

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ
ELECTRIC TRICYCLE



โดย
นายวีรยศ โล่ห์มหาเดช
นายวีระยุทธ เกิดผล
นายปรีวัฒน์ ทองแสง
นายวงศกร เตชะพัตราภรณ์

รฟ.
๖๘๘๖
๑๖๔๙

เลขหมู่.....**72627**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี **21 ส.ย. 2550**

b. **11770491**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ
ELECTRIC TRICYCLE



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. พิเชิด ล้ายอง
อ. เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

ผู้จัดทำ

- 
1. นายวีรยศ โล่ห่มหาเดช
 2. นายวีระยุทธ เกิดผล
 3. นายปรีวัฒน์ ทองแสง
 4. นายวงศกร เดชะพัชรภรณ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ พิชิต ล้ายอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

นายวีรยศ	โล่ห่มหาเดช
นายวีระยุทธ	เกิดผล
นายปรีวัฒน์	ทองแสง
นายวงศกร	เดชะพัทธราภรณ์

รศ. พิเชิด ล้ายอง	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ สำหรับเป็นพาหนะในการเดินทางระยะใกล้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน แทนพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนี้มีความสามารถในการขับเคลื่อนทั้งทางตรง ทางชัน ทางโค้ง ทางขรุขระ รวมทั้งสามารถเคลื่อนที่ถอยหลังได้ ซึ่งมีโครงสร้างที่แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักผู้ขับขี่ได้ทุกวัย มีการควบคุมการทำงานจากชุดคิชีไดรฟ์ เพื่อทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 คิว ซึ่งขับเคลื่อนทั้ง 2 ข้างแยกอิสระจากกัน รวมทั้งสามารถแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่โดยวงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC TRICYCLE

Weerayos	Lohmahadej
Weerayut	Kertphon
Pariwat	Thongsang
Vongsakorn	Taechapatraporn

Assoc. Prof. Pichit	Lumyong	Advisor
Piampoom	Sarikprueck	Advisor

2006

ABSTRACT

This thesis presents structure design of tricycle, principle of DC drive, and circuit of battery level. This electric tricycle has a strong body and high performance. We can drive this car for short distance such as around your university or village. The advantage of this car is good for environment because this car was designed to use electrical energy. Moreover, It can run on the smooth, rough road, and slope way.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ รศ.พิชิต ลำยอง และ อ.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้คณะผู้จัดทำมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้คณะผู้จัดทำทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำมาโดยตลอดจนจบการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกท่าน ที่คอยเอาใจใส่ดูแล ให้ความสะดวกสบาย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการเบิกใช้เครื่องมือ เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ให้โอกาสแก่คณะผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

และท้ายที่สุด คณะผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คอยเป็นกำลังใจให้กันและกัน อีกทั้งยังเป็นທີ່ปรึกษาที่ดีเสมอมา

หากขาดแล้วซึ่งพวกท่านเหล่านี้ โครงการคงไม่สามารถประสบความสำเร็จลุล่วงโดยดีได้ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานเบื้องต้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	9
2.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	11
2.4 แบตเตอรี่.....	12
2.4.1 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด.....	12
2.4.2 ประจุกลับเข้าไปใหม่.....	13
2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่.....	15
2.5.1 ออปแอมป์และวงจรขยายพื้นฐานโดยใช้ออปแอมป์.....	15
2.5.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	15
2.5.1.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	16
2.5.1.3 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ.....	17
2.5.1.4 วงจรอินทิเกรเตอร์.....	18
2.5.1.5 วงจรดิฟเฟอเรนเชียล.....	18
2.5.1.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	19
2.5.2 การคำนวณค่า Noninverting hysteresis.....	20
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างและวงจร.....	21
3.1 โครงสร้างและการออกแบบบอร์ดไฟฟ้าสามล้อ.....	21
3.1.1 โครงสร้างหลักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	21
3.1.2 ตะเกียบล้อหน้า.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.3 ตัวบังคับเลี้ยว (Handle).....	22
3.1.4 คอรถ.....	23
3.1.4.1 แกนเพลาดำรถ.....	23
3.1.4.2 ลูกปืน.....	23
3.1.4.3 เฟลา (แกน).....	24
3.1.4.4 น็อตล็อกเฟลา.....	24
3.1.5 ล้อ.....	24
3.2 วงจรไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	25
3.2.1 วงจรกำลังของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	26
3.2.2 วงจรควบคุมของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	26
3.2.3 วงจรดีซีไทรฟ์.....	27
3.3 การออกแบบชุดควบคุมและหลักการควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	27
3.3.1 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของชุดควบคุมระบบเดินหน้า และถอยหลังของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	27
3.3.2 หลักการทำงานของการทำงานการควบคุมระบบเดินหน้าและถอยหลัง ของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	28
3.4 วงจรแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	34
4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาพไร้อภาระทางกล (No Load Test).....	34
4.2 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ วิ่งทางตรงเรียบ.....	36
4.3 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ วิ่งขึ้นบนทางชัน.....	39
4.3.1 กรณีน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม.....	39
4.3.2 กรณีน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม.....	40
4.3.3 กรณีน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม.....	41
4.4 การทดสอบหาระยะทางที่น้ำหนักผู้ขับขี่และความเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่างๆ.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล.....	45
4.6 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล.....	47
4.7 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ท เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล.....	49
4.8 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ท เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล.....	50
4.9 หลักและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 กรณีรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งทางตรงเรียบ.....	52
5.2 กรณีรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งขึ้นบนทางชัน.....	53
5.3 การทดสอบหาระยะทางที่น้ำหนักผู้ขับขี่และความเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่างๆ.....	55
5.4 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	55
ข้อเสนอแนะ.....	56

ภาคผนวก ก แบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

ภาคผนวก ข การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล

ภาคผนวก ค การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล

ภาคผนวก ง การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ขณะทำการสตาร์ทเมื่อมอเตอร์
ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล

ภาคผนวก จ การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ขณะทำการสตาร์ทเมื่อมอเตอร์
ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (DATA SHEET)

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....4
2.2	ส่วนประกอบภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....4
2.3	โครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....4
2.4	โครงสร้างโรเตอร์เมื่อเพิ่มตัวนำ.....5
2.5	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(ก).....6
2.6	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(ข).....7
2.7	การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน.....9
2.8	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....9
2.9	ภาพตัวอย่างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบแม่เหล็กถาวร.....10
2.10	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....10
2.11	โครงสร้างของเซลล์แบบ ตะกั่ว - กรด.....13
2.12	การทำงานภายในแบตเตอรี่.....13
2.13	ก. แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว - กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ ที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ ข. เป็นวงจรสมมูลย์ของวงจรประจุแบตเตอรี่ในรูปที่ ก.....14
2.14	สัญลักษณ์วงจรไฟฟ้าของออปแอมป์.....15
2.15	วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....16
2.16	วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....16
2.17	วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ.....17
2.18	วงจรรวมสัญญาณ.....18
2.19	วงจรตีเฟเพื่อเรนซีเอเตอร์.....18
2.20	แสดงการเปรียบเทียบเมื่อ $V_{in} > V_{REF}$19
2.21	แสดงการเปรียบเทียบเมื่อ $V_{in} < V_{REF}$19
2.22	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส.....20
3.1	โครงสร้างหลักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....21
3.2	ตะเกียบล้อหน้า.....22
3.3	ตัวบังคับเลี้ยว (Handle).....22
3.4	แกนเพลลาตัวรถ.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ลูกปืน.....	23
3.6 เพลา (แกน).....	24
3.7 น็อตล็อกเพลา.....	24
3.8 ล้อ (Wheel).....	25
3.9 วงจรไฟฟ้าหลักภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	25
3.10 วงจรกำลังของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	26
3.11 วงจรควบคุมของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	26
3.12 วงจรภายในดีซีไดรฟ์ของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	27
3.13 วงจรกำลังของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	28
3.14 วงจรควบคุมของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	28
3.15 วงจรควบคุมเมื่อรีเลย์ K_1 ทำงาน.....	29
3.16 วงจรกำลังเมื่อรีเลย์ K_1 ทำงาน.....	29
3.17 วงจรควบคุมเมื่อรีเลย์ K_2 ทำงาน.....	30
3.18 วงจรกำลังเมื่อรีเลย์ K_2 ทำงาน.....	30
3.19 การต่อวงจรเพื่อแสดงแรงดันไฟฟ้าอินพุท (V_{in}) กับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref}).....	31
3.20 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส (π).....	31
3.21 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส (π).....	32
3.22 การต่อวงจรแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	33
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็ว ในสภาวะที่วิ่งทางตรงเรียบ.....	37
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็ว ในสภาวะที่วิ่งทางตรงเรียบ.....	38
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่โหลด ขณะวิ่งทางตรงเรียบ.....	38
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชัน ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 60 กิโลกรัม.....	42
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชัน ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 70 กิโลกรัม.....	42
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชัน ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 80 กิโลกรัม.....	43
4.7 ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามล้อสามารถวิ่งได้สูงสุด เมื่อแบตเตอรี่เต็มที่น้ำหนักผู้ขับขี่ต่างๆ.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

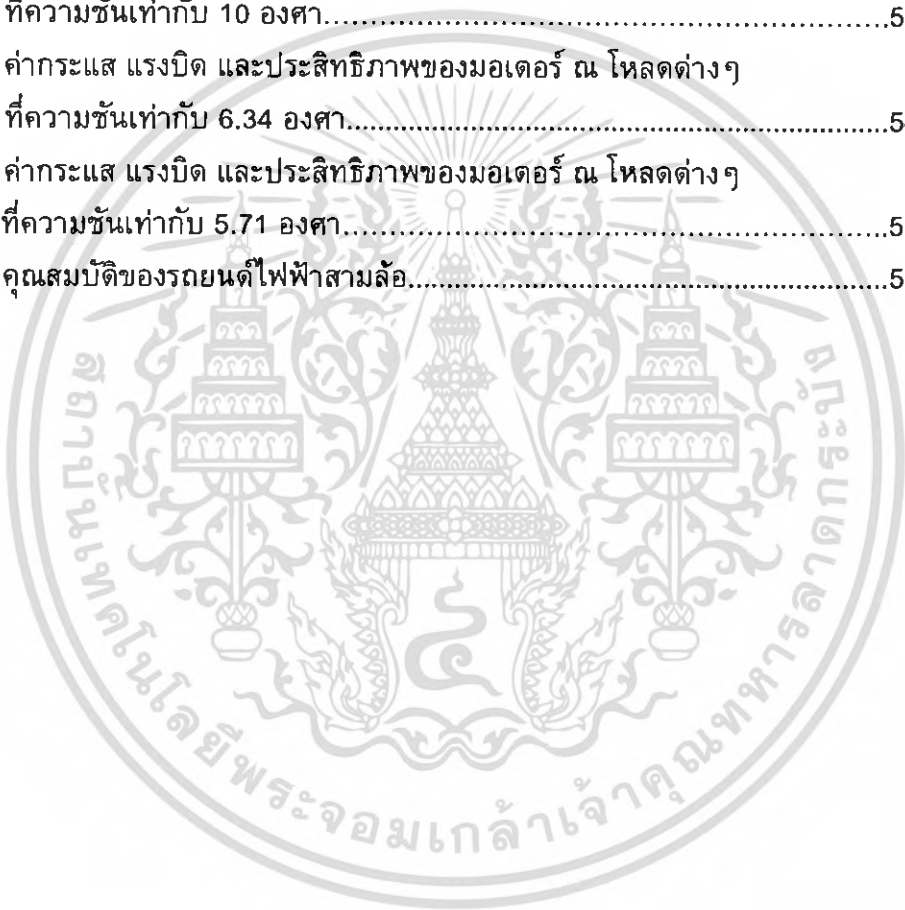
รูปที่	หน้า
4.8 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์.....	45
4.9 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์.....	46
4.10 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์.....	46
4.11 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์.....	47
4.12 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์.....	48
4.13 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์.....	48
4.14 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร่ภาระทางกล (ก).....	49
4.15 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร่ภาระทางกล (ข).....	49
4.16 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ มีภาระทางกล (ก).....	50
4.17 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ มีภาระทางกล (ข).....	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาพไร้ภาระทางกล (No Load Test).....	34
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม.....	36
4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม.....	36
4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม.....	37
4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees)	39
4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees).....	39
4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees).....	39
4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees)	40
4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees).....	40
4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees).....	40
4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees).....	41
4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees)	41
4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees).....	41
4.14 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม.....	44

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม.....	44
4.16 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม.....	44
5.1 ความเร็วสูงสุด แรงบิด และประสิทธิภาพ ณ โหลดค่าต่างๆ.....	53
5.2 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชันเท่ากับ 10 องศา.....	54
5.3 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชันเท่ากับ 6.34 องศา.....	54
5.4 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชันเท่ากับ 5.71 องศา.....	55
5.5 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันนี้ ได้เกิดเหตุการณ์ต่างๆมากมายที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาทางเศรษฐกิจส่งผลให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในปัจจุบันมีราคาเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และอาจจะเพิ่มขึ้นอีกมากต่อไปในอนาคต ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รถยนต์นั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูงเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งรถยนต์นั้นจะเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดสารคาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารพิษต่างๆมากมายที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม

เพื่อเป็นการลดภาระของผู้ใช้รถยนต์ และเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมไม่ให้เกิดมลภาวะจากสารพิษต่างๆที่ออกมาจากรถยนต์ ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่ว่าควรหาพลังงานใดมาทดแทนดี และพลังงานที่ได้คิดที่นำมาใช้ในการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นคือ พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง

ขณะนี้ได้มีบางหน่วยงานที่ทำการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนรถยนต์ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยเพื่อที่จะสามารถนำมาพัฒนาและทดแทนรถยนต์ที่ใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าในขณะนี้ยังมีราคาแพงอยู่พอสมควร ส่งผลให้ยังไม่ค่อยมีผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากนัก แต่คาดว่าในอนาคตนั้น รถยนต์ไฟฟ้าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจใช้ทดแทนรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้านั้นไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และไม่เสียค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาค่อนข้างสูง

โครงการรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนี้ ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานต่างๆของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ ทฤษฎีการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ทำการทดสอบ และศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการการทำงานของแบตเตอรี่ และวงจรชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงเป็นการสร้างรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นมาใหม่โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษามาแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมถึงการเลือกขนาดที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำมาใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ
2. เพื่อศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ และทำการเลือกขนาด และชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งาน
3. เพื่อศึกษาการทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจะนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะทำการติดตั้งลงไป

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยที่ชนิดของมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การควบคุมความเร็วของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนั้นเป็นการควบคุมความเร็ว จากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ศึกษาการประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่
3. ศึกษาการออกแบบและการสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสำหรับผู้ขับขี่ 1 คน
4. ศึกษาการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ โดยการคำนวณภาระที่รถยนต์ไฟฟ้าใช้ในการขับเคลื่อนเพื่อให้ทราบถึงขนาดแรงดันที่ต้องใช้ และจำนวนของแบตเตอรี่

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ทำการออกแบบเงื่อนไขการใช้งานต่างๆของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ เช่น ความเร็วของรถ น้ำหนักของผู้ขับขี่รถ เป็นต้น
2. ทำการเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้เหมาะสมกับการใช้งานตามที่เราได้ทำการออกแบบไว้
3. ทำการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในสภาวะไม่มีภาระ และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำการคำนวณค่าต่างๆ เช่น แรงบิด ความเร็วรอบ ประสิทธิภาพ เป็นต้น
4. ทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
5. ทำการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเพื่อให้มีขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์ แบตเตอรี่ ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดควบคุมการทำงานและอุปกรณ์อื่นๆ
6. ทำการสร้างโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อตามที่ได้ออกแบบไว้
7. ทำการประกอบโครงสร้างและอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน
8. ทำการทดสอบว่ารถยนต์ไฟฟ้าสามล้อที่ได้สร้างขึ้นนั้นทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่
9. ทำการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อที่สภาวะต่างๆ เช่น ทางตรง ทางชัน เพื่อทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่สำคัญ เช่น แรงบิด ความเร็วรอบ ประสิทธิภาพ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะต่างๆ เป็นต้น
10. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา และทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น เพื่อลดต้นทุนในการสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนแทนพลังงานเชื้อเพลิงที่มีราคาแพง ทำให้ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและไม่เกิดมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
2. ทำให้ได้รับความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อและทำการศึกษาชุดการควบคุม และชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. เป็นรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต้นแบบ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่อไปในอนาคต ซึ่งสามารถผลิตขายแข่งกับรถยนต์ไฟฟ้าสามล้ออื่นได้
4. สามารถใช้ความรู้ที่ได้จากการศึกษา มาใช้ในการปฏิบัติงานจริง ทำให้ได้ผลงานที่ออกมาเป็นรูปธรรมนั่นคือ สามารถสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อที่สามารถขับขี่ได้
5. ทำให้ได้รับประสบการณ์ในการทำงานร่วมกับผู้อื่น และการทำงานเป็นกลุ่มเพื่อให้งานประสบความสำเร็จ



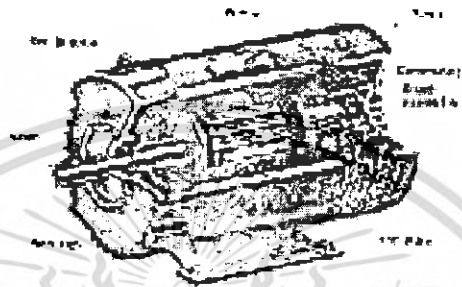
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

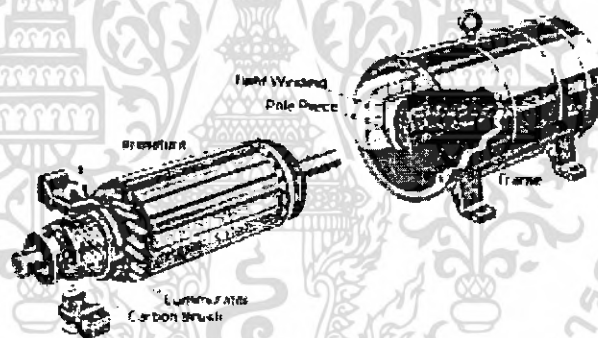
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อก้าวถึงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ก็อาจจะนึกถึงภาพในรูปที่ 2.1 ที่มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

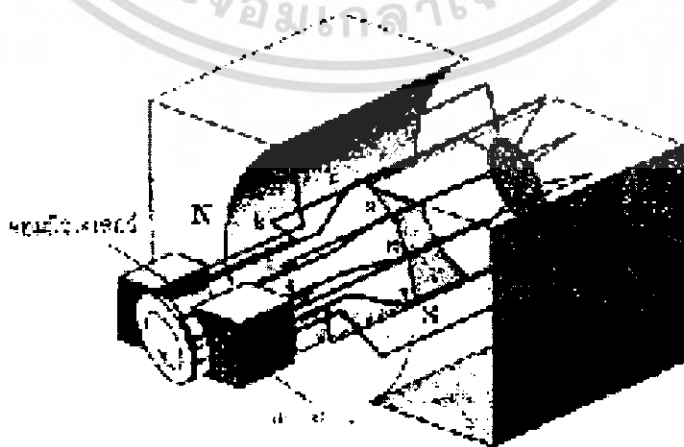
หลักการง่าย ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ดีซีมอเตอร์ ก็คือ จะมีสนามแม่เหล็ก อยู่ 2 ส่วนคือส่วนที่อยู่บนสเตเตอร์ และส่วนที่อยู่บนอาร์มาเจอร์ โดยสนามแม่เหล็กที่อยู่บน สเตเตอร์นั้นเกิดจากการจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่าย ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดเกิด แม่เหล็กไว้เหนื่อ – ได้ขึ้นบนสเตเตอร์และทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก วิ่งผ่านช่องว่างของโรเตอร์ จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

สนามแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งคือสนามแม่เหล็กที่อยู่บนอาร์มาเจอร์ซึ่งขดลวดที่สร้างสนาม แม่เหล็กนี้จะพันอยู่บนโรเตอร์ สนามแม่เหล็กนี้เป็นสนามแม่เหล็กของเส้นแรงแทบรอบตัวนำ บนโรเตอร์ จากรูปที่ 2.2 ถ้าเราพิจารณาเฉพาะขดลวดเพียงขดเดียวที่รับไฟจากแปรงถ่าน ผ่าน คอมมิวเตเตอร์ และสมมุติให้ขดลวดนั้นพันเพียงรอบเดียว เราจะได้รูปของขดลวดที่วางอยู่ ภายใต้สนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.3 จากรูปเนื่องจากกระแส i_a ไหลผ่านแปรงถ่านและคอมมิวเต เดอร์เข้าขดลวดทางด้านหน้า a และกลับทางด้านหน้า $-a$ จึงทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กทิศตามเข็ม รอบตัวนำ a และทิศทางทวนเข็มรอบตัวนำ $-a$ (โดยใช้กฎมือขวา)

เนื่องจากโดยธรรมชาติ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของ สนามแม่เหล็กหลักบิดตัวอ้อมตัวนำ a และ $-a$ ดังรูปที่ 2.3 ผลก็คือทำให้เกิดการผลักรันระหว่าง เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหลักและเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ $a, -a$ บนโรเตอร์ถูกผลั กให้หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาตามรูปที่ 1.3 การหมุนดังกล่าวจะทำให้ตัวนำ $-a$ หมุนมาแทนที่ ตัวนำ a และตัวนำ a ก็จะหมุนไปแทนที่ตัวนำ $-a$ ในส่วนของกระแสก็จะกลายเป็นไหลเข้าตัวนำ $-a$ และออกทาง a ทำให้เกิดแรงผลักรันให้หมุนอย่างต่อเนื่อง

ถ้าเราต้องการให้หมุนกลับทางทำได้โดยจ่ายไฟบวกเข้าทาง $-a$ และลบเข้า a กระแสก็ จะไหลกลับทางเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหลักก็จะถูกบิดให้อ้อมในทิศทางตรงกันข้าม การหมุนก็จะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม

อย่างไรก็ตาม การมีตัวนำเพียงคู่เดียวคือ a กับ $-a$ ทำให้แรงบิดไม่ต่อเนื่องและเกิดการ กระเพื่อมสูงในงานจริงจึงต้องเพิ่มตัวนำเข้าไปมากขึ้นเพื่อให้แรงบิดมีความต่อเนื่องและ สม่าเสมอมากขึ้นดังรูปที่ 2.4

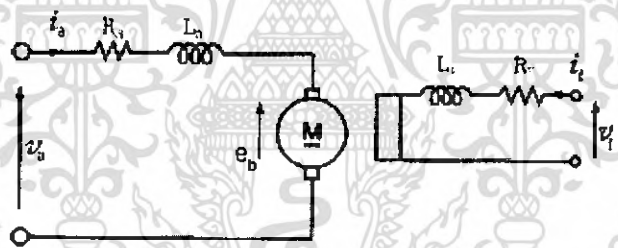


รูปที่ 2.4 โครงสร้างโรเตอร์เมื่อเพิ่มตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 ถ้าให้เป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกา 1 กับ 6 ออกจากแปรงถ่าน 10 กับ 5 ก็ จะเข้ามาจับแทน แรงผลักรักก็จะเกิดขึ้นบน 10 กับ 5 แทน และเมื่อ 10 กับ 5 หมุนออกจากแปรง ถ่าน 9 กับ 4 ก็จะเข้ามาจับไฟแทน แรงผลักรักก็จะเกิดกับ 9 และ 4 ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นบนโรเตอร์ อย่างต่อเนื่อง

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือ หลักการทำให้เกิดแรงบิดขึ้นบนโรเตอร์เพื่อนำไปขับโหลดอีกต่อ หนึ่ง เราเรียกพฤติกรรมนี้ว่าเป็นพฤติกรรมมอเตอร์ ซึ่งเกิดจากการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็น พลังงานกลผ่านการผลักรักกันของพลังงานจากสนามแม่เหล็ก แต่หากพิจารณาให้ลึกลงไป ในขณะที่โรเตอร์กำลังหมุนอยู่นั้น ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ถูกใช้เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กมาผลักรักกับสนาม แม่เหล็กนั้นก็จะมีหมุดตัดผ่านสนามแม่เหล็กหลักไปในตัวด้วยการที่ขดลวดตัวนำอาร์เมเจอร์หมุน ตัดผ่านสนามแม่เหล็กหลักนี้ก็ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นมาตัวหนึ่งมีทิศทางด้านการไหล ของกระแส i_a ซึ่งเป็นกระแสตัวที่ทำให้เกิดการหมุนขึ้น (เป็นไปตามกฎธรรมชาติที่ว่าเมื่อ i_a ทำให้เกิดการหมุนก็ต้องมีแรงดันมาต้านการไหลของเพื่อสร้างความสมดุล) เราเรียกแรงเคลื่อน เหนี่ยวนำในทิศทางกลับนี้ว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back - emf) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็น พฤติกรรมของเครื่องกำเนิดที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันและสามารถเขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของ รูปที่ 2.3 ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(ก)

เมื่อ	R_a	คือ	ความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์
	L_a	คือ	ความเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์เมเจอร์
	e_b	คือ	แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ
	R_f	คือ	ความต้านทานในขดลวดสนามแม่เหล็กหลัก
	L_f	คือ	ความเหนี่ยวนำในขดลวดสนามแม่เหล็กหลัก

และสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในวงจรได้ดังนี้

$$\text{วงจรอาร์เมเจอร์} \quad : \quad V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (2.1)$$

$$\text{วงจรสร้างแม่เหล็กหลัก} \quad : \quad V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.2)$$

แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ_f) กระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) ดังสมการที่ (2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{em} = k_t \cdot \phi_f \cdot i_a \quad (2.3)$$

โดยที่ k_t หมายถึง ค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (back - emf) ในส่วนของอาร์เมเจอร์จะเกิดการหมุนของตัวนำอาร์เมเจอร์ด้วยความเร็ว ω_m ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_f ดังแสดงในสมการที่ (2.4)

$$e_a = k_e \cdot \phi_f \cdot \omega_m \quad (2.4)$$

โดยที่ k_e หมายถึง ค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

อย่างไรก็ตาม ในหน่วยสากล ค่า k_e และ k_t จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยการใช้สมการสมดุลพลังงาน โดยกำลังทางไฟฟ้า ($e_a \cdot i_a$) เท่ากับกำลังไฟฟ้าทางกล ($\omega_m \cdot T_{em}$) จะได้

$$P_e = e_a \cdot i_a = k_e \cdot \phi_f \cdot \omega_m \cdot i_a \quad (2.5)$$

และกำลังไฟฟ้าทางกลจะเท่ากับ

$$P_m = \omega_m \cdot T_{em} = k_t \cdot \phi_f \cdot \omega_m \cdot i_a \quad (2.6)$$

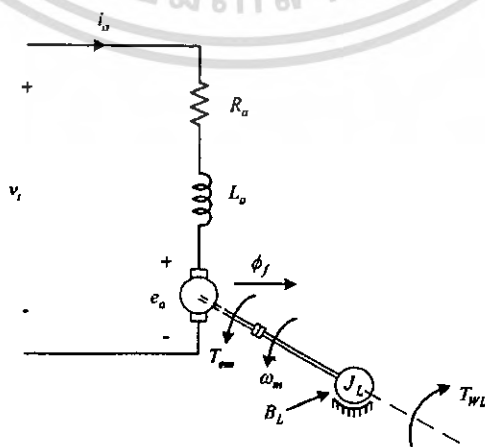
และที่สภาวะอยู่ตัวจะได้

$$P_e = P_m$$

$$k_t \left[\frac{Nm}{A \times W_b} \right] = k_e \left[\frac{V}{W_b \times rad/s} \right] \quad (2.7)$$

ในทางปฏิบัติจะมีการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_t) ป้อนที่ขั้วอาร์เมเจอร์ โดยค่ากระแสอาร์เมเจอร์สามารถหาได้จากค่าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_t) ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (e_a) ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (R_a) และค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ (L_a) ดังแสดงในสมการที่ (2.8) และวงจรสมมูลในรูปที่ 2.6

$$v_t = e_a + R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์ (T_{em}) กับแรงบิดที่โหลดต้องการจะเท่ากับ

$$T_{em} = J \frac{d\omega_m}{dt} + B \cdot \omega_m + T_{wl}(t) \quad (2.9)$$

โดยที่ J หมายถึง ผลรวมวงจรมวลของแรงเฉื่อย (Total equivalent inertia) ของโหลด

B หมายถึง ผลรวมวงจรมวลของการแกว่ง (Total equivalent damping) ของโหลด

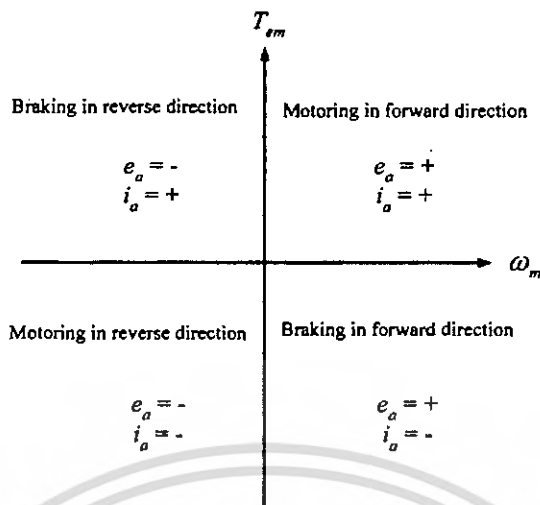
T_{wl} หมายถึง วงจรมวลของแรงบิดที่โหลดต้องการในการทำงาน

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงก็ได้ แต่ทั่วไปจะไม่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่อย่างไรก็ดีในขณะที่ทำการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะเกิดสภาวะเสมือนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่ความเร็วเริ่มลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณากรณีที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขณะเบรก

โดยกำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่และมอเตอร์กำลังขับโหลดที่ความเร็วเท่ากับ (ω_m) และเพื่อที่จะลดความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าลงโดยทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า (V_f) มีค่าต่ำกว่าค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (e_a) ดังรูปที่ 2.7 จะเป็นผลทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a) จะไหลกลับทิศทาง ค่าแรงบิด (T_{em}) จะกลับทิศทางเช่นกัน นอกจากนั้นพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงเฉื่อยของโหลดก็จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวหมายถึงมอเตอร์ไฟฟ้าได้ทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานจะส่งผ่านไปยังแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_f) หรือกระจายพลังงานให้อยู่ในรูปความร้อนด้วยการใช้ตัวต้านทาน

ขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำการเบรก ขั้วของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (e_a) จะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะทิศทางในการหมุนยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเร็วของตัวโรเตอร์ลดลง เป็นผลทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (e_a) มีค่าลดลง (สมมติให้เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_f มีค่าคงที่) จนกระทั่งโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหยุดหมุนและถ้าขั้วของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ก็จะมีผลทำให้ทิศทางการหมุนของตัวโรเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถทำงานได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และเมื่อทำการเบรก แรงบิดของตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถกลับทิศทางได้ดังรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วยานการดำเนินงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน



รูปที่ 2.7 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet DC motors)

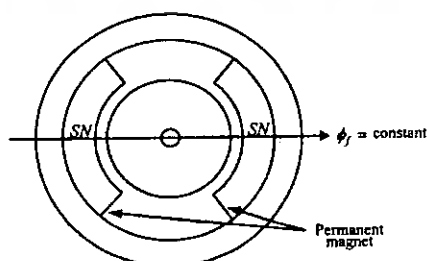
สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สเตเตอร์จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Filed flux : ϕ_f) กรณีชนิดขั้วแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรจะมีค่าคงที่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากขดลวดสนาม (Filed winding) โดยที่กระแสสนาม (Filed current: I_f) จะเป็นตัวควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้ากำหนดให้สเตเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไม่เกิดการอิ่มตัวจะได้

$$\phi_f = k_f I_f \tag{2.10}$$

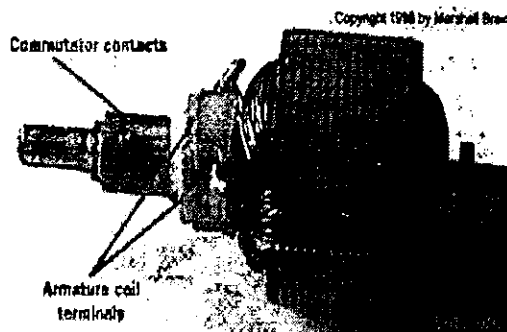
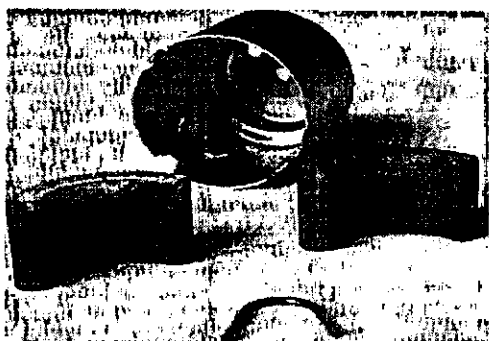
โดยที่ k_f หมายถึง ค่าคงที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก

สำหรับโรเตอร์ (rotor) จะมีขดลวดพันรอบตัวโรเตอร์ดังกล่าวซึ่งจะเรียกขดลวดดังกล่าวว่า " ขดลวดอาร์เมเจอร์ " (armature winding) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านทางขดลวดอาร์เมเจอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร นิยมใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กโดยที่สเตเตอร์จะใช้แม่เหล็กถาวรในการสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้ได้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.9 ภาพตัวอย่างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

สำหรับสภาวะอยู่ตัวกำหนดให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ_f) มีค่าคงที่ พิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังรูปที่ 2.6 จะได้สมการที่ (2.11) ถึง (2.13)

$$T_{em} = k_T \cdot I_a \tag{2.11}$$

$$E_a = k_E \cdot \omega_m \tag{2.12}$$

$$V_t = E_a + R_a \cdot I_a \tag{2.13}$$

โดยที่

$$k_T = k_t \cdot \phi_f \quad \text{และ} \quad k_E = k_e \cdot \phi_f$$

และจากสมการที่ (2.11) ถึง (2.13) จะสามารถหาค่าความเร็รรอบที่สภาวะอยู่ตัว (ω_m) เมื่อทราบค่าแรงดันไฟฟ้า (V_t) และเป็นฟังก์ชันของ T_{em} ได้ดังสมการที่ (2.14)

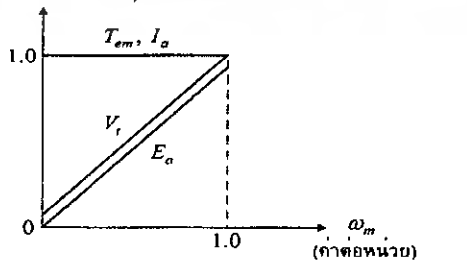
$$\omega_m = \frac{1}{k_E} \left(V_t - \frac{R_a}{k_T} \cdot T_{em} \right) \tag{2.14}$$



(ก)

(ข)

ค่าต่อหน่วย
(Per unit quantities)



(ค)

รูปที่ 2.10 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) วงจรสมมูล

(ข) คุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วรอบ

: $V_{15} > V_{14} > V_{13} > V_{12} > V_{11}$ โดยที่ V_{14} คือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด

(ค) สมรรถภาพของแรงบิด-ความเร็วแบบต่อเนื่อง

สมการที่ (2.14) นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าขณะที่แรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้น คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วรอบที่ค่าแรงดันไฟฟ้า (V_f) ที่กำหนดจะมีรูปร่างเกือบเป็นเส้นตรงขนานกับแกนแรงบิด (T_{em}) โดยความแตกต่างเพียงเล็กน้อยที่เกิดขึ้น จะเกิดจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ($I_a \cdot R_a$) นอกจากนี้ คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วสามารถเลื่อนไปมาในแนวแกนอนได้ด้วยการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า (V_f) ดังนั้นความเร็วรอบของโหลดที่คุณลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบใดๆ จะสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า (V_f) ที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดไม่ควรจะสูงเกินกว่าค่ากระแสและแรงบิดที่พิกัดค่าที่เกินจากค่าที่พิกัดได้แสดงไว้ด้วยเส้นประ ดังรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่พิกัด จะเป็นผลทำให้ต้องเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า (V_f) สูงกว่าค่าที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้างกล่าว ทำให้เป็นข้อจำกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรว่าความเร็วรอบสูงสุดจะมีค่าเท่ากับค่าความเร็วรอบที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้างกล่าวเท่านั้น กราฟแรงบิดต่อความเร็วและแรงดันไฟฟ้าที่ชั่ว แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับต่อความเร็ว ได้ดังรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งจะแสดงข้อจำกัดของแรงบิดและกระแสไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัวของมอเตอร์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติค่ากระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดดังกล่าว สามารถสูงเกินกว่าขีดจำกัดได้ในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น

2.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้เป็นกำลังกลเพื่อใช้หมุนขั้วงานของมอเตอร์นั้น ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง ทำให้กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขั้วที่แกนมอเตอร์: Output) น้อยกว่ากำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า: Input) อัตราส่วนระหว่างกำลังกลกับกำลังไฟฟ้าเรียกว่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็คือ สมรรถนะในการทำงานของมอเตอร์นั่นเอง

กำหนดให้

$$\begin{aligned} \eta &= \text{ประสิทธิภาพ} \\ P_1 &= \text{กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input Power)} \\ P_2 &= \text{กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขั้วที่แกนมอเตอร์} \\ &\quad \text{: Output Power)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔP = กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.15)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad [\%] \quad (2.16)$$

การคำนวณประสิทธิภาพจากกำลังสูญเสีย

P_1 = กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า)

P_2 = กำลังกล (กำลังหมุนขับ)

ΔP = กำลังสูญเสีย

กำลังกล = กำลังไฟฟ้า - กำลังสูญเสีย

$$P_2 = P_1 - \Delta P \quad (2.17)$$

กำลังไฟฟ้า = กำลังกล + กำลังสูญเสีย

$$P_1 = P_2 + \Delta P \quad (2.18)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad [\%] \quad (2.19)$$

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \times 100 \quad [\%] \quad (2.20)$$

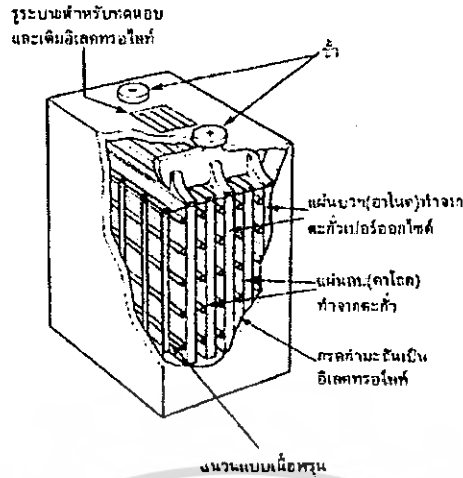
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100 \quad [\%] \quad (2.21)$$

2.4 แบตเตอรี่

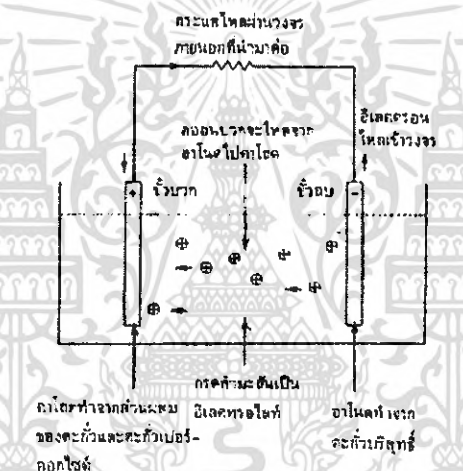
2.4.1 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้ดังรูปที่ 2.11 ประกอบด้วยแผ่นคาโทดและแผ่นแอโนดวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไร ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย วิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆ กันด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรดที่เป็นแอโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ และทั้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเซลล์แบบ ตะกั่ว - กรด



รูปที่ 2.12 การทำงานภายในแบตเตอรี่

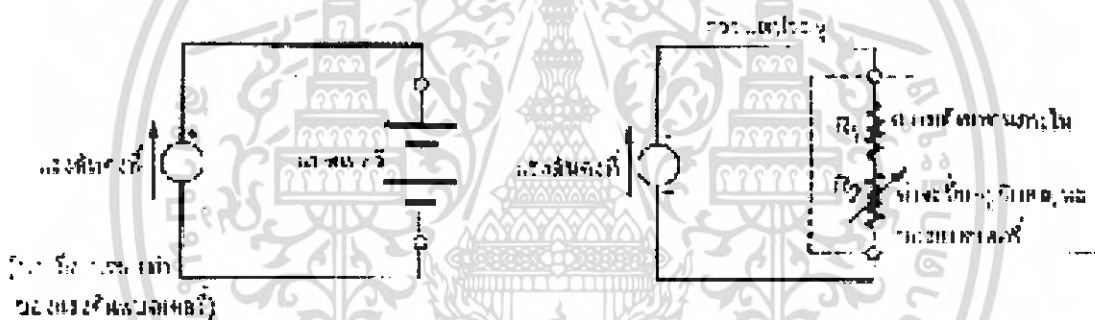
2.4.2 ประจุกลับเข้าไปใหม่

การประจุเซลล์แบบตะกั่ว - กรดนั้นสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรรต้ามะดินตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโอด (ขั้วบวก) และขั้วแอโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เซลล์เดียวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ถึง 2.5 โวลต์ แบตเตอรี่ที่มีแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์ ประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์อนุกรมกัน จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านชุดรักษาระดับแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์

กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไปนอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาตเห็นาไปไซประเษษนด้านารการ่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย หรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (Cyclic) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกับประจุไฟเข้าตลอดเวลา กระแสที่ใช้ในการประจุจะมีค่าต่ำ ซึ่งแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

วงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด แสดงดังรูปที่ 2.13 ก. ซึ่งแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ วงจรสมมูลย์ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.13 ข. ซึ่งเราจะเห็นว่าแบตเตอรี่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว โดยตัวต้านทาน R_1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทาน R_2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะการหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุจนเต็มทีแล้วค่าความต้านทาน R_2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง



รูปที่ 2.13 ก. แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว - กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่
ข. เป็นวงจรสมมูลของวงจรประจุแบตเตอรี่ในรูปที่ ก.

เราสามารถที่จะตรวจสอบสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ได้โดยการสังเกตค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ (โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาระดับแรงดันออกให้คงที่)

เราสามารถที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับกระแสที่ประจุไว้ และการประจุจะสิ้นสุด เมื่อระดับกระแสที่ประจุดกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขการประจุจะเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มทีจนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง

ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุให้คงที่อยู่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำให้ความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึง

ควรรีแรงดันในการประจุน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่

2.5.1 ออปแอมป์และวงจรขยายพื้นฐานโดยใช้ออปแอมป์

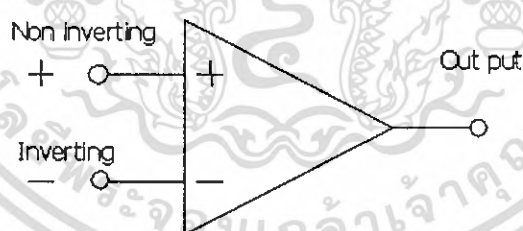
ปัจจุบันความก้าวหน้าในเทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม หรือ ไอซี (Integrated Circuit, IC) มีความเจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็วมาก ทำให้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ ถูกนำมาออกแบบและผลิตให้อยู่ในรูปของไอซีเสียเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของไอซีนั้นมีข้อดีหลายประการ อาทิ เช่น มีขนาดเล็ก มีความสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย เป็นต้นวงจรขยายสัญญาณออปแอมป์ (Operational Amplifier, OP – AMP) หรือที่มักเรียกกันสั้น ๆ ว่า " ออปแอมป์ "

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active device) ที่สำคัญและมีประโยชน์มากในระบบการประมวลผลสัญญาณอนาลอกรูปแบบต่าง ๆ

สัญลักษณ์ของออปแอมป์

ในวงจรไฟฟ้าจะเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยจะประกอบด้วย

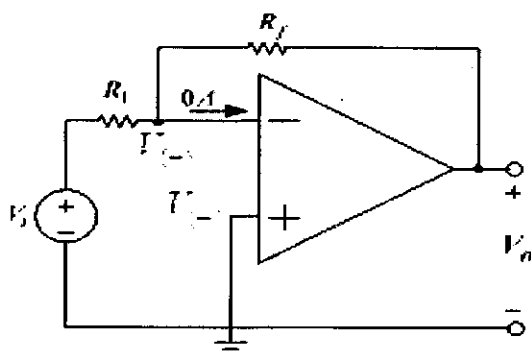
1. ขั้วอินพุตบวก (Non-inverting)
2. ขั้วอินพุตลบ (Inverting)
3. ขั้วเอาต์พุต (Output)
4. ขั้วแรงดันไฟเลี้ยง บวก และลบซึ่งปกติไม่ได้แสดงสัญลักษณ์



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์วงจรไฟฟ้าของออปแอมป์

2.5.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสคือวงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม



รูปที่ 2.15 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

พิจารณาจากรูปด้านบนเราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ $V_{(+)} = 0 = V_{(-)}$

(ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ แรงดันที่ขั้วจึงมีค่าเท่ากับศูนย์)

พิจารณาที่โหนด $V_{(-)}$ จาก KCL ; $\frac{V_{(-)} - V_i}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$ (2.22)

เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้นจะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_o}{R_f} = 0$

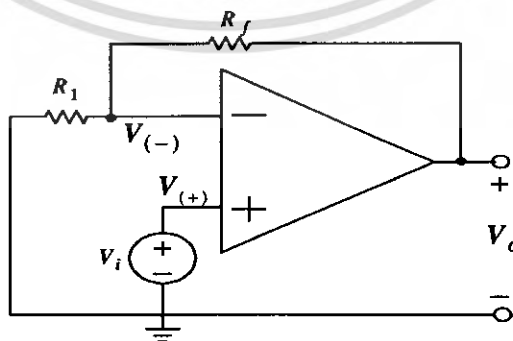
$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i \quad (2.23)$$

ซึ่ง $-\frac{R_f}{R_1}$ คือ ค่าอัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ซึ่งมีค่าติดลบซึ่งเป็นการบ่ง

บอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่กลับสัญญาณ

2.5.1.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



รูปที่ 2.16 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปจะได้ $V_{(+)} = V_i = V_{(-)}$

(ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

พิจารณาที่โหนด $V_{(-)}$ จาก KCL ;
$$\frac{V_{(-)}}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0 \tag{2.24}$$

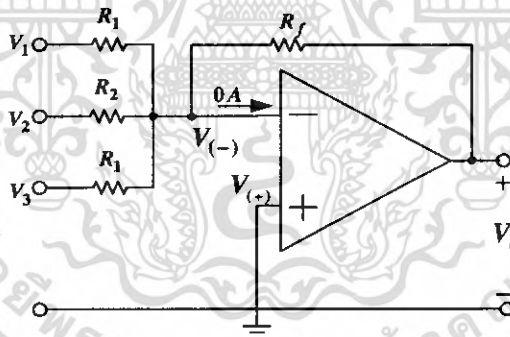
เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = V_i$ ในสมการข้างต้น จะได้
$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0$$

$$V_o = \left[1 + \frac{R_f}{R_1} \right] V_i \tag{2.25}$$

ซึ่ง $\frac{R_f}{R_1}$ คือ ค่าอัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ซึ่งมีค่าเป็นบวกซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่ไม่กลับสัญญาณ

2.5.1.3 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกัน



รูปที่ 2.17 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ

พิจารณาจากรูป (สังเกตที่ขั้วบวก) จะได้ $V_{(+)} = 0 = V_{(-)}$

พิจารณาที่ $V_{(-)}$ โหนด จาก KCL;

$$\frac{V_{(-)} - V_1}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_2}{R_2} + \frac{V_{(-)} - V_3}{R_3} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0 \tag{2.26}$$

เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$-\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} - \frac{V_3}{R_3} - \frac{V_o}{R_f} = 0 \tag{2.27}$$

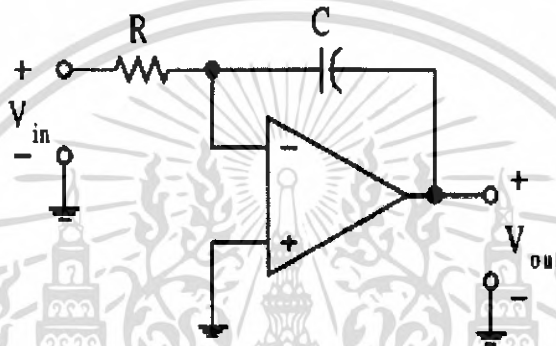
$$V_o = - \left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 \right] \tag{2.28}$$

2.5.1.4 วงจรอินทิเกรเตอร์

วงจรอินทิเกรเตอร์เมื่ออาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์ ($V_1 = 0$) จะได้กระแสที่ไหลผ่าน R ก็คือกระแสที่ไหลผ่าน C ($I_R = I_C$) หรือเขียนได้เป็น

$$\frac{V_{in}(t)}{R} = C \frac{d}{dt} [V_i - V_{out}(t)] \quad (2.29)$$

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt + V_{out}(0) \quad (2.30)$$

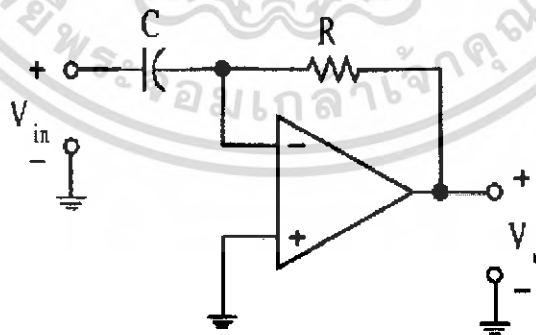


รูปที่ 2.18 วงจรรวมสัญญาณ

2.5.1.5 วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตของวงจรสามารถหาได้เป็น

$$V_{out(t)} = -RC \frac{dV_{in(t)}}{dt} \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.19 วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

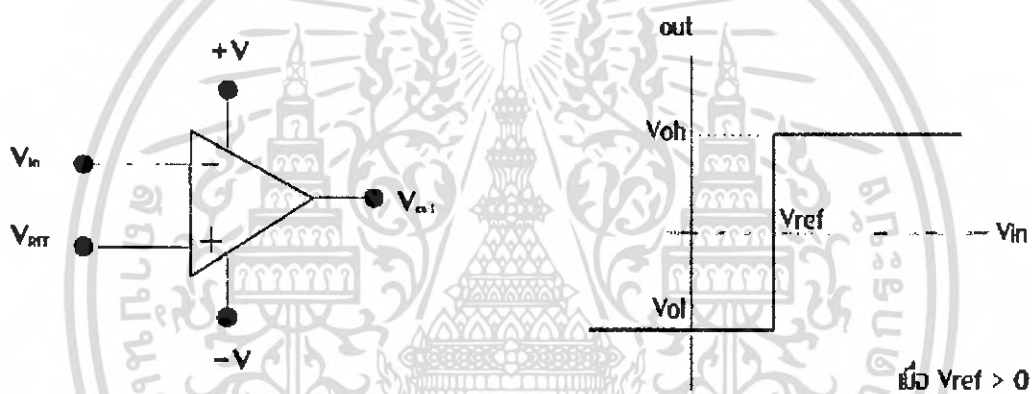
หน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้แล้วทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนแปลงอยู่สองสถานะ คือ สถานะสูง (High) และสถานะต่ำ (Low) เท่านั้น

วงจรเปรียบเทียบแรงดันและกราฟคุณสมบัติของวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21 ซึ่งการทำงานของวงจรมีความสัมพันธ์สรุปได้ดังนี้คือ

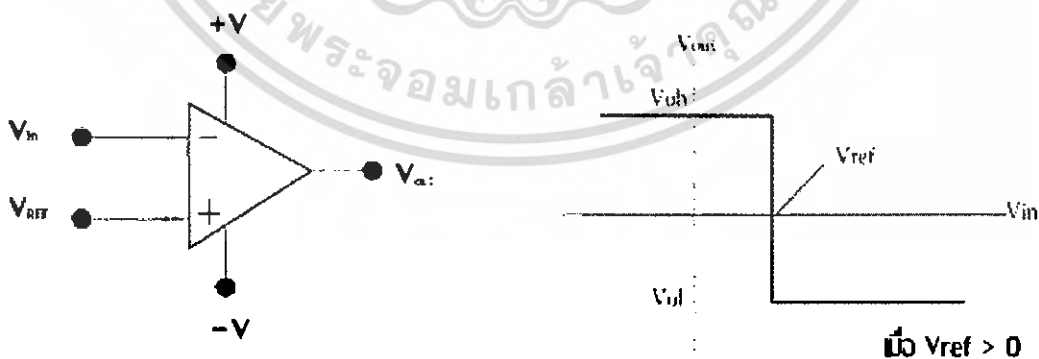
รูปที่ 2.20 $V_{out} = V_{OH}$ เมื่อ $V_{in} > V_{REF}$

รูปที่ 2.21 $V_{out} = V_{OL}$ เมื่อ $V_{in} < V_{REF}$

เมื่อ V_{OH} และ V_{OL} คือแรงดันเอาต์พุตอิ่มตัวของออปแอมป์ (OP - AMP saturation voltages) ในสถานะสูงและสถานะต่ำ ตามลำดับ



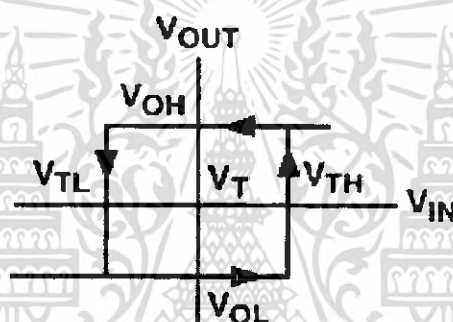
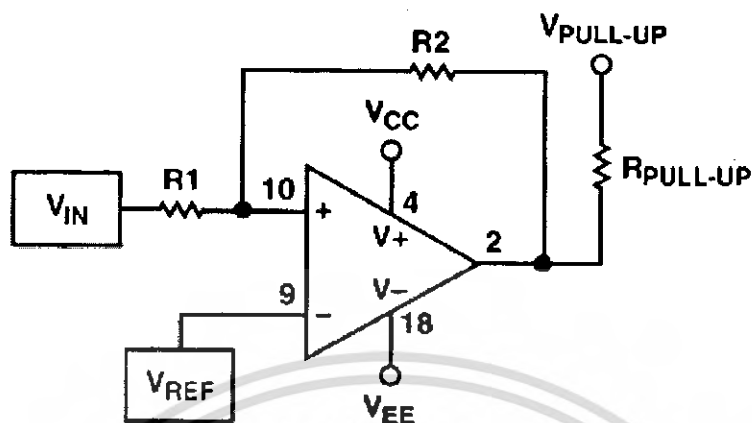
รูปที่ 2.20 การเปรียบเทียบเมื่อ $V_{in} > V_{REF}$



รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบเมื่อ $V_{in} < V_{REF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การคำนวณค่า Noninverting hysteresis



รูปที่ 2.22 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส จากวงจรดังรูปที่ 2.22 จะสามารถคำนวณค่า V_{th} , V_{tl} และ Hysteresis ได้ดังสมการ

$$V_{th} = \frac{(R_1 + R_2) \times V_{ref} - (R_1 \times V_{ol})}{R_2} \quad (2.32)$$

$$V_{tl} = \frac{(R_1 + R_2) \times V_{ref} - (R_1 \times V_{oh})}{R_2} \quad (2.33)$$

$$HYST = V_{th} - V_{tl} \quad (2.34)$$

และสามารถทำการคำนวณหาค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ได้จากสมการ

$$HYST = \frac{R_1 \times (V_{oh} - V_{ol})}{R_2} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้างและวงจร

3.1 โครงสร้างและการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

โครงสร้างและส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามล้อในงานวิจัยนี้ ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงทนทานโดยใช้เหล็กเป็นโครงสร้างหลัก และเพื่อความสามารถในการขับเคลื่อนบนพื้นที่ที่มีความชันสูงนั้นจึงได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ตัว ที่มีเฟืองทดภายในตัวขับเคลื่อน โดยมีอัตราทดคือ 1.5 สำหรับการพัฒนาได้กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามล้อควบคุมการทำงานจากตัวตีซีไทรฟ์ (DC drive) ซึ่งนำมาควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อแบบอนุกรม (series) และสุดท้ายได้ออกแบบให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนี้ใช้ได้ในระยะทางที่ไกลจึงเลือกใช้แบตเตอรี่เป็น เซลแบบตะกั่ว - กรด (Lead Acid)

โครงสร้างหลักของตัวรถนั้นได้ออกแบบด้วยเหล็กทรงลูกบาศก์ขนาด 1 นิ้ว และแผ่นเหล็กที่มีความหนาขนาด 1.5 มิลลิเมตร แล้วใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่ออนุกรมกันจำนวน 2 ตัว เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนล้อหลังแบบอิสระ เพื่อให้ได้การทำงานที่ล้อหลังแบบแยกอิสระซ้าย - ขวา โดยใช้โซ่และเฟืองทดเป็นตัวทดกำลังไปที่ล้อหลัง ส่วนทางด้านหน้าได้ทำการออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายโดยมีตัวปรับระดับความเร็ว (แท็บคันเร่ง) และสวิตช์ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อให้สามารถเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังได้ โดยทำการควบคุมการกลับทิศของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Backward — Forward) ซึ่งใช้วงจรรีเลย์ในการควบคุมการทำงาน

3.1.1 โครงสร้างหลักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

โครงสร้างหลักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อประกอบขึ้นมาจากเหล็กเพื่อให้ความแข็งแรงสูง โดยท่อเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และขนาดความหนาของแผ่นเหล็กเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1 (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างหลักของตัวรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ตะเกียบล้อหน้า

ตะเกียบล้อหน้าสร้างจากแผ่นเหล็กที่มีความหนา และท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ดังรูปที่ 3.2 (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.2 ตะเกียบล้อหน้า

3.1.3 ด้ามบังคับเลี้ยว (Handle)

ด้ามบังคับเลี้ยวสร้างจากสแตนเลสชนิดแท่งกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ $1\frac{3}{4}$ นิ้ว ซึ่งจะนำมาสวมทับกับตัวตะเกียบล้อหน้าบริเวณคอรถเพื่อควบคุมการเลี้ยวให้เป็นไปอย่างอิสระ ดังรูปที่ 3.3 (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ก)

รูปที่ 3.3 ด้ามบังคับเลี้ยว (Handle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 คอรถ

คอรถเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเนื่องจากต้องสามารถทำให้รถนั้นเคลื่อนได้ด้วยความนุ่มนวล ดังนั้นคอรถจึงประกอบด้วยหลายชิ้นส่วนดังนี้

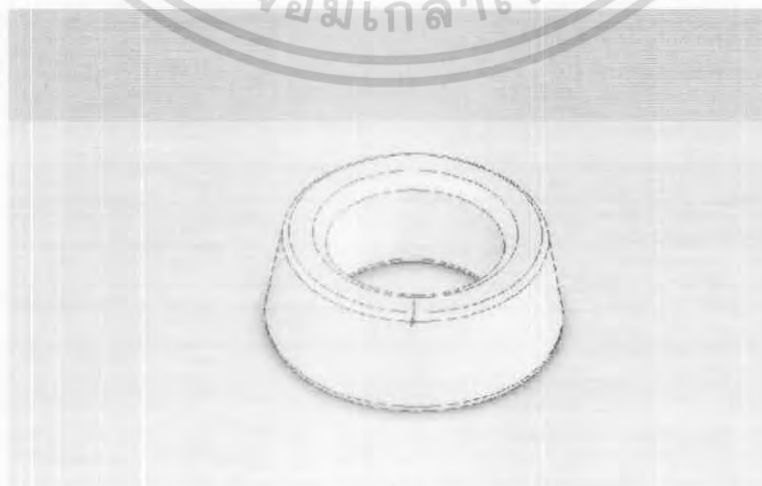
3.1.4.1 แกนเพลลาตัวรถ

แกนเพลลาตัวรถจะเป็นตัวที่รองรับตะเกียบที่สวมผ่านลูกปืนเพื่อขึ้นไปต่อกับตัวบังคับเลี้ยว (Handle) ดังรูปที่ 3.4



3.1.4.2 ลูกปืน

ลูกปืนเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการบังคับเลี้ยวเนื่องจากลูกปืนจะสวมไว้ในเพลลาทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อทำให้การเลี้ยวหมุนไปตามตัวบังคับเลี้ยว (Handle) ที่เราควบคุมอยู่อย่างง่ายดาย ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.3 เพลลา (แกน)

เพลลาทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อการบังคับเลี้ยวระหว่างตัวตะเกียบกับตัวบังคับเลี้ยว (Handle) โดยจะมีความสูงที่เป็นมาตรฐานตามประเทศที่ใช้งาน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เพลลา (แกน)

3.1.4.4 น็อตล็อคเพลลา

น็อตล็อคเพลลาทำหน้าที่ล็อคตัวเพลลาเข้ากับแกนเพลลาตัวรถเพื่ออัดลูกปืนให้เข้าบ่ารับ ลูกปืนที่ติดอยู่กับแกนเพลลาตัวรถ ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 น็อตล็อคเพลลา

3.1.5 ล้อ (Wheel)

ล้อเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่ง โดยจะแสดงขนาดของล้อหน้าและหลัง ดังรูปที่ 3.8

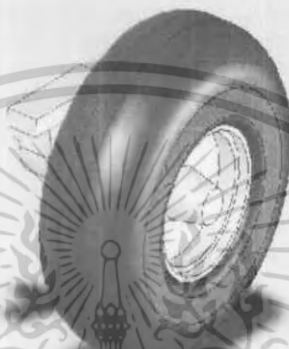
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้อหน้า

ล้อหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลาง	5	นิ้ว
ล้อหน้า + ยาง	8	นิ้ว

ล้อหลัง

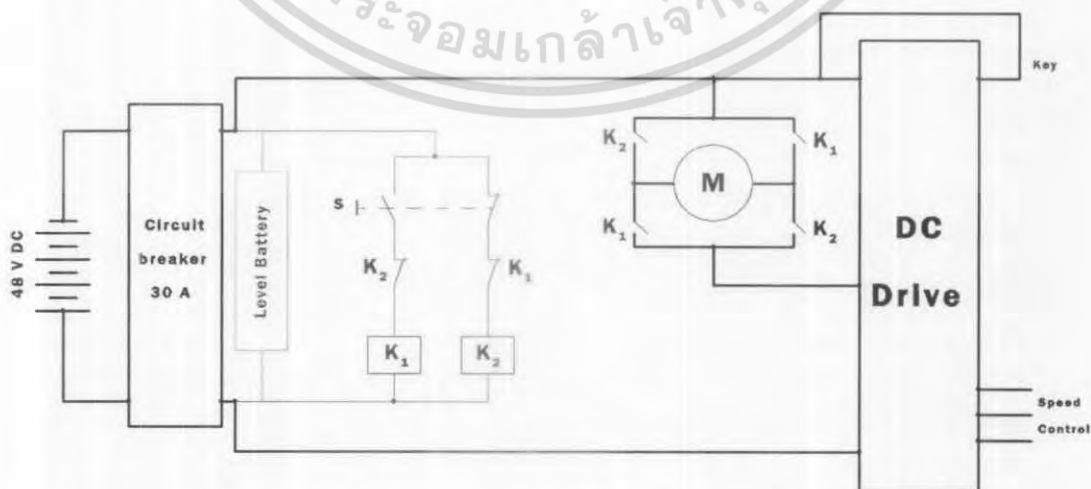
ล้อหลังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง	6	นิ้ว
ล้อหลัง + ยาง	11	นิ้ว



รูปที่ 3.8 ล้อ (Wheel)

3.2 วงจรไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

วงจรไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ ประกอบด้วย แบตเตอรี่, เซอร์คิตเบรกเกอร์, ดีซีไดรฟ์, ชุดรีเลย์, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.9



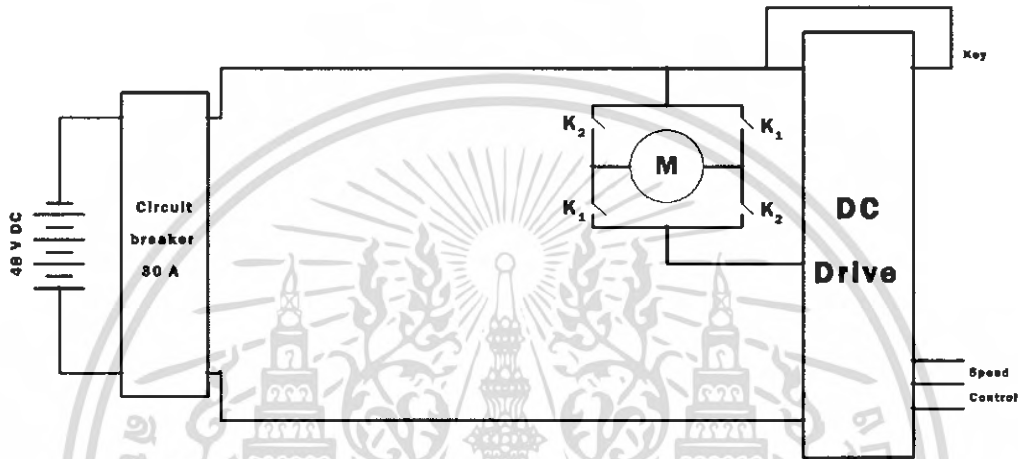
รูปที่ 3.9 วงจรไฟฟ้าหลักภายในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจรกำลังของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

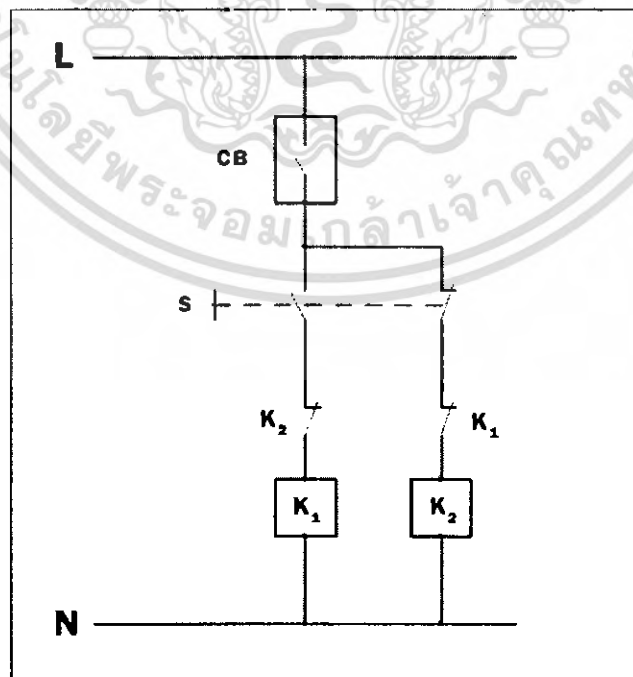
วงจรกำลังเป็นวงจรส่วนที่จ่ายกำลังงานให้กับมอเตอร์ โดยรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ 48 โวลต์ เข้าไปที่คัตซีไทรฟ์ โดยที่คัตซีไทรฟ์จะทำการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยการปรับที่คันเร่ง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อหน้าสัมผัสของรีเลย์ทำงาน โดยรีเลย์จะสั่งการทำงานให้มอเตอร์เดินหน้า หรือถอยหลัง จากการควบคุมโดยวงจรควบคุมอีกที



รูปที่ 3.10 วงจรกำลังของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

3.2.2 วงจรควบคุมของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

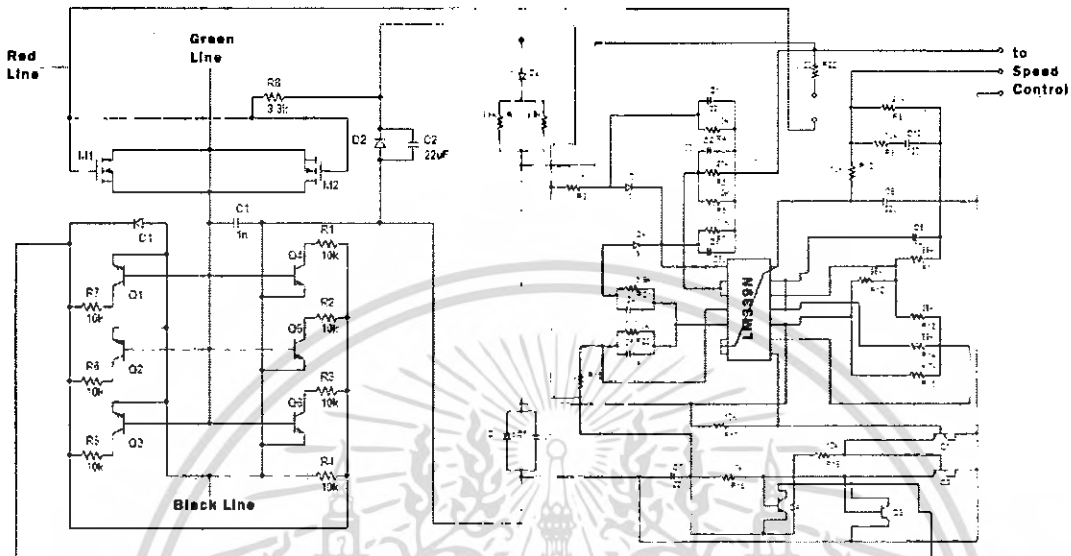


รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมของชุดควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรตีซีไตร์ฟ

สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้จากการปรับที่ความถี่สวิตซิ่ง



รูปที่ 3.12 วงจรภายในตีซีไตร์ฟของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

3.3 การออกแบบชุดควบคุมและหลักการควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว ซึ่งทำการต่ออนุกรมต่อกัน แล้วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละตัวจะทำการขับล้อแต่ละข้าง เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่เดินหน้าได้ และในทางกลับกันได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่ถอยหลังได้เช่นเดียวกัน

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนี้ได้อาศัยการควบคุมมอเตอร์ด้วยรีเลย์ 2 ตัว ซึ่งสามารถทำการควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้ นั่นคือสามารถทำการควบคุมให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่เดินหน้า – ถอยหลังได้ นั่นเอง

3.3.1 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของชุดควบคุมระบบเดินหน้าและถอยหลังของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะกลับทิศทางการหมุนได้จากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหน้าสัมผัสของรีเลย์ K_1 และ K_2

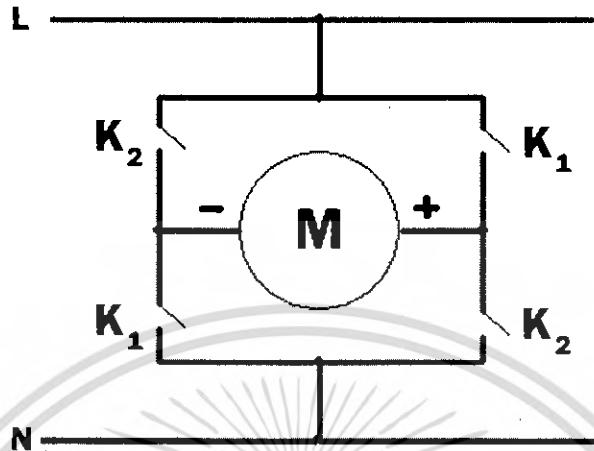
กำหนดให้ K_1 ต่อให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนขวาหรือเดินหน้า

K_2 ต่อให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนซ้ายหรือถอยหลัง

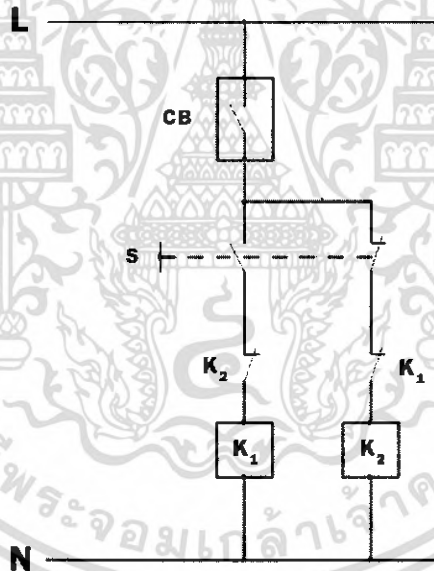
ในวงจรกำลัง ถ้ารีเลย์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่ อีกตัวหนึ่งจะต้องไม่ทำงาน เพราะถ้ารีเลย์ทั้งสองตัวทำงานพร้อมกันแล้ว จะเกิดการลัดวงจรระหว่าง K_1 และ K_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีป้องกันไม่ให้ K_1 และ K_2 ทำงานพร้อมกัน ทำได้โดยการต่อคอนแทกปกติปิด ซึ่งเรียกว่า การอินเตอร์ล๊อค (Interlocked contact) ไว้ก่อนเข้าขดลวดของรีเลย์สลับกัน



รูปที่ 3.13 วงจรกำลังของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

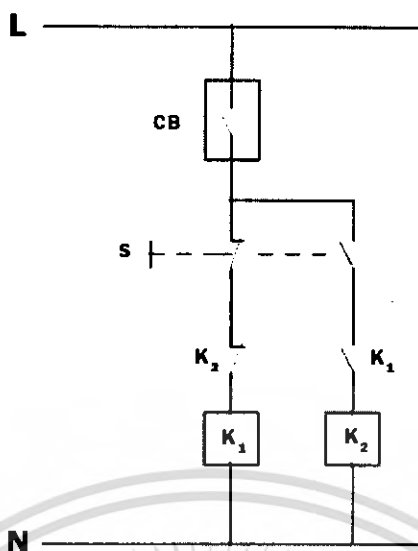


รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.2 หลักการทำงานของ การควบคุมระบบเดินหน้าและถอยหลังของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

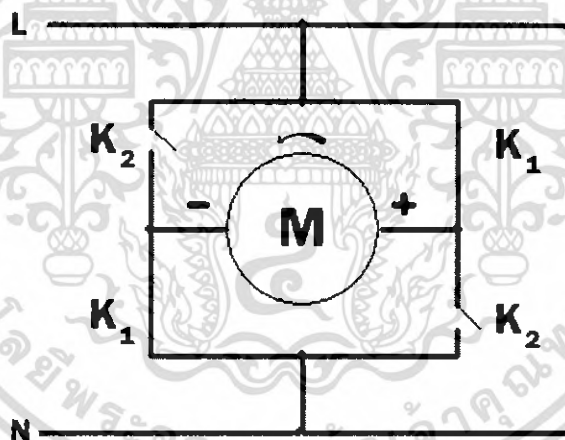
1.) เมื่อต้องการควบคุมให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่เดินหน้า ได้โดยทำการเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ และกดเลือกสวิตช์สองทางไปที่เดินหน้า (รีเลย์ K_1 ทำงาน) จะทำให้กระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลจากไลน์ (Line) ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์ และรีเลย์ K_1 จะทำให้รีเลย์ K_1 ทำงาน โดยที่หน้าสัมผัสของรีเลย์ปกติปิด K_1 จะเปิดออก เพื่อเป็นการป้องกันการลัดวงจรระหว่าง K_1 และ K_2 ซึ่งเป็นการอินเตอร์ล๊อค (Interlocked contact) นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



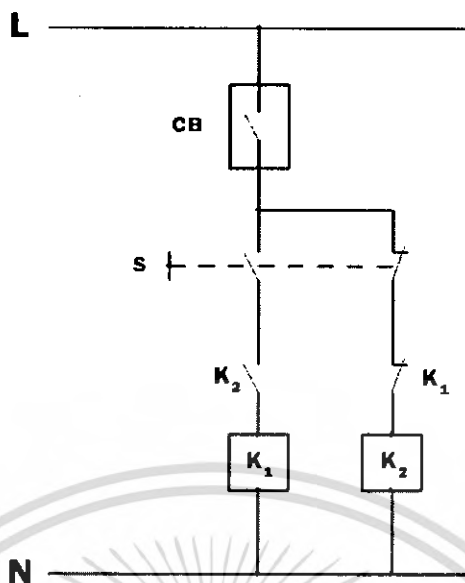
รูปที่ 3.15 วงจรควบคุมเมื่อรีเลย์ K_1 ทำงาน

2.) เมื่อรีเลย์ K_1 ทำงาน รีเลย์ K_2 จะทำการเปิดวงจรออก และทำให้กระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าทางขั้วบวกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนไปข้างหน้าหรือเป็นการทำให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่ไปด้านหน้านั่นเอง



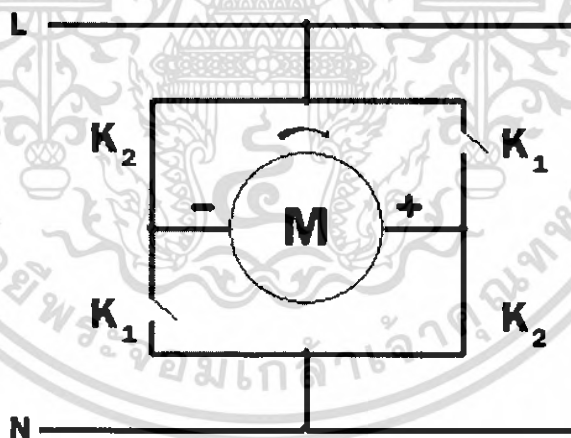
รูปที่ 3.16 วงจรกำลังเมื่อรีเลย์ K_1 ทำงาน

3.) เมื่อต้องการควบคุมให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อเคลื่อนที่ถอยหลัง ได้โดยการเลือกสวิตช์สองทางไปที่ถอยหลัง (รีเลย์ K_2 ทำงาน) จะทำให้กระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลจากไลน์ (Line) ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์ และรีเลย์ K_2 จะทำให้รีเลย์ K_2 ทำงาน โดยที่หน้าสัมผัสของรีเลย์ปกติปิด K_2 จะเปิดออก เพื่อเป็นการป้องกันการลัดวงจรระหว่าง K_1 และ K_2 ซึ่งเป็นการอินเตอร์ล๊อค (Interlocked contact) เมื่อมีการเปลี่ยนของสวิตช์สองทาง



รูปที่ 3.17 วงจรควบคุมเมื่อรีเลย์ K_2 ทำงาน

4.) เมื่อรีเลย์ K_2 ทำงาน รีเลย์ K_1 จะทำการเปิดวงจรออก และทำให้กระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าทางขั้วลบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีผลให้แรงบิดมีค่าเป็นลบ นั่นคือทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนกลับทิศทางจากเดิม นั่นเองจะหมุนไปข้างหลัง หรือเป็นการทำให้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนั้นเคลื่อนที่ไปด้านหลังนั่นเอง



รูปที่ 3.18 วงจรกำลังเมื่อรีเลย์ K_2 ทำงาน

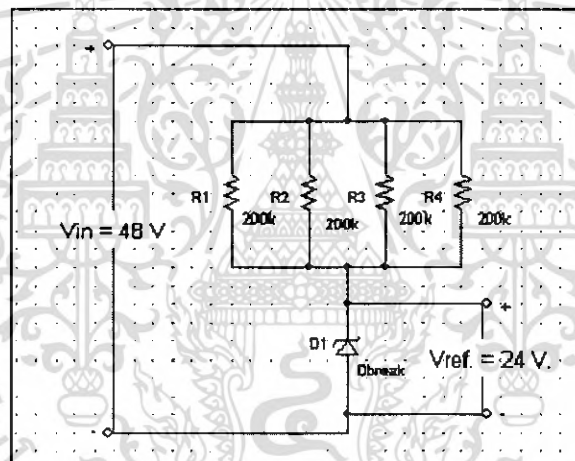
5.) เมื่อทำการปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ วงจรไฟฟ้าที่ทำการควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อจะหยุดทำงานทันที หรือเมื่อมีการเกิดโหลดเกินจะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรออกทำให้วงจรหยุดการทำงานทันทีเช่นกัน

3.4 วงจรแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่

วงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่ (Level Batteries) เป็นวงจรที่ได้ทำการออกแบบขึ้น เพื่อแสดงว่าขณะนั้นแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าระดับใด เพื่อที่จะสามารถล่วงรู้ได้ว่าควรทำการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่เมื่อใด และเพื่อป้องกันการหมดของแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการขับขี่

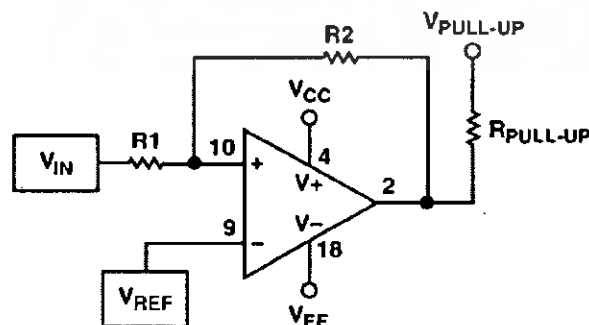
ในการออกแบบวงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่นั้นอาศัยไอซี LM324 ในการทำงาน โดยภายในไอซีชนิดนี้เป็นออปแอมป์ วงจรแบบขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) อาศัยหลักการเปรียบเทียบขนาดของแรงดันไฟฟ้าระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท (V_{in}) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ต่อมาจากขั้วของแบตเตอรี่ โดยในรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อนี้ใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 4 ลูก นั่นคือแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่คือ 48 โวลต์ กับค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.3 โวลต์

โดยค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref}) นี้มาจากการแบ่งแรงดันมาจากแรงดันไฟฟ้าอินพุท (V_{in}) สามารถแสดงการต่อวงจรในส่วนนี้ได้ดังนี้



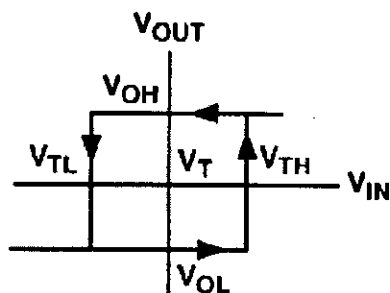
รูปที่ 3.19 การต่อวงจรเพื่อแสดงแรงดันไฟฟ้าอินพุท (V_{in}) กับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref})

ทำการกำหนด ค่า ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ของวงจร ในที่นี้กำหนดให้มีค่า ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เท่ากับ 0.3



รูปที่ 3.20 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส (n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันแบบไม่กลับเฟส (ข)

จากรูปที่ 3.20 สามารถทำการคำนวณหาค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ได้จากสมการ

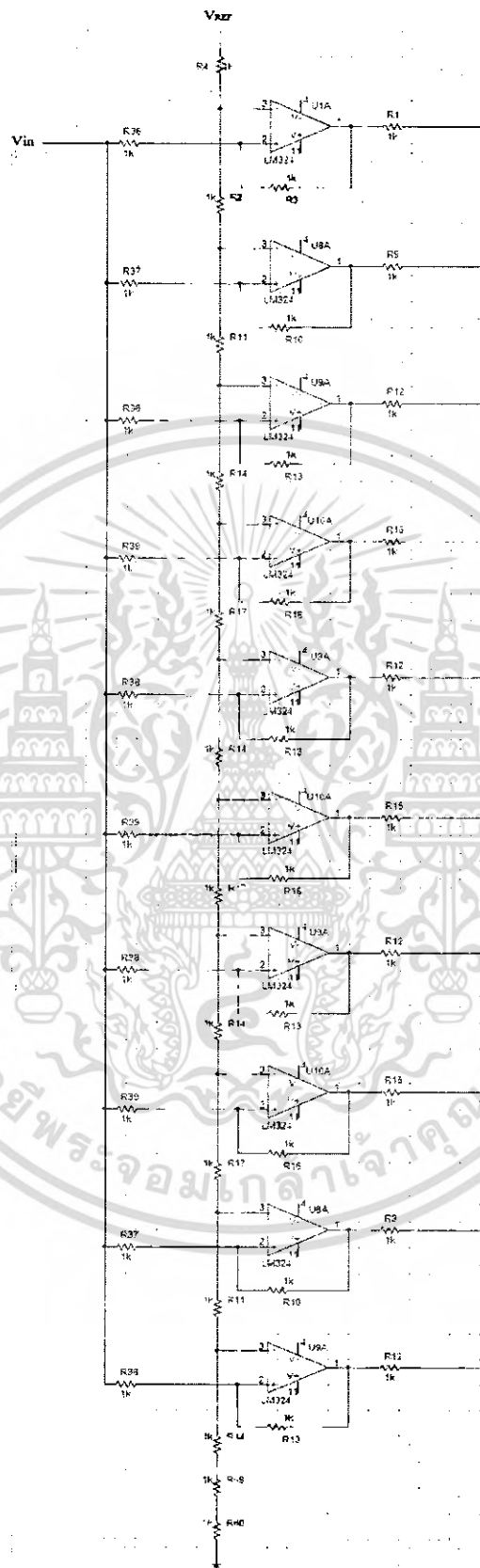
$$HYST = \frac{R_1 \times (V_{oh} - V_{ol})}{R_2}$$

โดยที่ค่า $V_{OH} - V_{OL}$ มีค่าเท่ากับ $V_{cc} - V_{ee}$ ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 24 โวลต์ และให้ค่า

$HYST$ เท่ากับ 0.3 เพราะฉะนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_1 และ R_2 ได้เท่ากับ $\frac{R_1}{R_2} = 80$

ดังนั้นจึงกำหนดให้ R_1 เท่ากับ 1 กิโลโอห์ม เพราะฉะนั้นจะได้ R_2 เท่ากับ 80 กิโลโอห์ม

เมื่อทำการคำนวณค่า R_1 และ R_2 ได้แล้วนั้น สามารถทำการออกแบบวงจรแสดงระดับแรงดันแบบเดอริ์ได้ดังรูปที่ 3.22 โดยที่เอาท์พุทจะต่อเข้ากับหลอด LED เพื่อแสดงว่าขณะนั้นแรงดันที่ขั้วของแบบเดอริ์อยู่ในระดับใด ซึ่งจากวงจรไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบสามารถแสดงสถานะของแบบเดอริ์ได้ถึง 10 ระดับ



รูปที่ 3.22 การต่อวงจรแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาพไร้ภาระทางกล (No Load Test)

ตารางที่ 4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาพไร้ภาระทางกล (No Load Test)

V(V.)	I(A.)	N _r (rpm)
31.95	2.27	677.7
29.90	2.08	632.9
27.80	2.04	597.0
25.90	1.97	552.0
24.17	1.90	529.7
21.34	1.89	461.6
19.10	1.82	405.8
17.00	1.79	362.7

จากการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขณะไร้ภาระ ที่แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับ 24 โวลต์ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ 2 แอมแปร์ และความเร็วรอบเท่ากับ 530 rpm

$$\begin{aligned}
 E_a &= V_t - I_a \cdot R_a \\
 &= 24 - (2)(0.17) \\
 &= 24 - 0.34 = 23.66 \text{ V.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{mech,loss}} &= T_e \cdot \omega_r = E_a \cdot I_a \\
 &= (23.66)(2) = 47.32 \text{ W.}
 \end{aligned}$$

$$N_{(\text{no-load})} = 530 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2\pi N_r}{60} \\
 &= \frac{2\pi \cdot 530}{60} = 55.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีดังนี้ $V = 24 \text{ V}$, $I = 26.7 \text{ A}$.

$$\begin{aligned} E_a &= 24 - (26.7)(0.17) \\ &= 19.46 \text{ V.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{load} &= \frac{E_{load}}{E_{no-load}} \times \omega_{no-load} \\ &= (19.46/23.66)(55.47) \\ &= 45.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{rated} &= \frac{E_{rated}}{E_{no-load}} \times N_{no-load} \\ &= (19.46/23.66)(530) \\ &= 435.9 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_e &= E_a \cdot I_a \\ &= (19.46)(26.7) \\ &= 519.58 \text{ W.} \end{aligned}$$

$$K_e = K_t = \frac{E_a}{\omega} = 23.66/55.47 = 0.4$$

$$\begin{aligned} T_{em} &= K_t \cdot I_a \\ &= (0.4)(26.7) = 10.68 \text{ Nm} \end{aligned}$$

จากการคำนวณหาแรงบิดที่กระแสพิกัด คือ 26.7 แอมแปร์ จะได้ค่าแรงบิดมีค่าเท่ากับ 10.68 Nm และมีค่าความเร็วรอบเท่ากับ 435.9 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งทางตรงเรียบ

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อนำน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม

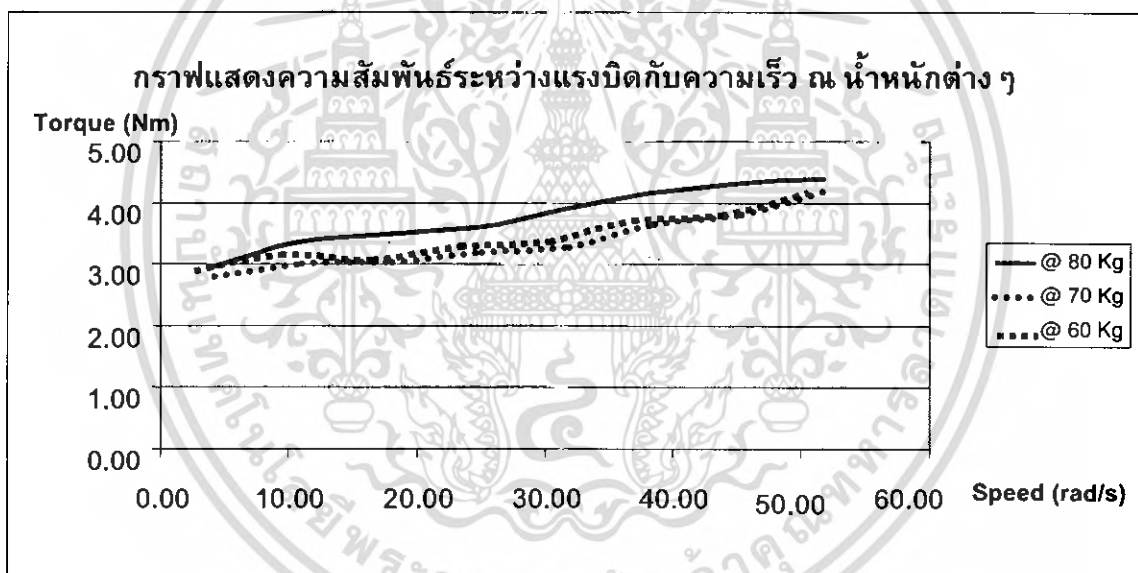
V_t (V)	I_a (A)	E_{load} (V)	ω_m (rad/s)	V(km/hr)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
3.00	6.90	1.83	4.28	1.44	2.76	20.70	11.82	57.10
6.00	7.60	4.71	11.04	3.71	3.04	45.60	33.55	73.57
9.00	7.40	7.74	18.15	6.10	2.96	66.60	53.72	80.65
12.00	7.90	10.66	24.98	8.39	3.16	94.80	78.94	83.27
15.00	8.10	13.62	31.93	10.73	3.24	121.50	103.46	85.15
18.00	9.00	16.47	38.61	12.97	3.60	162.00	138.98	85.79
21.00	9.20	19.44	45.56	15.31	3.68	193.20	167.65	86.78
24.00	10.10	22.28	52.23	17.55	4.04	242.40	211.01	87.05

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อนำน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม

V_t (V)	I_a (A)	E_{load} (V)	ω_m (rad/s)	V(km/hr)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
3.00	7.00	1.81	4.24	1.43	2.80	21.00	11.88	56.57
6.00	7.50	4.73	11.08	3.72	3.00	45.00	33.23	73.84
9.00	7.60	7.71	18.07	6.07	3.04	68.40	54.93	80.30
12.00	8.00	10.64	24.94	8.38	3.20	96.00	79.81	83.13
15.00	8.20	13.61	31.89	10.72	3.28	123.00	104.61	85.05
18.00	9.10	16.45	38.57	12.96	3.64	163.80	140.38	85.70
21.00	9.50	19.39	45.44	15.27	3.80	199.50	172.67	86.55
24.00	10.50	22.22	52.07	17.50	4.20	252.00	218.70	86.79

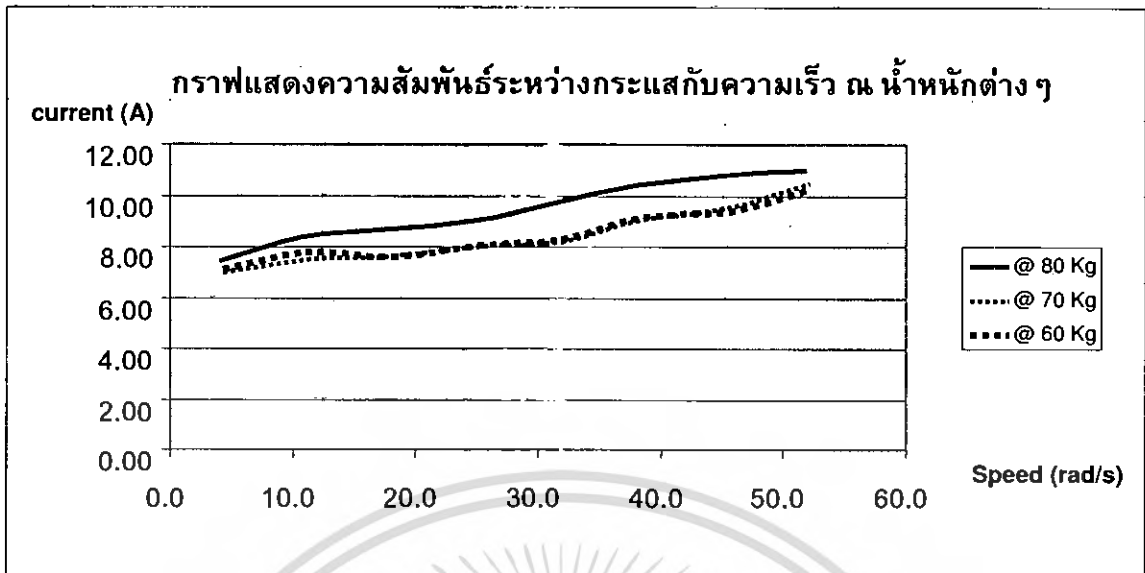
ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อน้ำหนักผู้ขับชี่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม

V_t (V)	I_a (A)	E_{load} (V)	ω_m (rad/s)	V(km/hr)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
3.00	7.40	1.74	4.08	1.37	2.96	22.20	12.09	54.44
6.00	8.40	4.57	10.72	3.60	3.36	50.40	36.01	71.45
9.00	8.70	7.52	17.63	5.92	3.48	78.30	61.35	78.35
12.00	9.00	10.47	24.54	8.25	3.60	108.00	88.35	81.81
15.00	9.70	13.35	31.29	10.52	3.88	145.50	121.42	83.45
18.00	10.40	16.23	38.05	12.78	4.16	187.20	158.28	84.55
21.00	10.80	19.16	44.92	15.09	4.32	226.80	194.06	85.56
24.00	11.00	22.13	51.87	17.43	4.40	264.00	228.24	86.45

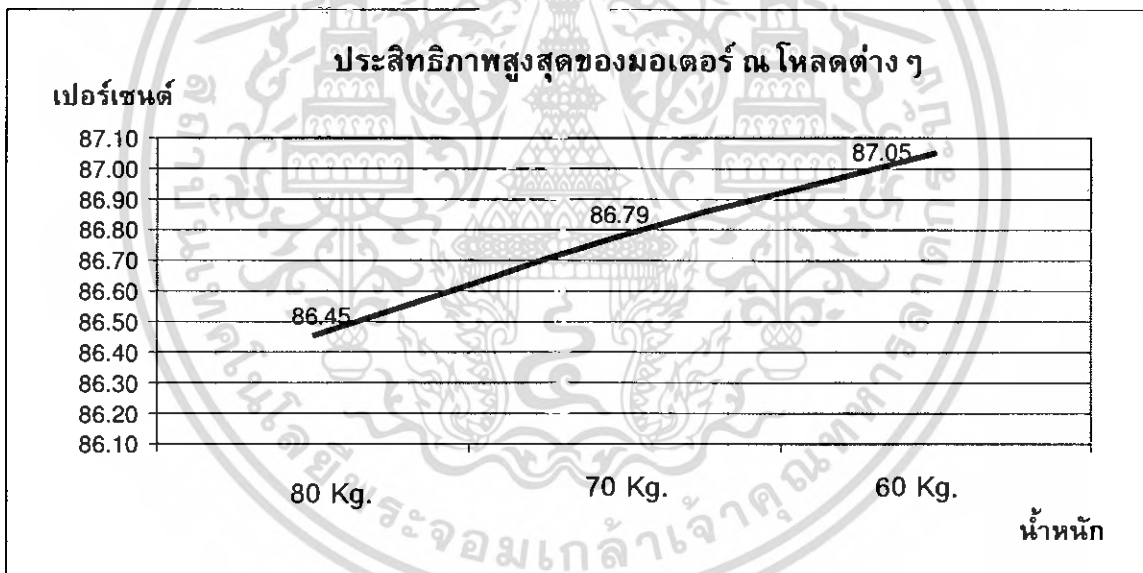


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็ว ในสภาวะที่วิ่งทางตรงเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็ว ในสภาวะที่วิ่งทางตรงเรียบ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่โหลด ขณะวิ่งทางตรงเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งขึ้นบนทางชัน

4.3.1 กรณีน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_b(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{ip}(W)$	$P_{op}(W)$	Eff(%)
	12.30	38.60	5.74	13.45	15.44	207.67	474.72	43.75
	12.50	39.34	5.81	13.62	15.74	214.38	491.74	43.60
	13.00	40.73	6.08	14.24	16.29	232.03	529.54	43.82
	13.50	40.46	6.62	15.52	16.18	251.20	546.14	46.00
Avg	12.83	39.78	6.06	14.21	15.91	226.32	510.54	44.29

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_b(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{ip}(W)$	$P_{op}(W)$	Eff(%)
	8.20	23.72	4.17	9.77	9.49	92.69	194.46	47.66
	7.90	22.69	4.04	9.48	9.08	86.01	179.27	47.98
	8.30	21.95	4.57	10.71	8.78	94.02	182.17	51.61
	7.90	22.88	4.01	9.40	9.15	86.03	180.74	47.60
Avg	8.08	22.81	4.20	9.84	9.12	89.69	184.16	48.71

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_b(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{ip}(W)$	$P_{op}(W)$	Eff(%)
	6.80	18.88	3.59	8.42	7.55	63.56	128.38	49.51
	6.90	19.90	3.52	8.24	7.96	65.62	137.32	47.79
	6.90	19.07	3.66	8.58	7.63	65.40	131.55	49.72
	7.10	19.44	3.80	8.90	7.77	69.17	138.00	50.12
Avg	6.93	19.32	3.64	8.53	7.73	65.94	133.81	49.28

4.3.2 กรณีน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_a(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{i/p}(W)$	$P_{o/p}(W)$	Eff(%)
	12.70	39.43	6.00	14.06	15.77	221.71	500.70	44.28
	12.90	40.19	6.07	14.22	16.07	228.65	518.39	44.11
	12.70	41.61	5.63	13.19	16.64	219.50	528.45	41.54
	12.80	41.33	5.77	13.54	16.53	223.75	528.96	42.30
Avg	12.78	40.64	5.87	13.75	16.25	223.40	519.12	43.06

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_a(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{i/p}(W)$	$P_{o/p}(W)$	Eff(%)
	8.00	24.23	3.88	9.10	9.69	88.17	193.80	45.49
	8.00	23.18	4.06	9.52	9.27	88.23	185.44	47.58
	8.10	22.42	4.29	10.05	8.97	90.15	181.60	49.64
	7.80	23.37	3.83	8.97	9.35	83.86	182.29	46.00
Avg	7.98	23.30	4.01	9.41	9.32	87.60	185.78	47.18

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees)

	$V_t(V)$	$I_a(A)$	$E_a(V)$	$\omega_m (rad/s)$	Torque(Nm)	$P_{i/p}(W)$	$P_{o/p}(W)$	Eff(%)
	6.80	19.29	3.52	8.25	7.71	63.68	131.14	48.56
	7.10	20.33	3.64	8.54	8.13	69.46	144.34	48.12
	7.00	19.48	3.69	8.65	7.79	67.36	136.33	49.41
	6.90	19.86	3.52	8.26	7.94	65.62	137.00	47.89
Avg	6.95	19.74	3.59	8.43	7.89	66.53	137.20	48.50

4.3.3 กรณีน้ำหนักผู้ขับที่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 10 องศา (slope = 10 degrees)

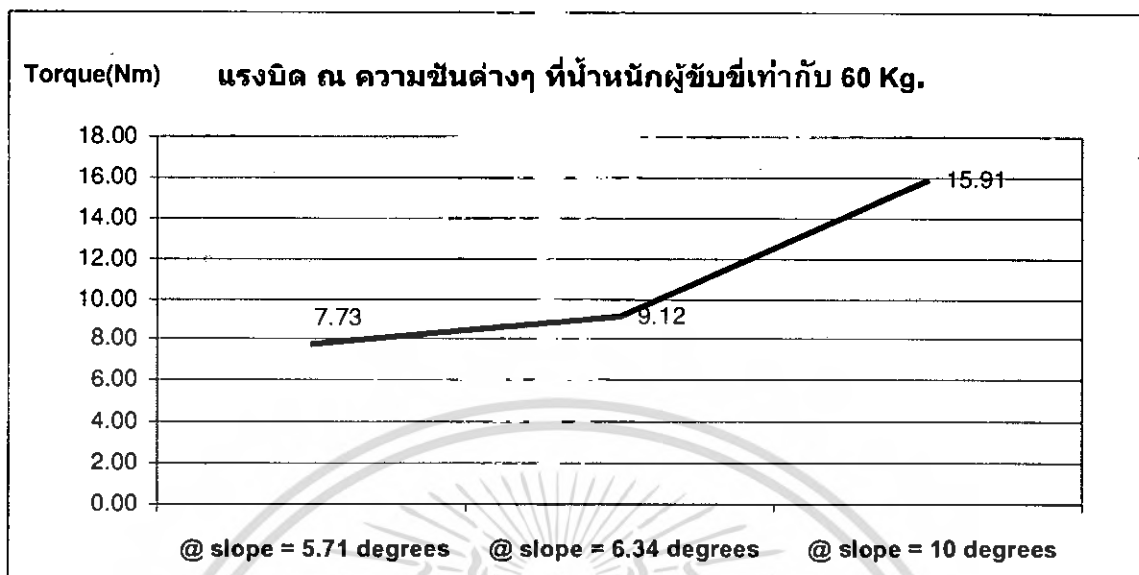
	V_t (V)	I_a (A)	E_a (V)	ω_m (rad/s)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
	13.00	41.50	5.95	13.94	16.60	231.32	539.50	42.88
	13.40	42.30	6.21	14.55	16.92	246.25	566.82	43.44
	13.20	43.80	5.75	13.49	17.52	236.30	578.16	40.87
	13.40	43.50	6.01	14.08	17.40	244.92	582.90	42.02
Avg	13.25	42.78	5.98	14.01	17.11	239.70	566.85	42.30

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 6.34 องศา (slope = 6.34 degrees)

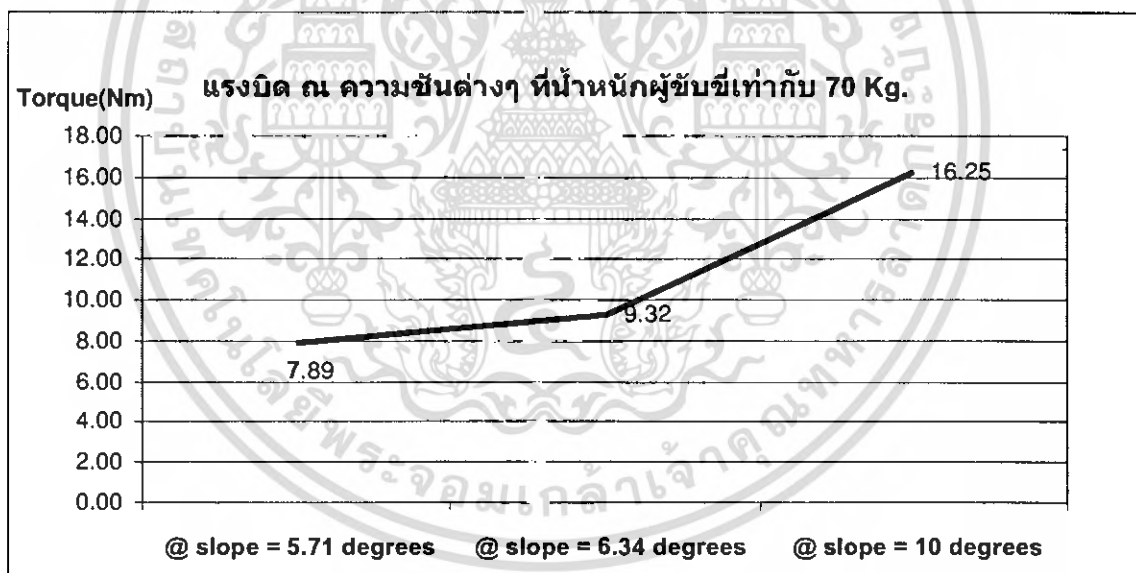
	V_t (V)	I_a (A)	E_a (V)	ω_m (rad/s)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
	8.50	24.90	4.27	10.00	9.96	99.62	211.65	47.07
	8.60	25.80	4.21	9.88	10.32	101.94	221.88	45.94
	8.40	25.70	4.03	9.45	10.28	97.13	215.88	44.99
	8.60	25.00	4.35	10.20	10.00	101.96	215.00	47.43
Avg	8.53	25.35	4.22	9.88	10.14	100.16	216.10	46.36

ตารางที่ 4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อทางชัน 5.71 องศา (slope = 5.71 degrees)

	V_t (V)	I_a (A)	E_a (V)	ω_m (rad/s)	Torque(Nm)	P_{ip} (W)	P_{op} (W)	Eff(%)
	7.00	20.30	3.55	8.32	8.12	67.55	142.10	47.54
	7.40	21.40	3.76	8.82	8.56	75.48	158.36	47.67
	7.20	20.50	3.72	8.71	8.20	71.41	147.60	48.38
	7.30	20.90	3.75	8.78	8.36	73.43	152.57	48.13
Avg	7.23	20.78	3.69	8.66	8.31	71.97	150.16	47.93

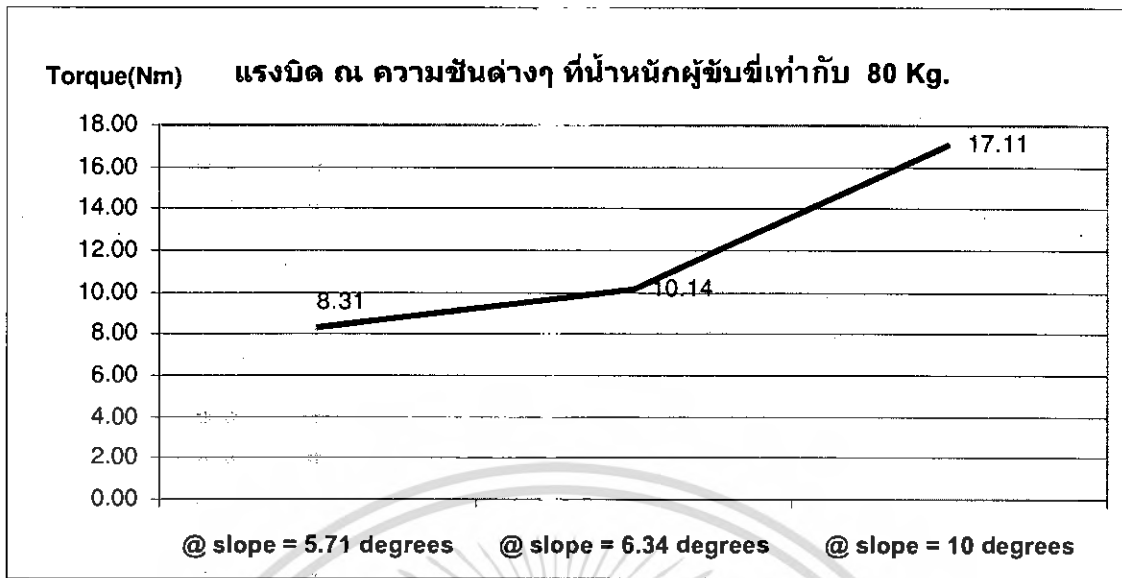


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชันที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 60 กิโลกรัม



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชันที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 70 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับระดับความชันที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 80 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบหาระยะทางที่น้ำหนักผู้ขับขี่และความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่าง ๆ

ตารางที่ 4. 14 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 60 กิโลกรัม

$V_i(V)$	$V(km/hr)$	$\omega_m (rad/s)$	$E_{load}(V)$	$I_a(A)$	Torque(Nm)	Time(Hr)	Distance(Km)
7.09	5.00	14.88	6.35	4.37	1.88	10.29	51.44
14.32	10.10	30.06	12.82	8.84	3.80	5.09	51.44
21.34	15.05	44.79	19.11	13.17	5.66	3.42	51.44
24.11	17.00	50.60	21.58	14.87	6.40	3.03	51.44

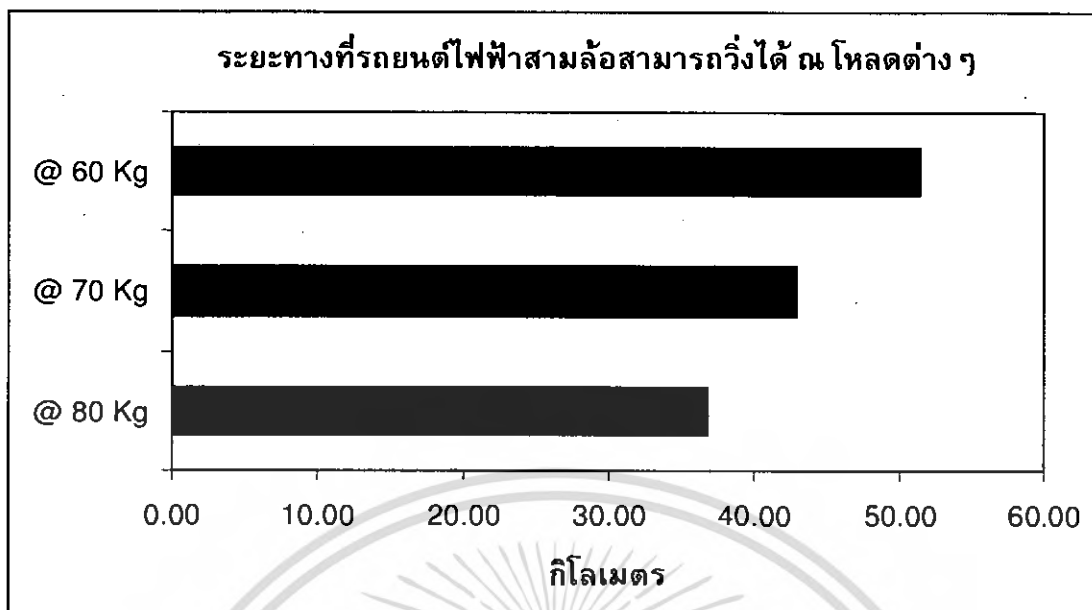
ตารางที่ 4. 15 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 70 กิโลกรัม

$V_i(V)$	$V(km/hr)$	$\omega_m (rad/s)$	$E_{load}(V)$	$I_a(A)$	Torque(Nm)	Time(Hr)	Distance(Km)
7.24	5.00	14.88	6.35	5.24	2.25	8.58	42.91
14.62	10.10	30.06	12.82	10.59	4.55	4.25	42.91
21.79	15.05	44.79	19.11	15.78	6.79	2.85	42.91
24.61	17.00	50.60	21.58	17.83	7.67	2.52	42.91

ตารางที่ 4. 16 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด เวลา และระยะทาง เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเท่ากับ 80 กิโลกรัม

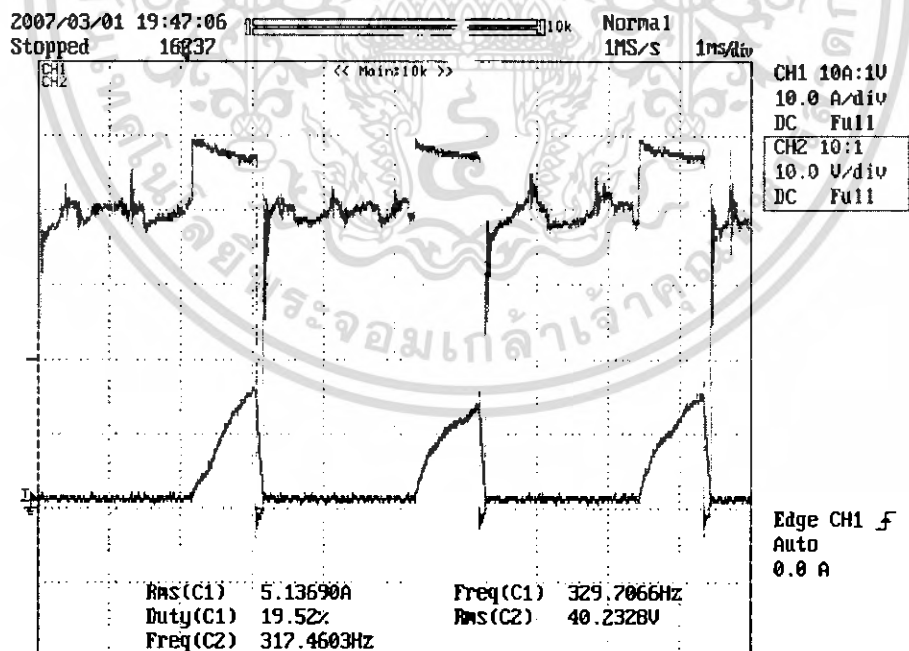
$V_i(V)$	$V(km/hr)$	$\omega_m (rad/s)$	$E_{load}(V)$	$I_a(A)$	Torque(Nm)	Time(Hr)	Distance(Km)
7.39	5.00	14.88	6.35	6.11	2.63	7.36	36.81
14.92	10.10	30.06	12.82	12.35	5.31	3.64	36.81
22.23	15.05	44.79	19.11	18.40	7.91	2.45	36.81
25.11	17.00	50.60	21.58	20.78	8.94	2.17	36.81

หมายเหตุ ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้ คำนวณจากค่าความจุ (Ahr) ของแบตเตอรี่ หารด้วยค่ากระแส ณ น้ำหนักผู้ขับขี่ต่างๆ



รูปที่ 4.7 ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้สูงสุดเมื่อแบตเตอรี่เต็มที่น้ำหนักผู้ขับขี่ต่างๆ

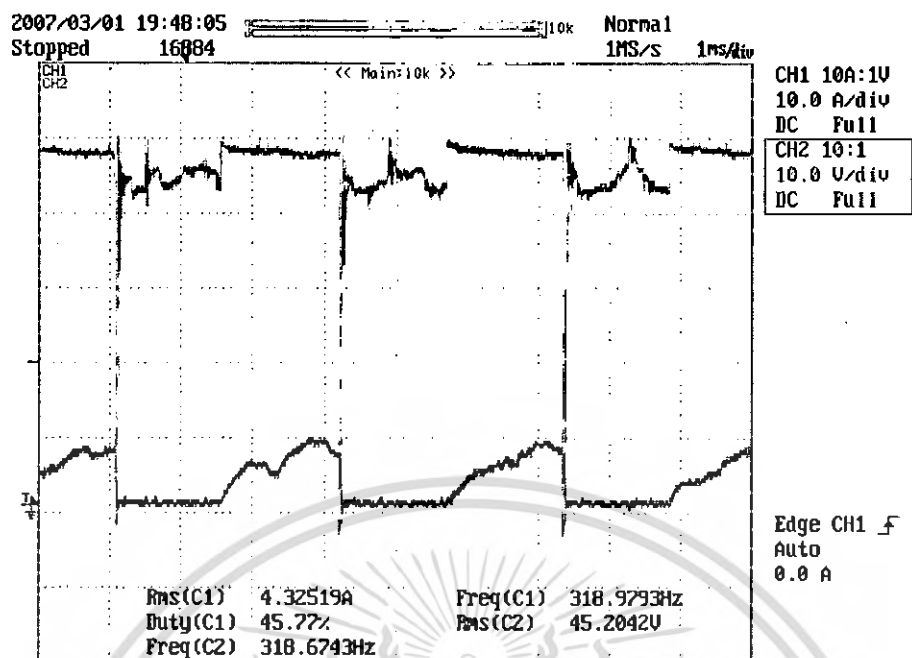
4.5 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล



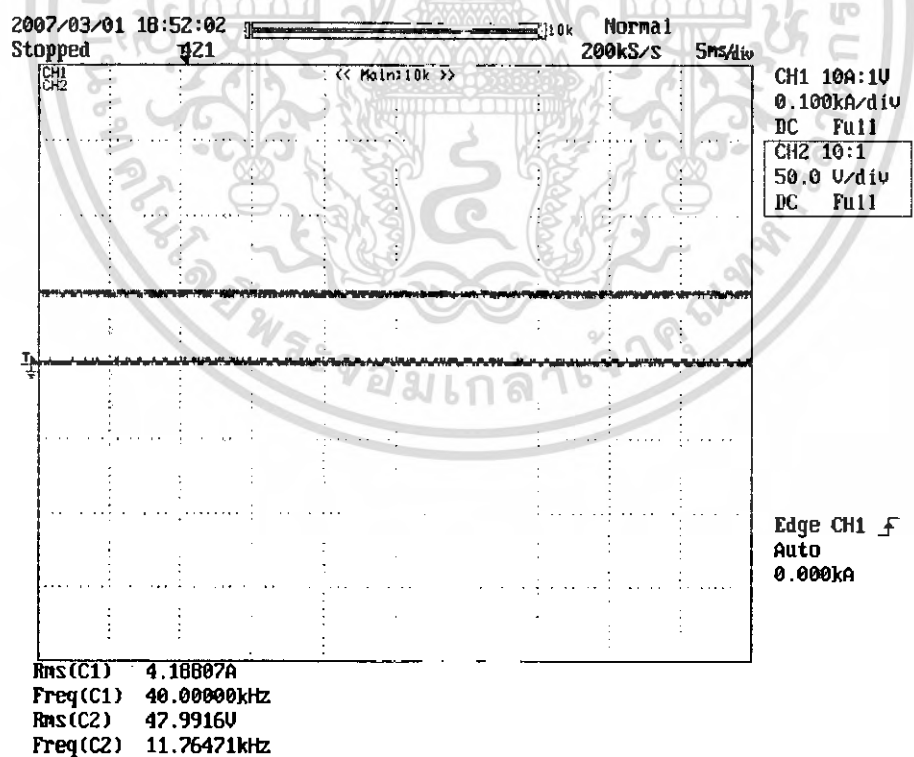
รูปที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



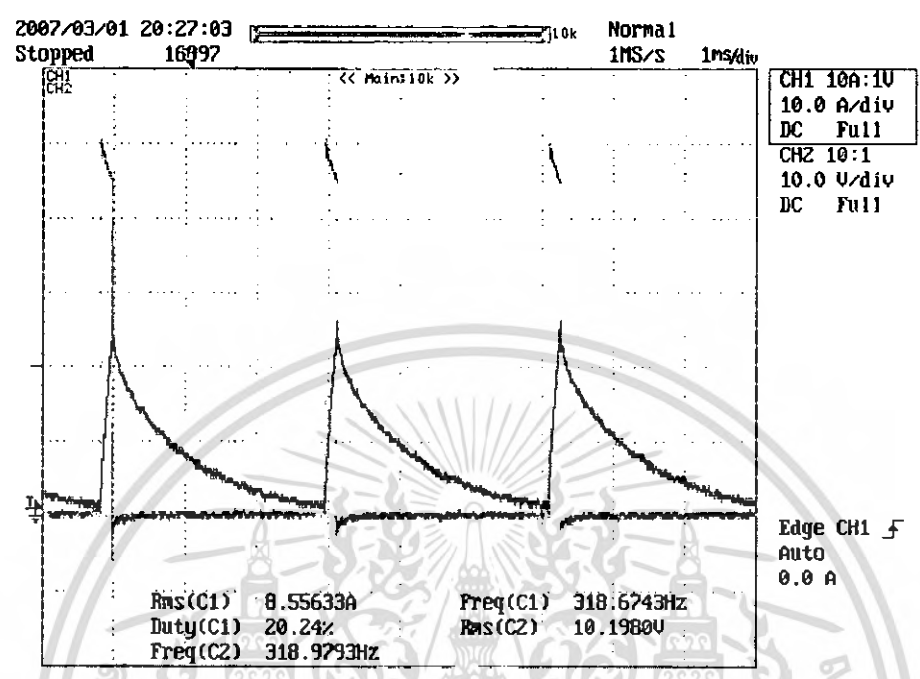
รูปที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)
ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)
ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์

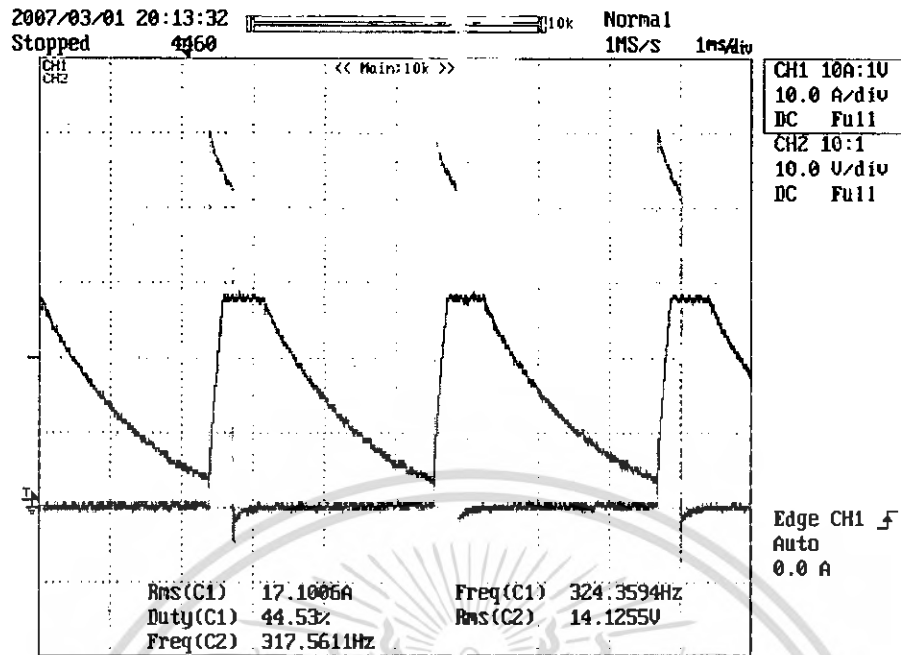
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล



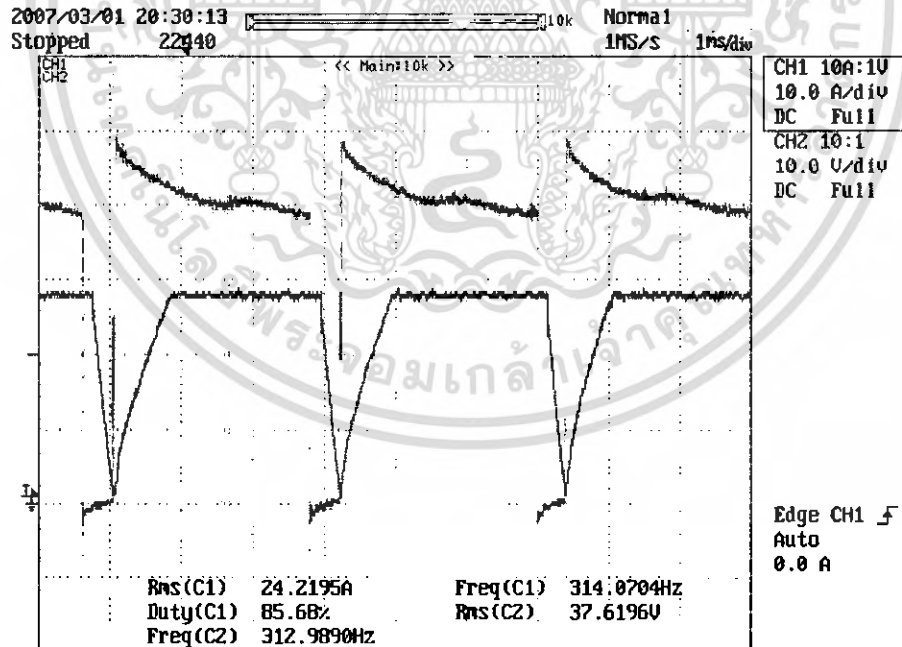
รูปที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 45 รอบต่อวินาที

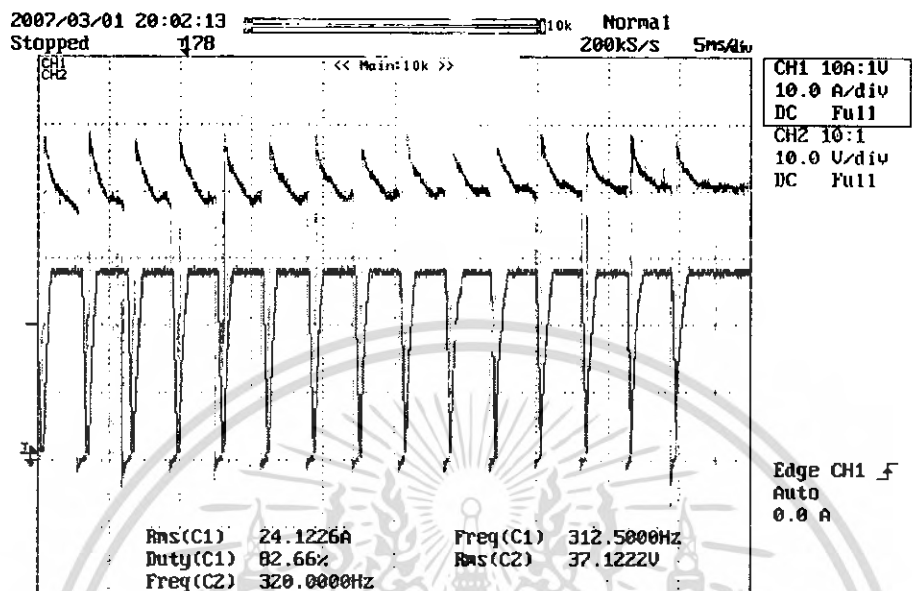


รูปที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 95 รอบต่อวินาที

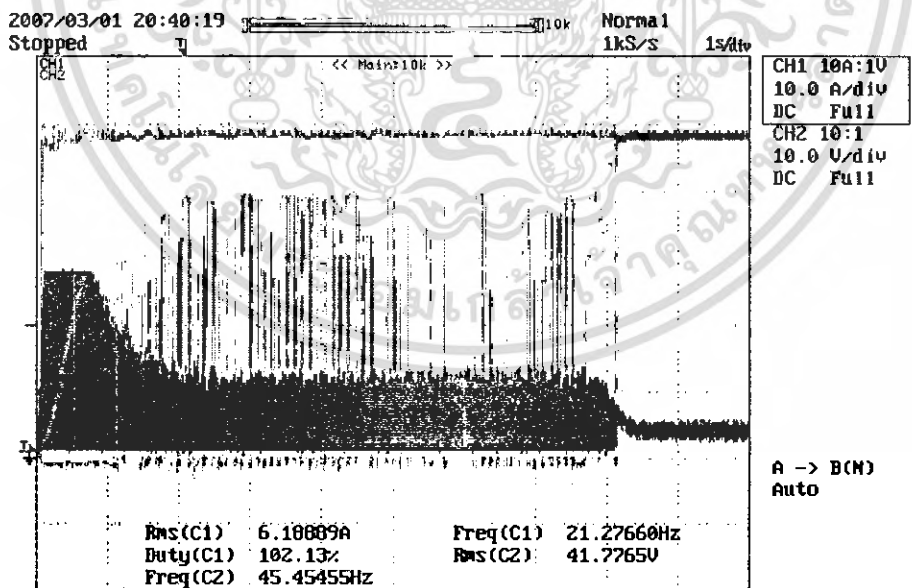
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล



รูปที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร้ภาระทางกล (ก)

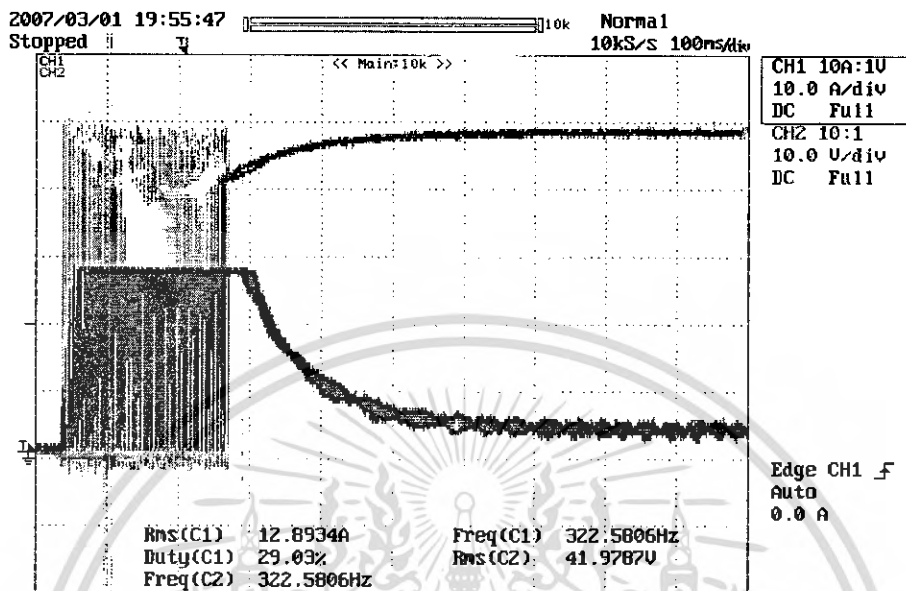


รูปที่ 4.15 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

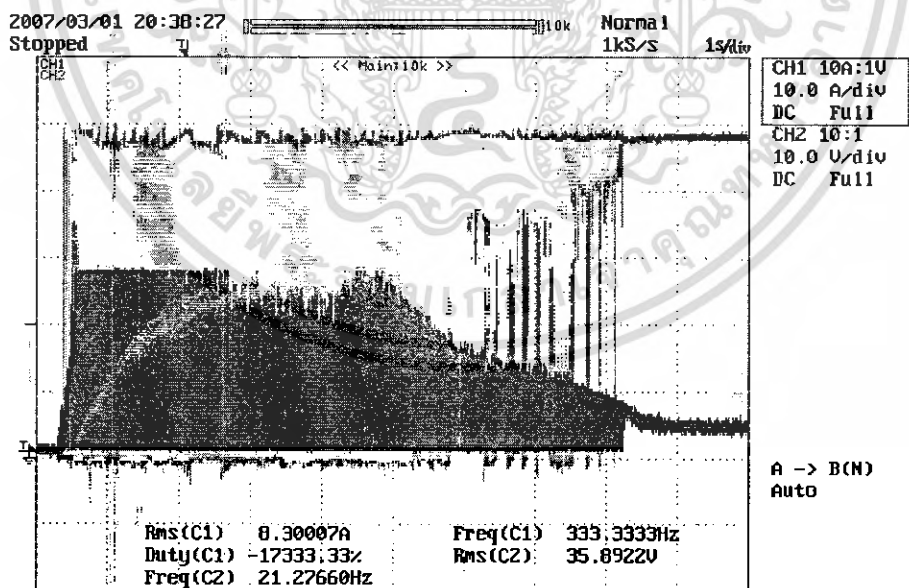
ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร้ภาระทางกล (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล



รูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)
ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ มีภาระทางกล (ก)



รูปที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)
ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ มีภาระทางกล (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 หลักและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่

รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อคันนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ขนาด 45 Ahr ทั้งหมด 4 ลูก ต่อกันแบบอนุกรม เพราะฉะนั้นจะได้ขนาดโวลต์รวมมีค่าเท่ากับ 48 โวลต์ ซึ่งพอดีกับพิกัดของมอเตอร์ 2 ลูกรวมกัน จากการทดลอง ทำการชาร์จแบตเตอรี่ที่กระแสดังที่ 5 แอมแปร์ เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ค่าพลังงานเท่ากับ 45 Ahr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

หลังจากทำการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามล้อ และอุปกรณ์ภายในต่าง ๆ จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

5.1 กรณีรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งทางตรงเรียบ

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 60 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้ มีค่าเท่ากับ 17.55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าแรงบิดเท่ากับ 4.04 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 87.05 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 70 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้ มีค่าเท่ากับ 17.50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าแรงบิดเท่ากับ 4.20 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 86.79 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 80 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้ มีค่าเท่ากับ 17.43 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าแรงบิดเท่ากับ 4.40 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 86.79 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้ามืดค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากต้องการให้แรงบิดของมอเตอร์มากกว่าแรงบิดของโหลด แต่จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าลดลง ส่วนค่าความเร็วสูงสุดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อสามารถวิ่งได้ ความเร็วต่าง ๆ นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือประมาณ 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พิจารณาในเรื่องของประสิทธิภาพ จะพบว่าเมื่อใช้น้ำหนักผู้ขับขี่ที่ค่าหนึ่งแล้ว ทำการปรับความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อไปที่ค่าต่าง ๆ พบว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 60 กิโลกรัม เมื่อปรับความเร็วตั้งแต่ 1.44 ถึง 17.55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าประมาณ 57.10 ถึง 87.05 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 70 กิโลกรัม เมื่อปรับความเร็วตั้งแต่ 1.43 ถึง 17.50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าอยู่ในช่วง 56.57 ถึง 86.79 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 80 กิโลกรัม เมื่อปรับความเร็วตั้งแต่ 1.37 ถึง 17.43 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าอยู่ในช่วง 54.44 ถึง 86.45 เปอร์เซ็นต์

จะเห็นว่า เมื่อน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าลดลง ซึ่งในทางกลับกัน ถ้าน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่าลดลง ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ความเร็วสูงสุด แรงบิด และประสิทธิภาพ ณ โหลดค่าต่างๆ

น้ำหนักผู้ขับขี่(Kg)	ความเร็วสูงสุด (Km/hr)	แรงบิด (N.m)	ประสิทธิภาพ (%)
60	17.55	4.04	87.05
70	17.50	4.20	86.79
80	17.43	4.40	86.45

5.2 กรณีรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อวิ่งขึ้นบนทางชัน

จากการทดลองที่ 3 ระดับ คือ ที่ระดับความชัน 10, 6.34 และ 5.71 องศา โดยที่ใช้น้ำหนักผู้ขับขี่เท่ากับ 60, 70 และ 80 กิโลกรัม พบว่า

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 60 กิโลกรัม

ระดับความชันเท่ากับ 10 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 39.78 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 15.91 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 44.29 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 6.34 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 22.81 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 9.12 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 48.71 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 5.71 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 19.32 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 7.73 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 49.28 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 70 กิโลกรัม

ระดับความชันเท่ากับ 10 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 40.64 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 16.25 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 43.06 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 6.34 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 23.30 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 9.32 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 47.10 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 5.71 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 19.74 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 7.89 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 48.5 เปอร์เซ็นต์

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 80 กิโลกรัม

ระดับความชันเท่ากับ 10 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 42.78 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 17.11 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 42.30 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 6.34 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 25.35 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 10.14 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 46.36 เปอร์เซ็นต์

ระดับความชันเท่ากับ 5.71 องศา จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 20.78 แอมแปร์ โดยที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 8.31 Nm และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 47.93 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลอง พบว่าถ้าระดับความชันมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลง ในทางกลับกันถ้าระดับความชันมีค่าลดลง จะส่งผลให้ค่ากระแสมีค่าลดลง ส่งผลให้แรงบิดมีค่าลดลง แต่ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ในการทดลอง ที่ระดับความชันเท่ากับ 6.34 องศา พบว่า ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 60, 70 และ 80 กิโลกรัม จะมีค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 22.81 A. ถึง 25.35 A. ซึ่งจะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้นั้นมีค่าไม่ถึง 26.7 แอมแปร์ ซึ่งเป็นกระแสที่พิกัด เพราะฉะนั้น สามารถใช้รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อคันนี้ขับขี่ขึ้นเนินที่ระดับความชันประมาณ 6 องศาได้ ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎีเบื้องต้นที่ว่า ถ้าใช้อัตราทดรอบ 3 ต่อ 2 จะได้ความชันมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.52 องศา

ตารางที่ 5.2 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชันเท่ากับ 10 องศา

น้ำหนักผู้ขับขี่ (Kg)	กระแส (A)	แรงบิด (N.m)	ประสิทธิภาพ (%)
60	39.78	15.91	44.29
70	40.64	16.25	43.06
80	42.78	17.10	42.30

ตารางที่ 5.3 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชันเท่ากับ 6.34 องศา

น้ำหนักผู้ขับขี่ (Kg)	กระแส (A)	แรงบิด (N.m)	ประสิทธิภาพ (%)
60	22.81	9.12	48.71
70	23.30	9.32	47.10
80	25.35	10.14	41.36

ตารางที่ 5.4 ค่ากระแส แรงบิด และประสิทธิภาพของมอเตอร์ ณ โหลดต่างๆ ที่ความชื้นเท่ากับ 5.71 องศา

น้ำหนักผู้ขับขี่ (Kg)	กระแส (A)	แรงบิด (N.m)	ประสิทธิภาพ (%)
60	19.32	7.73	49.28
70	19.74	7.89	48.50
80	20.78	8.31	47.93

5.3 การทดสอบหาระยะทางที่น้ำหนักผู้ขับขี่และความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อต่างๆ

จากการทดลองที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 60, 70 และ 80 กิโลกรัม พบว่า

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 60 กิโลกรัม รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อจะสามารถวิ่งได้ระยะทางมากที่สุด

คือ 51.44 กิโลเมตร

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 70 กิโลกรัม รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อจะสามารถวิ่งได้ระยะทางมากที่สุด

คือ 42.91 กิโลเมตร

ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 80 กิโลกรัม รถยนต์ไฟฟ้าสามล้อจะสามารถวิ่งได้ระยะทางมากที่สุด

คือ 36.81 กิโลเมตร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด กับความเร็วรอบ ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ต่างๆ จะเห็นว่า ถ้าน้ำหนักผู้ขับขี่มีค่ามาก จะทำให้แรงบิดที่ได้มีค่ามากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งแรงบิดนั้นจะมีค่าแปรผันตรงกับค่ากระแสด้วย

5.4 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

ความเร็วสูงสุด	17 กม./ชม.
ระยะทางต่อการชาร์จ 1 ครั้ง	51 กม.
องศาพื้นเอียง	6 องศา
มอเตอร์	DC 500 W, 2 ตัวต่ออนุกรม
แบตเตอรี่ (4 ลูก)	48 V / 45Ah
ระบบเบรก	ดิสก์เบรกและเบรกไฟฟ้า
ระบบการทำงาน	ปุ่มปรับเดินหน้าและถอยหลัง
ขนาดล้อ	ล้อหน้า 8 นิ้ว ล้อหลัง 11 นิ้ว
อื่นๆ	วงจรแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง พบว่าโครงสร้างทางรถยนต์ที่ได้ทำการออกแบบมานั้นมีข้อผิดพลาดอยู่ที่บางจุด คือ ขณะที่ทำการขับรถด้วยความเร็วที่พิกัด โครงสร้างของรถจะเกิดการแกว่งขึ้นเนื่องจากล้อหน้าเกิดการส่ายไปมา ทั้งนี้อาจจะเกิดจากหน้ายางของล้อหน้าเล็กเกินไป ทำให้ไม่เกาะถนนเท่าที่ควร หรืออาจเกิดจากตัวดัมป์นั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากเกินไป เพราะฉะนั้นควรจะหาโปรแกรมที่ทำการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์ ให้มีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิม

อีกส่วนหนึ่งคือตัวโครงสร้างของรถยนต์ส่วนที่เป็นไฟเบอร์นั้นมีราคาแพงมาก เนื่องจากต้องไปจ้างทางร้านทำการหล่อแบบขึ้นมาก่อน จึงจะทำการขึ้นรูปได้ ด้วยเหตุนี้ นักศึกษาจึงไม่ได้ทำการขึ้นรูปโครงสร้างดังกล่าว เพราะว่าถ้าสั่งทำในปริมาณที่น้อยจะไม่คุ้มกับเงินที่เสียไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิวะ หงส์นภา, หลักการและการประยุกต์ใช้งานดีซีไดรฟ์, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ กู๊ดวิลลีไดเร็คชั่น, 2547.
- [2] ศุภชัย สุรินทร์สงค์, เครื่องกลไฟฟ้า มอเตอร์กระแสตรง, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ ดวงกลมสัย, 2535.
- [3] วีระเชษฐุ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิ์เรธาธุ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2547.
- [4] ณรงค์ นันทวรรณนะ, เครื่องกลไฟฟ้า 1, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2536.
- [5] แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์, แบตเตอรี่ และเครื่องชาร์จ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2538.
- [6] อำนาจ ทองผาสุก และวิทยา ประยงค์พันธ์, การควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะผู้จัดทำ



นายวิรัช โล่หมมหาเดช 46010737



นายวิระยุทธ เกิดผล 46010748



นายปรีวัฒน์ ทองแสง 46012053



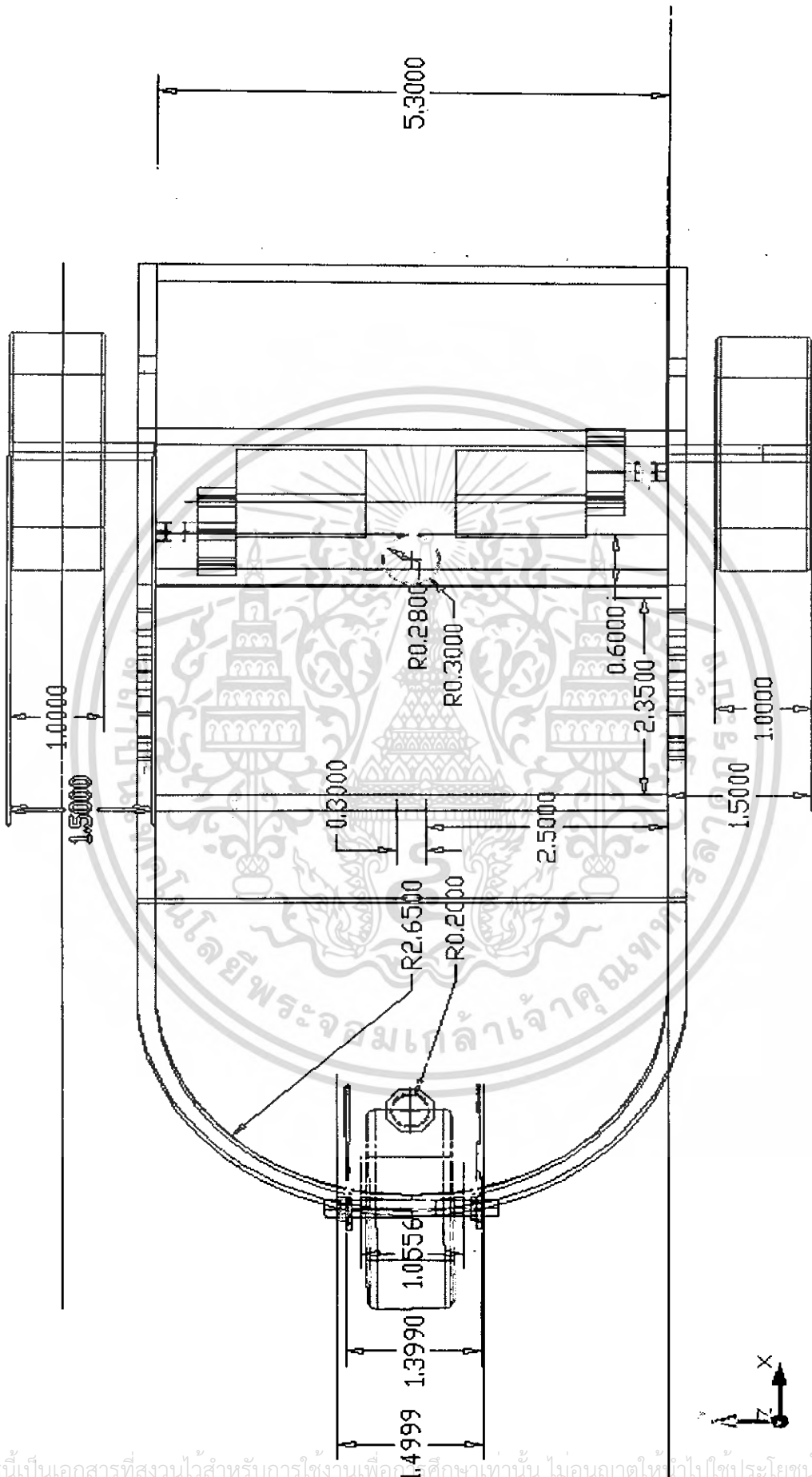
นายวงศกร เตชะพัตรากรณ์ 46012059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

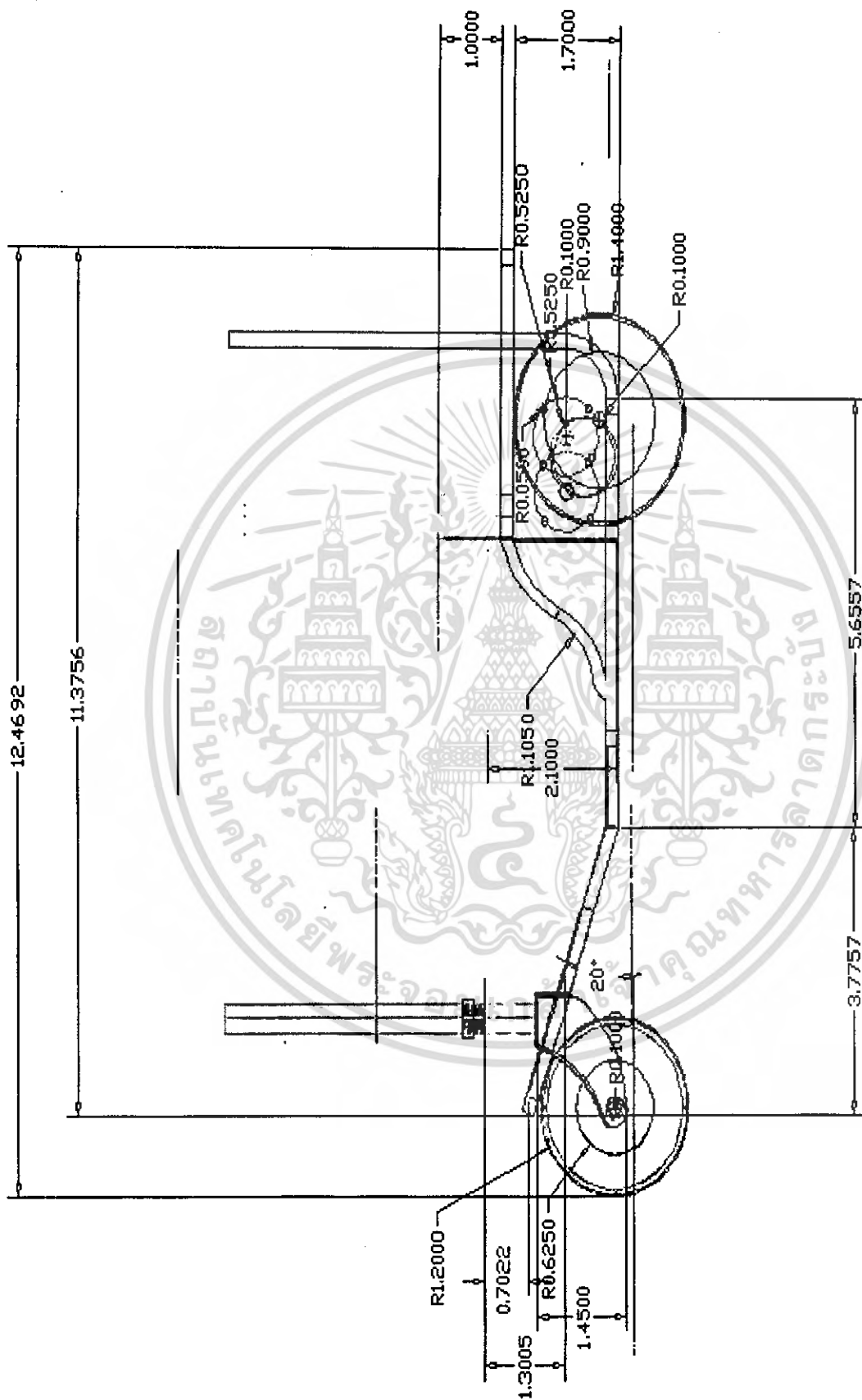


ภาคผนวก ก
แบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสามล้อ

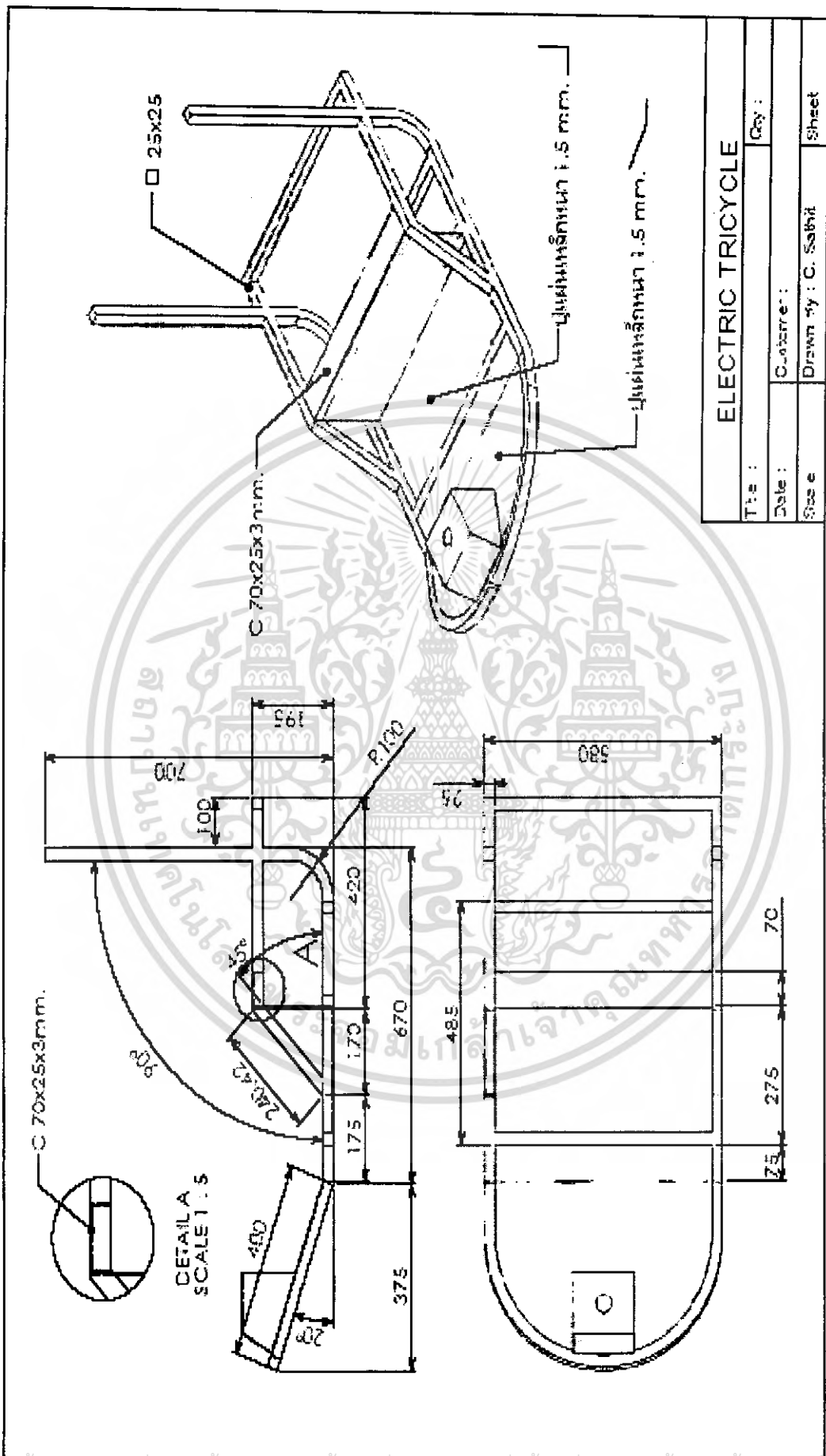
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

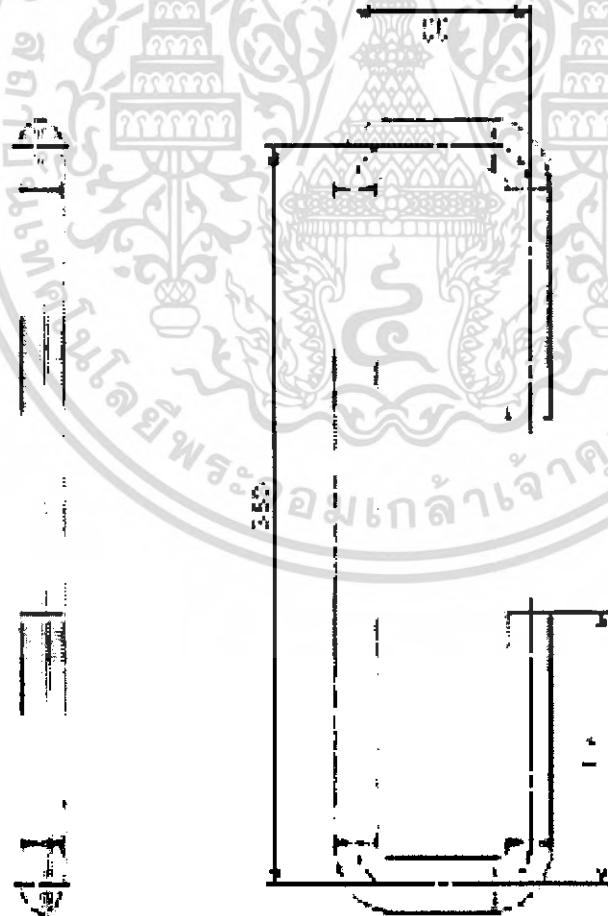


ELECTRIC TRICYCLE		
Title :	Date :	
Drawn by :	Sheet :	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

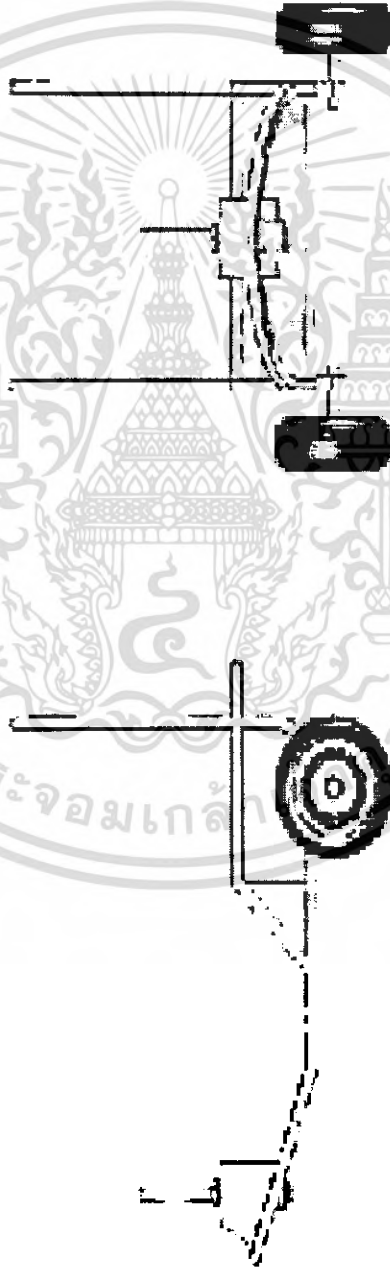
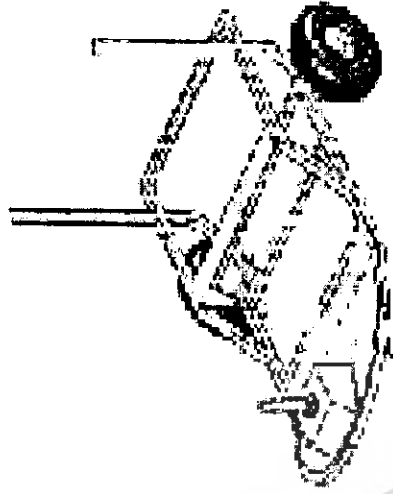


มีพื้นที่ $SUS 316 \phi 1$



ชื่อ	PROJECT TITLE
วันที่	DATE
ชื่อ	DRAGON C. S. S. S.
ชื่อ	check

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูเอชเห็นใบแจ้งระเบียบด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ELECTRIC TRIGGERS F

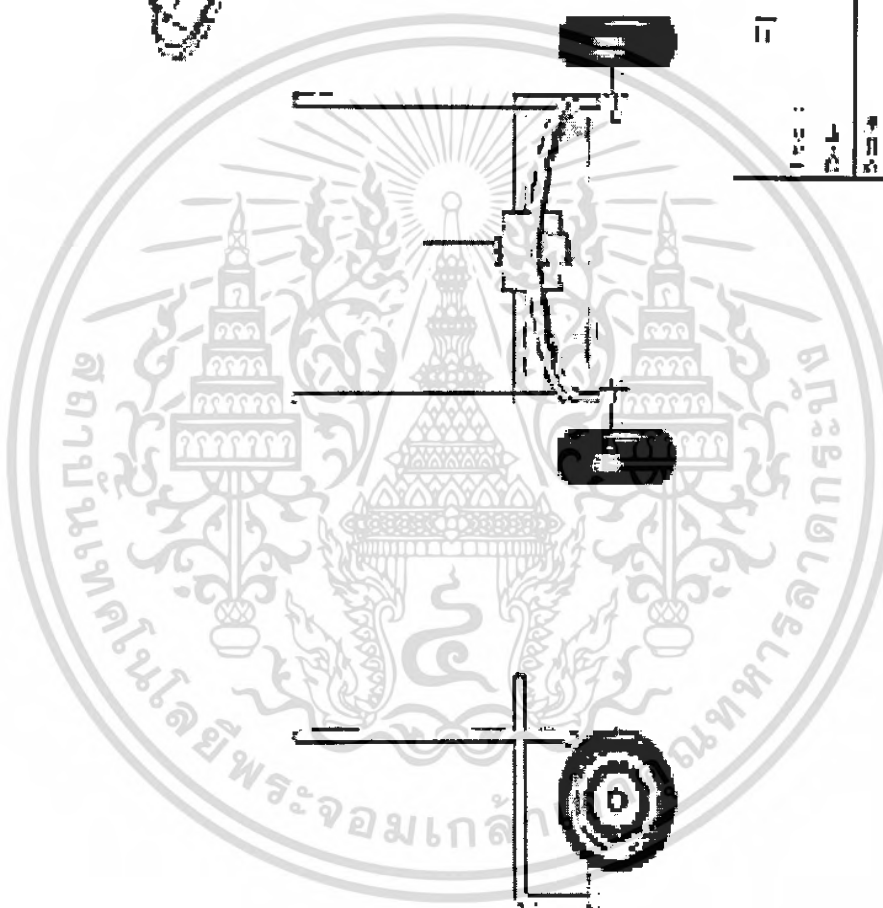
27

Use :

Date :

Name of Student :

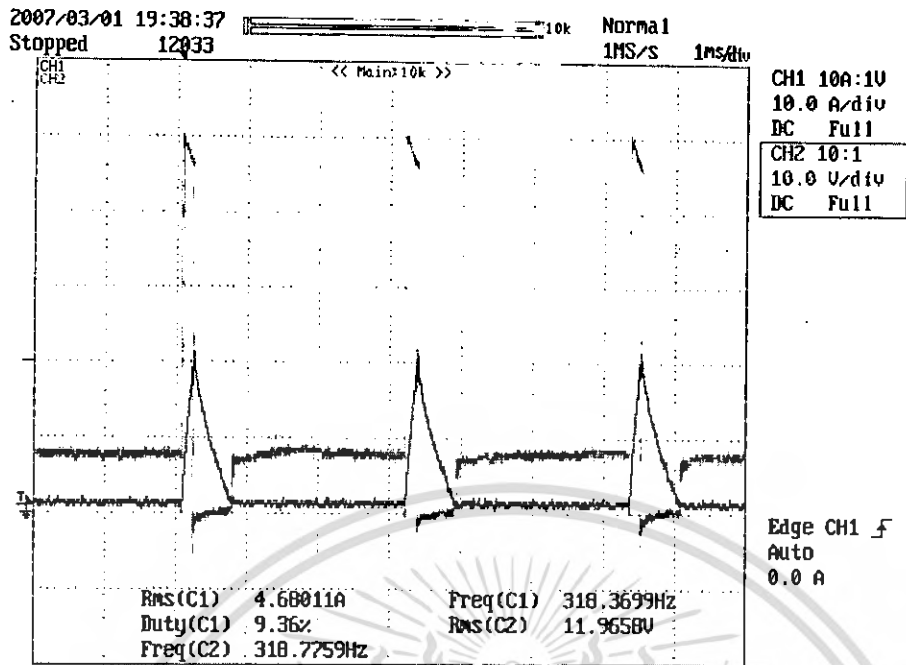
Sheet



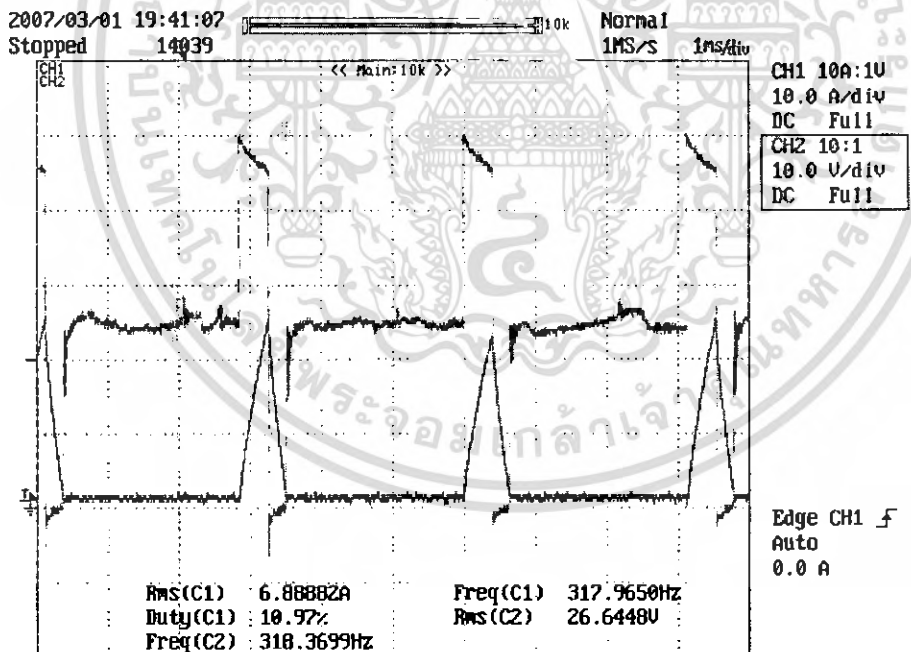


ภาคผนวก ข
การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
เมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

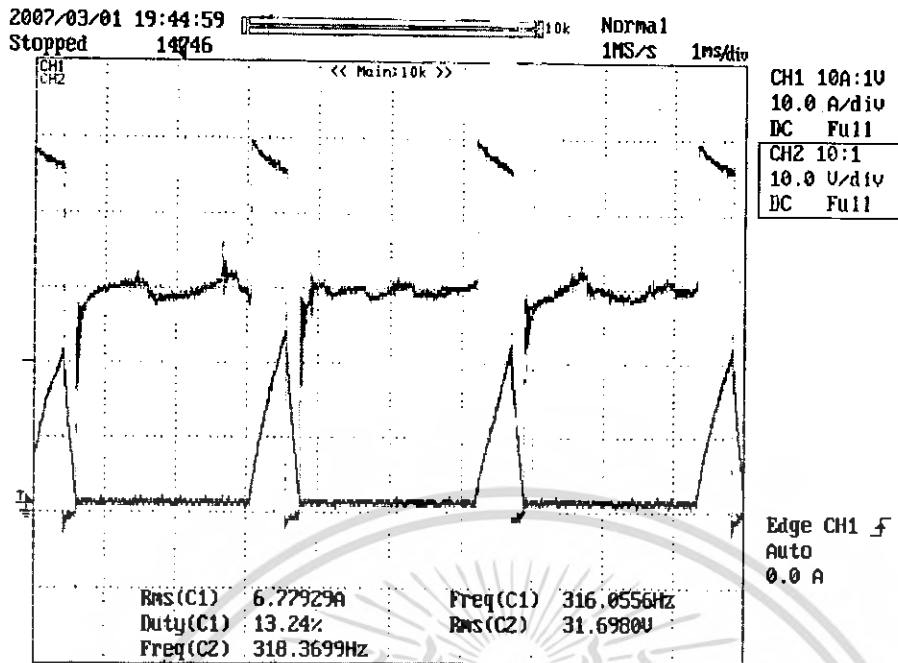


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

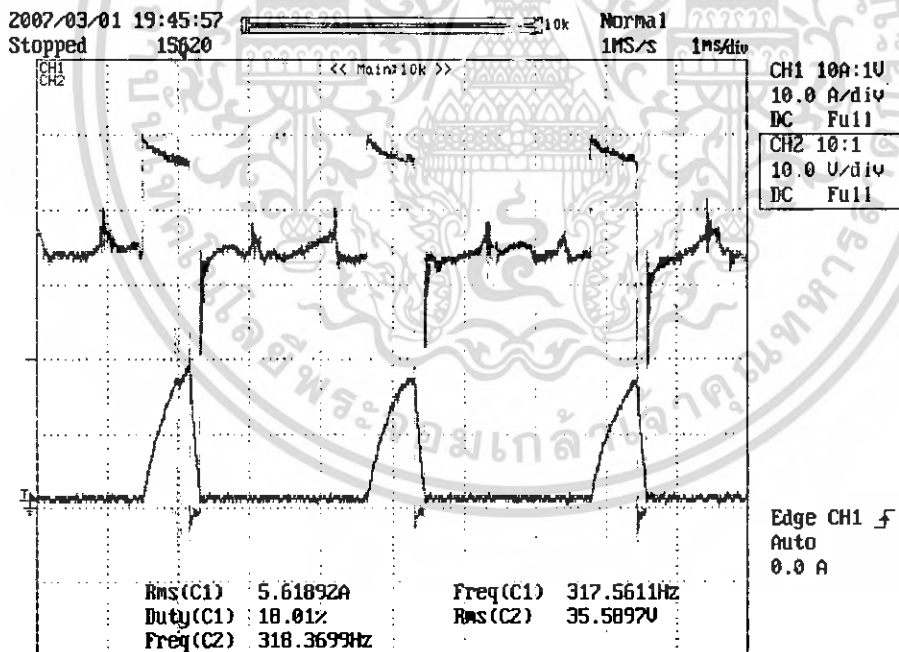


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

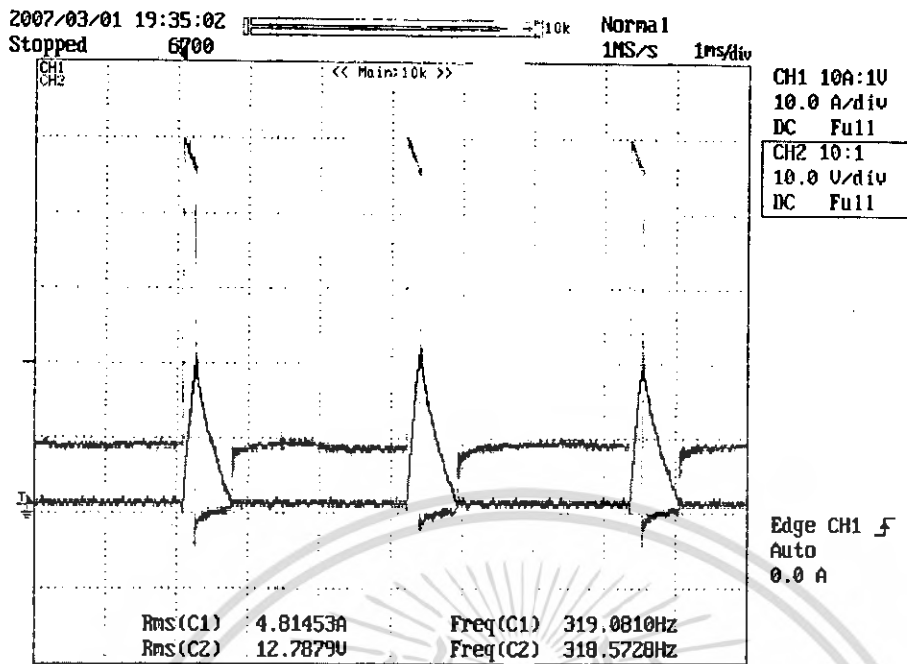


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

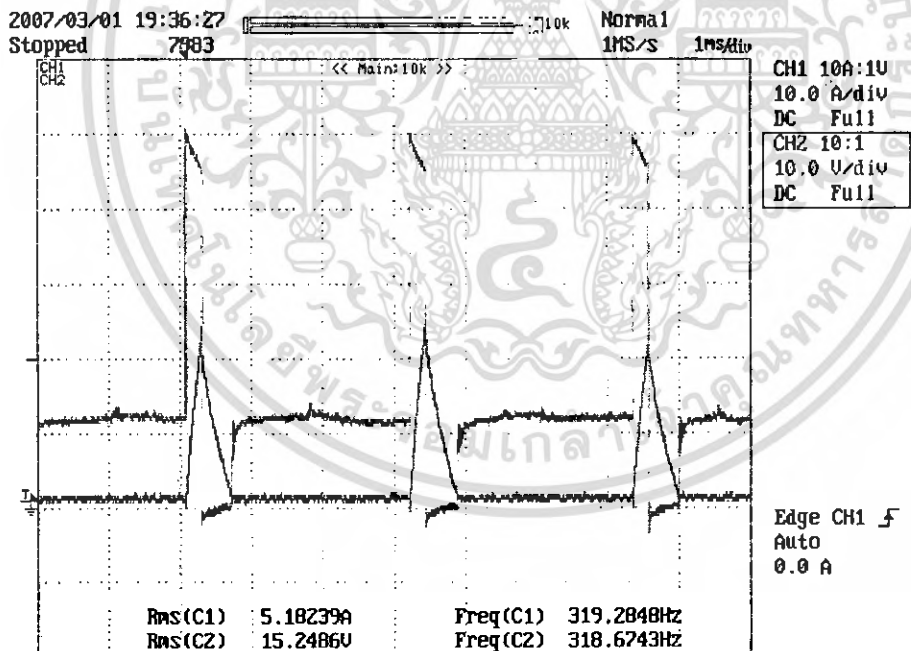


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

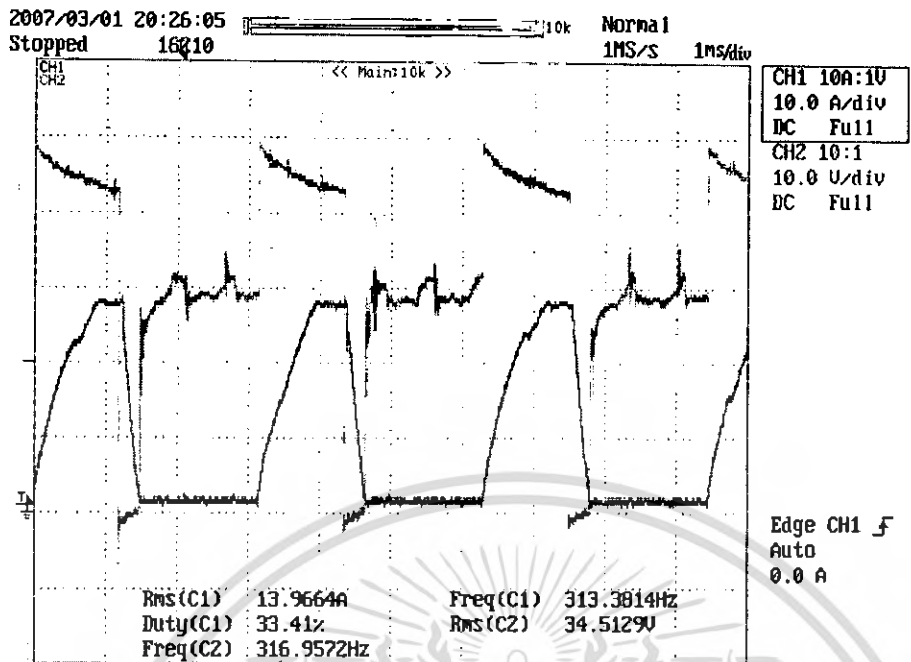


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 25 เปรอร์เซ็นต์




แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 30 เปรอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



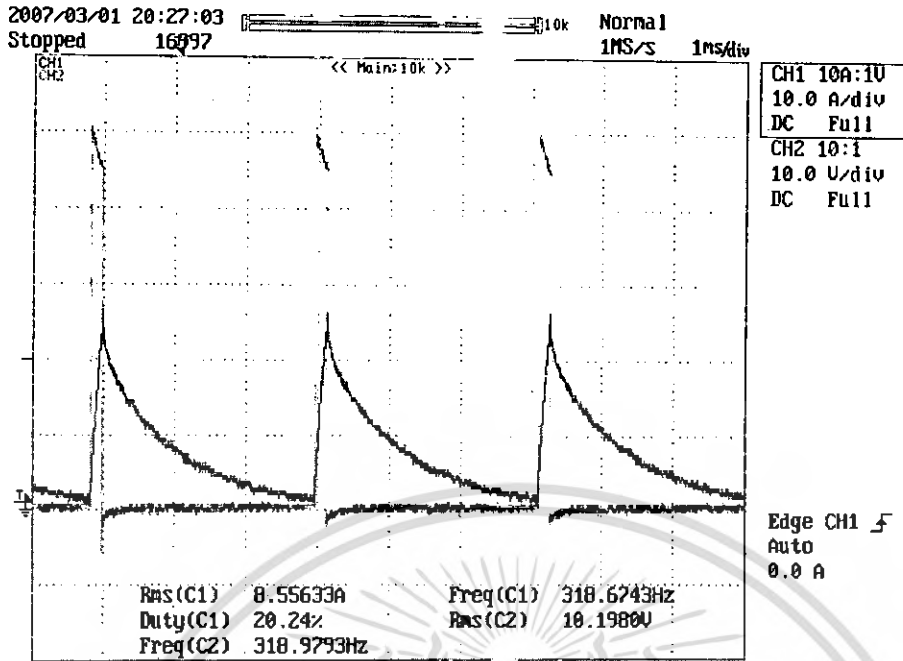
แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

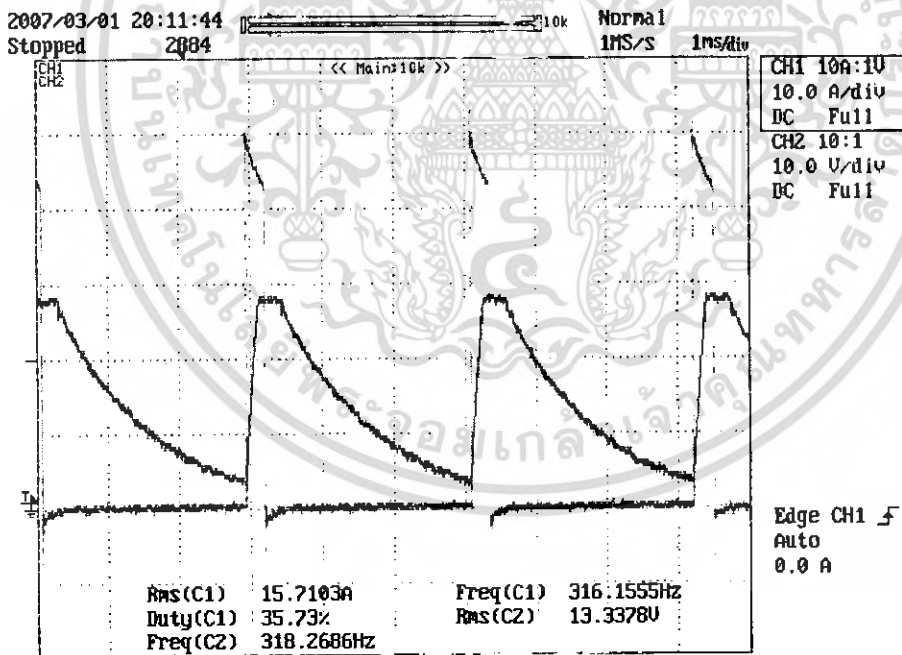


ภาคผนวก ค
การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
เมื่อทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

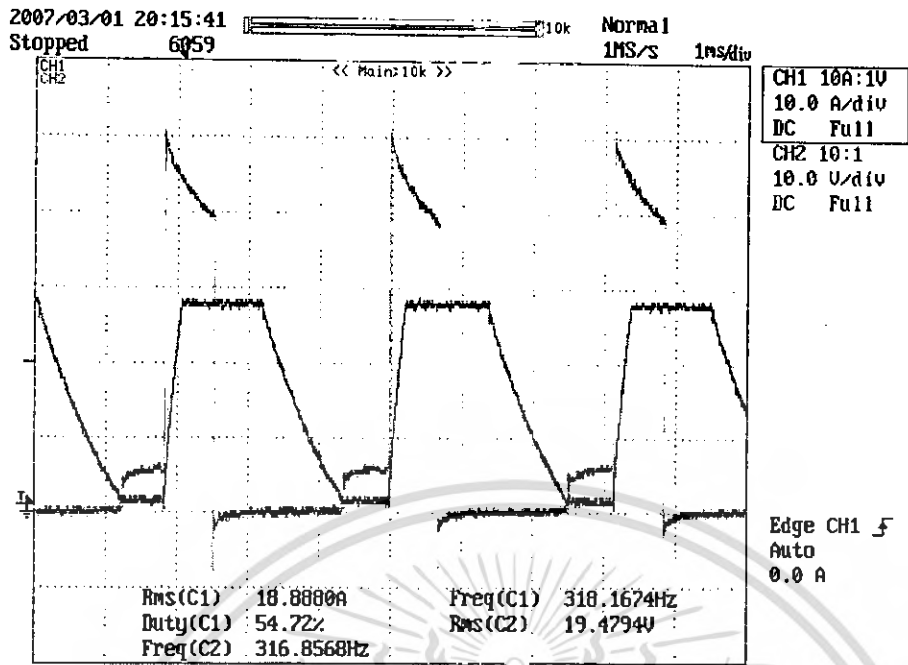


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

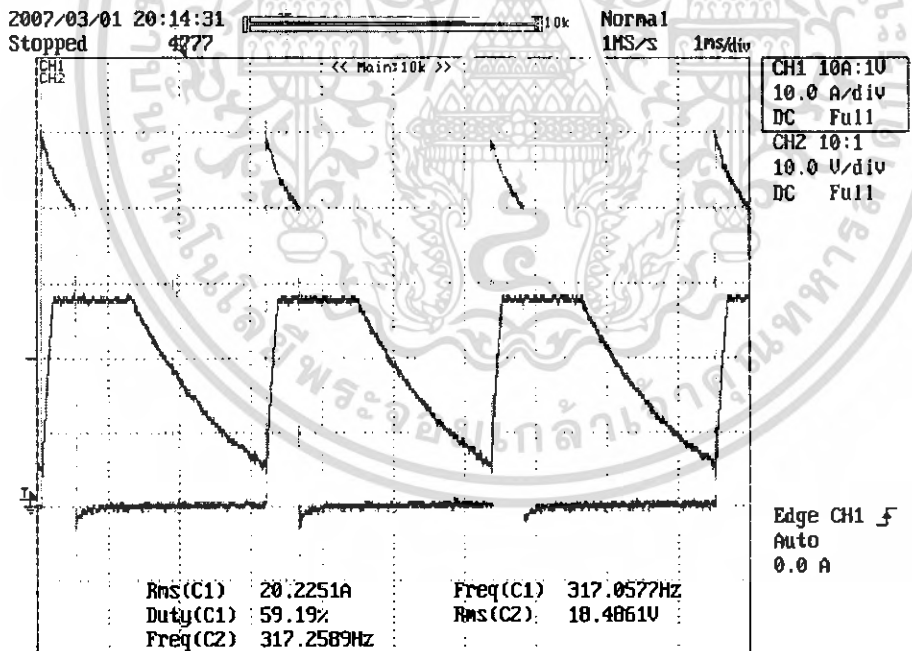


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

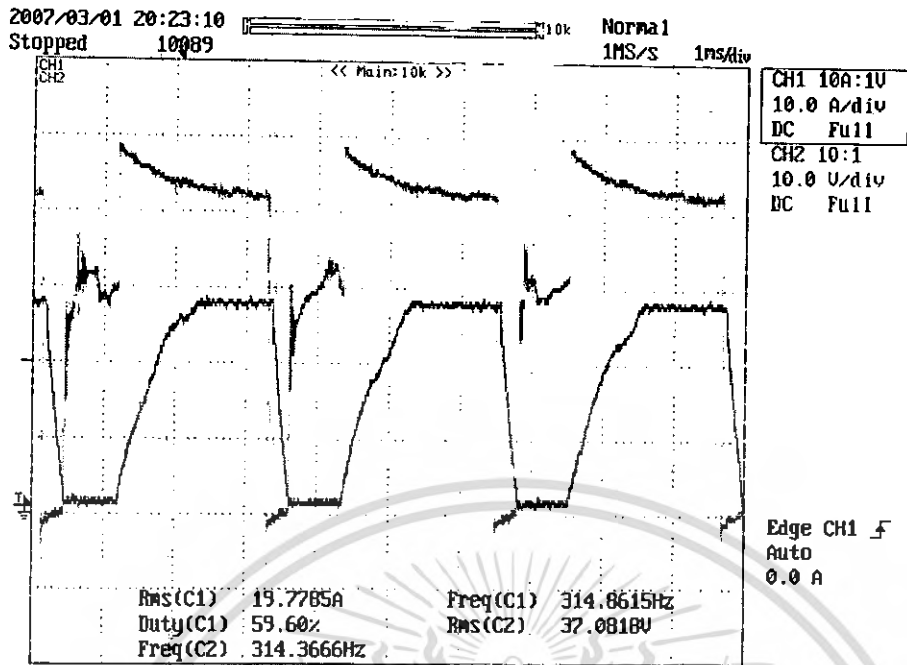


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 55 เฟอร์เซนต์

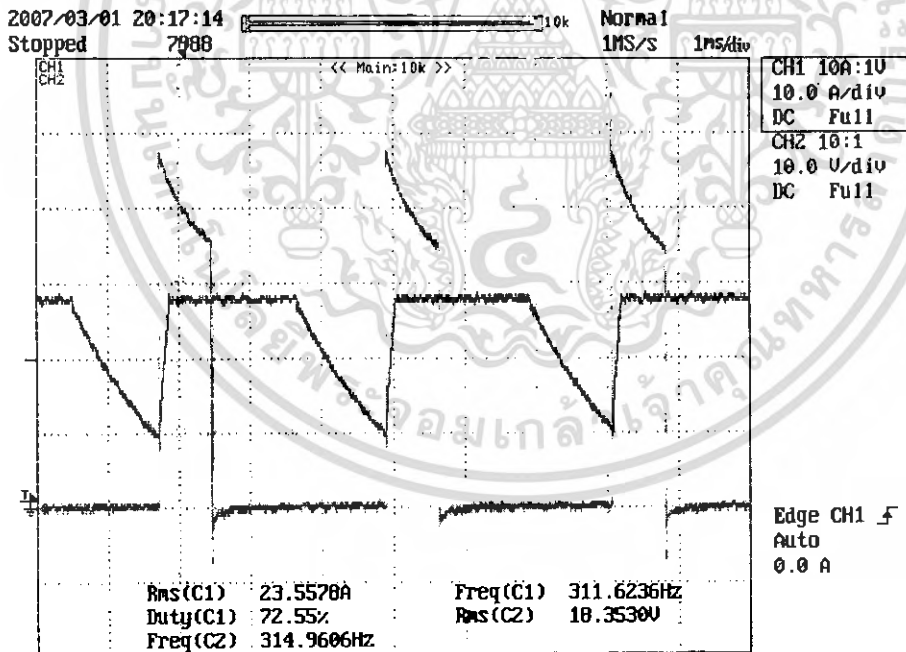


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 60 เฟอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

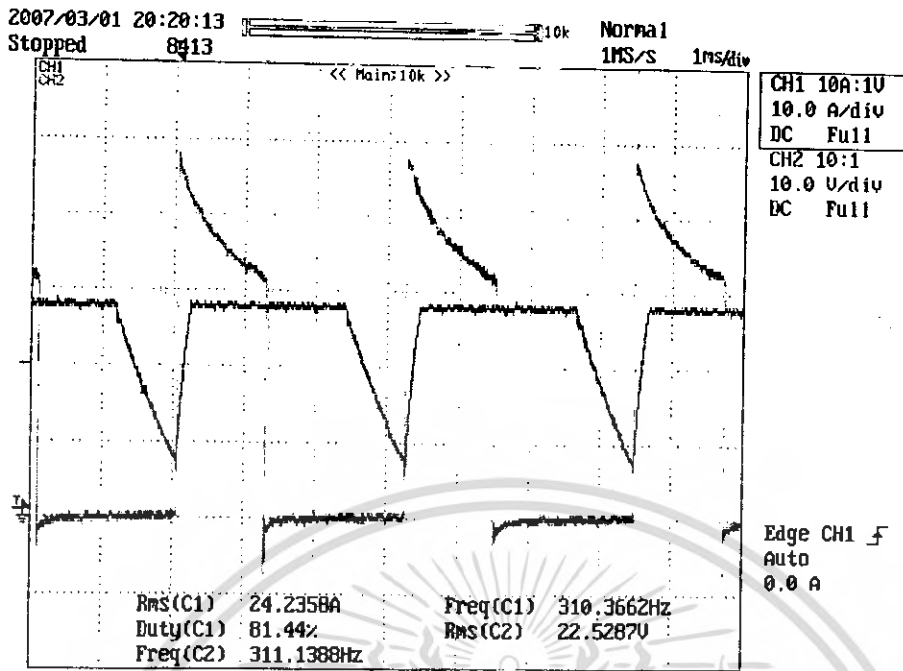


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 60 เปรอร์เซ็นต์

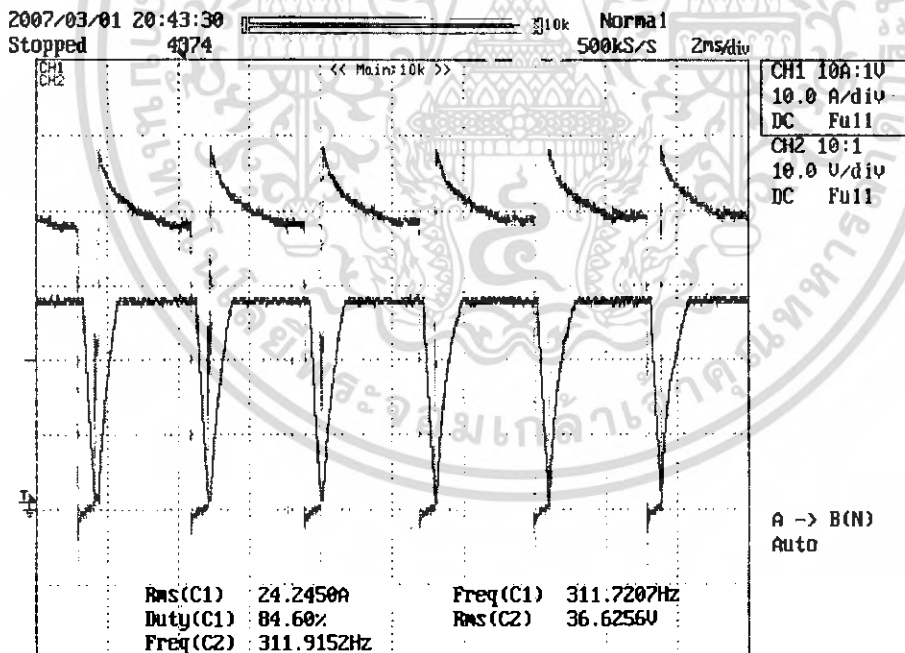


แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 70 เปรอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 80 เอร์เซ็นต์



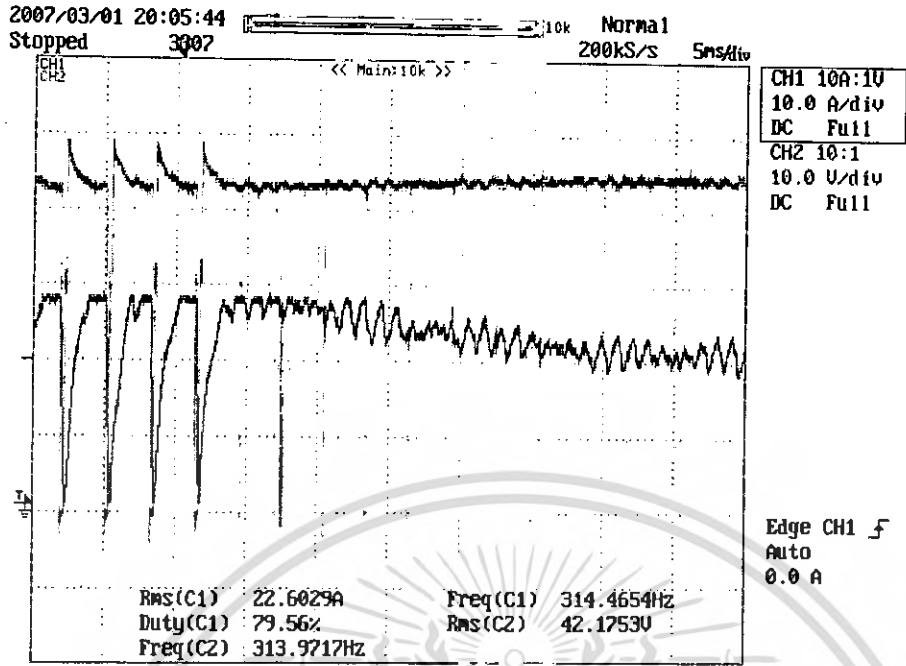
แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2) ช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 84 เอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



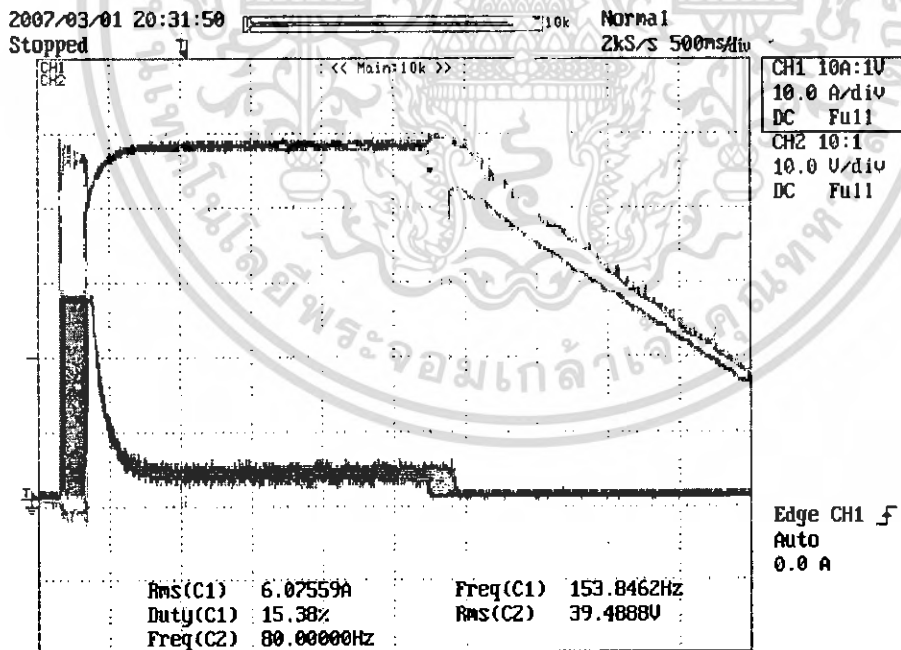
ภาคผนวก
การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
ขณะทำการสตาร์ทเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะไร้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร่กระเทียม (ครั้งที่ 1)



แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

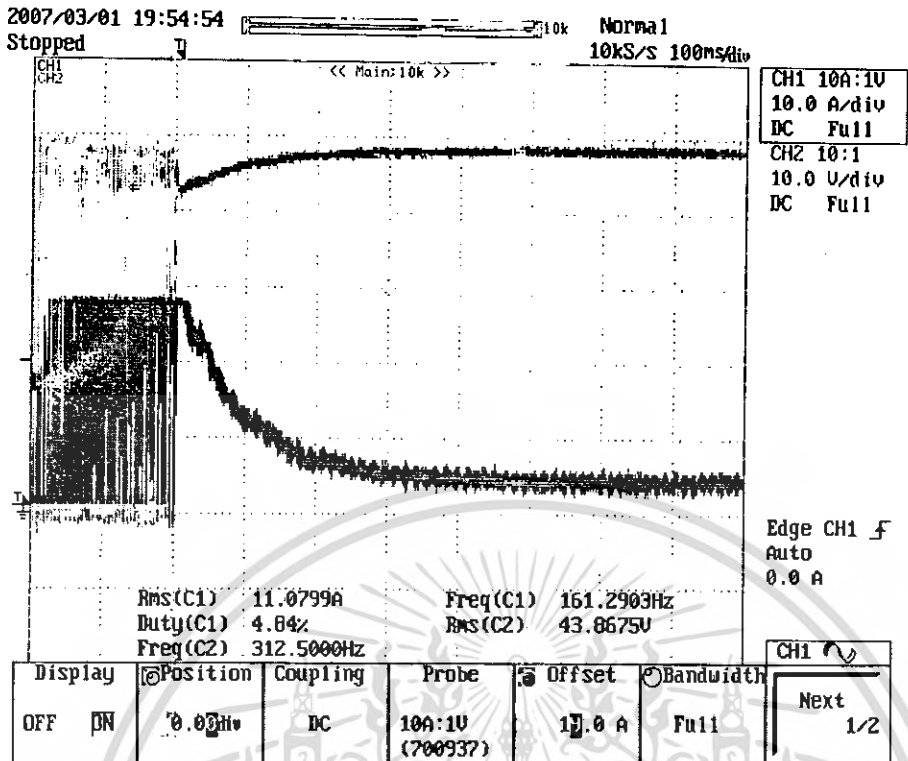
ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ ไร่กระเทียม (ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



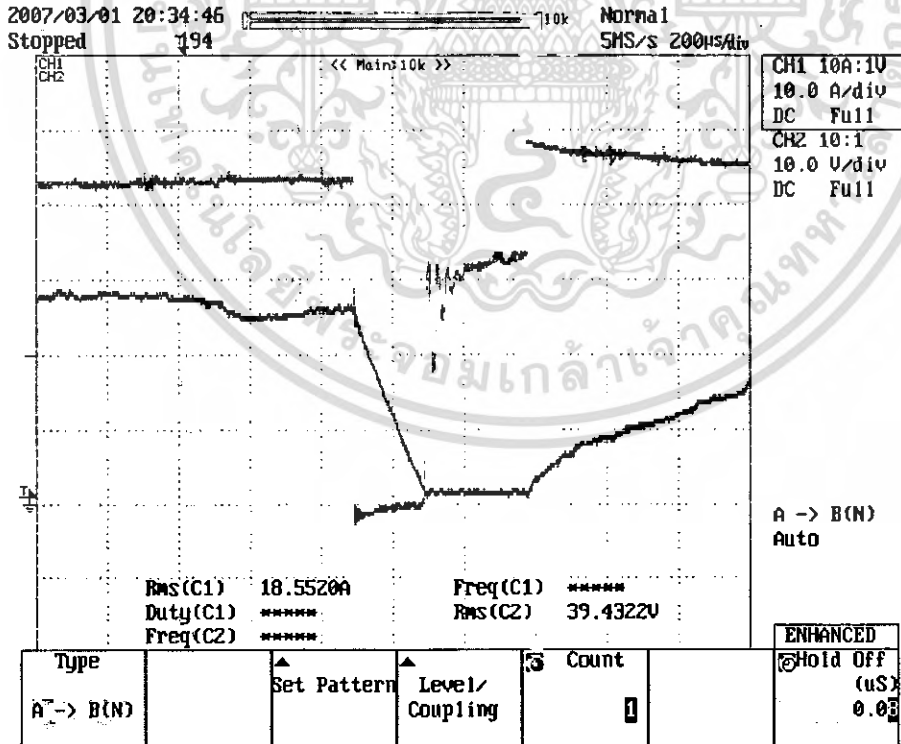
ภาคผนวก จ
การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
ขณะทำการสตาร์ทเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ สภาวะมีภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันไฟฟ้า (CH1) และกระแสไฟฟ้า (CH2)

ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ณ มีภาระทางกล (ครั้งที่ 1)



การเกิด Voltage Spike ในขณะที่มีการ On - Off switching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

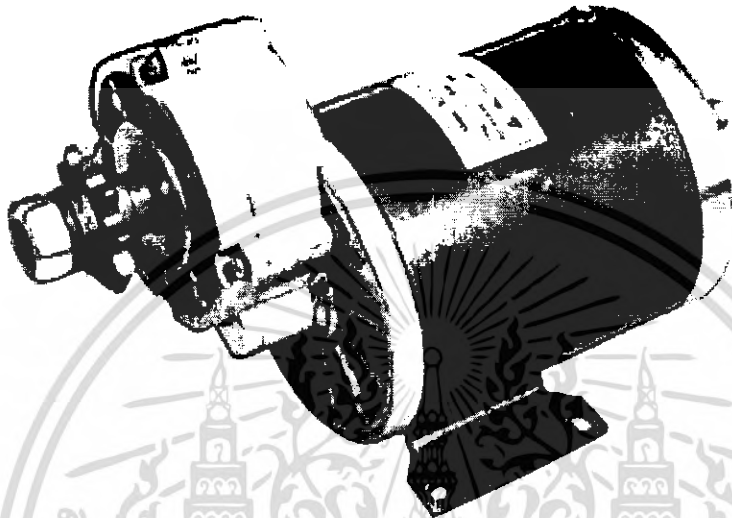


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

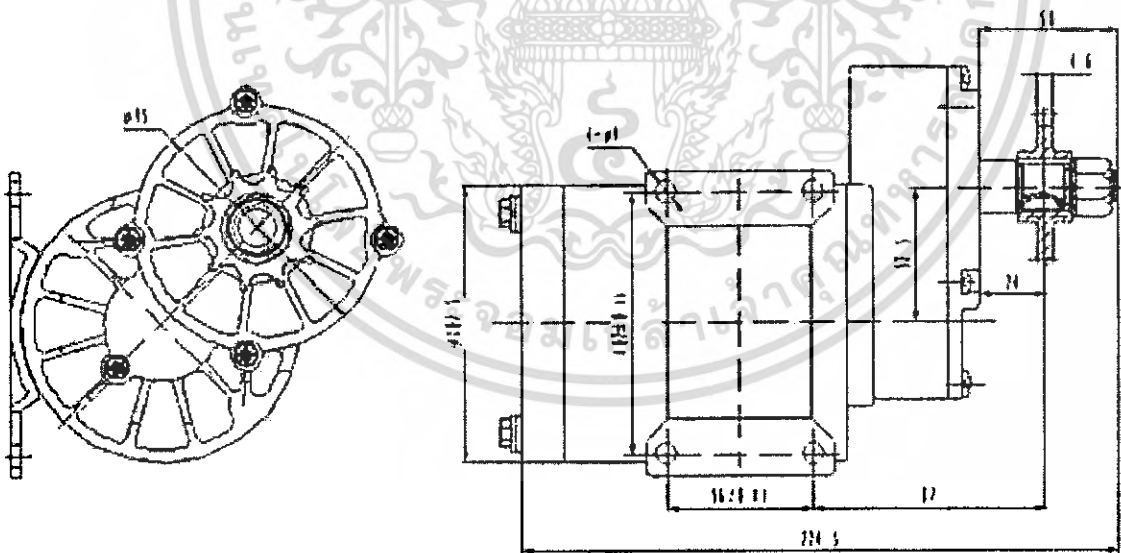
MY1020Z3-350-600W

1. drawing:

MY1020Z3 gearbox motor characteristic of speed low torque large. Make application for min tricycle, toy dune buggy and cross country vehicle etc.



2. dimension:



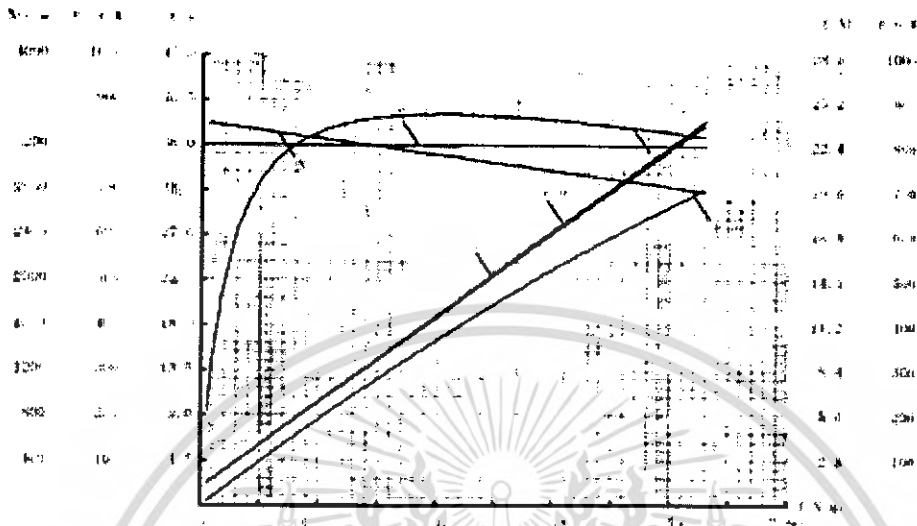
Sprocket 10gear 12.7step roll diameter 7.95 420 # chain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. curve

单位: 浙江瓦森特电机有限公司

日期: 2005.9



reference	torque/N.m	speed/rpm	P-out/W	voltage/V	current/A	P-in/W	efficiency/%
No load	0.07	2953	22.88	24.10	2.73	65.72	34.82
Max efficiency	1.34	2667	373.75	24.27	18.58	450.89	82.89
Rated load	1.89	2542	504.04	24.35	25.54	621.87	81.05
Max torque	3.119	2150	703.28	24.10	41.27	986.53	71.30

4. technical specification:

model	specs	Voltage/V		Rated load					
		No load	speed/rpm	current/A	torque/N.m	speed/rpm	current/A	Pout/W	efficiency/%
1020Z3	350W24V	24	3000	2.5	1.24	2700	18.7	350	78%
	350W36V	36	3000	2.0		2700	12.5	350	
	450W24V	24	3400	2.5		3000	24.0	450	
	450W36V	36	3400	2.0	1.43	3000	16.0	450	
	450W48V	48	3400	1.8		3000	12.0	450	
	600W36V	36	3500	2.5	1.7	3200	21.4	600	
	600W48V	48	3500	2.0		3200	16.0	600	

Gearbox ratio $i = 60:9 = 6.67$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. package:

model	weight/Kg	quantity/	G.w./Kg	Packing size	Packing material
MY1020Z3-350W24V	5.2	4	21.0	35x29x17	Carton box
MY1020Z3-350W36V					
MY1020Z3-450W24V					
MY1020Z3-450W36V	5.3	4	21.5		
MY1020Z3-450W48V					
MY1020Z3-600W36V	5.5	4	22.4		
MY1020Z3-600W48V					



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad Voltage Comparators for Industrial, Commercial and Military Applications

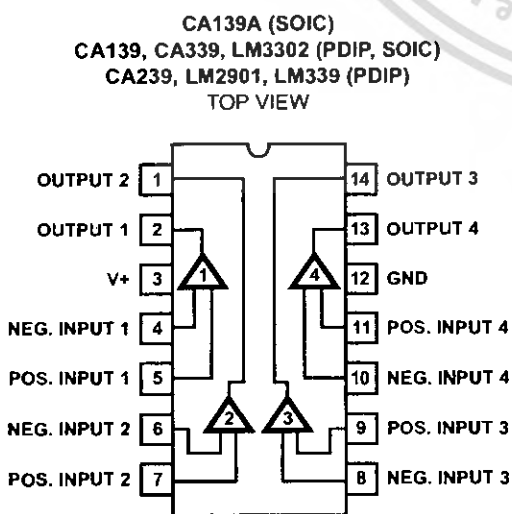
The devices in this series consist of four independent single or dual supply voltage comparators on a single monolithic substrate. The common mode input voltage range includes ground even when operated from a single supply, and the low power supply current drain makes these comparators suitable for battery operation. These types were designed to directly interface with TTL and CMOS.

Type CA139A, has a lower input offset voltage than the CA139. Some of the SOIC parts are available on tape and reel (see Ordering Information table). Replace the M suffix in the part number with M96 when ordering (e.g., CA0239M96).

Ordering Information

PART NO. (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0139E	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CA0139M, AM (139, 139A)	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CA0239E	-25 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
CA0239M96 (239)	-25 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
CA0339E	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
CA0339M (339)	0 to 70	14 Ld SOIC	M14.15
LM339N	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
LM2901N	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
LM3302M96 (3302)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
LM3302N	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3

Pinout



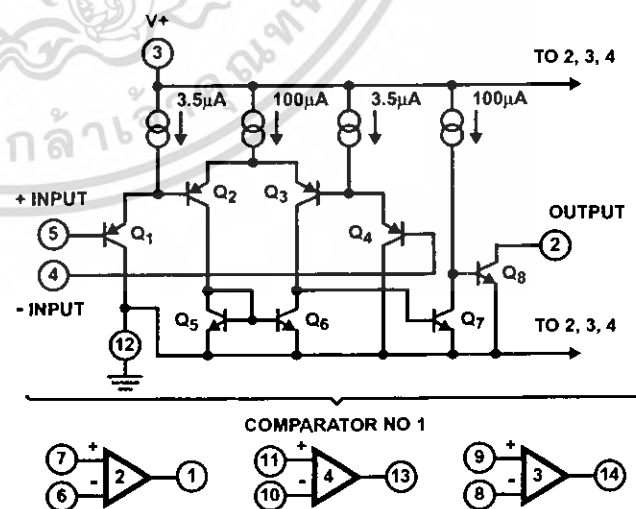
Features

- Operation from Single or Dual Supplies
- Common Mode Input Voltage Range to GND
- Output Voltage Compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS
- Differential Input Voltage Range Equal to the Supply Voltage
- Maximum Input Offset Voltage (V_{IO})
 - CA139A 2mV
 - CA139, CA239, CA339 5mV
 - LM2901 7mV
 - LM3302 20mV
- Replacement for Industry Types 139, 239, 339, 139A, 2901, 3302

Applications

- Square Wave Generator
- Time Delay Generators
- Pulse Generators
- Multivibrators
- High Voltage Digital Logic Gates
- A/D Converters
- MOS Clock Timers

Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ขออนุญาต

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures. 1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Copyright © Intersil Corporation 1999

CA139, CA139A, CA239, CA339, LM339, LM2901, LM3302

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	36V or ±18V
Differential Input Voltage	36V
Input Voltage	-0.3V to +36V
Input Current ($V_I < -0.3V$, Note 1)	50mA
Output Short Circuit Duration (Single Supply, Note 2)	Continuous

Operating Conditions

Temperature Range	
CA139, CA139A	-55°C to 125°C
CA239	-25°C to 80°C
CA339, LM339	0°C to 70°C
LM2901, LM3302	-40°C to 85°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 3)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PDIP Package	100	N/A
SOIC Package	175	N/A
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C (SOIC - Lead Tips Only)	

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

- Inputs must not go more negative than -0.3V.
- Short circuits from the output to V+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current independent of V+ is approximately 20mA.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications V+ = 5V, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA139			CA139A			UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{REF} = 1.4V$, $R_S = 0$, Output Switch Point $V \cong 1.4V$	$T_A = 25$	-	2	5	-	1	2	mV
			Note 4	-	-	9	-	-	4	mV
Differential Input Voltage	V_{ID}	Keep All Inputs $\geq 0V$, or V- (if used), (Note 5)	Note 4	-	-	36	-	-	36	V
Saturation Voltage	V_{SAT}	$V_I = 1V$, $V_I+ = 0V$, $I_{SINK} \leq 4mA$	$T_A = 25$	-	250	400	-	250	400	mV
			Note 4	-	-	700	-	-	700	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	Note 6	$T_A = 25$	0	-	V+ -1.5	0	-	V+ -1.5	V
			Note 4	0	-	V+ -2	0	-	V+ -2	V
Input Offset Current	I_{IO}	$I_{I+} - I_{I-}$	$T_A = 25$	-	3	25	-	3	25	nA
			Note 4	-	-	100	-	-	100	nA
Input Bias Current	I_{IB}	I_{I+} or I_{I-} with Output in Linear Range	$T_A = 25$	-	25	100	-	25	100	nA
			Note 4	-	-	300	-	-	300	nA
Total Supply Current	I^+	$R_L = \infty$ On All Comparators	$T_A = 25$	-	0.8	2	-	0.8	2	mA
Output Leakage Current		$V_{I+} \geq 1V$, $V_{I-} = 0V$, $V_O = 5V$	$T_A = 25$	-	0.1	-	-	0.1	-	nA
		$V_{I+} \geq 1V$, $V_{I-} = 0V$, $V_O = 30V$	Note 4	-	-	1	-	-	1	μA
Output Sink Current		$V_{I-} \geq 1V$, $V_{I+} = 0V$, $V_O \leq 1.5V$	$T_A = 25$	6	16	-	6	16	-	mA
Voltage Gain	A_{OL}	$R_L \geq 15k\Omega$, V+ = 15V	$T_A = 25$	-	200	-	50	200	-	V/mV
Large Signal Response Time		$V_I =$ TTL Logic Swing, $V_{REF} = 1.4V$, $V_{RL} = 5V$, $R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	300	-	-	300	-	ns
Response Time (Figures 3, 4)		$V_{RL} = 5V$, $R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	1.3	-	-	1.3	-	μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ผลิต

2 **intersil** ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA139, CA139A, CA239, CA339, LM339, LM2901, LM3302

Electrical Specifications $V_+ = 5V$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA239, CA339, LM339			UNITS
				MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{REF} = 1.4V, R_S = 0, \text{Output Switch Point } V \cong 1.4V$	$T_A = 25$	-	2	5	mV
			Note 4	-	-	9	mV
Differential Input Voltage	V_{ID}	Keep All Inputs $\geq 0V$, or V_- (if used) (Note 5)	Note 4	-	-	36	V
Saturation Voltage	V_{SAT}	$V_{I-} = 1V, V_{I+} = 0V, I_{SINK} \leq 4mA$	$T_A = 25$	-	250	400	mV
			Note 4	-	-	700	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	Note 6	$T_A = 25$	0	-	$V_+ - 1.5$	V
			Note 4	0	-	$V_+ - 2$	V
Input Offset Current	I_{IO}	$I_{I+} - I_{I-}$	$T_A = 25$	-	5	50	nA
			Note 4	-	-	150	nA
Input Bias Current	I_{IB}	I_{I+} or I_{I-} with Output in Linear Range	$T_A = 25$	-	25	250	nA
			Note 4	-	-	400	nA
Total Supply Current	I_+	$R_L = \infty$ on All Comparators	$T_A = 25$	-	0.8	2	mA
Output Leakage Current		$V_{I+} \geq 1V, V_{I-} = 0V, V_O = 5V$	$T_A = 25$	-	0.1	-	nA
		$V_{I+} \geq 1V, V_{I-} = 0V, V_O = 30V$	Note 4	-	-	1	μA
Output Sink Current		$V_{I-} \geq 1V, V_{I+} = 0V, V_O \leq 1.5V$	$T_A = 25$	6	16	-	mA
Voltage Gain	A_{OL}	$R_L \geq 15k\Omega, V_+ = 15V$	$T_A = 25$	50	200	-	V/mV
Large Signal Response Time		$V_I = \text{TTL Logic Swing}, V_{REF} = 1.4V, V_{RL} = 5V, R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	300	-	ns
Response Time (Figures 3, 4)		$V_{RL} = 5V, R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	1.3	-	μs

NOTES:

- Ambient Temperature (T_A) applicable over operating temperature range as shown below.
CA139, CA139A = $-55^\circ C$ to $125^\circ C$; CA239 = $-25^\circ C$ to $85^\circ C$; CA339, LM339 = $0^\circ C$ to $70^\circ C$; LM2901, LM3302 = $-40^\circ C$ to $85^\circ C$.
- The comparator will provide a proper output state even if the positive swing of the inputs exceeds the power supply voltage level, if the other input remains within the common mode voltage range. The low input voltage state must not be less than $-0.3V$ (or $0.3V$ below the magnitude of the negative power supply, if used).
- The upper end of the common mode voltage range is $(V_+) - 1.5V$, but either or both inputs can go to $+30V$ without damage.

CA139, CA139A, CA239, CA339, LM339, LM2901, LM3302

Electrical Specifications $V_+ = 5V$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	LM2901			LM3302			UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{REF} = 1.4V, R_S = 0, \text{Output Switch Point } V \cong 1.4V$	$T_A = 25$	-	2	7	-	1	20	mV
			Note 4	-	-	15	-	-	40	mV
Differential Input Voltage	V_{ID}	Keep All Inputs $\geq 0V$, or V_- (if used), (Note 5)	Note 4	-	-	36	-	-	28	V
Saturation Voltage	V_{SAT}	$V_{I-} = 1V, V_{I+} = 0V, I_{SINK} \leq 4mA$	$T_A = 25$	-	250	400	-	250	500	mV
			Note 4	-	-	700	-	-	700	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	Note 6	$T_A = 25$	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	V
			Note 4	0	-	$V_+ - 2$	0	-	$V_+ - 2$	V
Input Offset Current	I_{IO}	$I_{I+} - I_{I-}$	$T_A = 25$	-	5	50	-	3	100	nA
			Note 4	-	-	200	-	-	300	nA
Input Bias Current	I_{IB}	I_{I+} or I_{I-} with Output in Linear Range	$T_A = 25$	-	25	250	-	25	500	nA
			Note 4	-	-	500	-	-	1000	nA
Total Supply Current	I_+	$R_L = \infty$ on All Comparators	$T_A = 25$	-	0.8	2	-	0.8	2	mA
Output Leakage Current		$V_{I+} \geq 1V, V_{I-} = 0V, V_O = 5V$	$T_A = 25$	-	0.1	-	-	0.1	-	nA
		$V_{I+} \geq 1V, V_{I-} = 0V, V_O = 30V$	Note 4	-	-	1	-	-	1	μA
Output Sink Current		$V_{I-} \geq 1V, V_{I+} = 0V, V_O \leq 1.5V$	$T_A = 25$	6	16	-	6	16	-	mA
Voltage Gain	A_{OL}	$R_L \geq 15k\Omega, V_+ = 15V$	$T_A = 25$	25	100	-	2	30	-	V/mV
Large Signal Response Time		$V_I = \text{TTL Logic Swing}, V_{REF} = 1.4V, V_{RL} = 5V, R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	300	-	-	300	-	ns
Response Time (Figures 3, 4)		$V_{RL} = 5V, R_L = 5.1k\Omega$	$T_A = 25$	-	1.3	-	-	1.3	-	μs

Typical Performance Curves

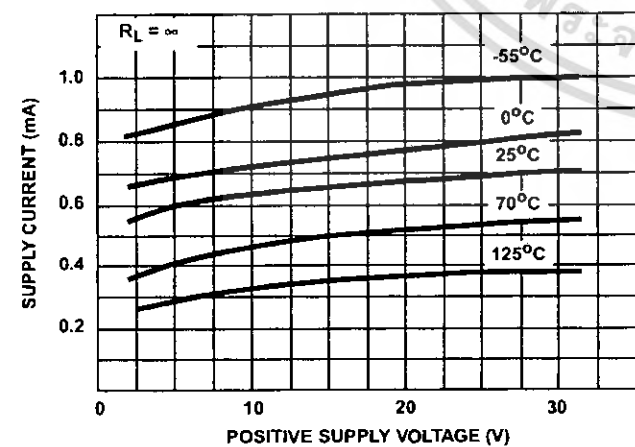


FIGURE 1. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

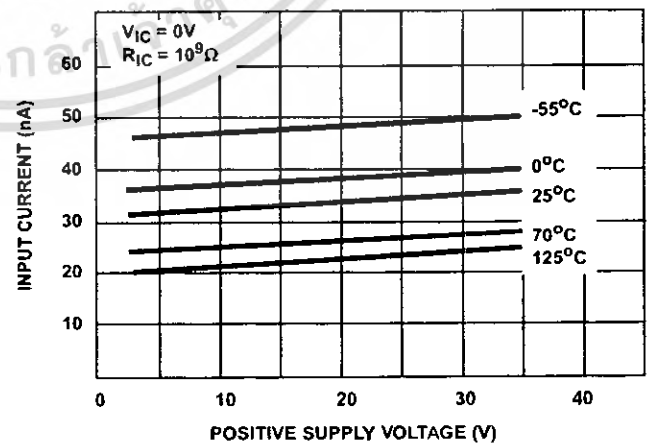


FIGURE 2. INPUT CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

Typical Performance Curves

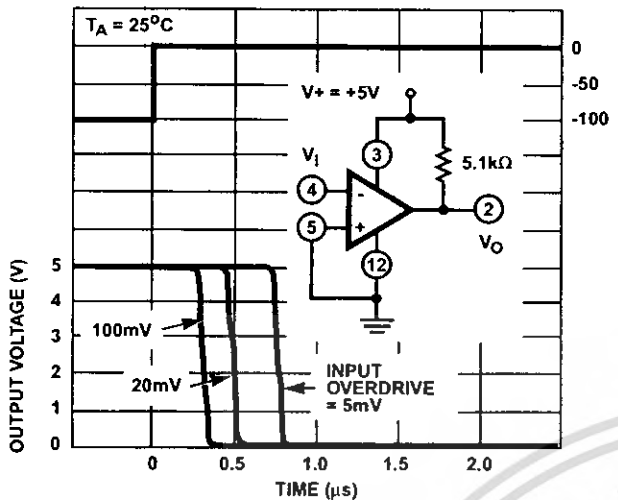


FIGURE 3. RESPONSE TIME FOR VARIOUS INPUT OVERDRIVES - NEGATIVE TRANSITION

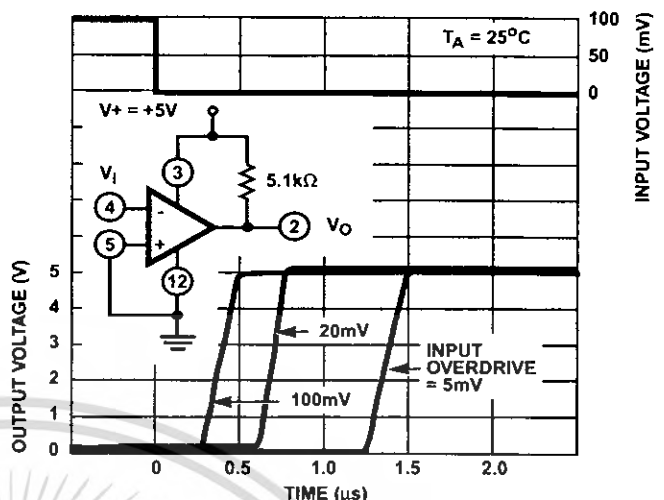


FIGURE 4. RESPONSE TIME FOR VARIOUS INPUT OVERDRIVES - POSITIVE TRANSITION

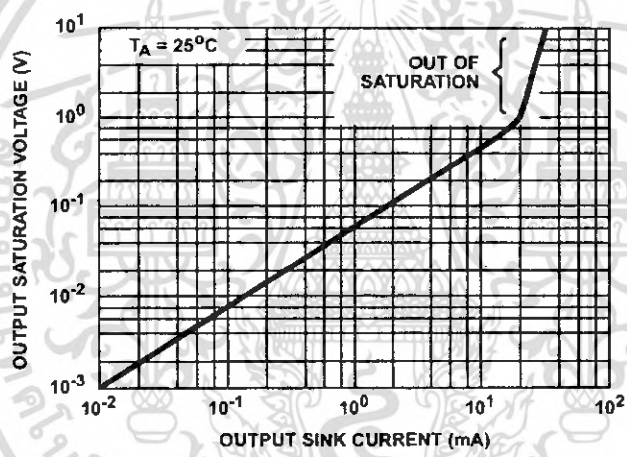
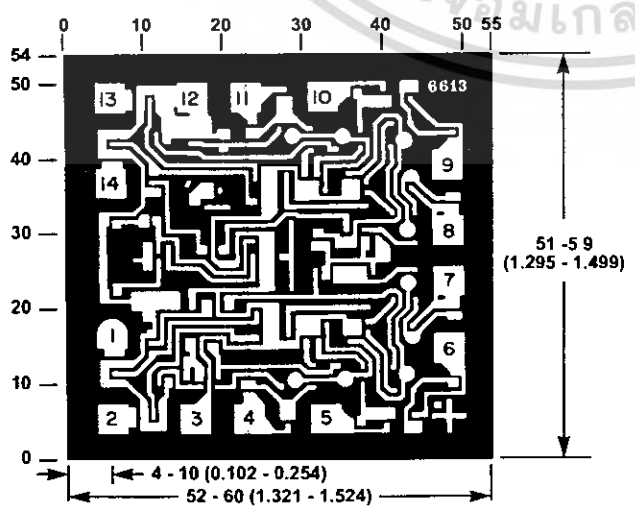


FIGURE 5. OUTPUT SATURATION VOLTAGE vs OUTPUT SINK CURRENT

Metallization Mask Layout



NOTE: Dimensions in parentheses are in mm and are derived from the basic in. dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

LM124/LM224/LM324/LM2902

Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

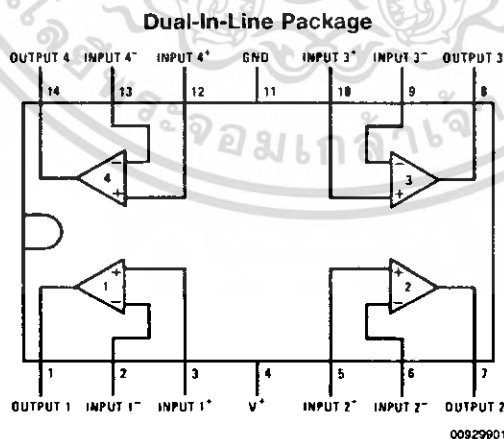
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

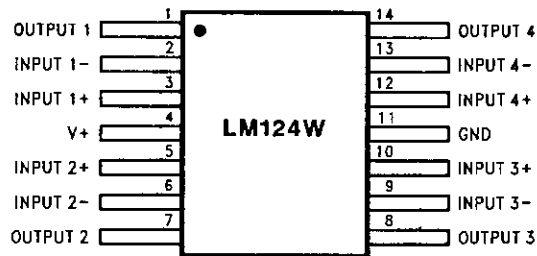
Connection Diagrams



Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324N, LM324AN, LM324MT, LM324MTX or LM2902N LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Connection Diagrams (Continued)



00929933

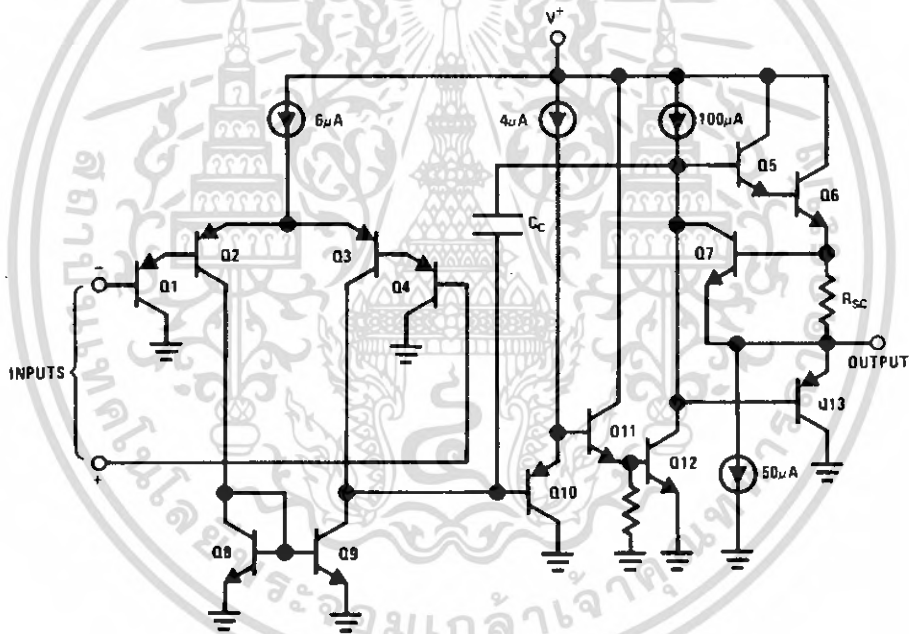
Order Number LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV(Note 3)
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV(Note 3)
 See NS Package Number WG14A

Note 1: LM124A available per JM38510/11006

Note 2: LM124 available per JM38510/11005

Note 3: See STD Mil DWG 5962R99504 for Radiation Tolerant Device

Schematic Diagram (Each Amplifier)



00929902

Absolute Maximum Ratings (Note 12)

Distributors for availability and specifications.

If Military/Aerospace specified devices are required,
please contact the National Semiconductor Sales Office/

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Input Current ($V_{IN} < -0.3V$) (Note 6)	50 mA	50 mA
Power Dissipation (Note 4)		
Molded DIP	1130 mW	1130 mW
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 5) $V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range		-40°C to +85°C
LM324/LM324A	0°C to +70°C	
LM224/LM224A	-25°C to +85°C	
LM124/LM124A	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 13)	250V	250V

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$	1	2		1	3		2	3		mV
Input Bias Current (Note 9)	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	20	50		40	80		45	100		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2	10		2	15		5	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$	1.5	3		1.5	3		1.5	3		mA
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $R_L \geq 2k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$.	70	85		70	85		65	85		dB

Electrical Characteristics (Continued)

V* = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Rejection Ratio	T _A = 25°C											
Power Supply Rejection Ratio	V* = 5V to 30V (LM2902, V* = 5V to 26V), T _A = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred)		-120			-120			-120		dB	
Output Current	Source	V _{IN+} = 1V, V _{IN-} = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C		20	40		20	40		20	40	mA
	Sink	V _{IN-} = 1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C		10	20		10	20		10	20	
		V _{IN-} = 1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C		12	50		12	50		12	50	μA
Short Circuit to Ground	(Note 5) V* = 15V, T _A = 25°C		40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	(Note 8)			4			4			5	mV	
V _{OS} Drift	R _S = 0Ω		7	20		7	20		7	30	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V			30			30			75	nA	
I _{OS} Drift	R _S = 0Ω		10	200		10	200		10	300	pA/°C	
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)}		40	100		40	100		40	200	nA	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = +30V (LM2902, V* = 26V)	0		V* - 2	0		V* - 2	0		V* - 2	V	
Large Signal Voltage Gain	V* = +15V (V _O Swing = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ		25			25			15		V/mV	
Output Voltage Swing	V _{OH}	V* = 30V (LM2902, V* = 26V)		R _L = 2 kΩ		26		26		26	V	
	R _L = 10 kΩ		27	28		27	28		27	28		
V _{OL}	V* = 5V, R _L = 10 kΩ		5	20		5	20		5	20	mV	
Output Current	Source	V _O = 2V		V _{IN+} = +1V, V _{IN-} = 0V, V* = 15V		10	20		10	20	mA	
	Sink			V _{IN-} = +1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V		10	15		5	8		

Electrical Characteristics

V* = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) T _A = 25°C		2	5		2	7		2	7	mV
Input Bias Current (Note 9)	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C		45	150		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C		3	30		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = 30V, (LM2902, V* = 26V), T _A = 25°C	0		V* - 1.5	0		V* - 1.5	0		V* - 1.5	V

Electrical Characteristics (Continued)V⁺ = +5.0V. (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps V ⁺ = 30V (LM2902 V ⁺ = 26V) V ⁺ = 5V		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA	
			0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = 15V, R _L ≥ 2kΩ, (V _O = 1V to 11V), T _A = 25°C	50	100		25	100		25	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	DC, V _{CM} = 0V to V ⁺ - 1.5V, T _A = 25°C	70	85		65	85		50	70		dB	
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5V to 30V (LM2902, V ⁺ = 5V to 26V), T _A = 25°C	65	100		65	100		50	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred)		-120			-120			-120		dB	
Output Current	Source V _{IN⁺} = 1V, V _{IN⁻} = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C	20	40		20	40		20	40		mA	
	Sink V _{IN⁻} = 1V, V _{IN⁺} = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C	10	20		10	20		10	20			
	Sink V _{IN⁻} = 1V, V _{IN⁺} = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C	12	50		12	50		12	50		μA	
Short Circuit to Ground	(Note 5) V ⁺ = 15V, T _A = 25°C		40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	(Note 8)			7			9			10	mV	
V _{OS} Drift	R _S = 0Ω			7			7			7	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V			100			150			45	200	nA
V _{OS} Drift	R _S = 0Ω			10			10			10	pA/°C	
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)}		40	300		40	500		40	500	nA	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V ⁺ = +30V (LM2902, V ⁺ = 26V)	0		V ⁺ -2	0		V ⁺ -2	0		V ⁺ -2	V	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = +15V (V _O Swing = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ	25			15			15			V/mV	
Output Voltage Swing	V _{OH} V ⁺ = 30V (LM2902, V ⁺ = 26V)			26			26			22	V	
	V _{OL} V ⁺ = 5V, R _L = 10 kΩ			5	20		5	20		5		100
Output Current	Source V _O = 2V V _{IN⁺} = +1V, V _{IN⁻} = 0V, V ⁺ = 15V	10	20		10	20		10	20		mA	
	Sink V _{IN⁻} = +1V, V _{IN⁺} = 0V, V ⁺ = 15V	5	8		5	8		5	8			

Note 4: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 88°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers — use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 5: Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 6: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action

Electrical Characteristics (Continued)

on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3V$ (at $25^\circ C$).

Note 7: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 8: $V_O = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5V$) for LM2902, V^+ from 5V to 26V.

Note 9: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

Note 10: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

Note 11: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 12: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

Note 13: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Typical Performance Characteristics

