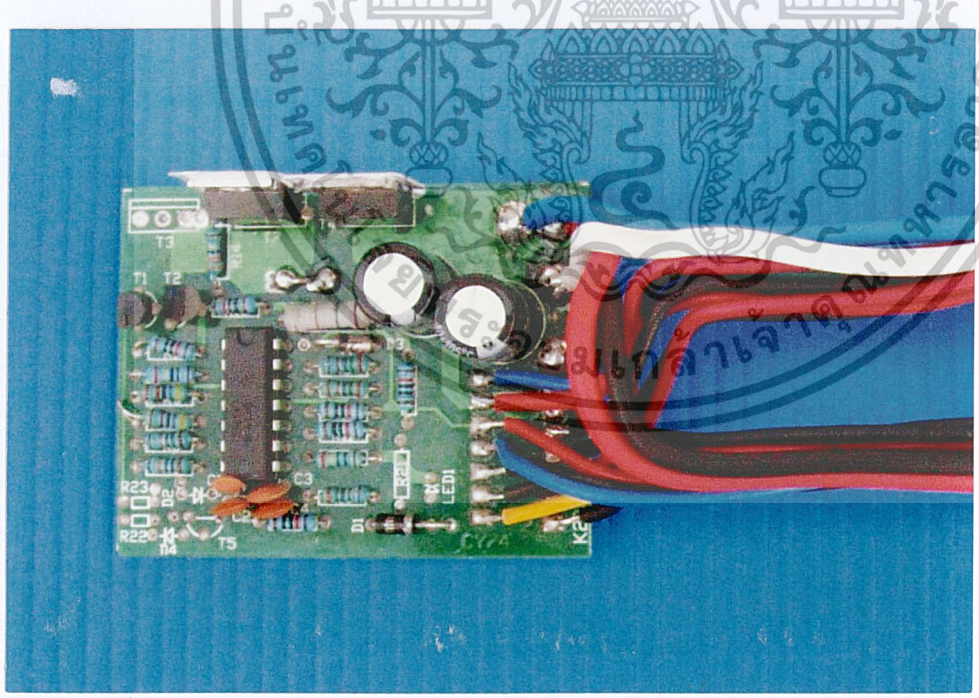
รูปที่ ก.11 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

รูปที่ ก.12 วงจรแสดงผลความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

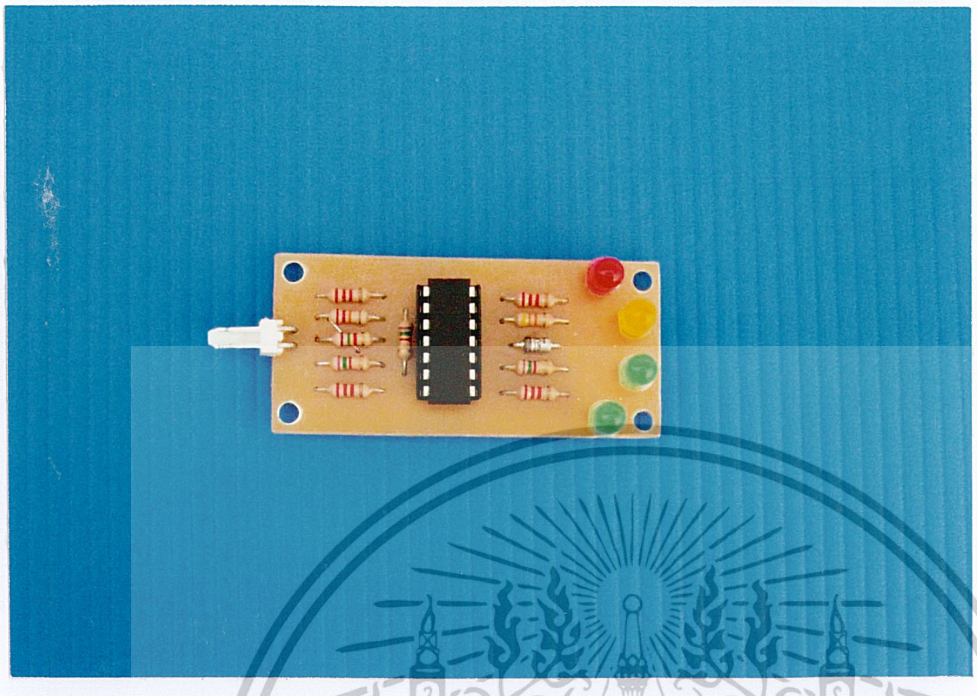


รูปที่ ก.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

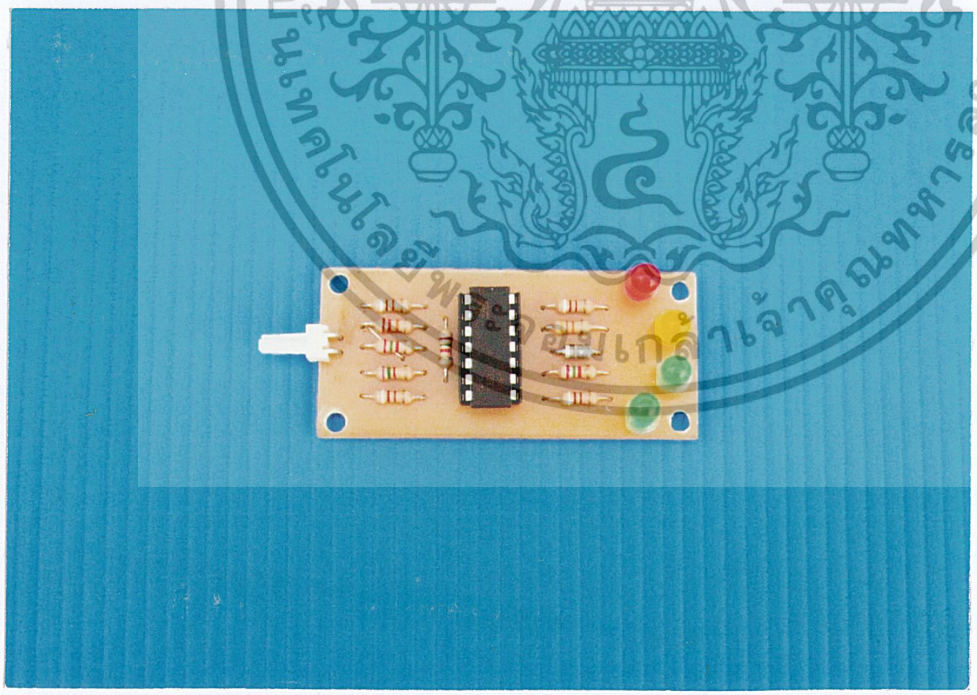


รูปที่ ก.14 วงจรวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

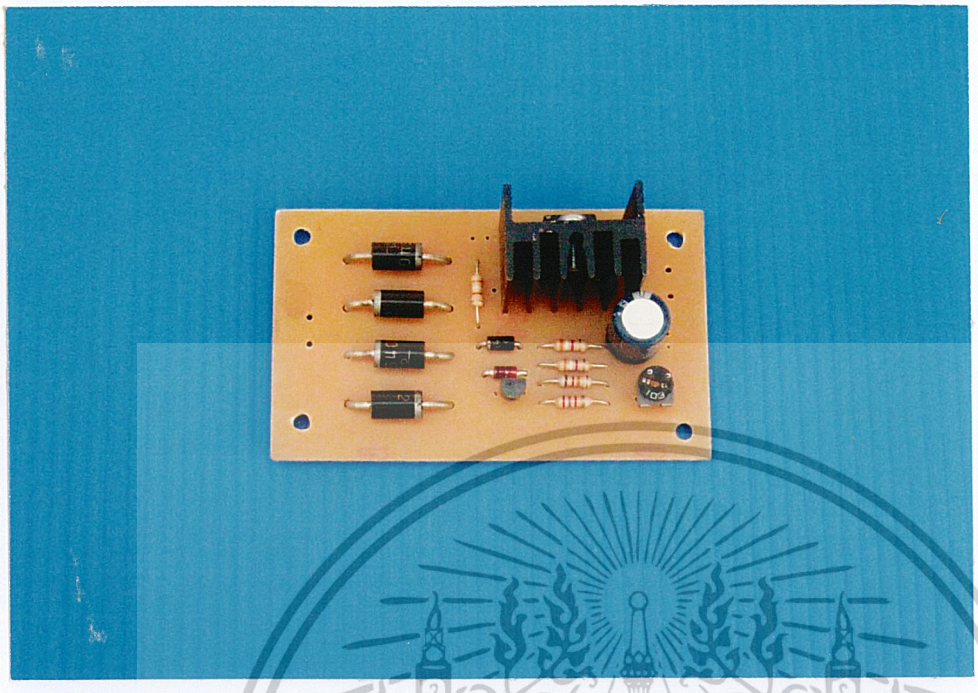


รูปที่ ก.15 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์

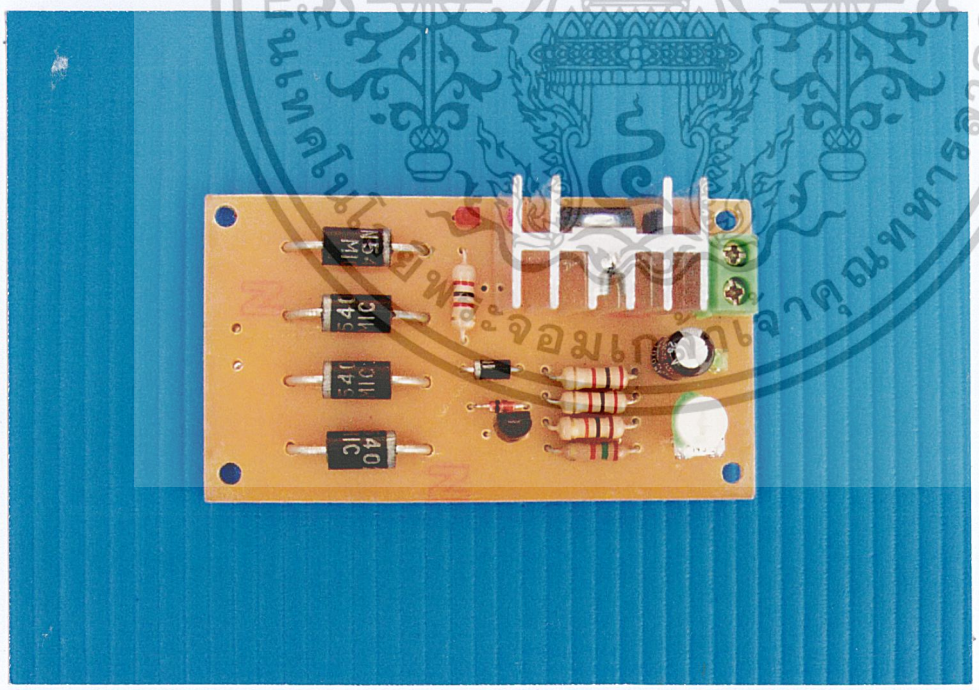


รูปที่ ก.16 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์

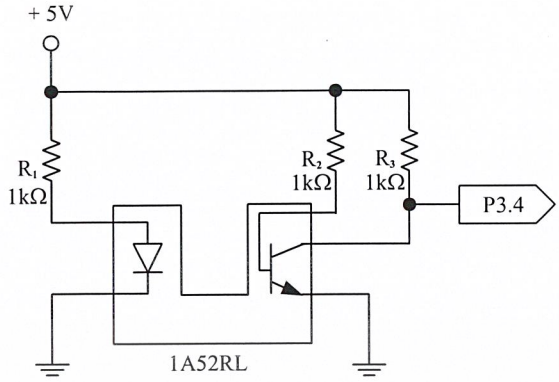


รูปที่ ก.18 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์

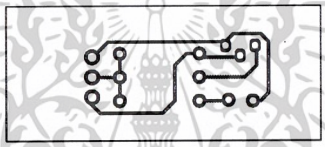
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

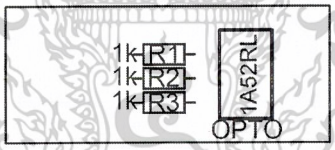
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

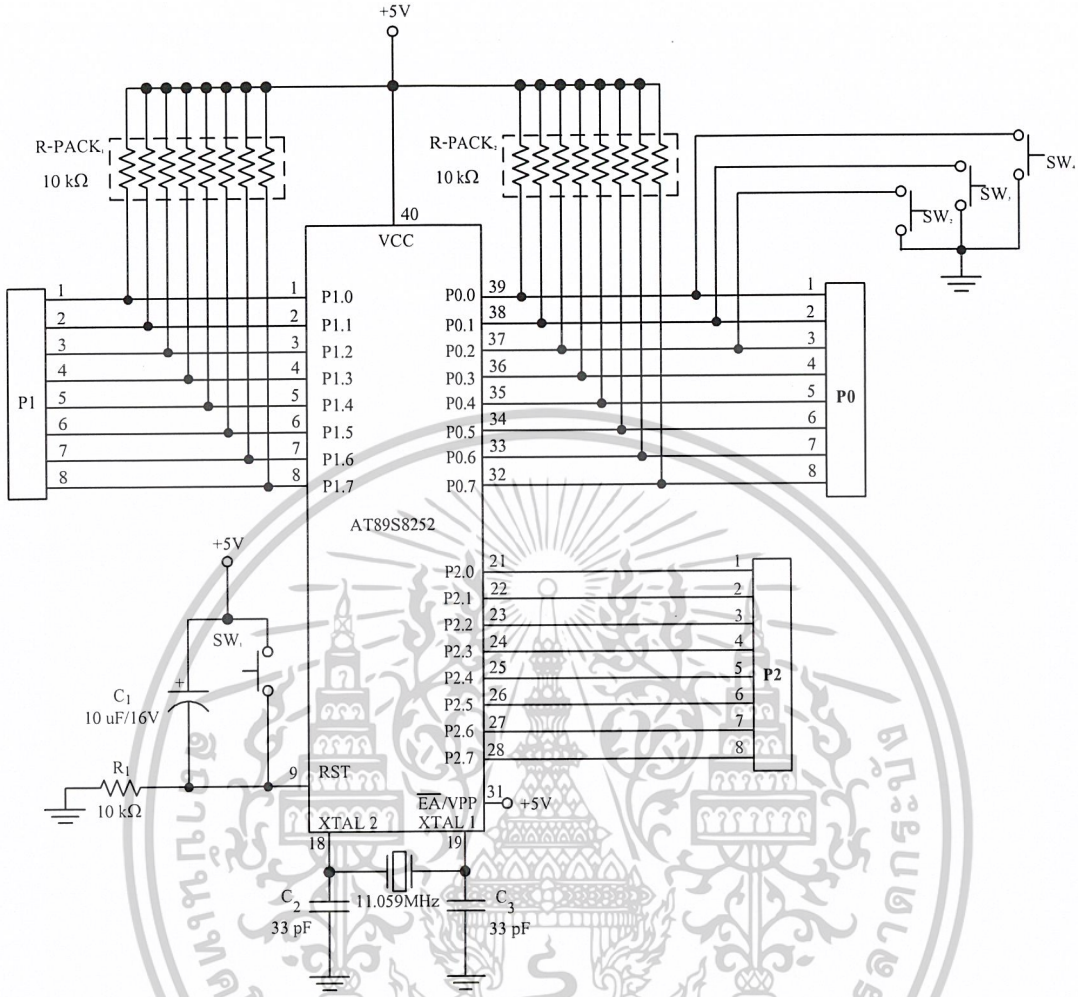


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว



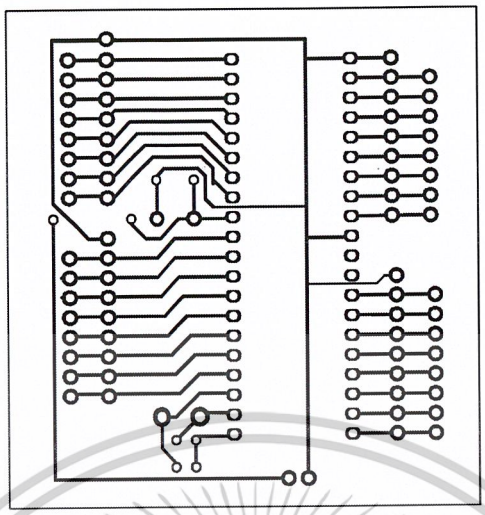
รูปที่ ข.3 การวางอุปกรณ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

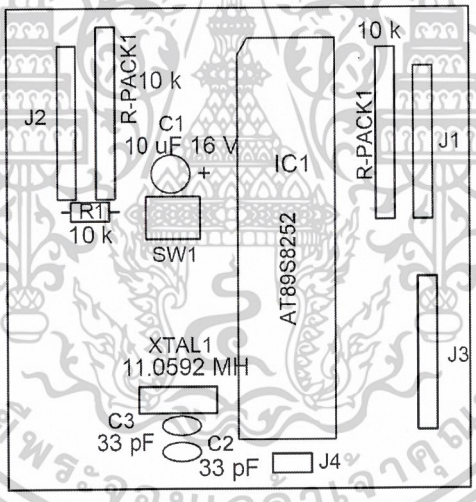


รูปที่ ข.4 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

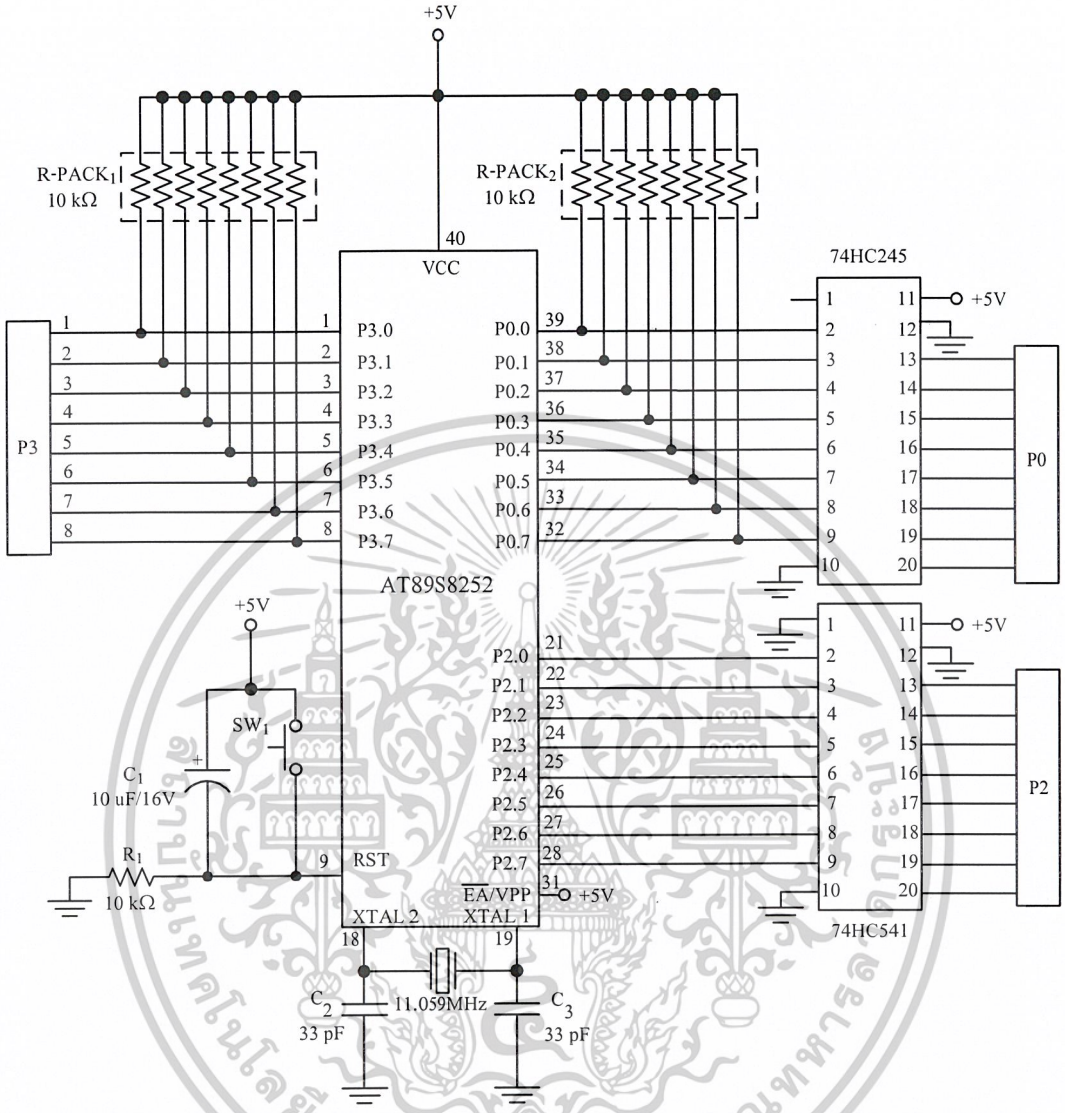


รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1



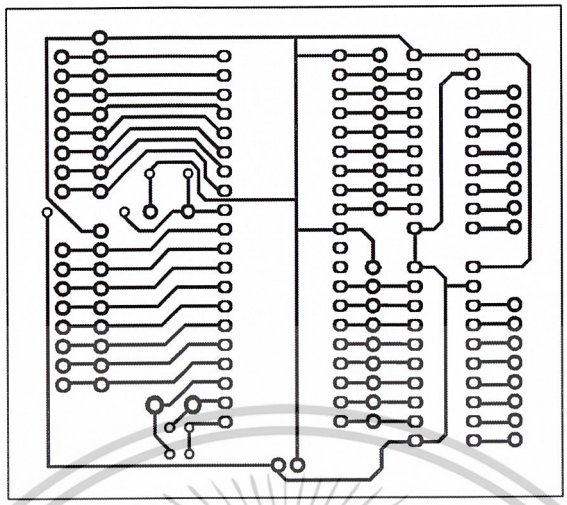
รูปที่ ข.6 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

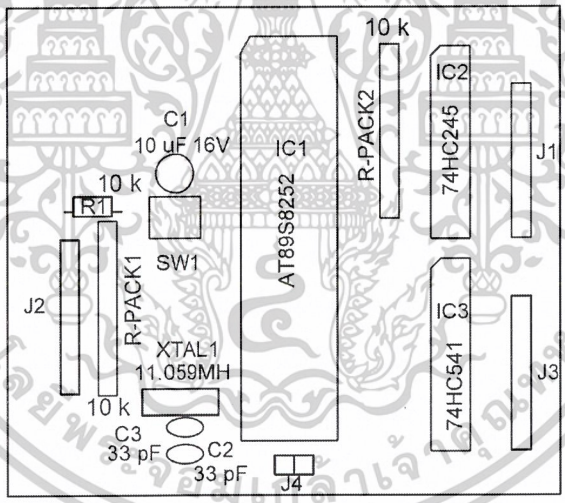


รูปที่ ข.7 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

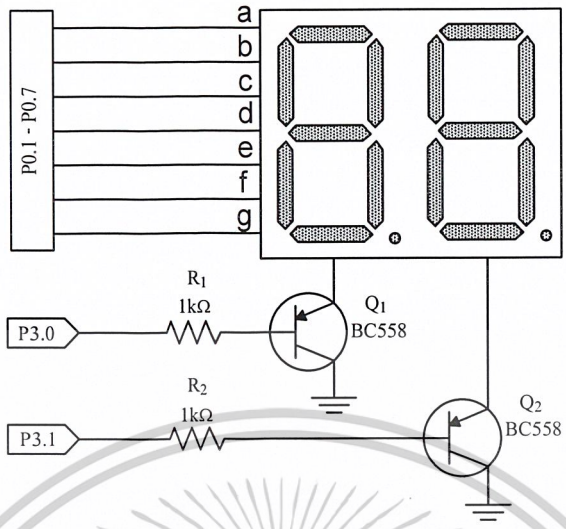


รูปที่ ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

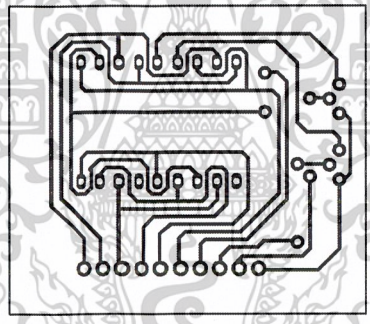


รูปที่ ข.9 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

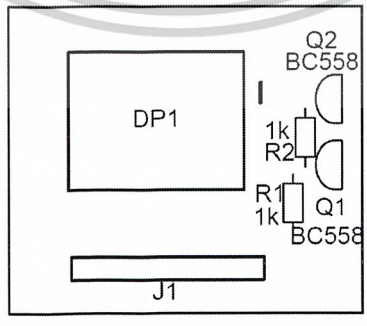
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 วงจรแสดงผลความเร็ว

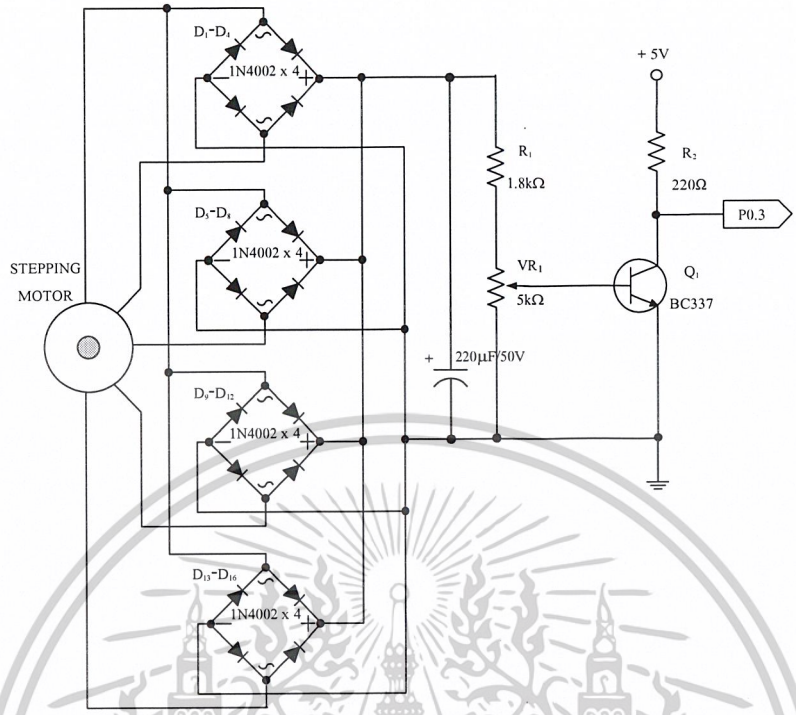


รูปที่ ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแสดงผลความเร็ว

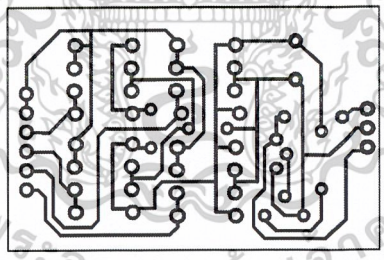


รูปที่ ข.12 การวางอุปกรณ์วงจรแสดงผลความเร็ว

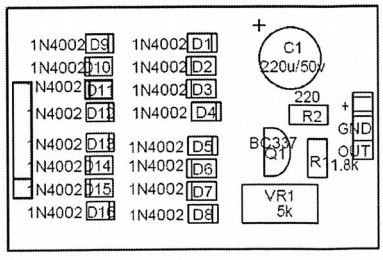
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

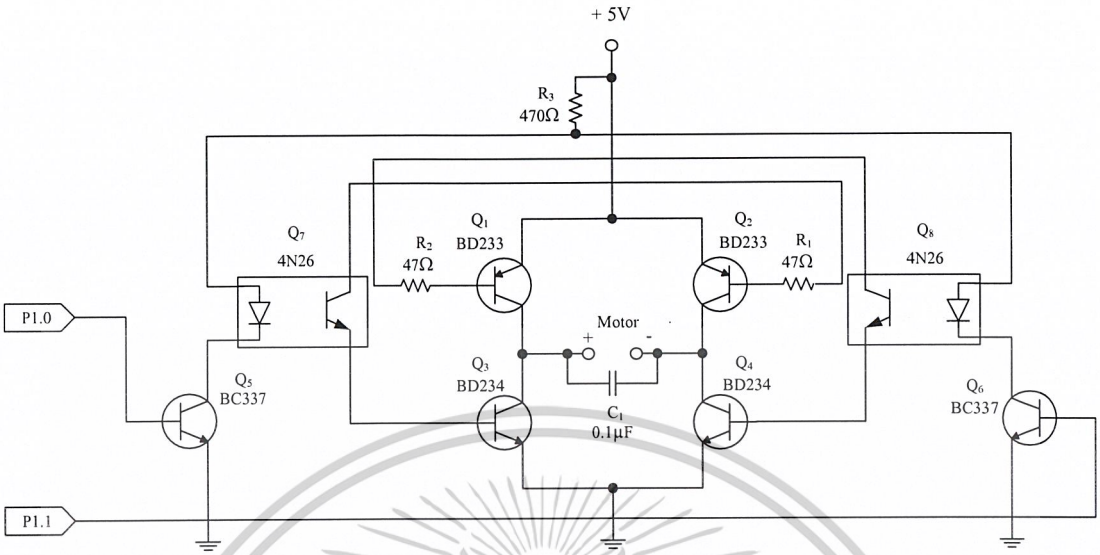


รูปที่ ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

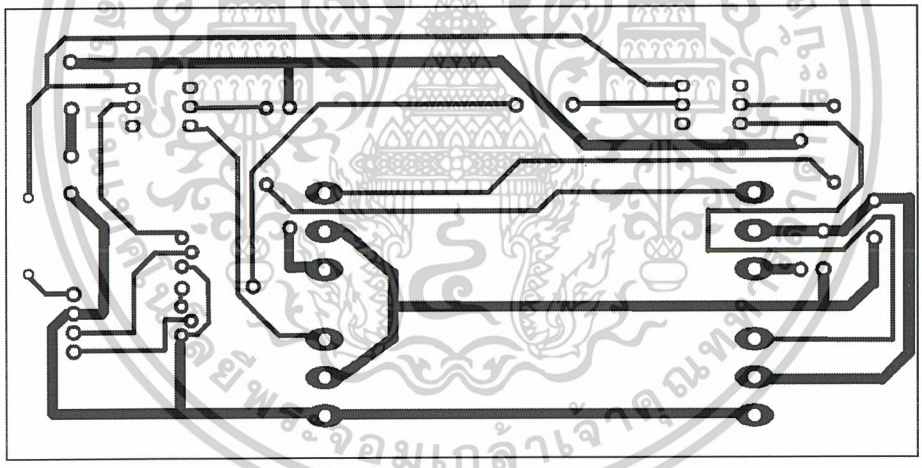


รูปที่ ข.15 การวางอุปกรณ์วงจรวงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

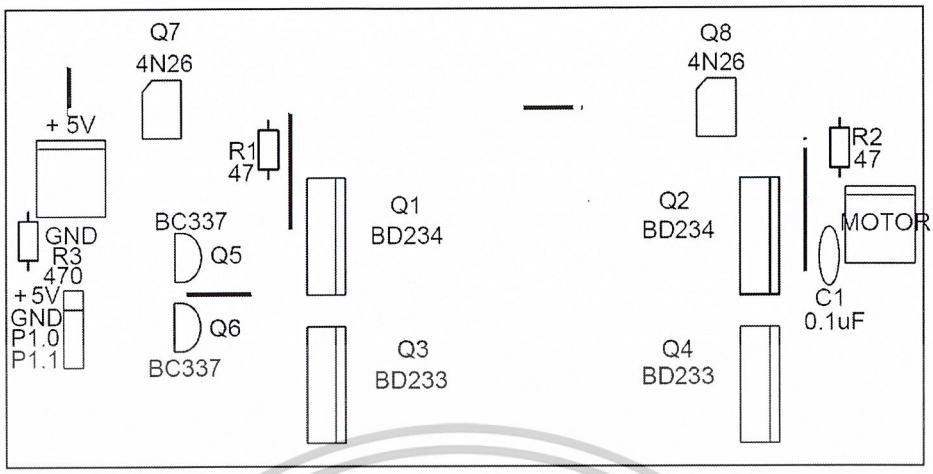


รูปที่ ข.16 วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

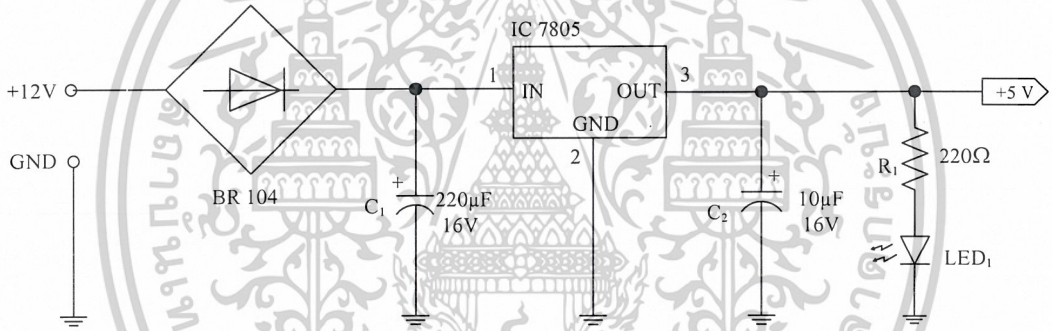


รูปที่ ข.17 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

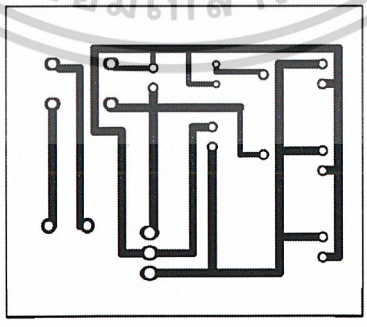
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.18 การวางอุปกรณ์วงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

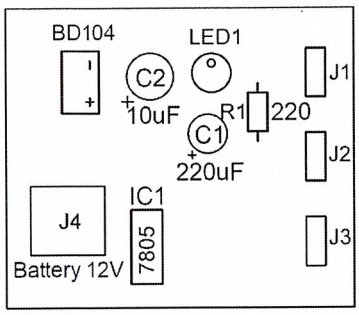


รูปที่ ข.19 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

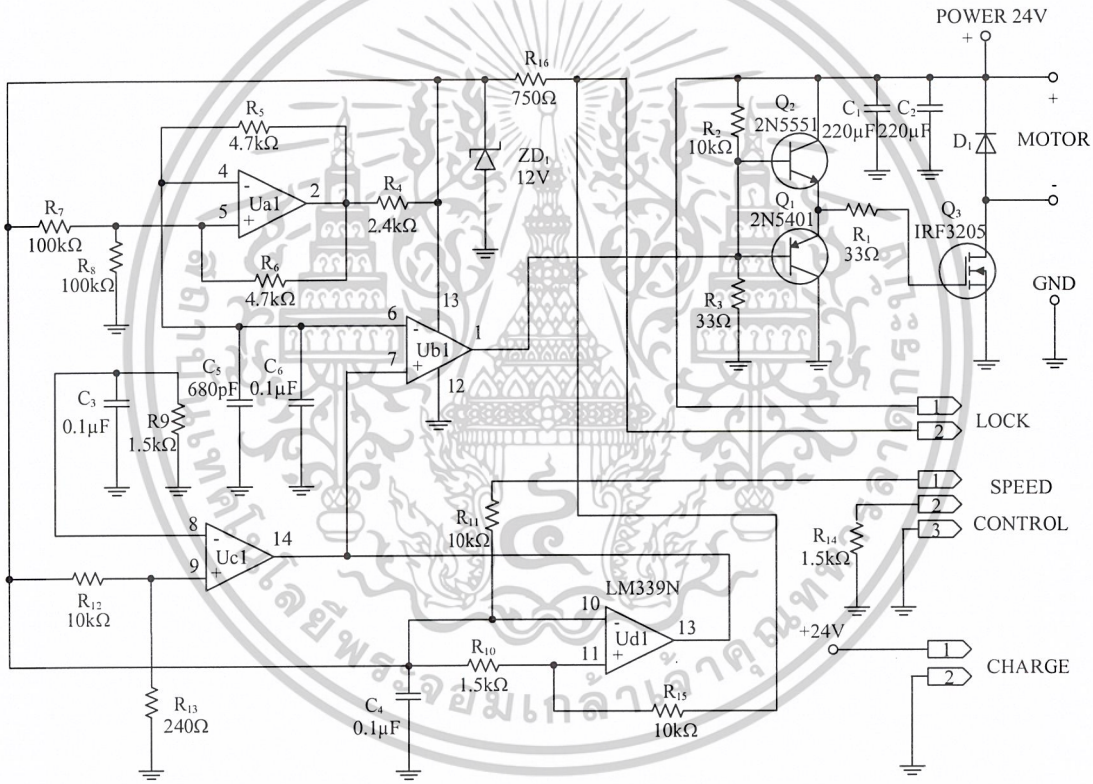


รูปที่ ข.20 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

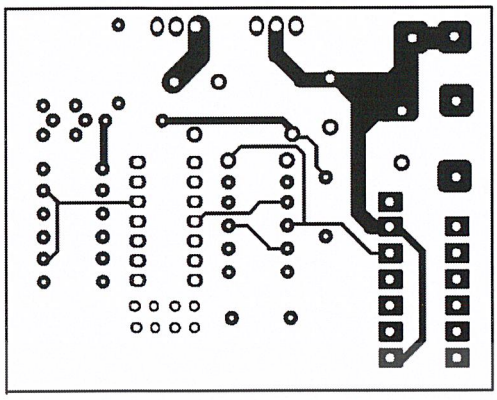


รูปที่ ข.21 การวางอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ

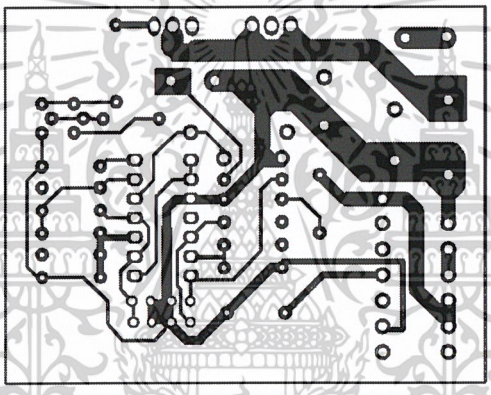


รูปที่ ข.22 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

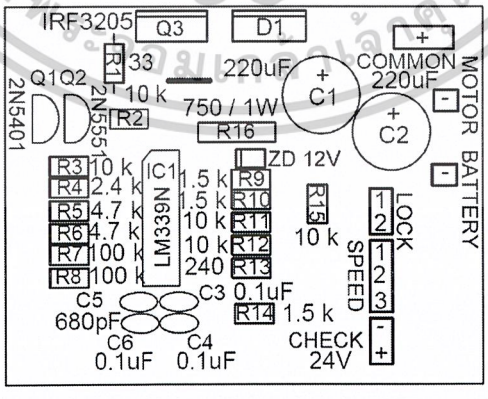
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.23 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ (ด้านบน)

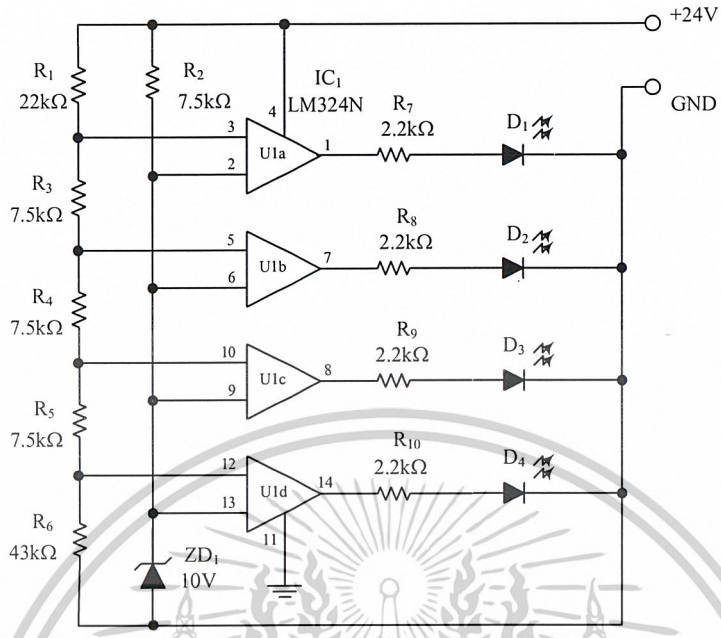


รูปที่ ข.24 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ (ด้านล่าง)

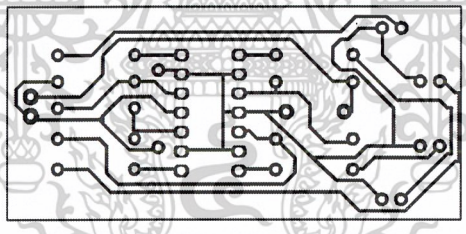


รูปที่ ข.25 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

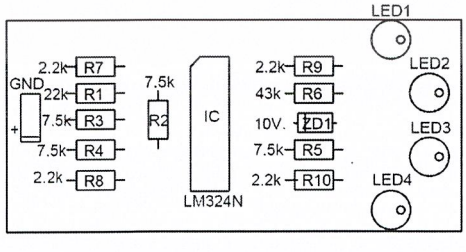
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.26 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์

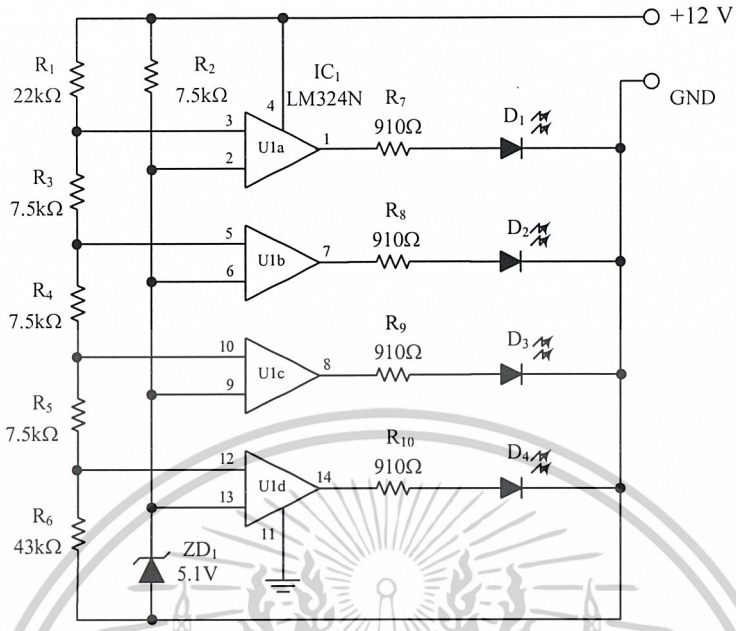


รูปที่ ข.27 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์

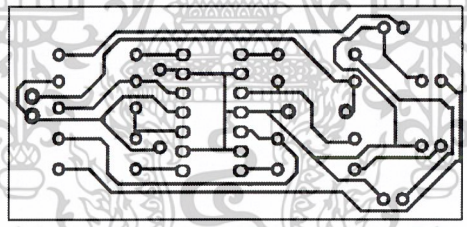


รูปที่ ข.28 การวางอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์

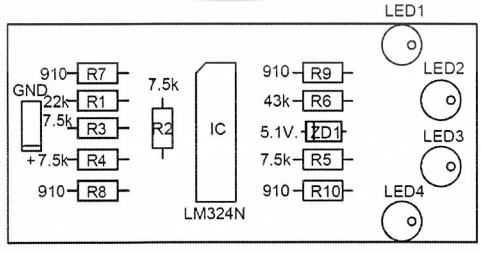
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.29 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

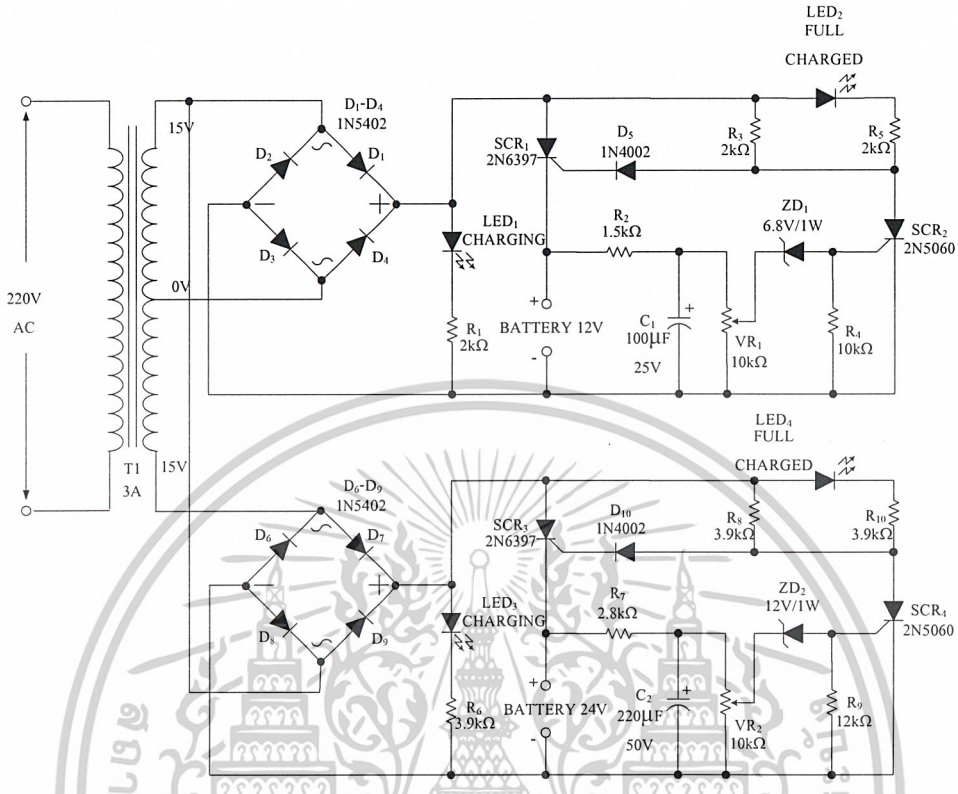


รูปที่ ข.30 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

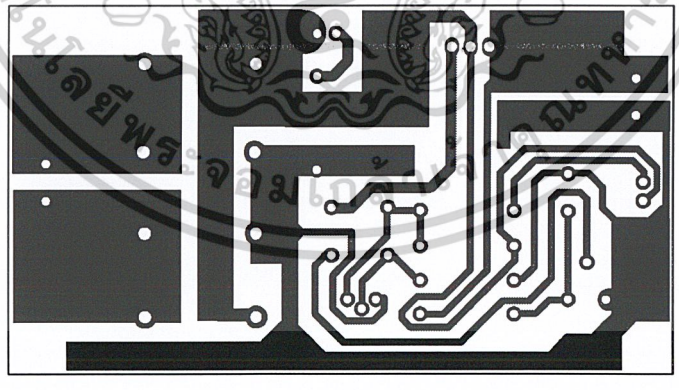


รูปที่ ข.31 การวางอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

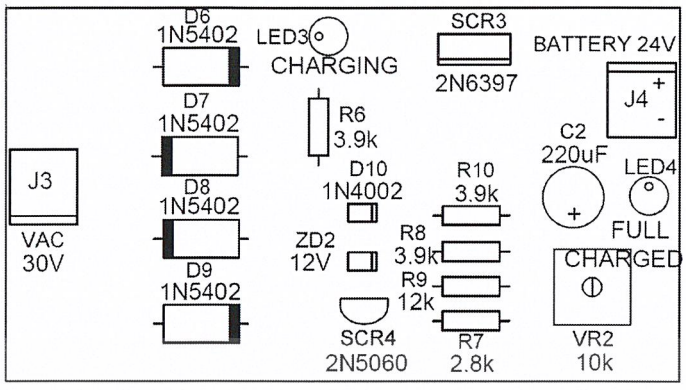


รูปที่ ข.32 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

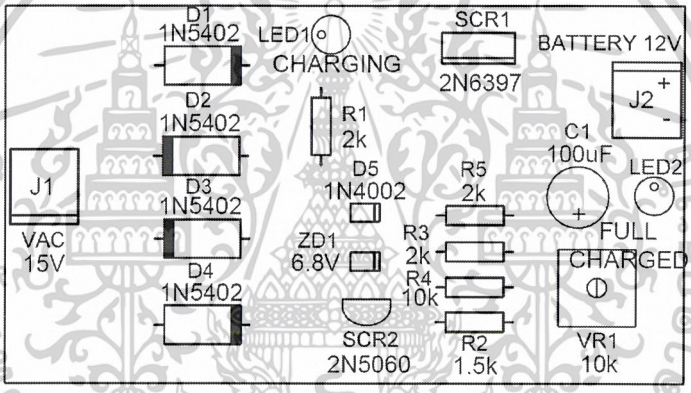


รูปที่ ข.33 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์และ 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.34 การวางอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์



รูปที่ ข.35 การวางอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรเซนเซอร์ความเร็ว

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
OPTO	1A52RL	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1-R3	1.2 kΩ 1/4 W	3 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	คอนเน็กเตอร์ 3 พิน	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 1

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	AT89S8252	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
XTAL1	11.0592 MHz	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	10 μF 16 V	2 ตัว
C2, C3	33 pF	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	10 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R-PACK 1-3	10 kΩ	3 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S1-S4	สวิตซ์แบบ CE PUSH BUTTON	4 ตัว
J1-J3	คอนเน็กเตอร์ 8 พิน	3 ตัว
J4	คอนเน็กเตอร์ 2 พิน	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	AT89S8252	1 ตัว
IC2	74HC245	1 ตัว
IC3	74HC541	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
XTAL1	11.0592 MHz	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	10 µF 16 V	2 ตัว
C2, C3	33 pF	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R-PACK 1-2	10 kΩ	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S1	สวิตซ์แบบ CE PUSH BUTTON	1 ตัว
J1-J3	คอนเน็กเตอร์ 8 พิน	3 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรแสดงผลความเร็ว

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1, Q2	BC558	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1, R2	1 kΩ 1/4 W	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	คอนเน็กเตอร์ 8 พิน	1 ตัว
J2, J3	คอนเน็กเตอร์ 2 พิน	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์วงจรตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1	BC337	1 ตัว
D1-D16	1N4002	16 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	220 µF 50 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	1.8 kΩ	1 ตัว
R2	220 Ω	1 ตัว
VR1	5 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	คอนเน็กเตอร์ 6 พิน	1 ตัว
J2	คอนเน็กเตอร์ 3 พิน	1 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์วงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1, IC2	4N26	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1, Q2	BD234	2 ตัว
Q3, Q4	BD233	2 ตัว
Q5, Q6	BC337	
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.1 µF	2 ตัว
C2, C3	33 pF	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R1, R2	47kΩ 1/4 W	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1-J2	เทอร์มินอล	2 ตัว
J3	คอนเน็กเตอร์ 3 พิน	1 ตัว

ตารางที่ ค.7 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	L7805CV	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1	ไดโอดเปล่งแสง	1 ตัว
ตัวเก็ปประจุ		
C1	220 µF 16 V	1 ตัว
C2	1 µF 50 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	3.3 kΩ 1/4 W	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1- J3	คอนเน็กเตอร์ 2 พิน	3 ตัว
	เทอร์มินอลบล็อก	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM339N	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1	เพาว์เวอร์ไดโอด	1 ตัว
Q1	2N5401	1 ตัว
Q2	2N555	1 ตัว
Q3	IRF3205	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1, C2	220 µF 16 V	1 ตัว
C3-C6	1 µF 50 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	33 Ω 1/4 W	1 ตัว
R2, R3, R11	10 kΩ 1/4 W	3 ตัว
R4	2.4 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R5, R6	4.7 kΩ 1/4 W	2 ตัว
R7, R8	100 kΩ 1/4 W	2 ตัว
R9, R10, R14	1.5 kΩ 1/4 W	3 ตัว
R12, R15	10 kΩ 1/4 W	2 ตัว
R13	240 Ω 1/4 W	1 ตัว
R16	750 Ω 1 W	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 24 โวลต์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM 324N	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D4	ไดโอดเปล่งแสง	4 ตัว
ZD1	10 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	22 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R2-R5	7.5 kΩ 1/4 W	4 ตัว
R6	43 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R7-R10	2.2 kΩ 1/4 W	4 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	คอนเน็กเตอร์ 2 พิน	1 ตัว

ตารางที่ ค.10 รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM 324N	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D4	ไดโอดเปล่งแสง	4 ตัว
ZD1	5.1 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	22 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R2-R5	7.5 kΩ 1/4 W	4 ตัว
R6	43 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R7-R10	910 Ω 1/4 W	4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	คอนเน็กเตอร์ 2 พิน	1 ตัว

ตารางที่ ค.11 รายการอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D4	1N5402	4 ตัว
D5	1N4002	1 ตัว
D6-D8	1N5402	4 ตัว
D9-D12	ไดโอดเปล่งแสง	4 ตัว
SCR1, SCR3	2N6397	2 ตัว
SCR2, SCR4	2N5060	1 ตัว
ZD1	6.8 V/1W	1 ตัว
ZD2	12 V/1W	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	100 µF 25 V	1 ตัว
C2	220 µF 50 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	2 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R2, R5	1.5 kΩ 1/4 W	2 ตัว
R3	2 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R4	10 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R6, R8, R10	3.9 kΩ 1/4 W	3 ตัว
R7	2.8 kΩ 1/4 W	1 ตัว
R9	12 kΩ 1/4 W	1 ตัว
VR1, VR2	10 kΩ แบบเกือกม้า	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

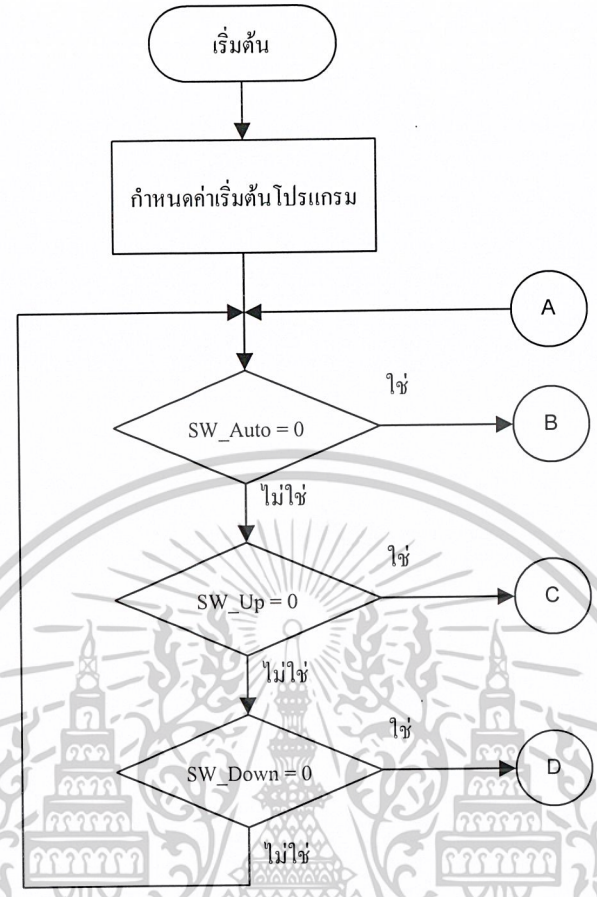
ตารางที่ ค.11 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรชาร์จแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1, J2	เทอร์มินอลบล็อก	1 ตัว
T1	หม้อแปลง 3 A, 15V-0V	1 ตัว
S1	สวิตซ์แบบ CE PUSH BUTTON	1 ตัว
F1	ฟิวส์	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

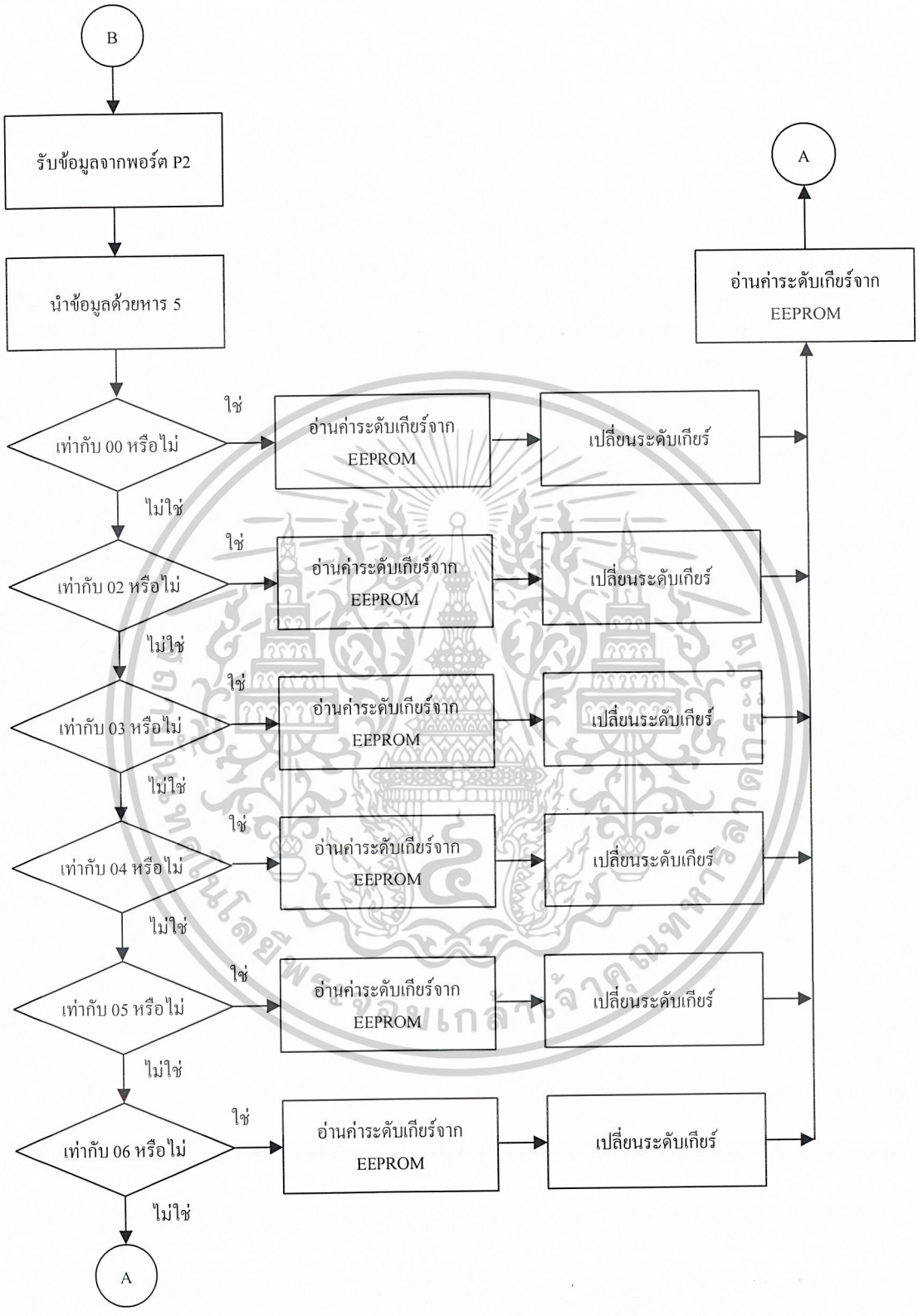
ภาคผนวก ง
แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



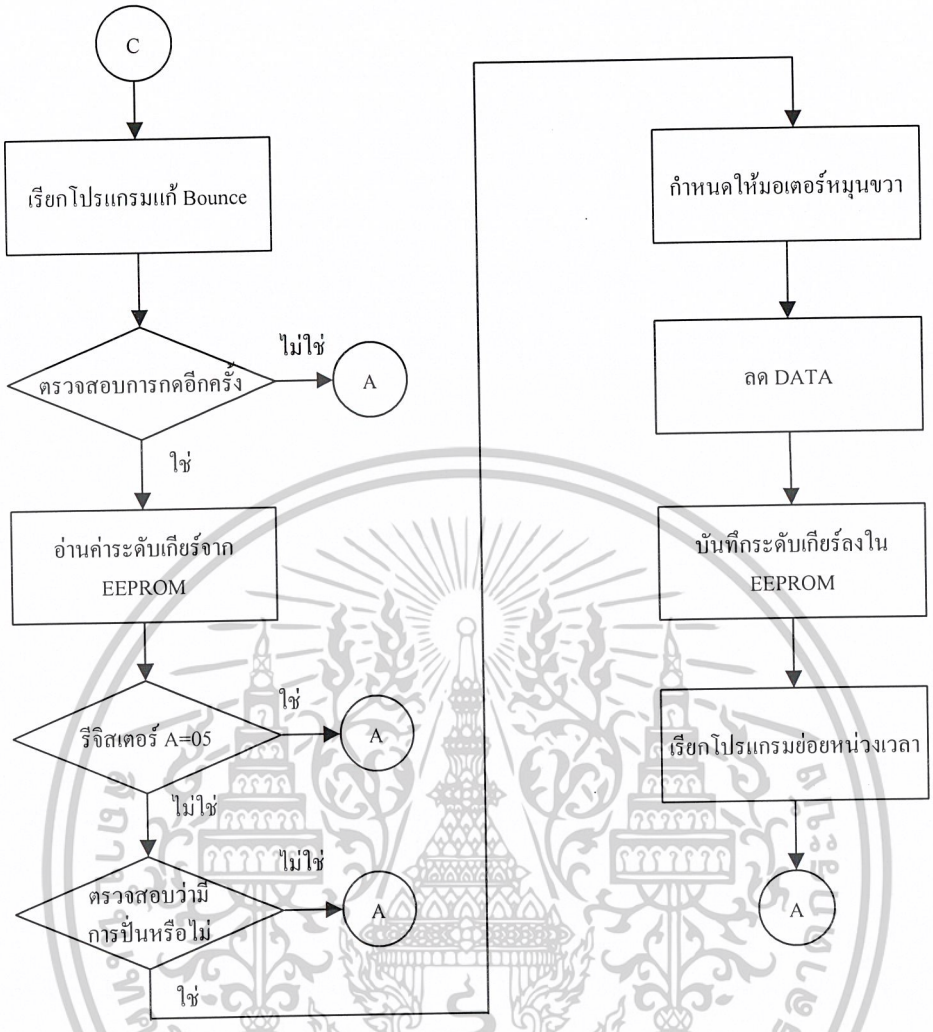
รูปที่ ง.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



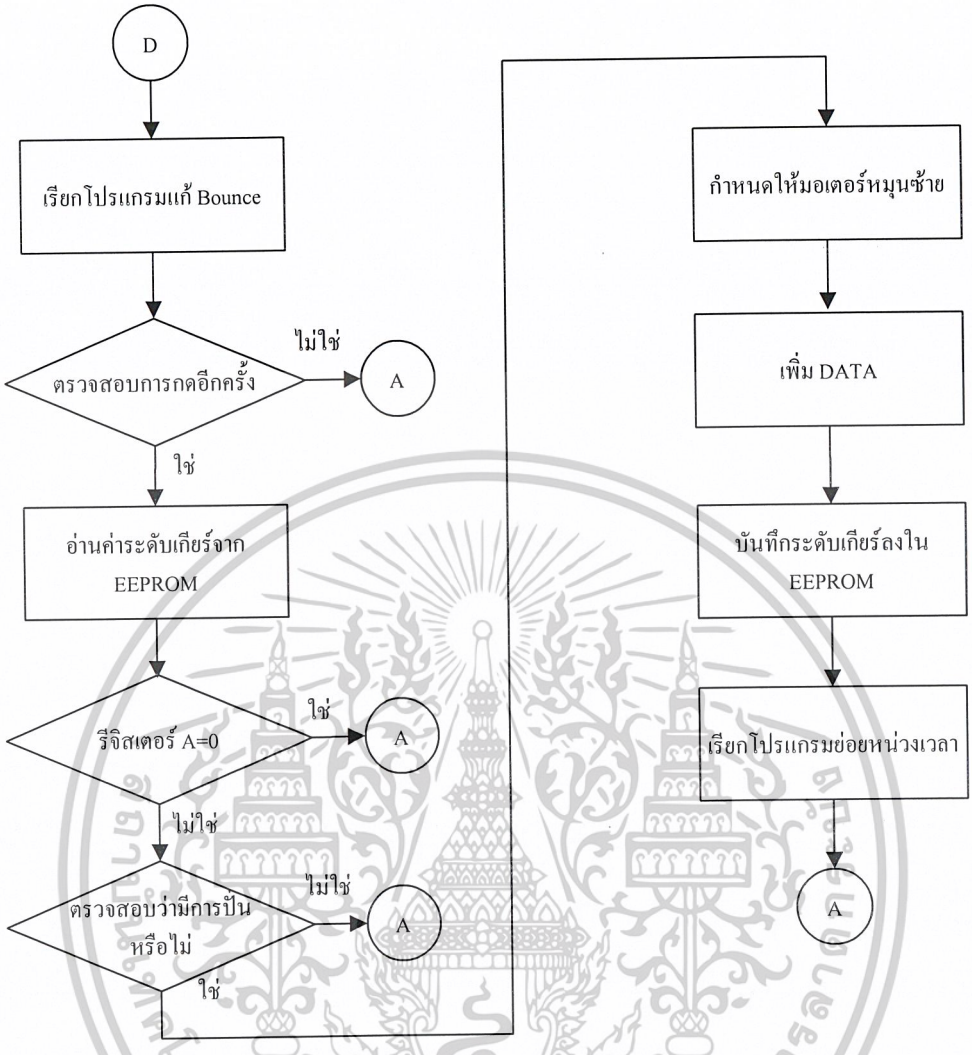
รูปที่ ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



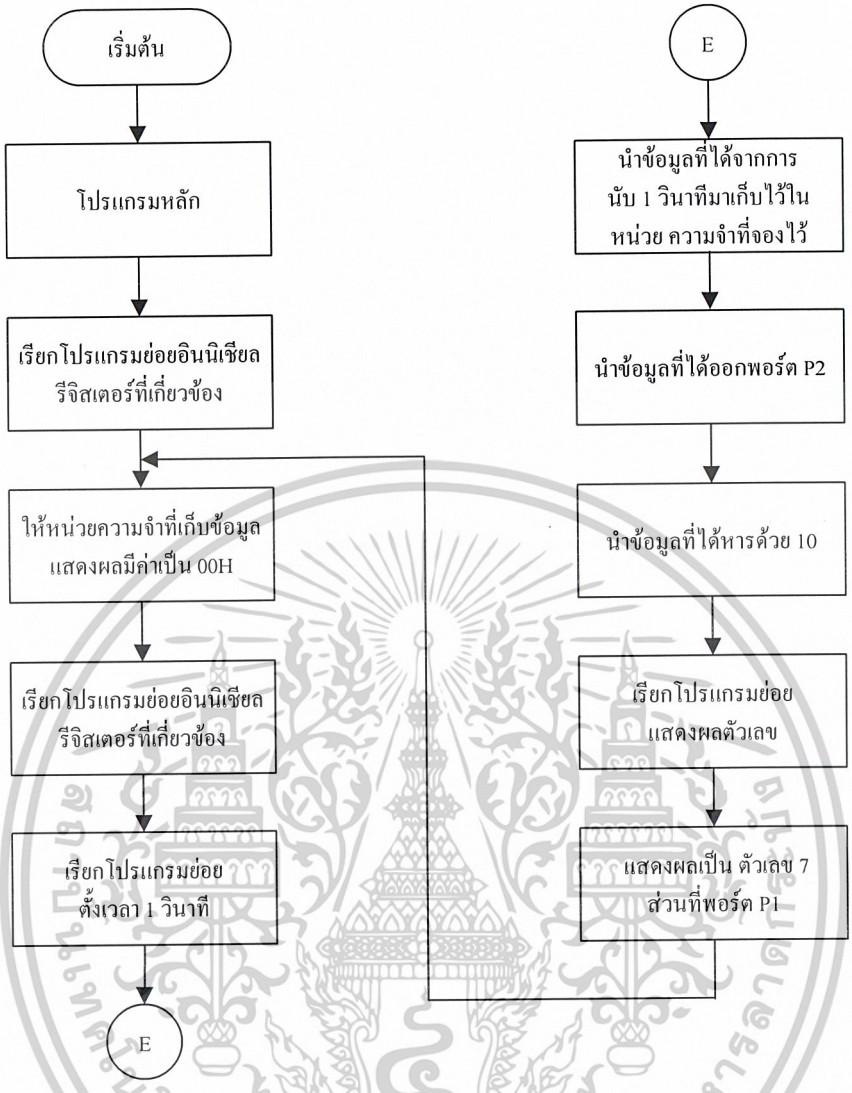
รูปที่ ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแสดงผลความเร็วของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการใช้งานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

```
;PROGRAM FOR 89S8252
            SW_AUTO     BIT   P0.0
            SW_UP       BIT   P0.1
            SW_DOWN     BIT   P0.2
            CHK         BIT   P0.3
            DATA        EQU   26H
            WMCON       EQU   96H
;*********************************************************
;      Input - Output Ports
;*********************************************************
            ORG   0000H
MAIN_1:     SETB  SW_AUTO
            SETB  SW_UP
            SETB  SW_DOWN
            SETB  CHK
            MOV   P1,#00H
            MOV   P2,#00H
            MOV   A,#00H
            MOV   DATA,#00H
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
;*********************************************************
;      SCAN SWITCH
;*********************************************************
SCAN:       JNB   SW_AUTO,AUTO
            JNB   SW_DOWN,DOWN
            JNB   SW_UP,UP
            SJMP  SCAN
;*********************************************************
;      UP
;*********************************************************
UP:         ACALL DELAY_D
UP_1:       JB    SW_UP,SCAN
            JNB   SW_DOWN,SCAN
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            CJNE  A,#05H,INC_DATA
            SJMP  SCAN
INC_DATA:   JB    CHK,SCAN
            JNB   SW_UP,$
            ACALL STEP_UP
            MOV   DATA,A
            INC   DATA
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL WRITE_EE
            ACALL DELAY
            SJMP  SCAN
;*********************************************************
;      DOWN
;*********************************************************
DOWN:       ACALL DELAY_D
DOWN_1:     JB    SW_DOWN,SCAN
            JNB   SW_UP,SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            CJNE  A,#00H,DEC_DATA
            SJMP  SCAN
DEC_DATA:   JB    CHK,SCAN
            JNB   SW_DOWN,$
            ACALL STEP_DOWN
            MOV   DATA,A
            DEC   DATA
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL WRITE_EE
            ACALL DELAY
            SJMP  SCAN
;*************************************************************
;     CHECK
;*************************************************************
CHECK:      JB    CHK,SCAN
            RET
;*************************************************************
;     AUTO
;*************************************************************
AUTO:       ACALL DELAY_B
            MOV   A,P2
            ACALL DELAY_B
            MOV   B,#10
            DIV   AB
;*************************************************************
;     GEAR LEVEL
;*************************************************************
GEAR6:      CJNE  A,#00,AUTO_1
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
            CJNE  A,#05H,GEAR6_CK1
            LJMP  SCAN
GEAR6_CK1:  CJNE  A,#00H,GEAR6_CK2
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR6_CK2:  CJNE  A,#01H,GEAR6_CK3
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR6_CK3:  CJNE  A,#02H,GEAR6_CK4
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR6_CK4:  CJNE  A,#03H,GEAR6_CK5
            LCALL CHECK
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR6_CK5:  CJNE  A,#04H,GEAR6_CK6
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
GEAR6_CK6:  LJMP  SCAN
;*****************************************************
;      AUTO_1
;*****************************************************
AUTO_1:     ACALL DELAY_B
            MOV   A,P2
            ACALL DELAY_B
            MOV   B,#5
            DIV   AB
;*****************************************************
;      GEAR LEVEL
;*****************************************************
GEAR5:      CJNE  A,#02,GEAR4
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
            CJNE  A,#04H,GEAR5_CK1
            LJMP  SCAN
GEAR5_CK1:  CJNE  A,#00H,GEAR5_CK2
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR5_CK2:  CJNE  A,#01H,GEAR5_CK3
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR5_CK3:  CJNE  A,#02H,GEAR5_CK4
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR5_CK4:  CJNE  A,#03H,GEAR5_CK5
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR5_CK5:  CJNE  A,#05H,GEAR5_CK6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
GEAR5_CK6:  LJMP  SCAN
;*********************************************************
GEAR4:      CJNE  A,#03,GEAR3
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
            CJNE  A,#03H,GEAR4_CK1
            LJMP  SCAN
GEAR4_CK1:  CJNE  A,#00H,GEAR4_CK2
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR4_CK2:  CJNE  A,#01H,GEAR4_CK3
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR4_CK3:  CJNE  A,#02H,GEAR4_CK4
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
            INC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR4_CK4:  CJNE  A,#04H,GEAR4_CK5
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR4_CK5:  CJNE  A,#05H,GEAR4_CK6
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
GEAR4_CK6:  LJMP  SCAN
;*********************************************************
GEAR3:      CJNE  A,#04,GEAR2
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
            CJNE  A,#02H,GEAR3_CK1
            LJMP  SCAN
GEAR3_CK1:  CJNE  A,#00H,GEAR3_CK2
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_UP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
             INC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR3_CK2:   CJNE   A,#01H,GEAR3_CK3
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_UP
             INC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR3_CK3:   CJNE   A,#03H,GEAR3_CK4
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_DOWN
             DEC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR3_CK4:   CJNE   A,#04H,GEAR3_CK5
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_DOWN
             DEC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR3_CK5:   CJNE   A,#05H,GEAR3_CK6
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_DOWN
             DEC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
GEAR3_CK6:   LJMP   SCAN
;*************************************************
GEAR2:       CJNE   A,#05,GEAR1
             MOV    DPTR,#0000H
             LCALL  READ_EE
             MOV    DATA,A
             CJNE   A,#01H,GEAR2_CK1
             LJMP   SCAN
GEAR2_CK1:   CJNE   A,#00H,GEAR2_CK2
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_UP
             INC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR2_CK2:   CJNE   A,#02H,GEAR2_CK3
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_DOWN
             DEC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
             LCALL  DELAY
             LJMP   SCAN
GEAR2_CK3:   CJNE   A,#03H,GEAR2_CK4
             LCALL  CHECK
             ACALL  STEP_DOWN
             DEC    DATA
             LCALL  WRITE_EE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR2_CK4:  CJNE  A,#04H,GEAR2_CK5
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR2_CK5:  CJNE  A,#05H,GEAR2_CK6
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
GEAR2_CK6:  LJMP  SCAN
;*************************************************
GEAR1:      CJNE  A,#06,GEAR1_CK6
            MOV   DPTR,#0000H
            LCALL READ_EE
            MOV   DATA,A
            CJNE  A,#00H,GEAR1_CK1
            LJMP  SCAN
GEAR1_CK1:  CJNE  A,#01H,GEAR1_CK2
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR1_CK2:  CJNE  A,#02H,GEAR1_CK3
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR1_CK3:  CJNE  A,#03H,GEAR1_CK4
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR1_CK4:  CJNE  A,#04H,GEAR1_CK5
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
            LJMP  SCAN
GEAR1_CK5:  CJNE  A,#05H,GEAR1_CK6
            LCALL CHECK
            ACALL STEP_DOWN
            DEC   DATA
            LCALL WRITE_EE
            LCALL DELAY
GEAR1_CK6:  LJMP  SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*************************************************************
;      RIGHT
;*************************************************************
STEP_UP:     CJNE  A,#04H, STEP_UP1
             SETB  P1.0
             ACALL DELAY_STEP5
             CLR   P1.0
             ACALL DELAY_D
             SETB  P1.1
             ACALL DELAY_B
             CLR   P1.1
             RET
STEP_UP1:    CJNE  A,#00H, STEP_UP2
             SETB  P1.0
             ACALL DELAY_STEP3
             CLR   P1.0
             ACALL DELAY_D
             SETB  P1.1
             ACALL DELAY_B
             CLR   P1.1
             RET
STEP_UP2:    SETB  P1.0
             ACALL DELAY_STEP1
             CLR   P1.0
             ACALL DELAY_D
             SETB  P1.1
             ACALL DELAY_B
             CLR   P1.1
             RET
;*************************************************************
;      LEFT
;*************************************************************
STEP_DOWN:   CJNE  A,#05H,STEP_DOWN1
             SETB  P1.1
             ACALL DELAY_STEP6
             CLR   P1.1
             RET
STEP_DOWN1:  CJNE  A,#01H,STEP_DOWN2
             SETB  P1.1
             ACALL DELAY_STEP4
             CLR   P1.1
             RET
STEP_DOWN2:  SETB  P1.1
             ACALL DELAY_STEP2
             CLR   P1.1
             RET
;*************************************************************
;      DELAY MOTOR
;*************************************************************
DELAY_STEP1:MOV   R0,#50
DELAY_1:     MOV   TMOD,#01H
             MOV   TH0,#0B7H
             MOV   TL0,#0FFH
             SETB  TR0
WAIT_1:      JNB   TF0,WAIT_1
             CLR   TR0
             CLR   TF0
             DJNZ  R0,DELAY_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            RET
DELAY_STEP3:MOV   R0,#54
DELAY_3:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_3:     JNB   TF0,WAIT3
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_3
            RET
DELAY_STEP5:MOV   R0,#58
DELAY_5:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_5:     JNB   TF0,WAIT_5
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_5
            RET
DELAY_B:    MOV   R0,#8
DELAY_B1:   MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT:       JNB   TF0,WAIT
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_B1
            RET
;*************************************************
;     DELAY MOTOR
;*************************************************
DELAY_STEP2:MOV   R0,#33
DELAY_2:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_2:     JNB   TF0,WAIT_2
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_2
            RET

DELAY_STEP4:MOV   R0,#38
DELAY_4:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_4:     JNB   TF0,WAIT_4
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_4
            RET
DELAY_STEP6:MOV   R0,#40
DELAY_6:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_6:     JNB   TF0,WAIT_6
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R0,DELAY_6
            RET
;*************************************************************
;     DELAY DEBOUNCE
;*************************************************************
DELAY_D:    MOV   R7,#0FH
            DJNZ  R7,$
            RET
;*************************************************************
;     DELAY
;*************************************************************
DELAY:      MOV   R1,#50
DELAY_7:    MOV   TMOD,#01H
            MOV   TH0,#0B7H
            MOV   TL0,#0FFH
            SETB  TR0
WAIT_8:     JNB   TF0,WAIT_8
            CLR   TR0
            CLR   TF0
            DJNZ  R1,DELAY_7
            RET
;*************************************************************
;     SUB PROGRAM READ-WRITE EEPROM
;*************************************************************
READ_EE:    MOV   WMCON,#00001000B
            MOVX  A,@DPTR
            MOV   WMCON,#00000000B
            RET
WRITE_EE:   MOV   DPTR,#0000H
            MOV   A,DATA
            MOV   WMCON,#00011000B
            MOVX  @DPTR,A
            ACALL DELAY_WR
            MOV   WMCON,#00000000B
            RET
DELAY_WR:   MOV   R2,#6
DELAY_WR1:  MOV   R3,#0
            DJNZ  R3,$
            DJNZ  R4,DELAY_WR1
            RET
            END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;PROGRAM FOR 89S52

            COUNT_200    EQU   20H
            COUNT_10     EQU   21H
            COUNT_2      EQU   22H
            COUNT        EQU   23H
            DIGIT1       BIT   P3.1
            DIGIT0       BIT   P3.0
            DATA:        DS    2
            ORG          0000H
            SJMP         START
            ORG          000BH
            SJMP         INT_T0
            ORG          001BH
            SJMP         INT_T1
            ORG          0030H
;*********************************************************
;      MAIN
;*********************************************************
START:      MOV    P3,#0FFH
            MOV    P0,#00000000B
            MOV    P2,#00H
MAIN:       ACALL  INIT
LOOP:       ACALL  DATA_DIS
            ACALL  DISPLAY
            SJMP   LOOP
;*********************************************************
;      INITIAL
;*********************************************************
INIT:       MOV    COUNT_200,#200
            MOV    COUNT_10,#15
            MOV    COUNT_2,#1
            MOV    COUNT,#00H
            SETB   P3.2
            SETB   P3.4
            MOV    TMOD,#00101110B
            MOV    TL0,#00H
            MOV    TH0,#00H
            MOV    TL1,#-230
            MOV    TH1,#-230
            SETB   EA
            SETB   ET1
            SETB   ET0
            SETB   TR0
            SETB   TR1
            RET
;*********************************************************
;      TIMER1
;*********************************************************
INT_T1:     DJNZ   COUNT_200,END_RETI
            MOV    COUNT_200,#200
            DJNZ   COUNT_10,END_RETI
            MOV    COUNT_10,#15
            DJNZ   COUNT_2,END_RETI
            MOV    COUNT_2,#01
            CLR    TR0
            MOV    COUNT,TL0
            MOV    TL0,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SETB  TR0
END_RETI:   RETI
;*********************************************************
;     TIMER0
;*********************************************************
INT_T0:           MOV   COUNT,#00H
            RETI
;*********************************************************
;     DATA AND DATA + 1
;*********************************************************
DATA_DIS:   MOV   P2,COUNT
            MOV   DPTR,#TABLE
            MOV   B,#10
            MOV   A,COUNT
            DIV   AB
            MOVC  A,@A+DPTR
            MOV   DATA+1,A
            MOV   A,B
            MOVC  A,@A+DPTR
            MOV   DATA,A
            RET
;*********************************************************
;     DISPLAY
;*********************************************************
DISPLAY:    MOV   A,DATA+1
            MOV   P0,A
            CLR   DIGIT1
            ACALL DELAY_1
            SETB  DIGIT1
            MOV   A,DATA
            MOV   P0,A
            CLR   DIGIT0
            ACALL DELAY_1
            SETB  DIGIT0
            RET
;*********************************************************
;     DELAY
;*********************************************************
DELAY_1:    MOV   R1,#200
            DJNZ  R1,$
            RET
TABLE:      DB    0FCH, 60H, 0DAH, 0F2H, 66H
            DB    0B6H, 0BEH, 0E0H, 0FEH, 0F6H
            END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
จักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

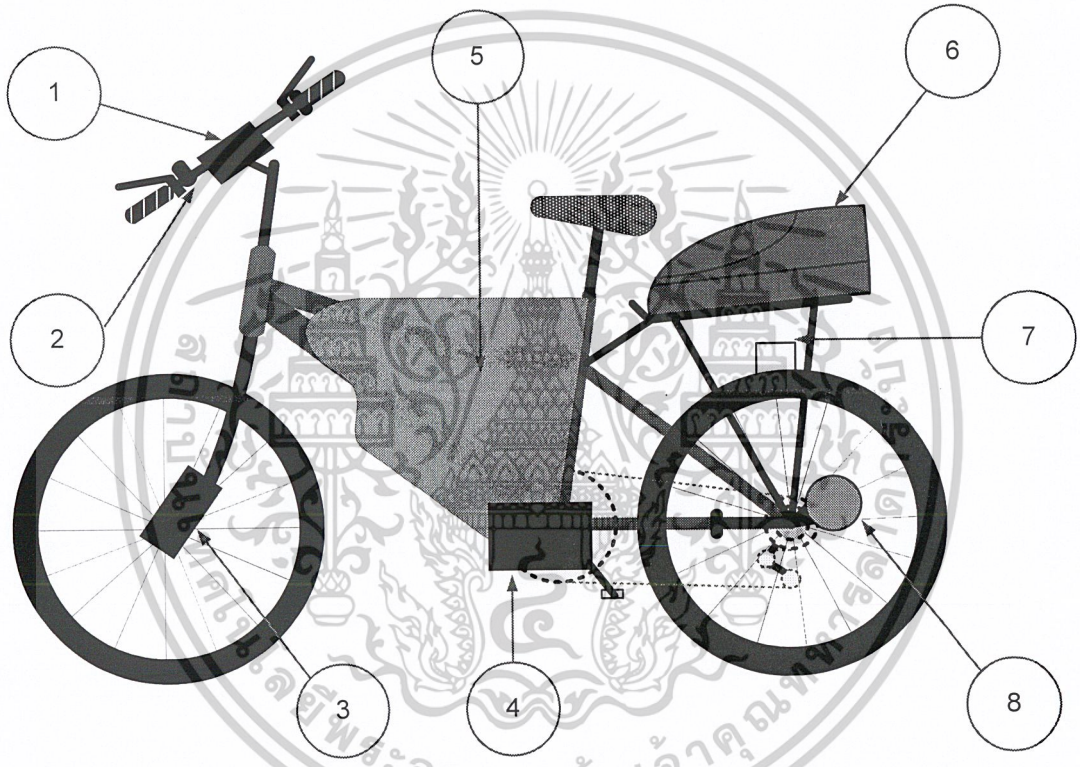
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะใช้งานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างถูกต้องเต็มประสิทธิภาพ และเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติและผู้ใช้งาน

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

(1) จอแสดงผลความเร็ว
(2) สวิตช์ควบคุมการเปลี่ยนระดับเกียร์
(3) เซนเซอร์ความเร็ว
(4) ตรวจสอบการปั่นด้วยเท้า
(5) แผงควบคุมระบบการทำงานและวงจรขับมอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) กล่องใส่แบตเตอรี่ 24 โวลต์

(7) มอเตอร์เปลี่ยนระดับเกียร์

(8) มอเตอร์ขับเคลื่อน

3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1 การใช้งานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

3.1.1 ทำการหมุนกุญแจไปที่ตำแหน่ง “ON”

3.1.2 ทำการตรวจสอบระดับของแบตเตอรี่

3.1.3 ทำการเลือกระบบที่ต้องการใช้งานซึ่งมี 2 ระบบ คือ

1) ระบบปั่นด้วยเท้ามีการใช้งาน 2 แบบ คือแบบอัตโนมัติจะสามารถทำการเปลี่ยนระดับเกียร์อัตโนมัติตามความเร็วในการเคลื่อนที่และแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถใช้งานได้โดยกดสวิตช์ “UP” จักรยานจะทำการเปลี่ยนระดับเกียร์ขึ้น และกดสวิตช์ “DOWN” จักรยานจะทำการเปลี่ยนระดับเกียร์ลง

2) ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าสามารถเพิ่มหรือลดความเร็วโดยการบิดที่คันเร่งของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ

3.1.4 หมุนกุญแจไปตำแหน่ง “OFF” เมื่อต้องการเลิกใช้งาน

3.2 การใช้งานเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

3.2.1 ต่อสายชาร์จเข้ากับจุดชาร์จที่รถจักรยาน

3.2.2 กดสวิตช์ “POWER” ให้อยู่ในตำแหน่ง “ON”

3.2.3 เมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้วไดโอดเปล่งแสงสีเขียวจะสว่าง

3.2.4 เมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้วให้กดสวิตช์ “POWER” ให้อยู่ในตำแหน่ง “OFF” ก่อนที่จะถอดสายใช้ออก

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านผู้ใช้งานประสบปัญหาในการใช้งานจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติสามารถตรวจสอบแนวทางแก้ปัญหาเบื้องต้นได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 อาการ สาเหตุและวิธีแก้ไข

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
1. เมื่อเปิดสวิตช์แล้วจอแสดงผลความเร็วและระบบเปลี่ยนระดับเกียร์ไม่ทำงาน	1. ตรวจเช็คขั้วแบตเตอรี่ 12 V
2. เมื่อเปิดสวิตช์เลือกระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแล้วเครื่องไม่ทำงาน	1. ตรวจเช็คขั้วแบตเตอรี่ 24 V
3. ถ้าเลือกระบบเกียร์อัตโนมัติแล้วไม่ทำงาน	1. ให้ทำการหมุนกุญแจไปยังตำแหน่ง “OFF” ก่อนแล้วจึงหมุนไปตำแหน่ง “ON” ใหม่อีกครั้ง

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

5.1.1. ปิดสวิตช์กุญแจทุกครั้งเมื่อใช้งานเสร็จ

5.1.2. ชาร์จแบตเตอรี่ทุกครั้งหลังจากใช้งาน

5.1.3. ตรวจเช็คขั้วแบตเตอรี่อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

5.2 ข้อควรระวัง

5.2.1. ควรปรับระดับเบาะนั่งของผู้ขับขี่อย่างระมัดระวังเพราะอาจจะทำให้กระแทกกล่องแบตเตอรี่ให้เกิดความเสียหาย

5.2.2. ไม่ควรหมุนสวิตช์ไปยังตำแหน่ง “OFF” ขณะที่ระบบเกียร์จักรยานกำลังทำงานอยู่เพราะจะทำให้ระดับเกียร์อยู่ผิดตำแหน่ง

5.2.3 ไม่ควรบิดคันเร่งอย่างรวดเร็วขณะออกตัวเพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่และเกิดความเสียหายต่อระบบขับเคลื่อนของจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ จ.2 คุณสมบัติ รายละเอียด

คุณสมบัติ	รายละเอียด
แบตเตอรี่	ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 12 แอมป์จำนวน 2 ลูกและ 12 โวลต์ 2.3 แอมป์จำนวน 1 ลูก
การชาร์จแบตเตอรี่	ใช้เวลา 8 ชั่วโมง
ระบบเกียร์	มีระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ และกึ่งอัตโนมัติ
ระดับเกียร์	สามารถปรับระดับได้ 6 ระดับ
ความเร็วสูงสุดขณะเคลื่อนที่ด้วยระบบไฟฟ้า	20 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง
ระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง	30 กิโลเมตร
น้ำหนักของจักรยานไฟฟ้าเกียร์อัตโนมัติ	30 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by LM339/D

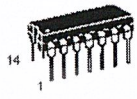
MOTOROLA

Quad Single Supply Comparators

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

These comparators are designed for use in level detection, low–level sensing and memory applications in consumer automotive and industrial electronic applications.

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ±5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage: ±1.0 mV (Typ) LM139A Series
- Input Common Mode Voltage Range to Gnd
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation



N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

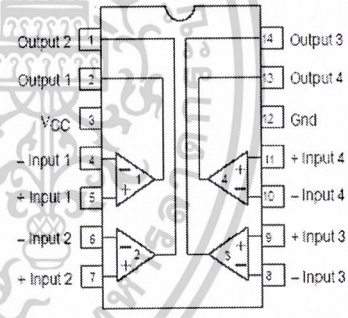
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO–14)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V_{CC}	 +36 or ±18 +30 or ±15	Vdc
Input Differential Voltage Range LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V_{IDR}	 36 30	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICMR}	−0.3 to V_{CC}	Vdc
Output Short Circuit to Ground (Note 1)	I_{SC}	Continuous	
Power Dissipation @ T_A = 25°C Plastic Package Derate above 25°C	P_D	 1.0 8.0	 W mW/°C
Junction Temperature	T_J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range LM239, A MC3302 LM2901 LM2901V LM339, A	T_A	 −25 to +85 −40 to +85 −40 to +105 −40 to +125 0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−65 to +150	°C

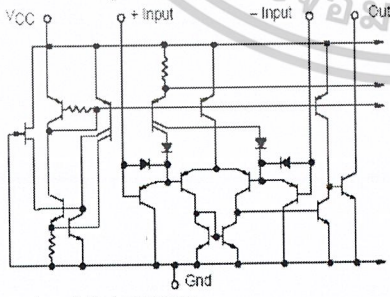
NOTE: 1. The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V_{CC}. Output short circuits to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.

PIN CONNECTIONS



(Top View)

Figure 1. Circuit Schematic



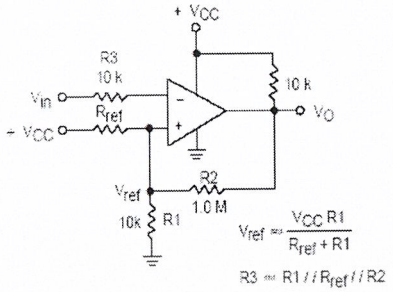
NOTE: Diagram shown is for 1 comparator.

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM239D,AD LM239N,AN	T_A = 25° to +85°C	SO–14 Plastic DIP
LM339D, AD LM339N, AN	T_A = 0° to +70°C	SO–14 Plastic DIP
LM2901D LM2901N	T_A = −40° to +105°C	SO–14 Plastic DIP
LM2901VD LM2901VN	T_A = −40° to +125°C	SO–14 Plastic DIP
MC3302P	T_A = −40° to +85°C	Plastic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2. Inverting Comparator with Hystersis



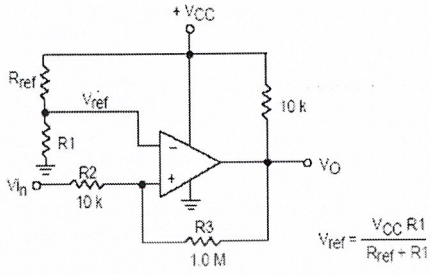
$$V_{ref} \approx \frac{V_{CC}\,R1}{R_{ref} + R1}$$

$$R3 \approx R1 \,//\, R_{ref} \,//\, R2$$

$$V_H = \frac{R1 \,//\, R_{ref}}{R1 \,//\, R_{ref} + R2}\,[V_{O(max)} - V_{O(min)}]$$

$$R2 \gg Rref \,//\, R1$$

Figure 3. Noninverting Comparator with Hysteresis



$$V_{ref} = \frac{V_{CC}\,R1}{R_{ref} + R1}$$

$$R2 \approx R1 \,//\, R_{ref}$$

Amount of Hysteresis V_H

$$V_H = \frac{R2}{R2 + R3}\,[(V_{O(max)} - V_{O(min)}]$$

Typical Characteristics

(V_{CC} = 15 Vdc, T_A = +25°C (each comparator) unless otherwise noted.)

Figure 4. Normalized Input Offset Voltage

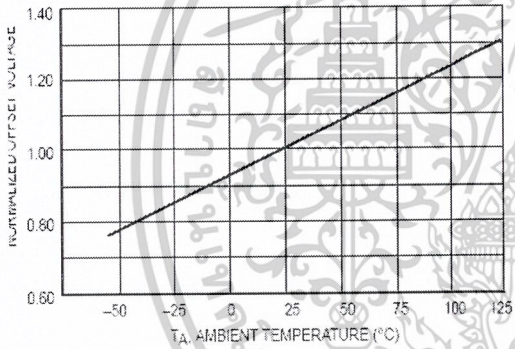


Figure 5. Input Bias Current

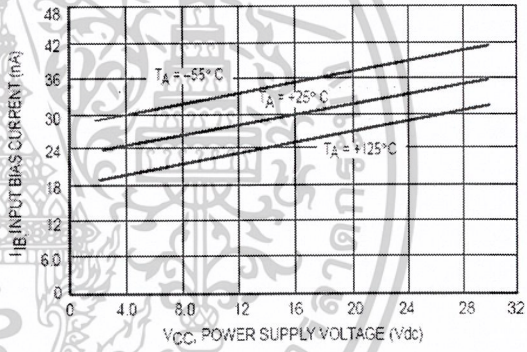
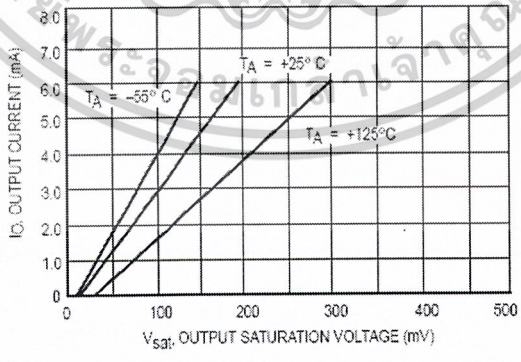


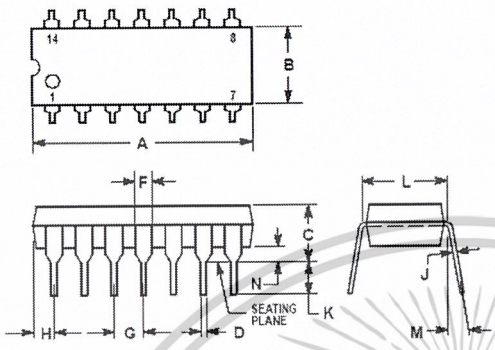
Figure 6. Output Sink Current versus Output Saturation Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

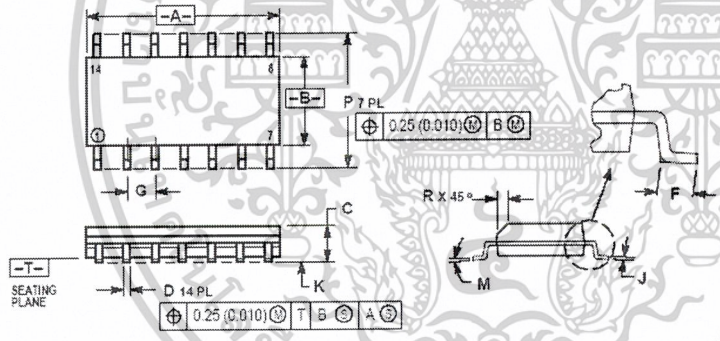
N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646–06
ISSUE L



NOTES:
1. LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
4. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	10°	0°	10°
N	0.015	0.039	0.39	1.01

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A–03
(SO–14)
ISSUE F



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.228	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

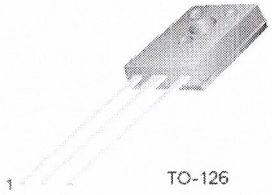
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

BD233/235/237

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD 234/236/238 respectively



TO-126

1. Emitter 2.Collector 3.Base

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BD233	45	V
		: BD235	60	V
		: BD237	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD233	45	V
		: BD235	60	V
		: BD237	80	V
V_{CER}	Collector-Emitter Voltage	: BD233	45	V
		: BD235	60	V
		: BD237	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		5	V
I_C	Collector Current (DC)		2	A
I_{CP}	*Collector Current (Pulse)		6	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)		25	W
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		- 65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage					
	: BD233	I_C = 100mA, I_B = 0	45			V
	: BD235		60			V
	: BD237		80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current					
	: BD233	V_{CB} = 45V, I_E = 0			100	μA
	: BD235	V_{CB} = 60V, I_E = 0			100	μA
	: BD237	V_{CB} = 100V, I_E = 0			100	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = 5V, I_C = 0			1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = 2V, I_C = 150mA	40			
		V_{CE} = 2V, I_C = 1A	25			
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 1A, I_B = 0.1A			0.6	V
V_{BE}(on)	* Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = 2V, I_C = 1A			1.3	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = 10V, I_C = 250mA	3			MHz

* Pulse Test: PW=300μs, duty Cycle=1.5% Pulsed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

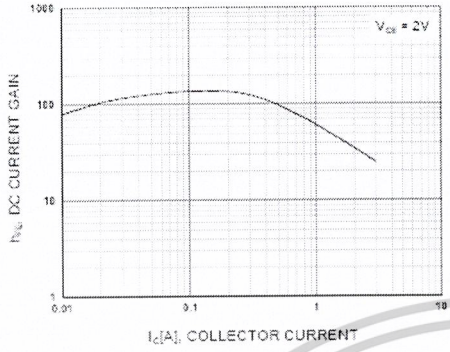


Figure 1. DC current Gain

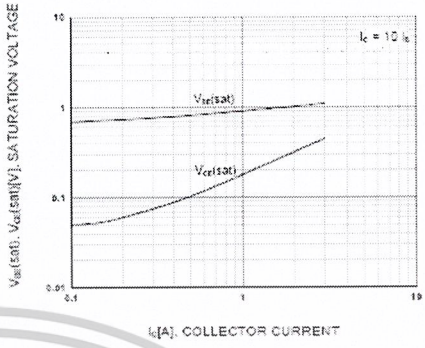


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

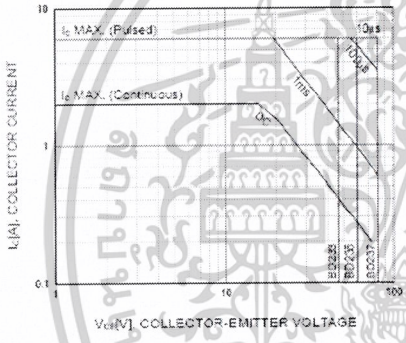


Figure 3. Safe Operating Area

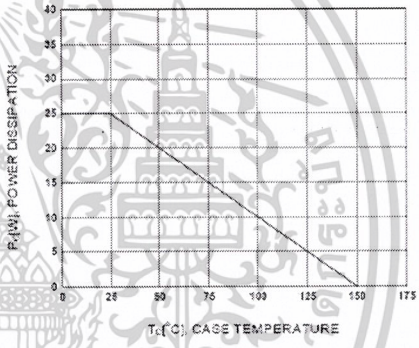
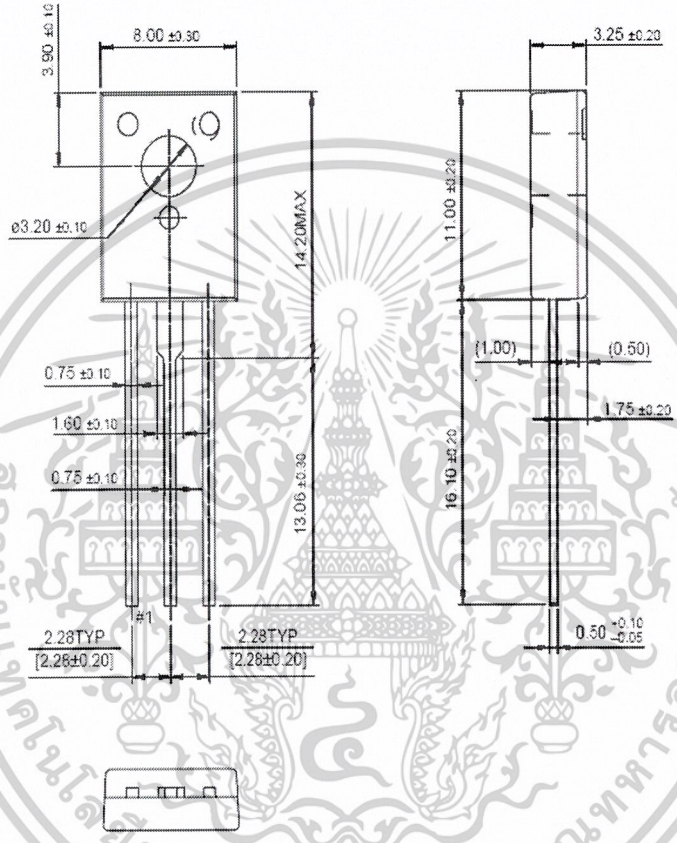


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

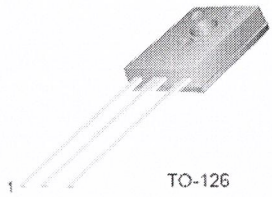
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

BD234/236/238

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD 233/235/237 respectively



TO-126

1. Emitter 2.Collector 3.Base

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage		
	: BD234	- 45	V
	: BD236	- 60	V
	: BD238	- 100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BD234	- 45	V
	: BD236	- 60	V
	: BD238	- 80	V
V_{CER}	Collector-Emitter Voltage		
	: BD234	- 45	V
	: BD236	- 60	V
	: BD238	- 100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 2	A
I_{CP}	*Collector Current (Pulse)	- 6	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	25	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage					
	: BD234	I_C = - 100mA, I_B = 0	- 45			V
	: BD236		- 60			V
	: BD238		- 80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current					
	: BD234	V_{CB} = - 45V, I_E = 0			- 100	μA
	: BD236	V_{CB} = - 60V, I_E = 0			- 100	μA
	: BD238	V_{CB} = - 100V, I_E = 0			- 100	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = - 5V, I_C = 0			- 1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = - 2V, I_C = - 150mA	40			
		V_{CE} = - 2V, I_C = - 1A	25			
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = - 1A , I_B = - 0.1A			- 0.6	V
V_{BE}(on)	* Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = - 2V, I_C = - 1A			- 1.3	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = - 10V, I_C = -250mA	3			MHz

* Pulse Test: PW=300μs, duty Cycle=1.5% Pulsed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

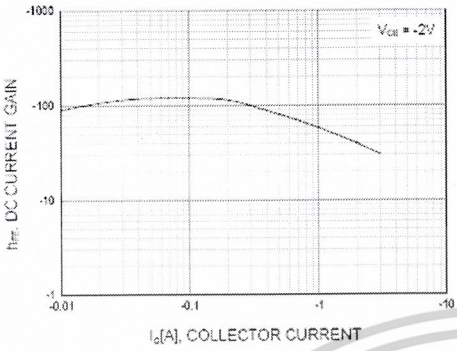


Figure 1. DC current Gain

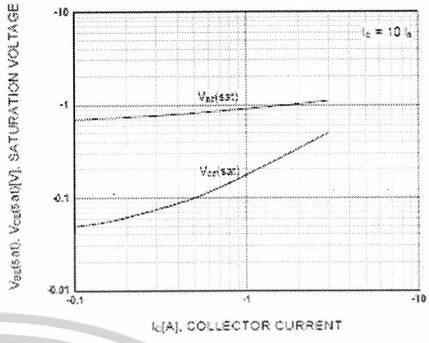


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

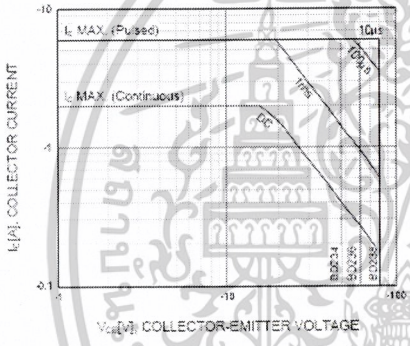


Figure 3. Safe Operating Area

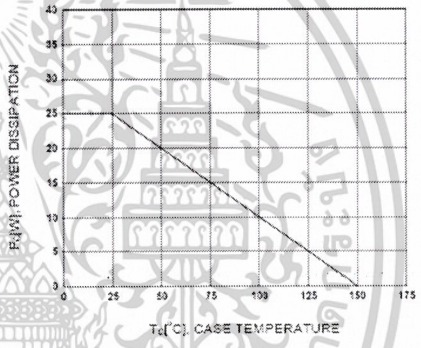
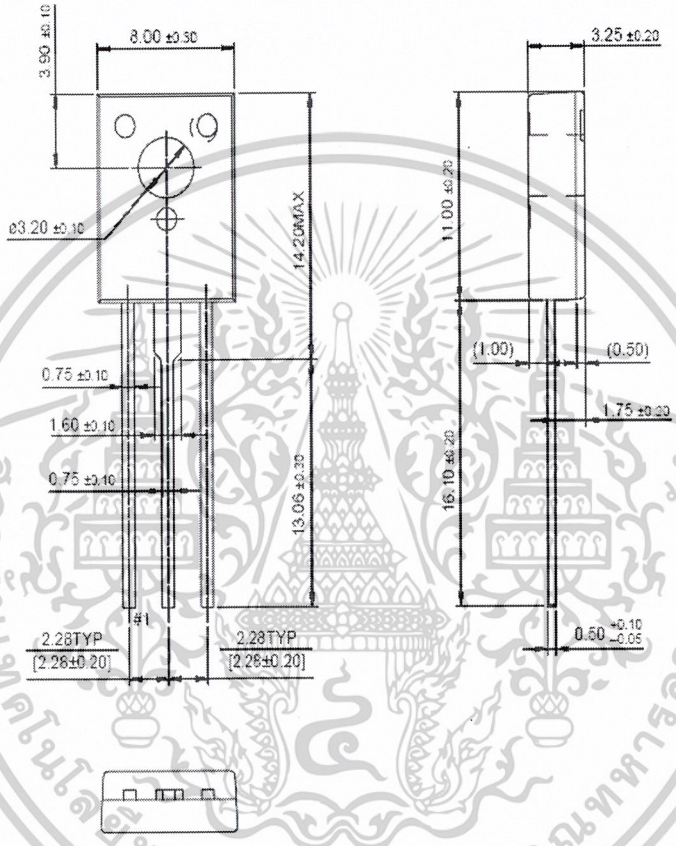


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายจเร ตั้งศิริเสถียร
วัน เดือน ปีเกิด	15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2525
ภูมิลำเนา	1/106 หมู่1 ตำบลพลา อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง 21130 โทรศัพท์ 0-13112728
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลระยอง จังหวัดระยอง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนระยองวิทยาคม จังหวัดระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	ฝันให้ไกลแล้วไปให้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล นายดำเนิน พันตัน

วัน เดือน ปีเกิด 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2525

ภูมิลำเนา 421 หมู่4 ตำบลสวนแตง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72210 โทรศัพท์ 0-40033526

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนวัดสวนแตง จังหวัดสุพรรณบุรี

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสวนแตงวิทยา จังหวัดสุพรรณบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์ พยายามทำวันนี้ให้ดีที่สุดและไม่ทำให้พ่อแม่เสียใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายสมเกียรติ เลียดประถม
วัน เดือน ปีเกิด	30 เมษายน พ.ศ.2526
ภูมิลำเนา	89/2 หมู่5 ตำบลท่าพริก อำเภอท่าพริก จังหวัดตราด 23000 โทรศัพท์ 0-40220729
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนชุมชนวัดท่าพริก (จริยาอุปถัมภ์) จังหวัดตราด
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนตราษตระการคุณ จังหวัดตราด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคตราด จังหวัดตราด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	สิ่งที่คนอื่นทำได้เราก็ต้องทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้