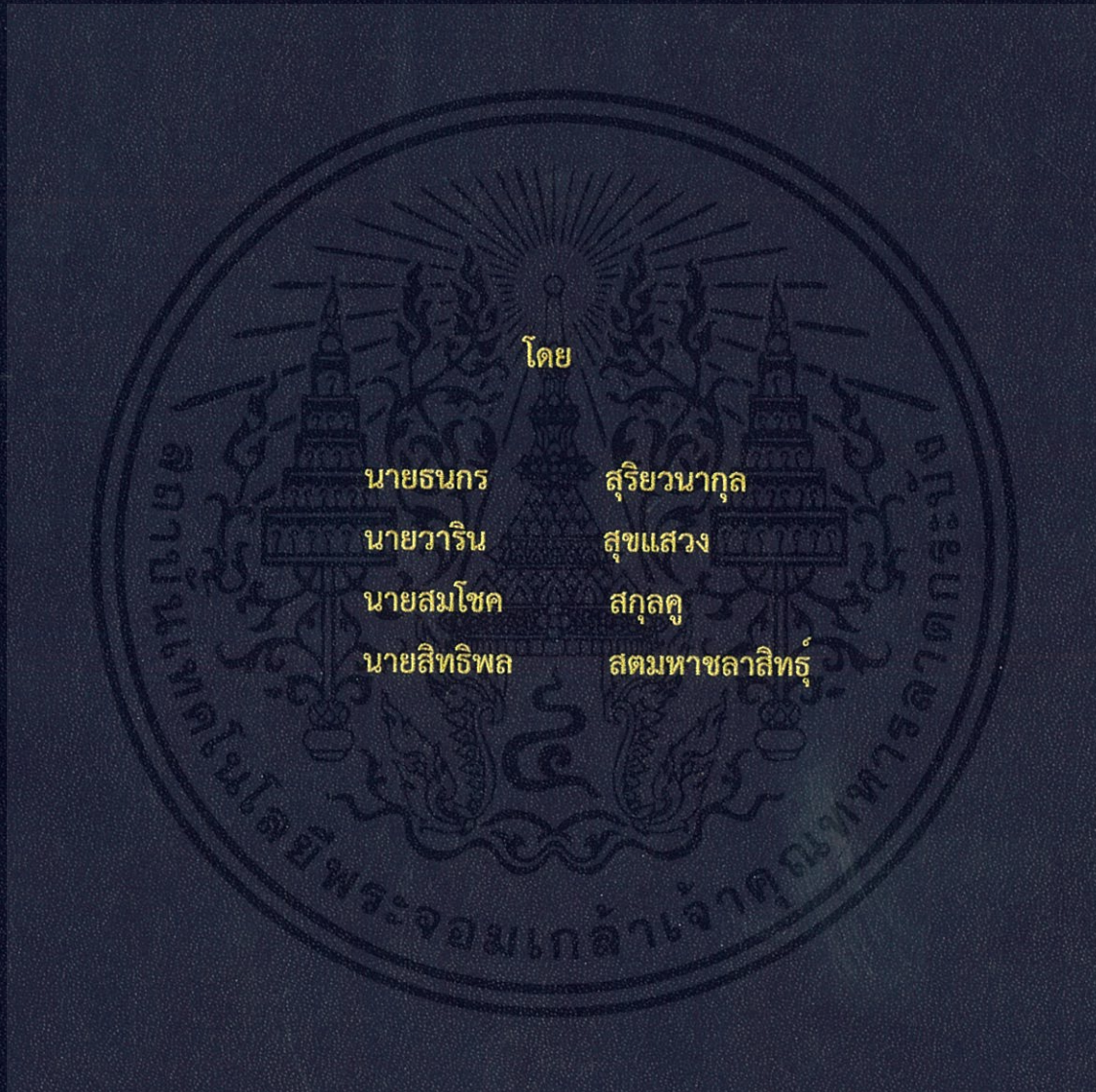


การออกแบบและประกอบรถเข็นไฟฟ้า

DESIGN AND ASSEMBLY OF ELECTRIC WHEELCHAIR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559



# DESIGN AND ASSEMBLY OF ELECTRIC WHEELCHAIR



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การออกแบบและประกอบรถเข็นไฟฟ้า  
DESIGN AND ASSEMBLY OF ELECTRIC WHEELCHAIR



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและประกอบรถเซ็นไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนกร สุริยวนากุล
2. นาย วาริน สุขแสง
3. นาย สมโชค สกุลคู
4. นาย สิทธิพล สดมहाชลาสิทธิ์



..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและประกอบรถเข็นไฟฟ้า

นายธนกร สุริยวนากุล  
นายวาริน สุขแสง  
นายสมโชค สกุลคุ  
นายสิทธิพล สดมहाขลาสินธุ์  
รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างรถเข็นไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ โดยโครงการนี้ได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V เป็นตัวขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับ Duty cycle ให้ได้ความเร็วที่ต้องการ โดยป้อนให้กับ IGBT ที่ทำหน้าที่เป็นตัว Switching ให้แก่วงจร DC Chopper ซึ่งรถเข็นไฟฟ้านี้สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผู้ใช้น้ำหนักเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้รถเข็นไฟฟ้ายังมีระบบเพื่อให้ง่ายต่อการลุกขึ้นยืนหรือนั่งลงสำหรับผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาไขข้อกระดูก น้ำหนักของผู้ใช้งานมากที่สุดคือ 70 กิโลกรัม

## DESIGN AND ASSEMBLY OF ELECTRIC WHEELCHAIR

Mr. Thanakorn                      Suriyawanakul  
Mr. Warin                              Suksawaeng  
Mr. Somchoke                        Sakulkoo  
Mr. Sittipon                          Satamahachalasin  
Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert Supervisor  
Year 2016

### Abstract

The objective of this project is to design and make the electric wheelchair which is able to control the velocity. The DC motor 24 V has been used to be a mechanical power to drive wheelchair. We use Micro-controller to control and make square wave which can charge duty cycle to feed into the IGBT to be a switching DC Chopper. The maximum speed is 6 km/hour. If the value of duty cycle decreases, the DC motor current and motor speed also decrease. On the other hand, the value of duty cycle increases, the DC motor current and motor speed also increases. So, the wheelchair has lift system to standup and sit down will be simple. In addition, the electric wheelchair can help the older people in movement. The maximum user's weight is 70kg.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
กิตติกรรมประกาศ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	1
1.5 ตารางดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	4
2.1.1 สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำ	5
2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำ	5
2.1.3 กฎแรงดันของเคอร์ซอพฟ์วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น	5
2.1.4 กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำ	5
2.1.5 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	5
2.1.6 สมการแรงบิด (Torque Equation)	7
2.1.7 สมการของความเร็ว	7
2.1.8 หลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร	8
2.2 หลักการเบื้องต้นของวงจรสับ	10
2.3 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่	14
2.3.1 คุณสมบัติแบตเตอรี่	15
2.3.2 การนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน	15

บทที่ 3 การทำงานของวงจรและการออกแบบรถเซ็นไฟฟ้า	16
3.1 บทนำ	16
3.2 ส่วนประกอบของวงจรขับเคลื่อน	16
3.2.1 ระบบขับเคลื่อนของรถเซ็นไฟฟ้า	16
3.2.2 ระบบยกลูกชิ้นยื่นของรถเซ็นไฟฟ้าอัจฉริยะ	16
3.3 การจำลองวงจรDC Chopperขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	17
3.4 การออกแบบวงจรสับระดับแรงดัน	18
3.5 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3.5.1 หลักการทำงานของวงจรควบคุม	19
3.5.2 Flow chart	20
3.6 การออกแบบวงจรรีเลย์ขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	24
3.6.1 การออกแบบวงจรรีเลย์ขับมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่	24
3.7 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง	26
บทที่ 5 สรุป	52
5.1 สรุป	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุปกรณ์	55
ภาคผนวก ข ภาพโครงงานโดยรวมของงานวิจัย	58
ภาคผนวก ค Datasheet	64
ภาคผนวก ง บทความวิชาการ	89
ประวัติผู้เขียน	94

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง	4
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสกระตุ้น	6
2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	9
2.5 วงจรอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	9
2.6 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ	10
2.7 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ	11
2.8 วงจรสับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	11
2.9 แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไหลเข้าโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ	12
2.10 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	13
2.11 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	13
2.12 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ	14
2.13 วงจรที่มีความต้านทานต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส	15
3.1 ส่วนประกอบของวงจรระบบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้า	16
3.2 ส่วนประกอบของวงจรระบบยกลูกชิ้นเย็นของรถเข็นไฟฟ้าอัจฉริยะ	16
3.3 วงจร DC Chopper ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า	17
3.4 แรงดันขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ Duty 50%	17
3.5 กระแสขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ Duty 50%	17
3.6 IGBT	18
3.7 Ultrafast recovery diode	18
3.8 Arduino Uno R3	19
3.9 วงจรควบคุมค่า Duty Cycle จากไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3.10 วงจรควบคุมการเลี้ยงของมอเตอร์รถเข็นไฟฟ้า	20
3.11 Flowchart แสดงการทำงาน	23
3.12 วงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่	24
3.13 วงจรภายในTLP 250 และอุปกรณ์TLP250	25
3.14 วงจรขับเคลื่อนIGBTด้วยTLP250	25
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์	27
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้า	27
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้า	28
4.4 กราฟกระแสจากโปรแกรม (Duty0.4)	29

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟกระแสที่วัดจากScope (Duty0.4)	29
4.6 กราฟแรงดันจากโปรแกรม (Duty0.4)	29
4.7 กราฟแรงดันที่วัดจากScope (Duty0.4)	30
4.8 กราฟกระแสจากโปรแกรม (Duty0.5)	30
4.9 กราฟกระแสที่วัดจากScope (Duty0.5)	30
4.10 กราฟแรงดันจากโปรแกรม (Duty0.5)	31
4.11 กราฟแรงดันที่วัดจากScope (Duty0.5)	31
4.12 กราฟกระแสจากโปรแกรม (Duty0.6)	31
4.13 กราฟกระแสที่วัดจากScope (Duty0.6)	32
4.14 กราฟแรงดันจากโปรแกรม (Duty0.6)	32
4.15 กราฟแรงดันที่วัดจากScope (Duty0.6)	32
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 1 (เดินหน้า)	46
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 2 (เดินหน้า)	46
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 1 (ถอยหลัง)	46
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 2 (ถอยหลัง)	47
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 1 (เลี้ยวซ้าย)	47
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 2 (เลี้ยวซ้าย)	47
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 1 (เลี้ยวขวา)	48
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วมอเตอร์ 2 (เลี้ยวขวา)	48
4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่1 (เดินหน้า)	48
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่2 (เดินหน้า)	49
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่1 (ถอยหลัง)	49
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่2 (ถอยหลัง)	49
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่1 (เลี้ยวซ้าย)	50
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่2 (เลี้ยวซ้าย)	50
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่1 (เลี้ยวขวา)	50
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วมอเตอร์ตัวที่2 (เลี้ยวขวา)	50

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางระยะเวลาการวางแผนในการทำโครงการ	2
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมอเตอร์ สภาพ No-Load	26
4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)	34
4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)	35
4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)	36
4.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)	37
4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)	38
4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)	39
4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวซ้ายของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)	40
4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวซ้ายของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)	41
4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวซ้ายของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)	42
4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)	43
4.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)	44
4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยวขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)	45
4.14 ค่าพารามิเตอร์จากการทดลองของระบบยก	51

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนด้วยดีจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัย และช่วยแนะนำแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วยครับ

คณะผู้จัดทำ

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จำนวนผู้สูงอายุในทุกวันนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอันเนื่องมาจากงานด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจึงส่งผลให้ผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่ได้รับการบำบัด รักษา และดูแลสุขภาพเป็นอย่างดีจากหน่วยงานทางการแพทย์ จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีทางการแพทย์เป็นสิ่งที่สำคัญและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สูงอายุได้เป็นอย่างดี

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของผู้สูงอายุส่วนใหญ่คือปัญหาด้านการเคลื่อนที่เนื่องจากอายุมาก ทำให้การเคลื่อนที่นั้นลำบาก จึงได้มีการนำรถเข็นมาใช้กับผู้สูงอายุและคนอื่นๆที่จำเป็นต้องใช้รถเข็น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของรถเข็นผู้ป่วย จึงมีความคิดที่จะพัฒนารถเข็นผู้ป่วย ให้มีความสามารถเพิ่มขึ้นเป็นรถเข็นไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไปและ นำมาเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นกว่าเดิมหรือมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้นไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุและผู้ป่วย ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนที่โดยการเพิ่มระบบยก
2. ใช้วงจรไฟฟ้าในการขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพให้สูงกว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไป
3. ศึกษาทำเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าต่อไป

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ขอบเขตในการศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ คือ การนำรถเข็นไฟฟ้ามาเพิ่มระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V 250 Watt จำนวน 2 ตัว และแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ขนาด 12V 8Ah จำนวน 2 ตัว มีระบบเบรกไฟฟ้าเพื่อช่วยในการชะลอการเคลื่อนที่ของรถเข็นและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเชิงเส้นในการทำระบบยก

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาบทความเกี่ยวกับหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ วงจร DC Chopper และวงจรควบคุมส่วนอื่นๆ
2. จำลองวงจรแบตเตอรี่ DC Chopper และวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. จัดหาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานกับโครงการวิจัย
4. สร้างโครงสร้างของรถเข็นไฟฟ้าและวงจรควบคุมส่วนต่างๆในรถเข็นไฟฟ้า
5. ทดสอบและใช้งานรถเข็นไฟฟ้าได้จริง
6. ปรับปรุง หากมีข้อผิดพลาดเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ตารางการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการวางแผนในการทำโครงการ

ขั้นตอน	ภาคเรียนที่1					ภาคเรียนที่2		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาโครงการ	←→							
2.ออกแบบ		←→						
3.จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์		←→						
4.ศึกษาการใช้โปรแกรมจำลองผลทางคอมพิวเตอร์			←→					
5.จำลองผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม				←→				
6.รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง				←→				
7.ออกแบบวงจรและทดลอง					←→			
8.สร้างชิ้นงานจริง						←→		
9.ทดสอบและทำการวัดเก็บผล						←→		
10.หาข้อผิดพลาดและปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน						←→		
11.ทดสอบและตรวจวัดหลังการปรับปรุง							←→	
12.เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์							←→	

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1. สามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุและผู้ป่วย ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนที่
2. ได้ศึกษาและเรียนรู้ออกแบบวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมรถเข็นไฟฟ้า
3. สามารถนำไปเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

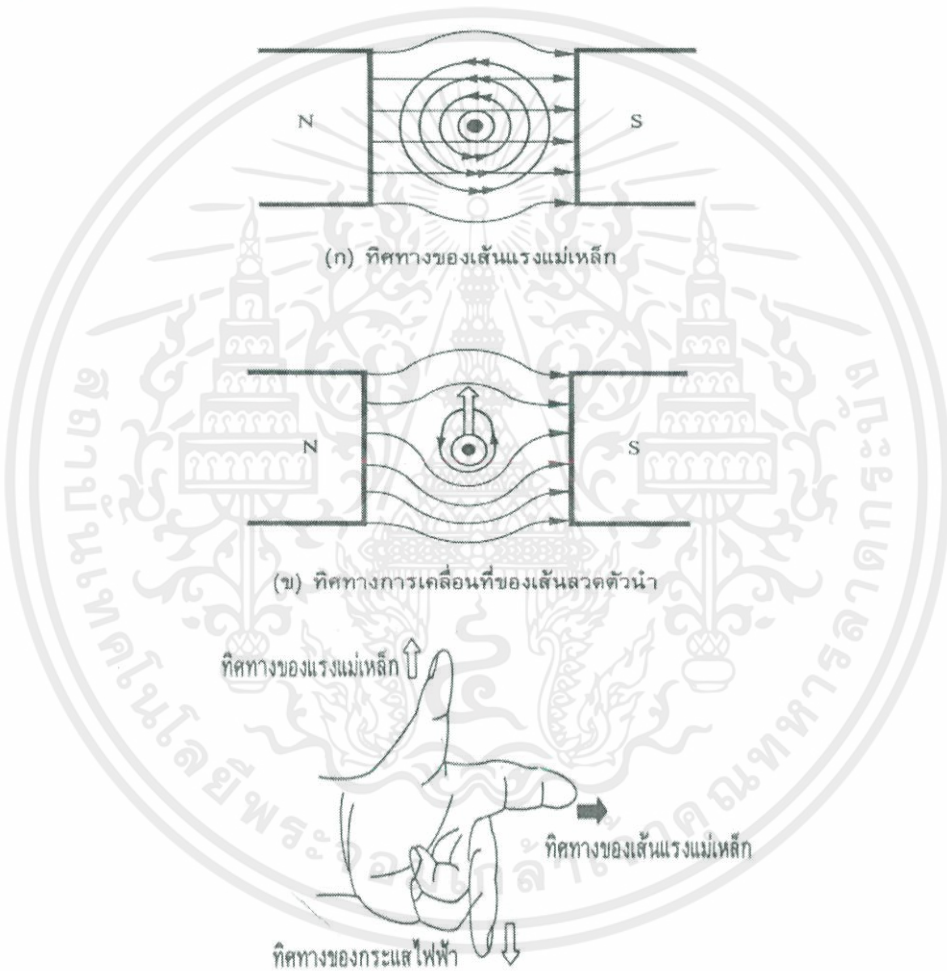
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

##### 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

อาศัยหลักการของปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กและขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะเกิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำนั้นแรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำที่มีกระแสไหล ผ่านและวางอยู่ในสนามแม่เหล็กเราสามารถที่จะหาแรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำได้โดยจะมี ทิศทางดังรูปที่ 2. 1



รูปที่ 2.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

จากรูปที่ 2.1 จะใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งในการหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำได้ดังนี้โดยการกางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และ นิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกันจะได้ว่านิ้วหัวแม่มือแสดงทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้ แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก และ นิ้วกลางแสดงทิศทางของการไหลของกระแสและสมการที่ประยุกต์ใช้กับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

### 2.1.1 สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำ

สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำมีสมการดังนี้

$$F = i(L \times b) \text{ นิวตัน}$$

โดย  $F$  = แรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ

$B$  = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

$i$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด

$L$  = ความยาวของลวดตัวนำ

### 2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กมีสมการดังนี้

$$e = (V \times B)L \text{ โวลต์}$$

โดย  $e$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$V$  = ความเร็วของตัวนำที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก

$B$  = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

### 2.1.3 กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น

กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้นมีสมการดังนี้

$$V = e + Ri \text{ โวลต์}$$

### 2.1.4 กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำ

กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำมีสมการ ดังนี้

$$F = m \frac{dv}{dt} + bv \text{ นิวตัน}$$

โดย  $m$  = มวลของแท่งตัวนำ

$\frac{dv}{dt}$  = อัตราเร่ง

$bv$  = แรงเสียดทานเนื่องจากความเฉื่อย

และมีสมการที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ซึ่งมีสมการดังนี้

### 2.1.5 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromotive Force Equation)

สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์สามารถหาได้จากกฎของฟาราเดย์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$e = \frac{\phi NZP}{60a} \text{ โวลต์}$$

โดย  $e$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าต่อขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

$Z$  = จำนวนลวดตัวนำของอาร์เมเจอร์

$N$  = ความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์

$a$  = จำนวนทางขนาน ( $a=p$  เมื่อพันขดลวดแบบแลป,  $a = 2$  เมื่อพันขดลวดแบบเวฟ)

หรือ

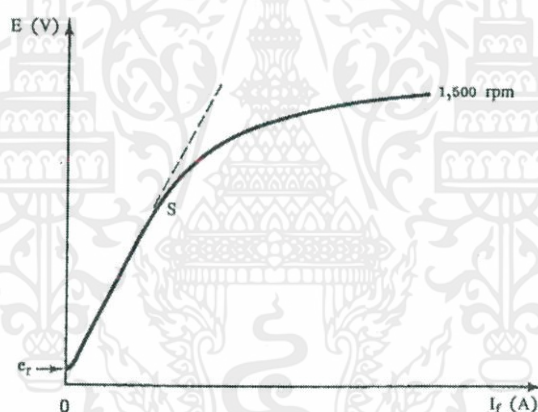
$$e = \frac{ZP\phi\omega_m}{2\pi a} \text{ โวลต์}$$

$$e = K_a \phi \omega_m \text{ โวลต์}$$

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

$$K_a = \frac{ZP}{2\pi a}$$

ในกรณีการปรับกระแสฟลักซ์อยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้นของกราฟสนามแม่เหล็กและเส้นแรง แม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสกระตุ้น

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสกระตุ้นสนามแม่เหล็กซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Phi \propto I_f$$

$$\phi = K_f I_f \text{ เวเบอร์}$$

โดย  $K_f$  = ค่าคงที่ของขดลวดสนามแม่เหล็ก

$I_f$  = กระแสไหลผ่านสนามแม่เหล็ก

ดังนั้น

$$e = K_f \phi \omega_m \text{ โวลต์}$$

$$e = K_a K_f I_f \omega_m \text{ โวลต์}$$

เมื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K = K_a K_f$$

แล้ว

$$e = K I_f \omega_m \text{ โวลต์}$$

โดย  $K$  = ค่าคงที่ของมอเตอร์

$K_f$  = ค่าคงที่ของวงจรรีเฟล็ค

$K_a$  = ค่าคงที่ของวงจรรอาร์เมเจอร์

### 2.1.6 สมการแรงบิด (Torque Equation)

กำลังกลที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ได้มาจากการที่อาร์เมเจอร์หมุนด้วยความเร็ว  $\omega_m$  และได้แรงบิด  $T_m$  นั่นคือ  $T_g$ ,  $\omega_m$  ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์และแรงบิดที่เกิดขึ้นมานี้เป็นผลมาจากการไหลของกระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$  และแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์คือ  $e$  และทำให้ได้กำลังกลที่อาร์เมเจอร์คือ  $e I_a$  ดังนั้น

$$P_g = T_g \omega_m \text{ วัตต์}$$

$$I_a = T_g \omega_m$$

$$T_g = \frac{e I_a}{\omega_m} \text{ นิวตัน-เมตร}$$

แต่ว่า

$$e = K I_f \omega_m \text{ โวลต์}$$

ดังนั้น

$$T_g = \frac{K I_f \omega_m I_a}{\omega_m} \text{ นิวตัน-เมตร}$$

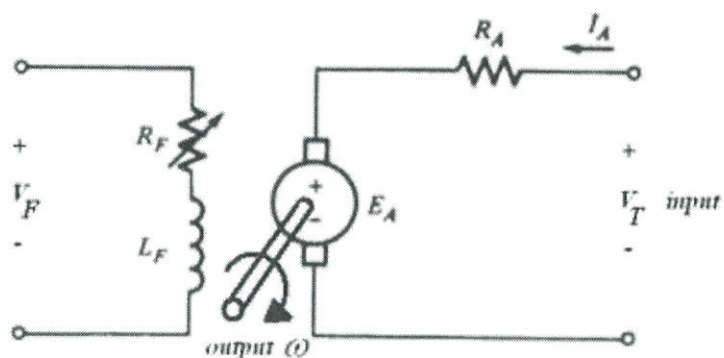
∴ จะได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T_g = K I_f I_a \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$T_g = K_a \phi I_a \text{ นิวตัน-เมตร}$$

### 2.1.7 สมการของความเร็ว

เราสามารถเขียนวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกซึ่งเป็นวงจรที่ง่ายต่อการศึกษาได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในสภาวะคงตัวของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถที่จะคำนวณหาสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้

$$V_a = E_a + I_a R_a \text{ โวลต์}$$

เมื่อ

$$E_a = K_a \phi \omega_m \text{ โวลต์}$$

ดังนั้น

$$\omega_m = \frac{V_a - I_a R_a}{K_a \phi} \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

ถ้าการใช้งานในย่านสนามแม่เหล็กเป็นเชิงเส้นจะได้สมการความเร็วเป็น

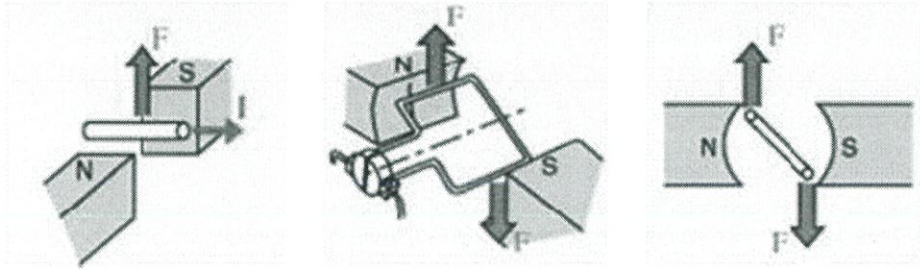
$$\omega_m = \frac{V_a - I_a R_a}{K I_f} \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

### 2.1.8 หลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

มอเตอร์แม่เหล็กถาวรใช้สนามแม่เหล็กหลักจากแม่เหล็กถาวรและใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสนาม ทูตยภูมิหรือฟลักซ์อาร์เมเจอร์รูปแสดงหลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกระแสไหลจาก ขดลวดอาร์เมเจอร์จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงจะทำให้อาร์เมเจอร์เป็นแม่เหล็กขั้วแม่เหล็กของ อาร์เมเจอร์จะมีขั้วตรงข้ามกับสนามหลักทำให้อาร์เมเจอร์มีการหมุนดังรูปอาร์เมเจอร์หมุนตามเข็ม นาฬิกาเมื่อขั้วอาร์เมเจอร์อยู่ในแนวเดียวกับสนามหลักแปร่งถ่านจะอยู่ในช่องว่างของคอมมิวเตเตอร์จะไม่มีกระแสไหลผ่านในขดลวดอาร์เมเจอร์ดังนั้นแรงแม่เหล็กจะเป็นแรงผลักรันดังแสดง ในรูปความเฉื่อยจะทำให้อาร์เมเจอร์ผ่านจุดนิวทรัลคอมมิวเตเตอร์จะกลับทิศของกระแสในอาร์เมเจอร์เมื่อขั้วแม่เหล็กตรงกันข้ามตรงกันจึงทำให้ขั้วแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์จะกลับขั้วเมื่อเมื่อขั้ว เหมือนกันของอาร์เมเจอร์และ

สนามหลักอยู่ตรงกันจะทำให้เกิดการผลักกันจึงทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องดังรูปที่

2.4



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

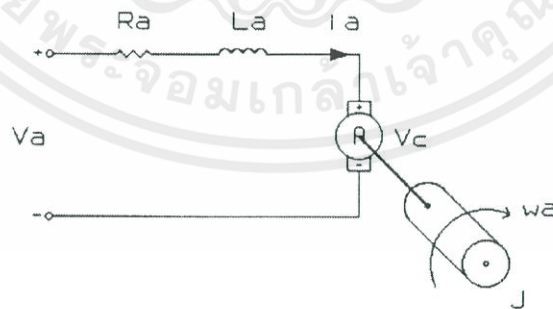
ทิศทางการหมุนของมอเตอร์สามารถหาได้จากการไหลของกระแสผ่านอาร์เมเจอร์การกลับ ทิศของอาร์เมเจอร์จะทำให้การหมุนกลับทิศ ลักษณะสำคัญของมอเตอร์กระแสตรงคือสามารถ ควบคุมอัตราเร็วได้อัตราเร็วของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่ให้กับอาร์เมเจอร์ ฉะนั้นถ้าแรงดันอาร์เมเจอร์สูงจะทำให้ได้อัตราเร็วของมอเตอร์สูงด้วย วงจรอย่างง่ายของมอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวรแสดงได้ ดังรูปที่ 2.5 มีแม่เหล็กถาวรเป็น ตัวสร้างสนามแม่เหล็กหลักซึ่งมีค่าคงที่จากวงจรจะได้สมการดังนี้

$$T_m = K_T I_a \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$V_t = E_a + I_a R_a \text{ โวลต์}$$

เมื่อ  $K_T = K_T \phi_f$  และ  $E_a = K_E \phi_f$  จากสมการข้างบนจะได้สมการความเร็วในฟังก์ชันของ  $T_m$  เมื่อ กำหนดให้  $V_t$  คงที่

$$\omega_m = \frac{1}{K_E} (V_t - \frac{R_a}{K_T} T_m) \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$



รูปที่ 2.5 วงจรอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

## วงจรสับเบื่องต้น

### 2.2 หลักการเบื่องต้นของวงจรสับ (chopper)

หลักการเบื่องต้นของวงจรสับสามารถพิจารณาจากวงจรพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในวงจรประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สวิตช์และโหลดเป็นตัวความต้านทานวงจรที่ใช้งานจริงๆ จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่แทนสวิตช์

เมื่อเปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย เมื่อปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะตกสู่ศูนย์ แรงดันเฉลี่ยที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเปิด-ปิดสวิตช์จึงเรียกวิธีนี้ว่า ซอปเปอร์ ถ้าช่วงเวลาที่สวิตช์เปิด-ปิด เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันก็จะทำให้แรงดันที่โหลด ( $V_0$ ) และกระแสที่โหลด เปลี่ยนแปลงซึ่งค่าแรงดันเฉลี่ย(average voltage) จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายดังนี้

$$V_{0(ave)} = \frac{V_s}{T} T_{on} = \frac{V_s T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$$

โดย  $T_{on}$  = ระยะเวลาที่สวิตช์ทำงาน

$T_{off}$  = ระยะเวลาที่สวิตช์ไม่ทำงาน

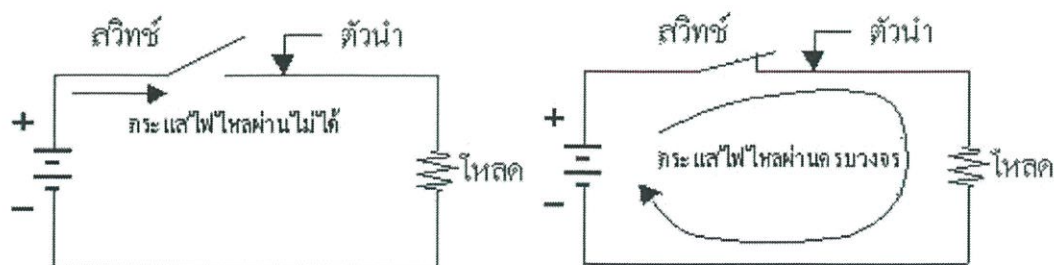
$T$  = ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล =  $T_{on} + T_{off}$

ลักษณะการเปิด-ปิดสวิตช์ในวงจรสับขั้นพื้นฐานในรูปสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะคือ

1.  $T_{on}$  เปลี่ยนแปลง และ  $T_{off}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  คงที่เรียกการทำงานลักษณะนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (Pulse width modulation) รูปร่างของแรงดันเอาต์พุตดังแสดงในรูปที่ 2.7(ข) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{on}$  น้อยลง

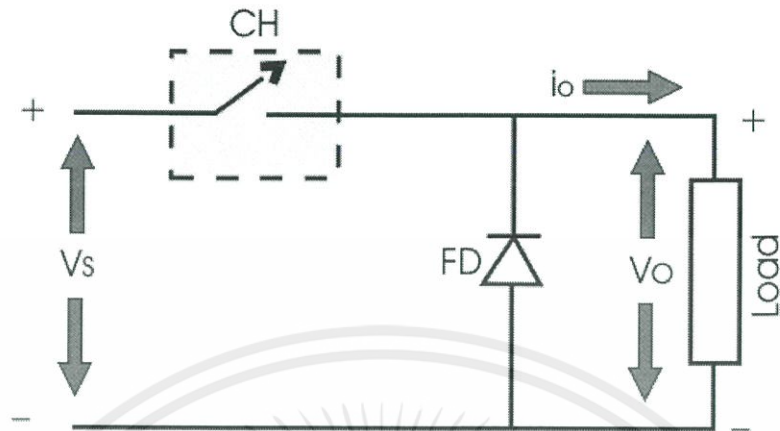
2.  $T_{on}$  คงที่และ  $T_{off}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  เปลี่ยนแปลง เรียกการทำงานลักษณะเช่นนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency modulation) ดังแสดงรูปร่างของเอาต์พุตดังรูปที่ 2.7 (ค) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{off}$  มากขึ้น

3. เป็นลักษณะการทำงานของการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์และการเปลี่ยนแปลงความถี่ ถ้าวงจรสับมีโหลดเป็นตัวต้านทานกระแสที่ไหลเข้าโหลดจะมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับแรงดันที่โหลดดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่ถ้าโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำกระแสที่ไหลเข้าโหลดจะไหลอย่างต่อเนื่องโดยต่อไดโอดดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ

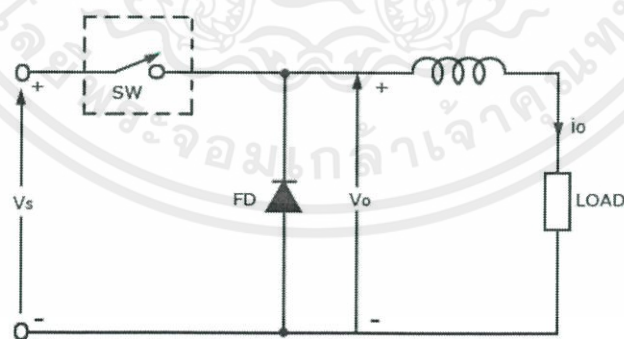
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของวงจรถับ

ในรูปที่ 2.8 เป็นวงจรถับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ ( $L_F$ ) และมี Flywheel-diode ( $D_F$ ) เมื่อสวิตช์  $S_1$  ทำงานกระแสไหลจากแหล่งจ่ายเข้าโหลด โดยกระแสจะค่อยๆเพิ่ม เมื่อสวิตช์  $S_1$  ไม่ทำงาน กระแสไหลผ่านไดโอดและจะเกิดแรงดันที่โหลดในทิศทางตรงข้าม (VA-di) ทำให้ไดโอด DF ได้รับ forward bias นำกระแสจากโหลดดังที่แสดงการไหลของกระแสในรูปที่ 2.8

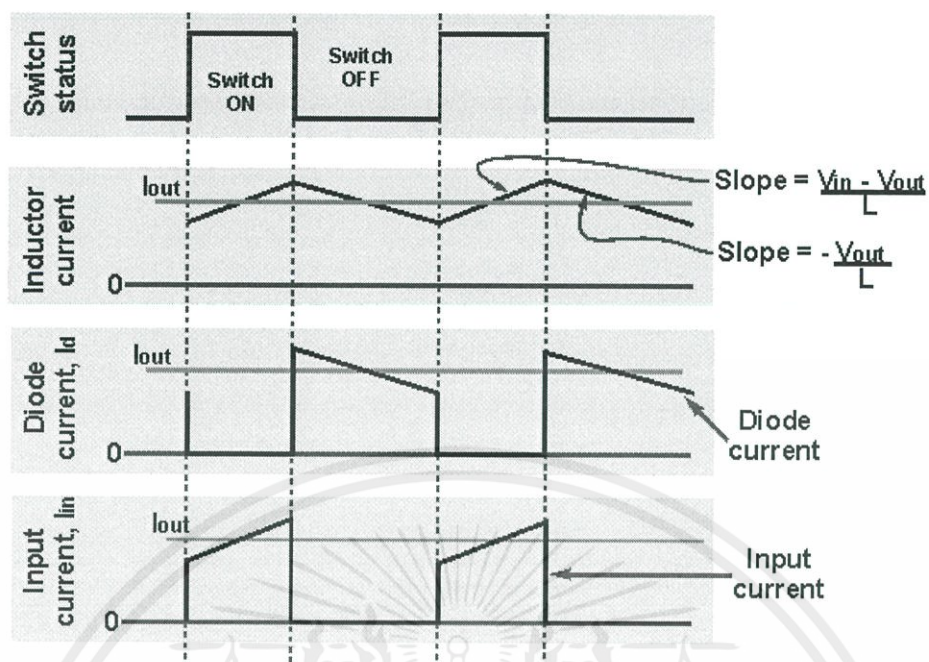
Chopper Circuit



www.CircuitsToday.com

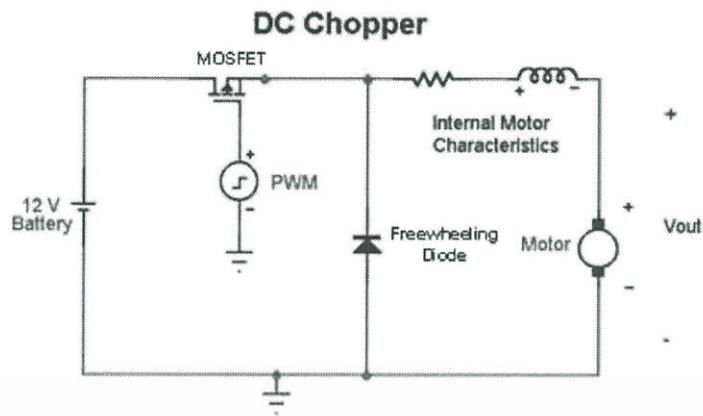
รูปที่ 2.8 วงจรถับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

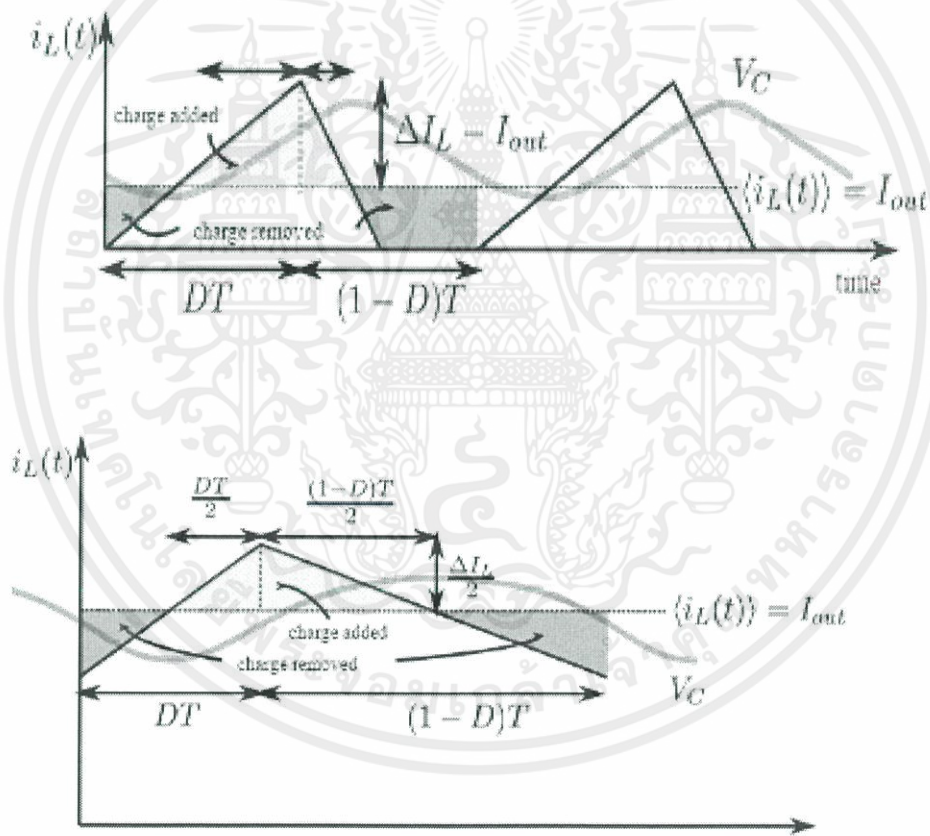


รูปที่ 2.9 แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไหลเข้าไหลออกที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ

วงจรสับใช้ในการช่วยลดกระแสในการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้แทนการเริ่มเดินเครื่อง โดย การต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์เมเจอร์เป็นการลดแรงดันไฟฟ้าและกระแสในช่วงเริ่มเดินเครื่องวงจรสับยังเป็น วงจรที่ใช้ในการปรับและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้และยังใช้เป็น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถ ควบคุมให้มีความแรงดันคงที่ได้หรือควบคุมกระแสเข้าไหลออกให้คงที่ได้ วงจรสับที่มีไหลเป็นมอเตอร์กระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในรูปที่ 2.11 เป็นลักษณะที่กระแสไหลในไหลไม่ต่อเนื่องและกระแสไหลในไหลอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.10 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.11 เป็นลักษณะที่กระแสไหลในโหลดไม่ต่อเนื่องและกระแสไหลในโหลดอย่างต่อเนื่อง

## ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Battery

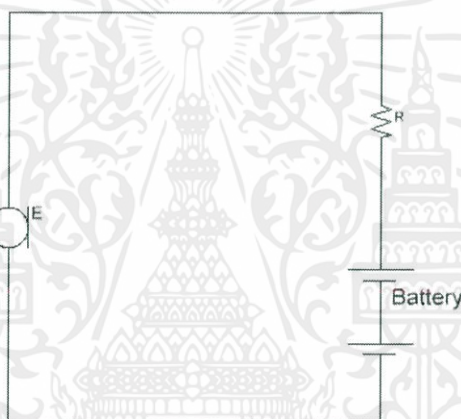
### 2.3 ทฤษฎีและหลักการทำงานของแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการคายประจุ ในการชาร์จแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่โดยที่กระแสที่ทำให้การชาร์จจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่แบตเตอรี่ได้ทำการจ่ายออกมา รูปที่ 2.12 เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบง่าย

โดย  $E$  คือ แรงดันที่ทำการชาร์จ

$E_c$  คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

$R_f$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่



รูปที่ 2.12 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ

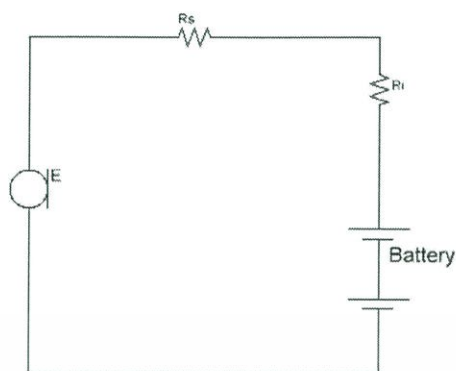
จากรูปที่ 2.12 จะได้สมการ

$$E = E_c + IR_f$$

$$I = \frac{E - E_c}{R_i}$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ ( $E_c$ ) มีค่าเท่ากับแรงดันที่ชาร์จ จะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้มีกระแสไหลเพื่อเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ แต่ถ้าแรงดันสูงกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้กระแสไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ในขณะที่มีการชาร์จแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในการชาร์จมีปริมาณมากกว่าแบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การจะลดปริมาณของกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่ให้ต่ำลง ทำได้โดยเอาตัวต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามความต้องการ ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วงจรที่มีความต้านทาน  $R_s$  ต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส  
จากรูปที่ 2.13 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ  $R_f$

$$I = \frac{E - E_c}{R_i + R_s}$$

$$R_s = \frac{E - E_c}{I} - R_i$$

### 2.3.1 คุณสมบัติแบตเตอรี่

สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงได้โดยการนำไปจ่ายให้โหลด(การดิสชาร์จ) ยังสามารถเป็นโหลดได้อีก(การชาร์จ)ซึ่งทั้งสองหน้าที่นี้จะทำหน้าที่สลับกัน และในสภาวะที่แบตเตอรี่เป็นโหลดจะรับกำลังงานได้เต็มพิกัดของแหล่งจ่ายซึ่งแหล่งจ่ายให้เท่าไรแบตเตอรี่จะรับทั้งหมดไว้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ออกจากแหล่งจ่ายจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และควรคำนึงถึงค่ากระแสชาร์จซึ่งถ้ามากเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้

### 2.3.2 การนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

1. For cycle use การนำแบตเตอรี่ไปใช้งานแล้วใช้ให้หมดแล้วนำแบตเตอรี่นั้นมาทำการชาร์จใหม่ ซึ่งเหมาะสมกับการชาร์จแบบเร็ว (fast charge)
2. For standby use ในขณะที่แบตเตอรี่นั้นจะถูกทำการชาร์จตลอดเวลาใช้งาน ซึ่งเหมาะกับการรักษาระดับแรงดันการจำกัดกระแสชาร์จ

### บทที่ 3

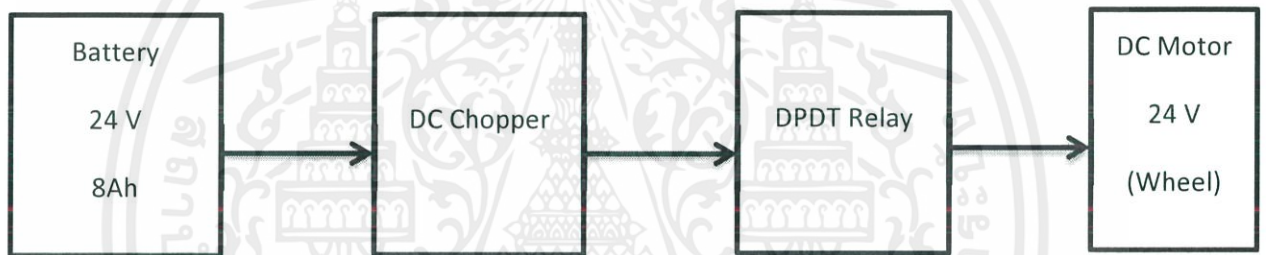
## การทำงานของวงจรและการออกแบบรถเข็นไฟฟ้า

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายหลักการทำงานและการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในส่วนระบบขับเคลื่อนของรถเข็นไฟฟ้า โดยในระบบขับเคลื่อนจะใช้วงจร DC Chopper ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการปรับแรงดันขาออก รวมถึงการบังคับการเลี้ยวซ้ายและการเลี้ยวขวาของรถเข็นไฟฟ้าโดยการปรับความเร็วรอบของล้อรถทั้งสองให้มีความแตกต่างกัน และวงจรรีเลย์ในการบังคับทิศทางรถเข็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของทั้งในส่วนระบบขับเคลื่อนกับระบบยกลูกชิ้นเย็นของรถเข็นไฟฟ้าอัจฉริยะ

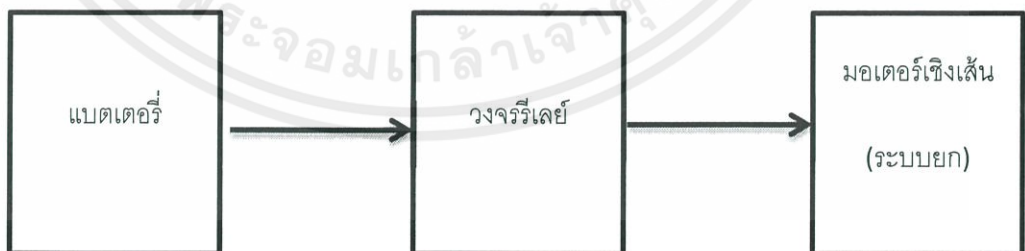
### 3.2 ส่วนประกอบของวงจรขับเคลื่อนและระบบยกลูกชิ้นเย็นรถเข็นไฟฟ้า

#### 3.2.1 ระบบขับเคลื่อนของรถเข็นไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจรระบบขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้า

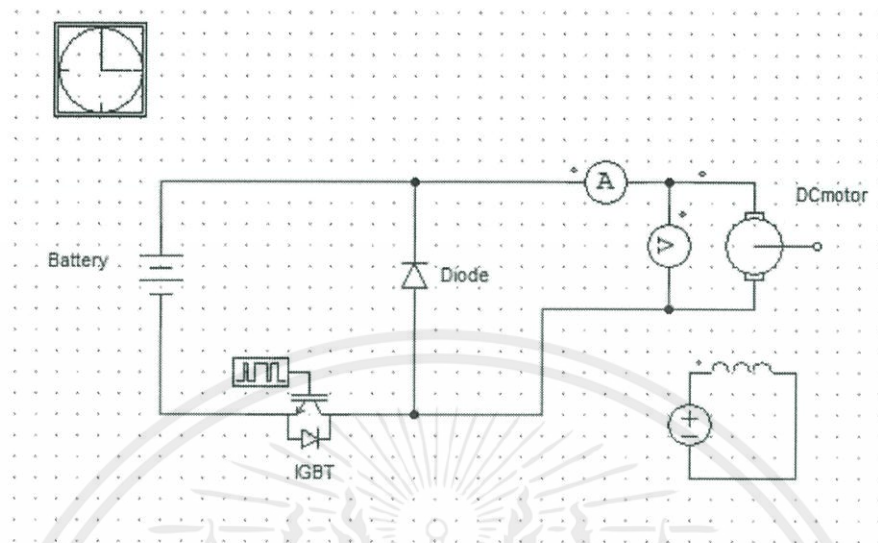
#### 3.2.2 ระบบยกลูกชิ้นเย็นของรถเข็นไฟฟ้าอัจฉริยะ



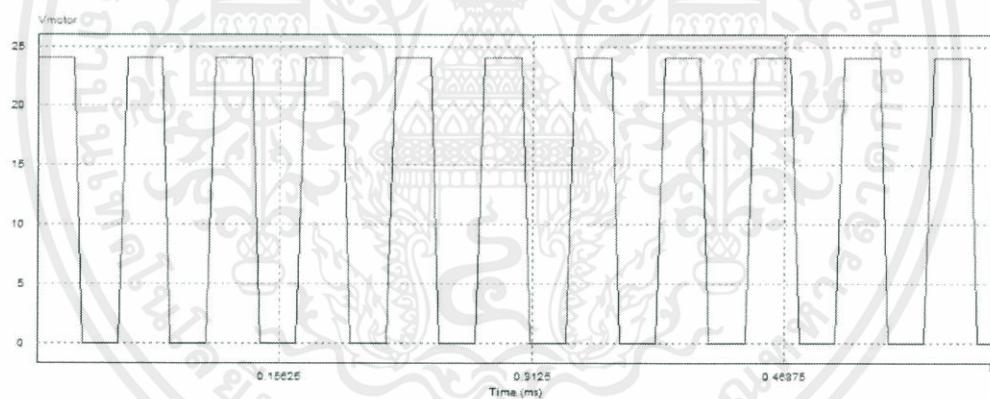
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของวงจรระบบยกลูกชิ้นเย็นของรถเข็นไฟฟ้าอัจฉริยะ

### 3.3 การจำลองวงจร DC Chopper ขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

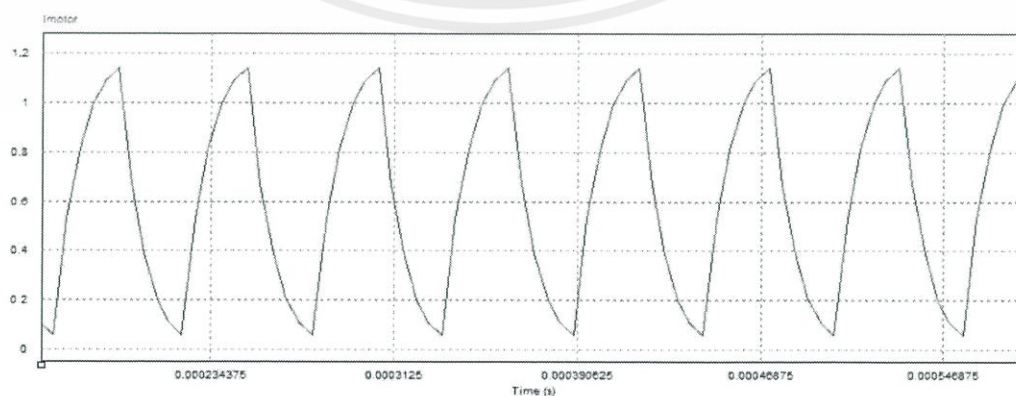
จำลองสร้างวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM มีวงจรที่ใช้ในการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร DC Chopper ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 แรงดันขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ Duty 50%



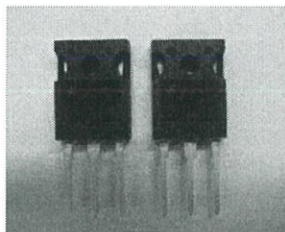
รูปที่ 3.5 กระแสขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ Duty 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบวงจรสับระดับแรงดัน(DC Chopper)

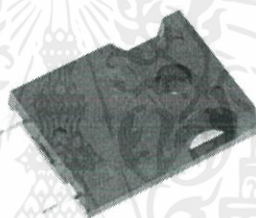
ในวงจรสับระดับแรงดันมีอุปกรณ์ทั้งหมดดังนี้

1.IGBT ทำงานที่ความถี่สวิตซิ่ง 18 กิโลเฮิร์ตซ์ เลือกใช้IGBTเบอร์G20N60B3D ซึ่งมีพิกัดแรงดัน 600 โวลต์ และมีกระแส 40 แอมแปร์



รูปที่ 3.6 IGBT

2.ไดโอด ในรูปที่ 3.2 เลือกใช้ไดโอดชนิด Ultrafast recovery diode เบอร์ RURG5060 ที่มีพิกัดแรงดัน 600 โวลต์ และพิกัดกระแส 50 แอมแปร์



รูปที่ 3.7 Ultrafast recovery diode

หาค่าความถี่ที่ต้องใช้ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

โดย  $V_s = 24 \text{ V}$ ,  $D = 0.35$ ,  $P = 250 \text{ Watt}$ ,  $L = 0.2 \times 10^{-3} \text{ H}$  ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง (CCM),  $\Delta I_L = 5\% I_o$

$$f = \frac{(V_s - V_o)D}{2\Delta I L}$$

เมื่อ

$$V_o = DV_s = 0.35(24) = 8.4 \text{ V}$$

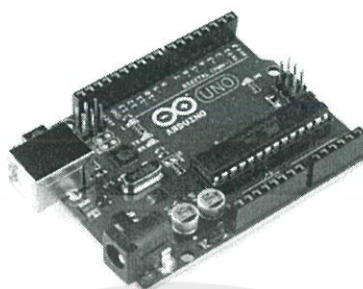
$$\Delta I = \frac{0.05 \times 250}{24} = 1.041 \text{ A}$$

$$f = \frac{(24 - 8.4) \times 0.35}{2 \times 1.041 \times 0.2 \times 10^{-3}} = 13.112 \text{ kHz}$$

ค่า  $f$  ต่ำสุดที่ทำให้วงจรทำงานในโหมดCCM ที่Duty 0.35 ซึ่งเป็นduty ต่ำที่สุดที่ใช้ในการออกแบบวงจร จะต้องใช้  $f = 13.112 \text{ kHz}$  หรืออาจใช้ค่าสูงกว่านั้นก็ได้เพื่อสามารถทำงานในโหมดCCMที่ต้องการจึงเลือกใช้ความถี่ 18kHz

### 3.5 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

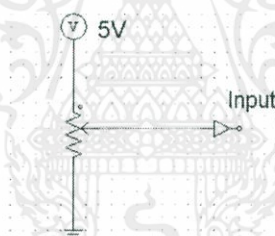
ในการควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino Uno R3 ในการป้อนสัญญาณ PWM ให้กับ IGBT



รูปที่ 3.8 Arduino Uno R3

#### 3.5.1 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับค่าแรงดันอินพุตจากการปรับค่าความต้านทานมาคำนวณเพื่อทำการเปรียบเทียบก่อนสร้างสัญญาณ PWM แรงดันเอาต์พุตตาม Duty Cycle ที่ต้องการแล้วส่งออกตามต้องการเพื่อไปขับ IGBT การต่อวงจรความต้านทานปรับค่าสร้างสัญญาณ PWM



รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมค่า Duty Cycle จากไมโครคอนโทรลเลอร์

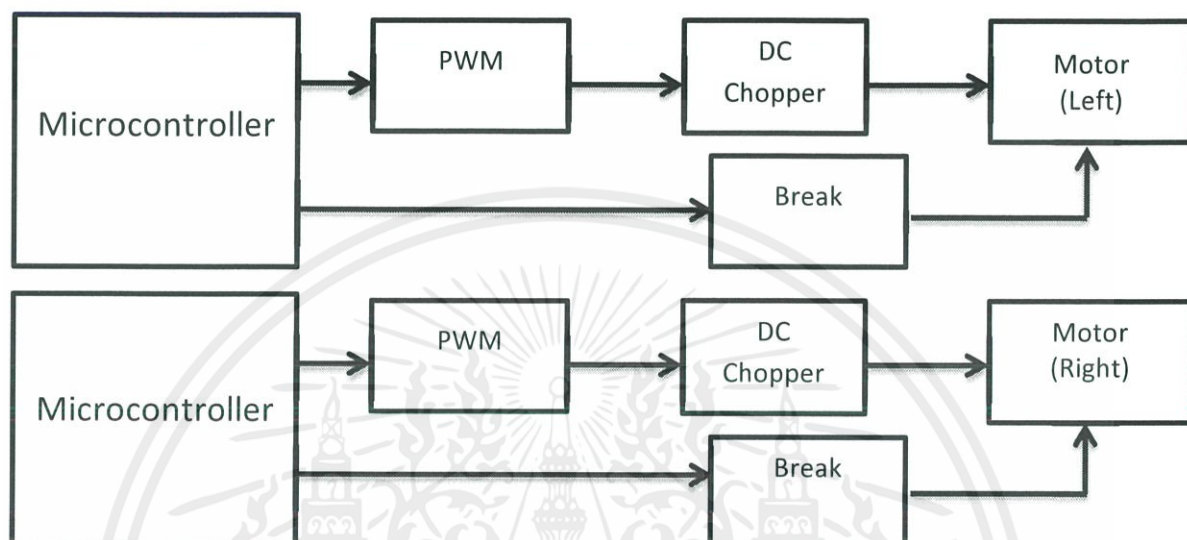
โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีโดย

กรณี 1 รับค่าแรงดันอินพุตเพื่อนำมาคำนวณเพื่อทำการเปรียบเทียบก่อนส่งค่า PWM แรงดันเอาต์พุตที่ส่งออกไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับ IGBT โดยการเลี้ยวซ้ายจะลด Duty Cycle ลง 1 step ในวงจร DC Chopper ของมอเตอร์ด้านขวา จากการบังคับจอยสติ๊กไปทางซ้าย จากนั้นจะหน่วงเวลาเพื่อทำการเลี้ยวซ้ายโดยความเร็วมอเตอร์ด้านซ้ายจะเร็วกว่าความเร็วมอเตอร์ด้านขวา

กรณี 2 รับค่าแรงดันอินพุตเพื่อนำมาคำนวณเพื่อทำการเปรียบเทียบก่อนส่งค่า PWM แรงดันเอาต์พุตที่ส่งออกไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับ IGBT โดยการเลี้ยวขวาจะลด Duty Cycle ลง 1 step ในวงจร DC Chopper ของมอเตอร์ด้านซ้าย จากการบังคับจอยสติ๊กไป

ทางขวา จากนั้นจะหน่วงเวลาเพื่อทำการเลี้ยวขวาโดยความเร็วมอเตอร์ด้านขวาจะเร็วกว่าความเร็วมอเตอร์ด้านซ้าย

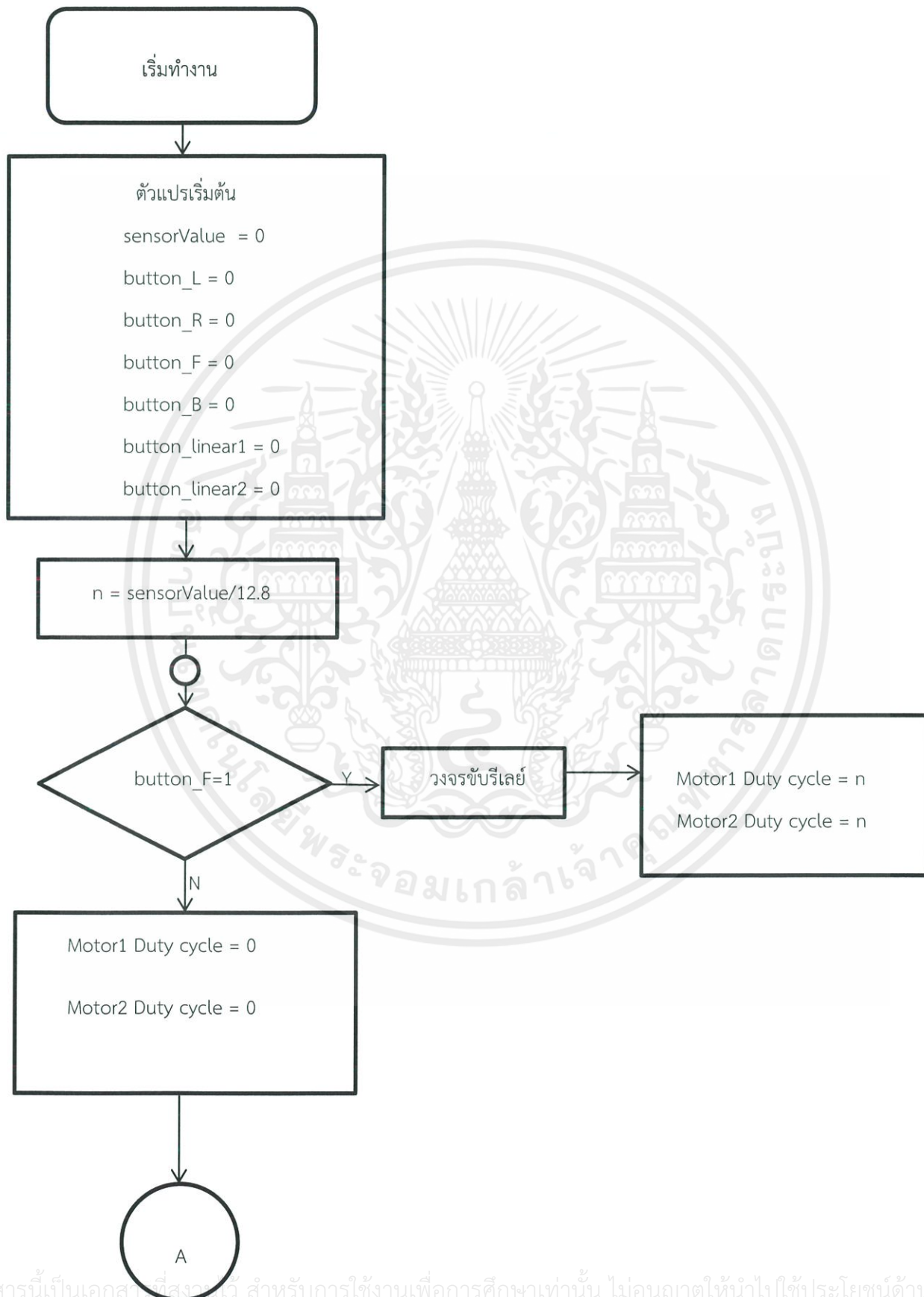
โดยทั้ง 2 กรณีเมื่อไม่มีการขับเคลื่อน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับคำสั่งเพื่อทำการเบรกล้อรถเซ็นไฟฟ้าเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่จนกว่าจะได้รับคำสั่งให้เคลื่อนที่ จากผู้ใช้งาน

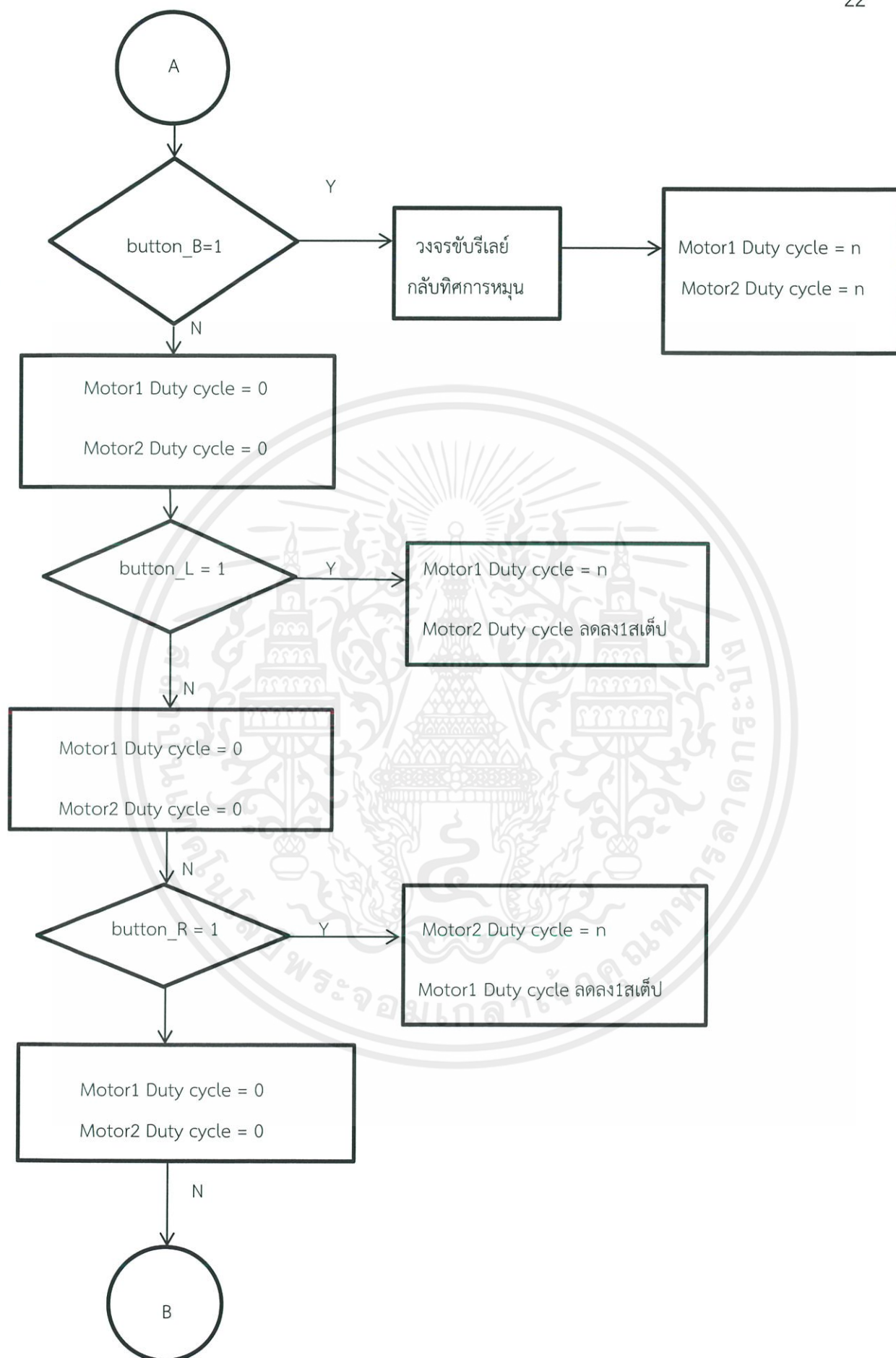


รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมการเลี้ยวของมอเตอร์รถเซ็นไฟฟ้า

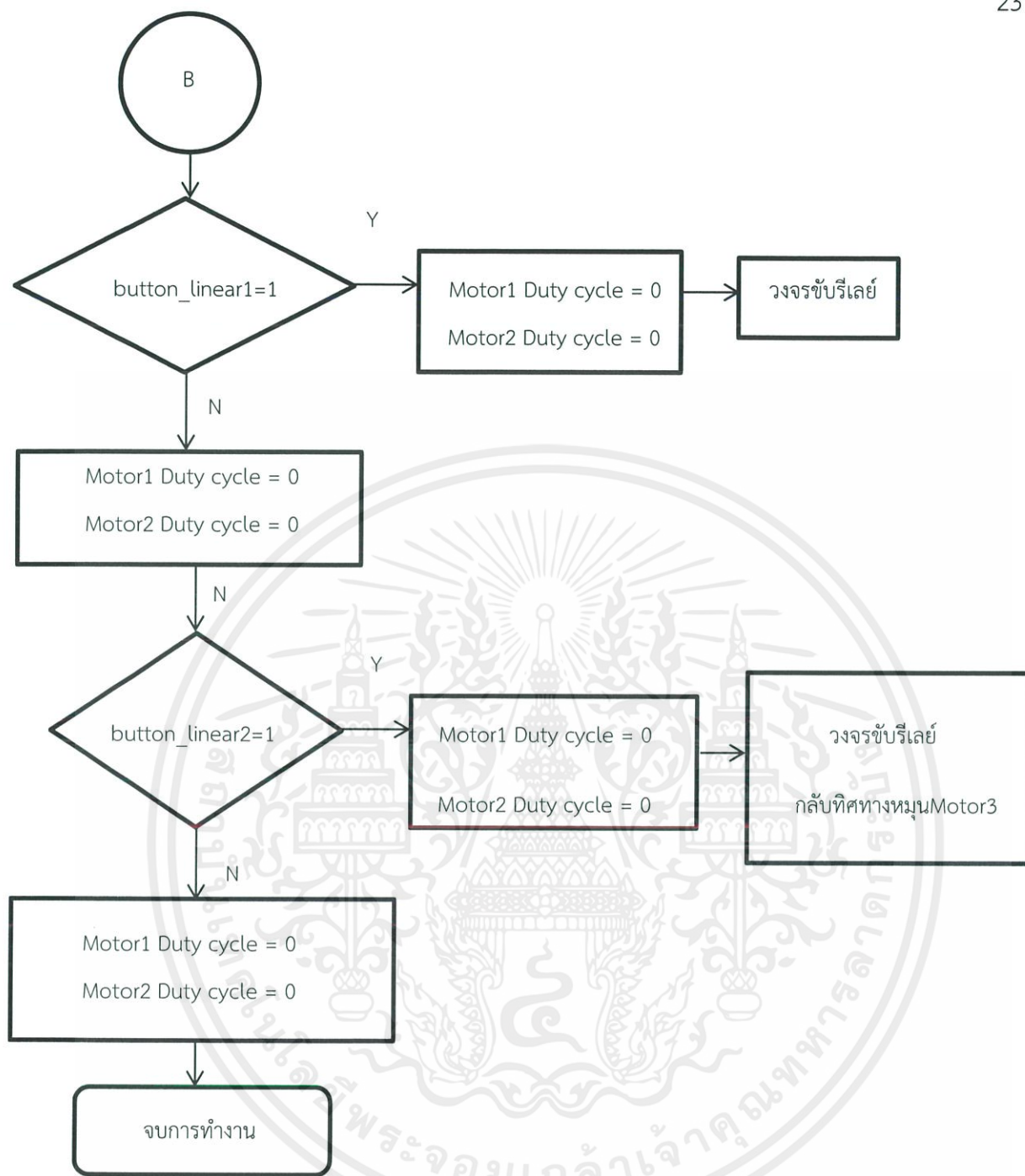
## 3.5.2 Flow chart

แสดงการทำงานดังรูป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



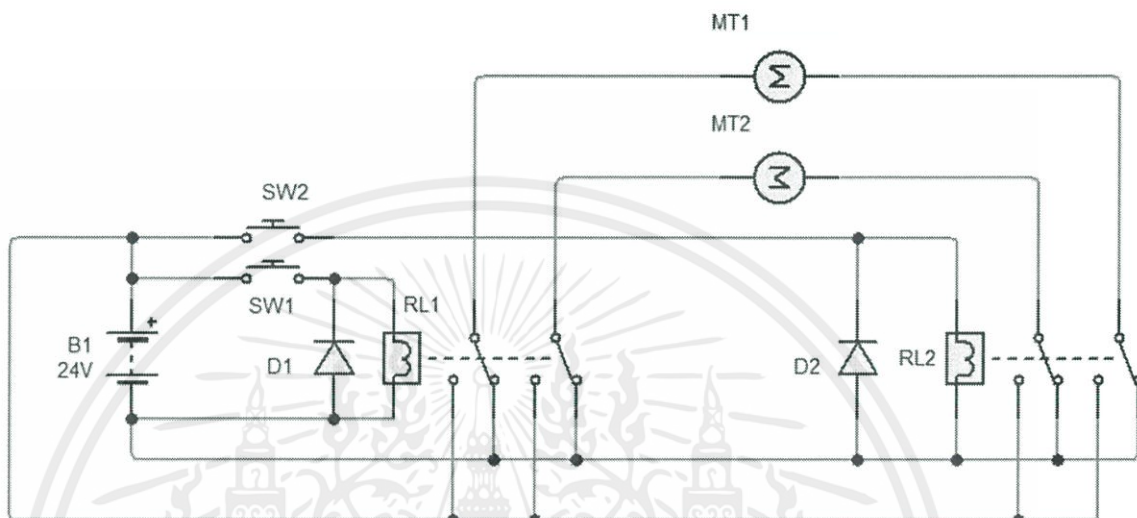
รูปที่ 3.11 Flowchart แสดงการทำงาน

หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ อันดับแรกไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าจากช่อง อนาล็อก อินพุตมาเก็บค่าในตัวแปร sensorValue หลังจากนั้นจะทำการหาร 12.8 เพื่อเปลี่ยนค่าจากเลข 10 บิตให้เป็น 8 บิต ลำดับต่อไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบค่าตัวแปรต่างๆ หากมีสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้ค่าตัวแปรเท่ากับ 1 และทำตามคำสั่งที่ตั้งค่าไว้ แต่หากเท่ากับ 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบเงื่อนไขลำดับต่อไปเรื่อยๆ

### 3.6 การออกแบบวงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

#### 3.6.1 การออกแบบวงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่

ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้กลับทิศการหมุนนั้น จำเป็นต้องมีวงจรในการกลับทิศกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้วงจรรีเลย์ช่วยในการกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองตัวในระบบการเคลื่อนที่เพื่อให้เดินหน้าและถอยหลัง โดยใช้รีเลย์ชนิดDPDT



ในการสร้างวงจรดังรูป

รูป 3.12 วงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่

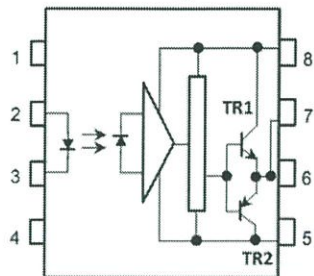
โดยรีเลย์ชนิดDPDTที่ใช้จำนวนสองตัวสามารถบังคับทิศทางการไหลที่ป้อนให้กับตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งก็คือการบังคับทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั่นเอง โดยไดโอด  $D_1, D_2$  เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากคือเป็นไดโอดที่ป้องกันแรงดันโวลต์ย้อนกลับที่เกิดจากรีเลย์ เราสามารถป้องกันได้โดยใช้รอยต่อ PN ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ไดโอดเบอร์1N4006 ซึ่งจะสามารถป้องกันแรงดันย้อนกลับได้ถึง 800V

### 3.7 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

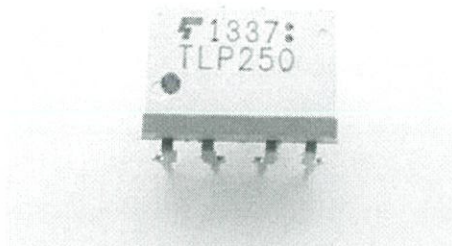
ในการขับสวิทช์นั้นต้องได้คำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณออกมาขับสวิทช์มีแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ แต่สวิทช์นั้นต้องการแรงดันในการขับสวิทช์อยู่ในช่วง 10 โวลต์ขึ้นไป จึงต้องมีวงจรในการช่วยขับเคลื่อนที่รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นคือ TLP 250

ในงานโครงการนี้ใช้ TLP250 เป็นตัวขับเคลื่อน โดยจะทำงานเมื่อมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามายังขาที่ 2 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นการสั่งให้ TLP 250 ทำงาน สัญญาณขับเคลื่อนจากขาที่ 6 เข้าขาเกตของIGBT ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 15 โวลต์ และต่อขา 5 (ขากราวด์) เป็นไฟ -5 โวลต์เพื่อเป็นการหยุดนำกระแสของสวิทช์ให้สนิท

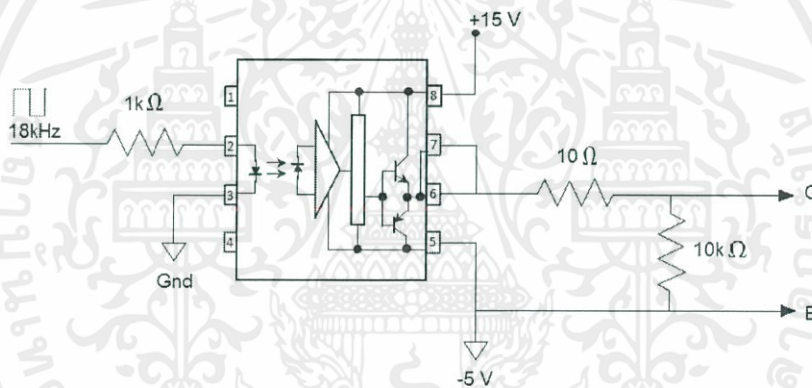
**Pin Configuration**



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V<sub>O</sub> (Output)
- 7 : V<sub>O</sub>
- 8 : V<sub>CC</sub>



รูปที่ 3.13 วงจรภายในTLP 250 และอุปกรณ์TLP250



รูปที่ 3.14 วงจรขับเคลื่อนIGBTด้วยTLP250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

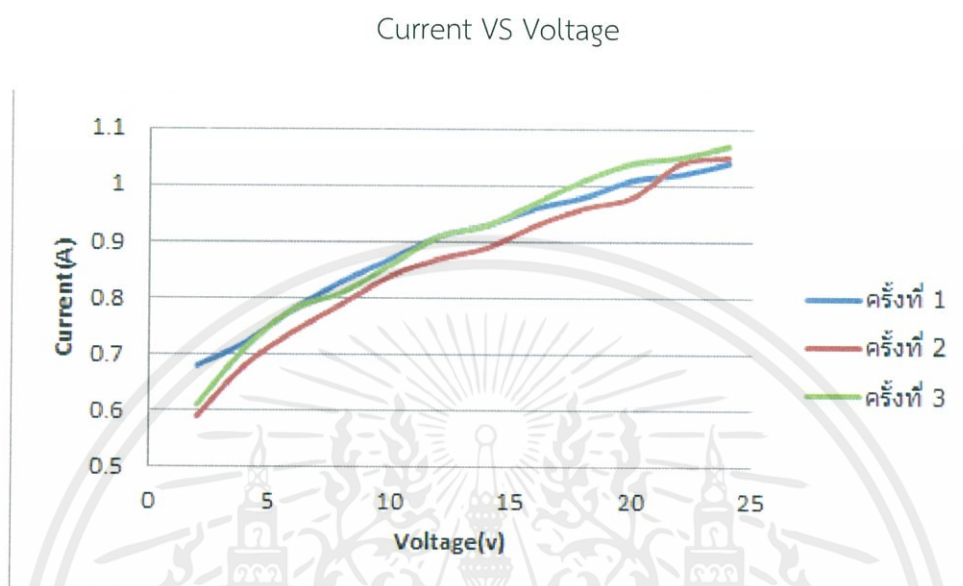
จากหลักการและทฤษฎีข้างต้นที่ได้นำเสนอมา ได้ทำการศึกษาและออกแบบบอร์ดเซ็นไฟฟ้าได้ทำการบันทึกผลการทดลองต่างๆ ดังนี้

#### 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองมอเตอร์สภาพNo-Load(ทำการทดลองทั้งสิ้น3ครั้ง)

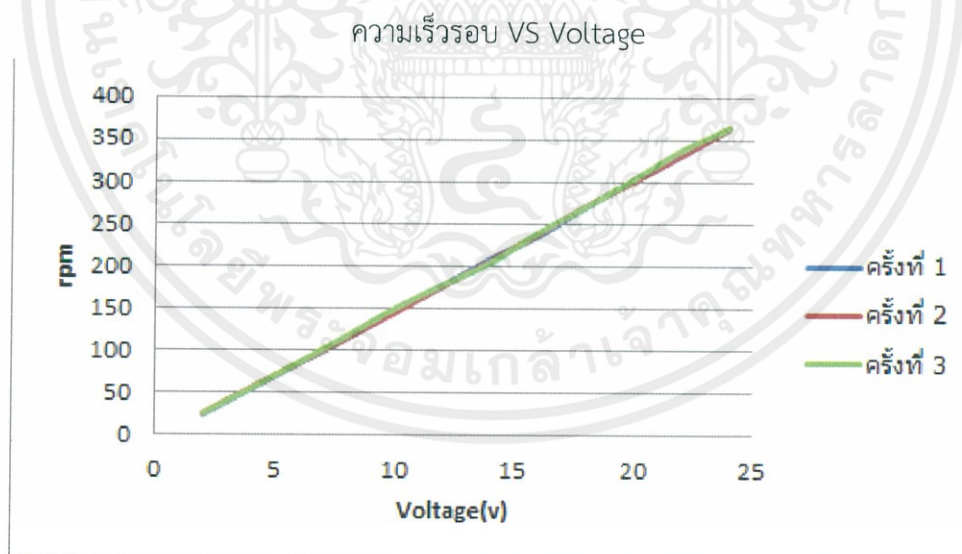
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมอเตอร์ สภาพ No-Load

V	I(1)	I(2)	I(3)	I(AVG)	rpm(1)	rpm(2)	rpm(3)	rpm(AVG)
2	0.68	0.59	0.61	0.626	24	25	25	24.67
4	0.72	0.68	0.71	0.703	54	55	54	54.33
6	0.78	0.74	0.78	0.77	84	84	85	84.33
8	0.83	0.79	0.81	0.81	114	114	117	115
10	0.87	0.84	0.86	0.873	147	145	150	147.33
12	0.91	0.87	0.91	0.897	177	176	178	177
14	0.93	0.89	0.93	0.917	209	206	204	206.33
16	0.96	0.93	0.97	0.953	236	238	240	238
18	0.98	0.96	1.01	0.983	271	272	271	271.33
20	1.01	0.98	1.04	1.01	302	301	304	302.33
22	1.02	1.04	1.05	1.036	332	332	338	334
24	1.04	1.05	1.07	1.053	364	363	364	363.67

กราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ( ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง แบบNo-Load )

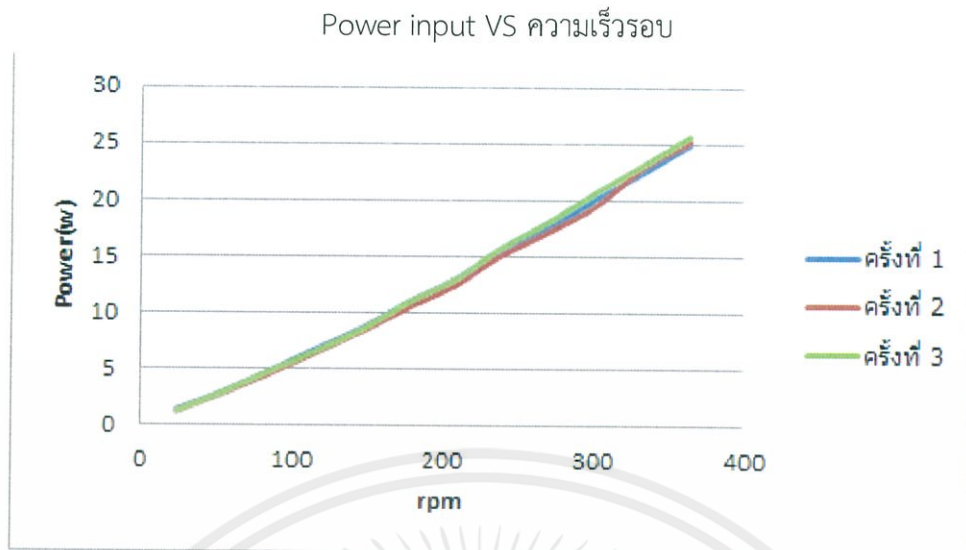


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



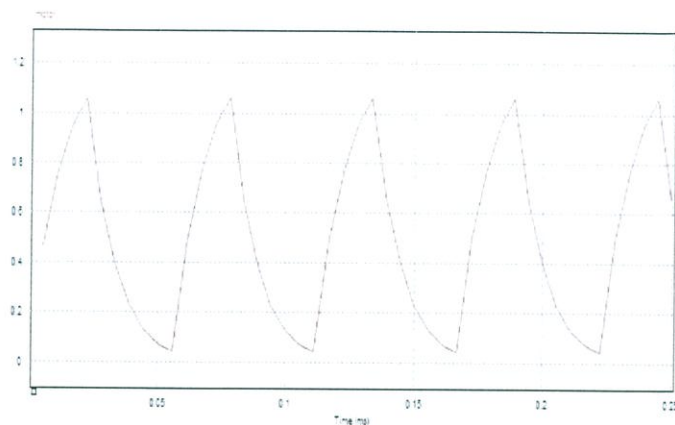
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าอินพุต

จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาแสดงผลดังกราฟต่างๆ ทำให้เห็นว่า แรงบิดมอเตอร์จะมีแนวโน้มตามกันกับค่ากระแสมอเตอร์ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นส่งผลให้ความเร็วรอบสูงขึ้นไปด้วย มอเตอร์ที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น ทำให้มอเตอร์มีความเร็วรอบที่สูงขึ้นตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ใส่เข้าไป

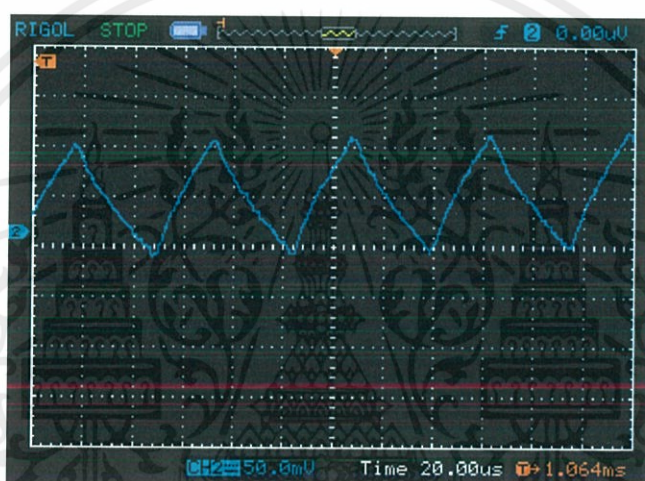
ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ที่เรานำมาพล็อตกราฟนั้น ได้จากการทดลองแบบ No-Load ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้งานเมื่อมี Load หรือมีน้ำหนักของคนเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่แนวโน้มของกำลังไฟฟ้า, ความเร็วรอบ, แรงดันไฟฟ้า หรือกระแส จะมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการทดลองแบบ No-Load หรือแนวโน้มตามกันนั่นเอง

ก่อนที่จะทำการทดลองการใช้งานจริงของ DC Chopper เราได้มีการทดสอบวงจรก่อนที่จะนำไปใช้จริงโดยการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากเอาต์พุตของวงจร DC Chopper นำมาเปรียบเทียบกับผลกราฟที่ได้จากการ Simulation ดังรูปที่ 4.4-4.15

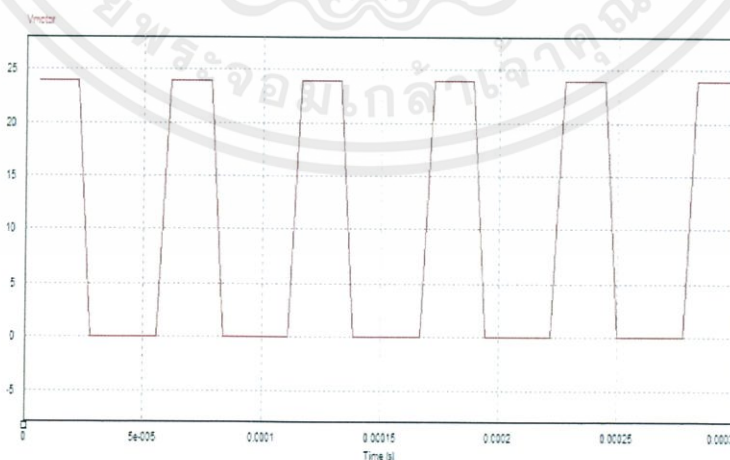
ผลการทดลองที่วัดที่ Output ของวงจร DC Chopper ได้จาก Oscilloscope สภาพ No-load ( ค่า Simulate จากโปรแกรมเทียบกับการทดลอง )



รูปที่ 4.4 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.4)

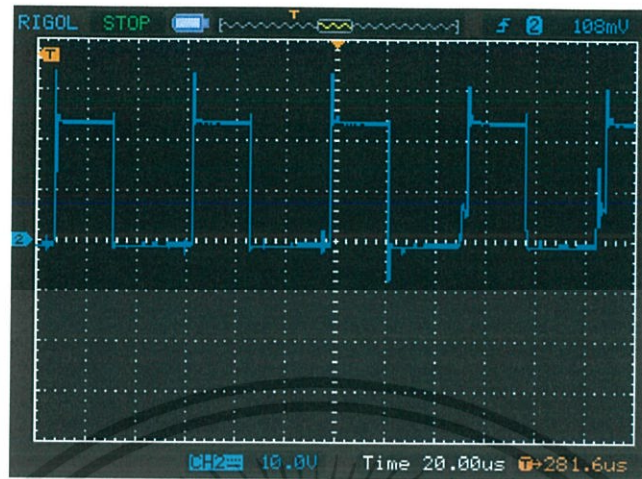


รูปที่ 4.5 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจาก Scope(Duty0.4)



รูปที่ 4.6 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.4)

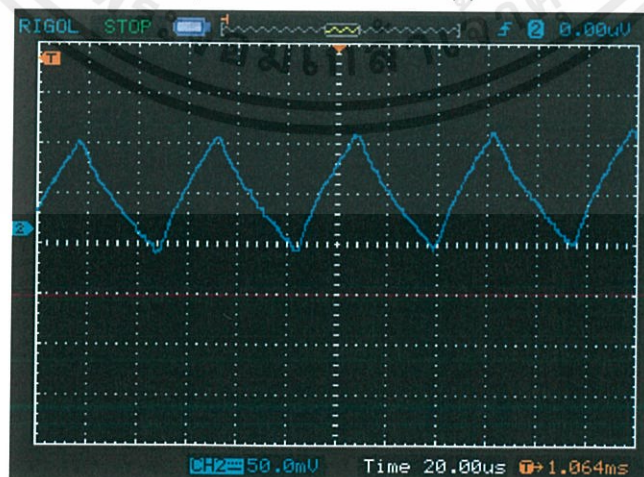
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจากScope(Duty0.4)

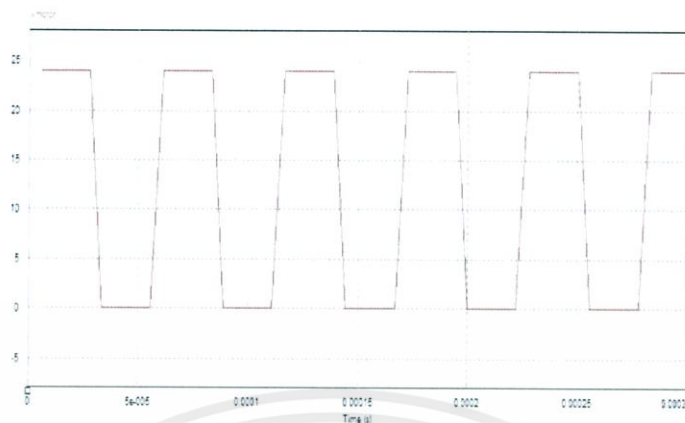


รูปที่ 4.8 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.5)

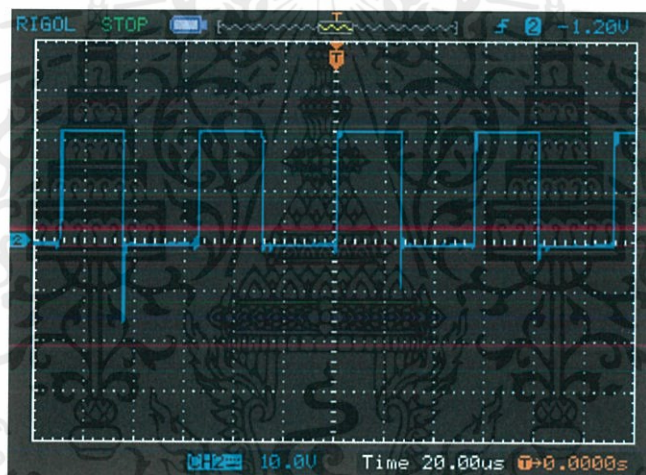


รูปที่ 4.9 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจากScope(Duty0.5)

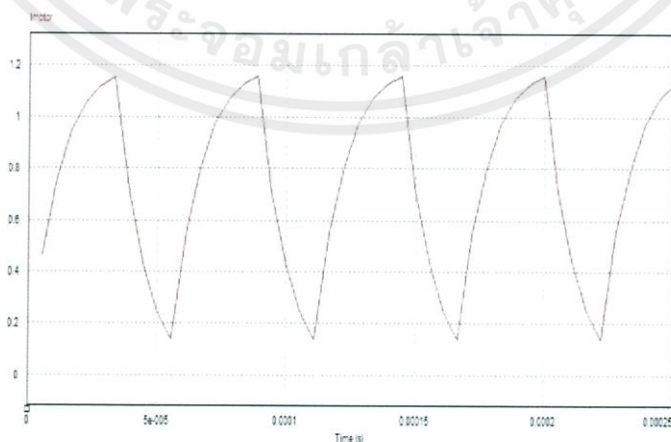
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.5)



รูปที่ 4.11 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจากScope(Duty0.5)

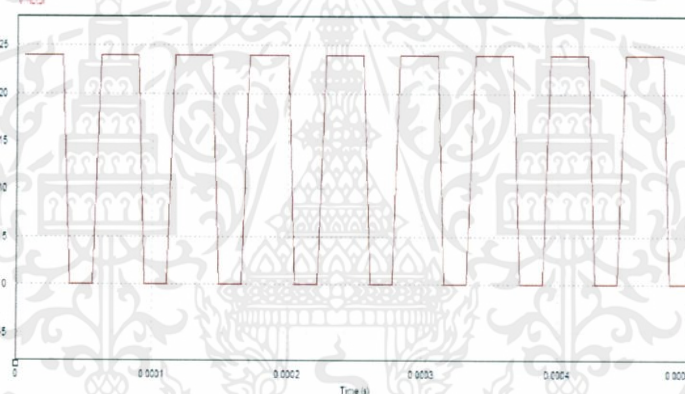


รูปที่ 4.12 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.6)

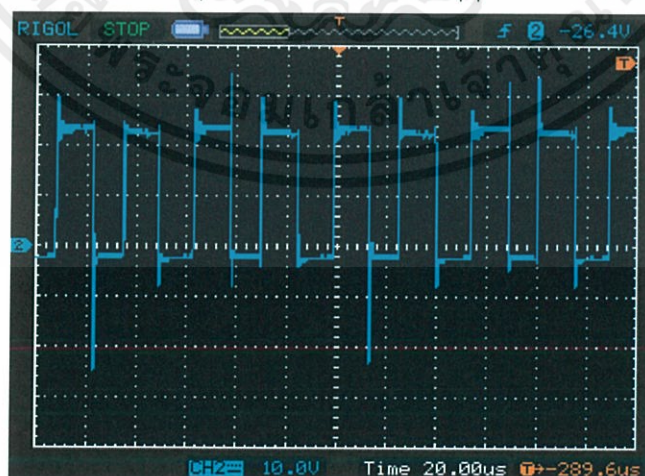
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟกระแส Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจากScope(Duty0.6)



รูปที่ 4.14 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper จากโปรแกรม(Duty0.6)



รูปที่ 4.15 กราฟแรงดัน Output ของวงจร DC Chopper ที่วัดจากScope(Duty0.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเช็คและเปรียบเทียบเอาท์พุทระหว่างทดลองจริงกับการ Simulation ของ DC Chopper จึงได้ทำการทดสอบการใช้งานร่วมกับ DC Motor โดยเราทำการวัดค่าแรงดัน กระแสที่เบตเตอร์, มอเตอร์ และวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวแล้วบันทึกค่าลงตารางที่ 4.2-4.13 เพื่อดูแนวโน้มของกำลังไฟฟ้าที่ออกมาจากเบตเตอร์และกำลังไฟฟ้าที่เข้าและออกจากวงจร DC Chopper โดยเราทำการทดสอบรถเข็นไฟฟ้าโดยการใช้ DC Chopper ในการขับเคลื่อนนั้น เราได้ให้คนขึ้นไปนั่งและบังคับรถเข็นด้วยตัวเอง นอกจากนี้เราได้ให้น้ำหนักของผู้นั่งเป็นภาระทางไฟฟ้าของมอเตอร์โดยที่เราได้ทำเลือกผู้ที่จะนำมาทำการทดสอบแบ่งเป็นน้ำหนักต่างๆ มี 50, 60 และ 70 กิโลกรัม เพื่อดูความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าและออกไปให้มอเตอร์ไฟฟ้าว่า เมื่อมีความแตกต่างจากภาระไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจะมีความเปลี่ยนแปลงอย่างไร

จากนั้นนำว่าผลการทดลองมาพลอตกราฟค่าความสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และใช้งาน



ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลังขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.2	3.74	6.01	11.55	86.76	69.41	80.00
4	23.2	4.06	6.49	11.62	94.19	75.4138	80.06
5	23.27	4.32	6.95	11.64	100.52	80.898	80.47
6	23.29	4.84	7.62	12.52	112.72	95.4024	84.63

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลังขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.19	3.77	6.22	11.67	87.42	72.5874	83.02
4	23.18	4.05	6.39	11.78	93.87	75.2742	80.18
5	23.23	4.27	6.74	12.04	99.19	81.1496	81.81
6	23.24	4.78	7.61	12.88	111.08	98.0168	88.23

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.29	3.94	6.62	11.7	91.76	77.45	84.40
4	23.29	4.54	7.03	12.8	105.73	89.98	85.10
5	23.3	5	7.7	13.4	116.5	103.18	88.56
6	23.3	5.71	8.12	13.97	133.04	113.43	85.26

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.24	3.77	6.58	11.23	87.61	73.89	84.33
4	23.25	4.43	7	12.54	102.9	87.78	85.22
5	23.25	4.88	7.66	13	113.46	99.58	87.76
6	23.26	5.34	8.01	13.46	124.20	107.81	86.80

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเดินหน้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.05	4.06	6.06	12.88	93.58	78.05	83.40
4	23.08	4.96	6.99	13.21	114.47	92.33	80.66
5	23.17	5.72	7.87	13.81	132.53	108.68	82.00
6	23.19	6.22	8.56	14.08	144.24	120.52	83.55

ทิศทาง เดินหน้า ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.12	3.73	6.01	11.92	86.23	71.63	83.07
4	23.14	4.82	6.91	12.87	111.53	88.93	79.73
5	23.15	5.34	7.71	13.02	123.62	100.38	81.20
6	23.14	5.98	8.44	13.68	138.37	115.45	83.43

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.22	3.54	6.04	11.23	82.19	67.82	82.51
4	23.23	3.94	6.31	11.53	91.52	72.75	79.49
5	23.27	4.36	7.02	11.75	101.45	82.48	81.30
6	23.27	4.88	7.69	12.74	113.55	97.97	86.27

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.13	3.84	6.12	11.62	88.81	71.11	80.06
4	23.12	4.1	6.44	11.84	94.79	76.24	80.43
5	23.16	4.3	6.81	12.11	99.58	82.46	82.81
6	23.2	4.81	7.57	12.94	111.59	97.95	87.78

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.28	3.93	6.64	11.72	91.49	77.82	85.05
4	23.29	4.56	7.05	12.83	106.20	90.45	85.16
5	23.29	5.02	7.68	13.28	116.91	101.99	87.23
6	23.3	5.54	8.13	13.64	129.08	110.89	85.90

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.25	3.77	6.5	11.5	87.65	74.75	85.27
4	23.25	4.47	6.95	12.52	103.92	87.014	83.72
5	23.24	4.91	7.44	13.04	114.10	97.01	85.02
6	23.23	5.38	8.03	13.45	124.97	108.00	86.41

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองถอยหลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.04	4.07	6.08	12.84	93.77	78.06	83.25
4	23.1	4.98	7.12	13.11	115.03	93.34	81.14
5	23.15	5.69	7.92	13.82	131.72	109.45	83.09
6	23.11	6.12	8.34	14.75	141.43	123.01	86.97

ทิศทาง ถอยหลัง ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.08	3.61	6.03	11.36	83.31	68.50	82.21
4	23.09	4.86	6.94	12.75	112.21	88.48	78.85
5	23.14	5.42	7.75	13.01	125.41	100.82	80.39
6	23.14	6.07	8.22	14.2	140.45	116.72	83.10

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยงข้าวของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.11	4.26	6.58	12.02	98.44	79.09	80.33
4	23.13	4.84	7.32	12.55	111.94	91.86	82.06
5	23.13	5.52	8.02	13.28	127.67	106.50	83.41
6	23.13	6.74	8.67	14.87	155.89	128.92	82.69

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.12	1.38	3.21	7.88	31.90	25.29	79.28
4	23.13	1.39	3.58	7.28	32.15	26.06	81.06
5	23.13	1.42	3.99	6.41	32.84	25.57	77.86
6	23.13	1.56	4.31	6.72	36.08	28.96	80.26

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลียวซ้ายของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีไหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.11	4.61	6.44	13.7	106.53	88.22	82.81
4	23.1	5.48	7.16	14.5	126.58	103.82	82.01
5	23.1	6.57	7.88	15.2	151.76	119.77	78.92
6	23.09	7.12	8.23	15.81	164.40	130.11	79.14

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีไหลดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า (วัตต์)	กำลัง ขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.1	1.86	3.21	10.55	42.966	33.86	78.81
4	23.09	2.1	3.54	11.22	48.489	39.71	81.91
5	23.09	2.3	3.84	11.44	53.107	43.92	82.71
6	23.08	2.36	4.02	11.23	54.4688	45.14	82.88

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลี้ยงซ้ายของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.05	4.56	6.38	13.54	105.10	86.38	82.18
4	23.08	4.96	7.17	13.66	114.47	97.94	85.55
5	23.06	6.72	7.82	16.6	154.96	129.81	83.76
6	23.01	8.03	8.59	17.41	184.77	149.55	80.93

ทิศทาง เลี้ยวซ้าย ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลัง ขาเข้า (วัตต์)	กำลัง ขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.06	2.03	3.12	10.66	46.81	33.25	71.04
4	23.07	2.14	3.66	11.22	49.36	41.06	83.17
5	23.07	2.08	3.95	10.12	47.98	39.97	83.30
6	23.02	2.04	4.22	9.05	46.96	38.19	81.32

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเสี้ยวขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (50kg)

ทิศทาง เสี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า (วัตต์)	กำลังขา ออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.14	1.35	3.24	7.78	31.239	25.2072	80.69144339
4	23.13	1.41	3.57	7.36	32.6133	26.2752	80.56590409
5	23.13	1.4	3.94	6.72	32.382	26.4768	81.76394293
6	23.12	1.61	4.44	6.76	37.2232	30.0144	80.63358336

ทิศทาง เสี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 50 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า(วัตต์)	กำลังขา ออก(วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.14	4.31	6.52	12.19	99.7334	79.4788	79.691256
4	23.12	4.74	7.32	12.33	109.5888	90.2556	82.358416
5	23.12	5.48	8.11	13.02	126.6976	105.5922	83.341910
6	23.12	6.67	8.71	14.66	154.2104	127.6886	82.801549

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเลียขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (60kg)

ทิศทาง เลี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า (วัตต์)	กำลังขา ออก(วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.11	1.81	3.28	10.32	41.8291	33.8496	80.92356756
4	23.09	2.19	3.59	11.28	50.5671	40.4952	80.08210872
5	23.09	2.24	3.89	11.01	51.7216	42.8289	82.80660304
6	23.08	2.31	4.11	10.64	53.3148	43.7304	82.02300299

ทิศทาง เลี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีไหลค่น้ำหนัก 60 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า(วัตต์)	กำลังขา ออก(วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.11	4.66	6.52	13.64	107.6926	88.9328	82.580233
4	23.11	5.52	7.24	14.22	127.5672	102.9528	80.70475796
5	23.11	6.51	7.78	15.18	150.4461	118.1004	78.50014058
6	23.08	7.27	8.14	15.92	167.7916	129.5888	77.23199493

ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองเสี้ยวขวาของมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 (70kg)

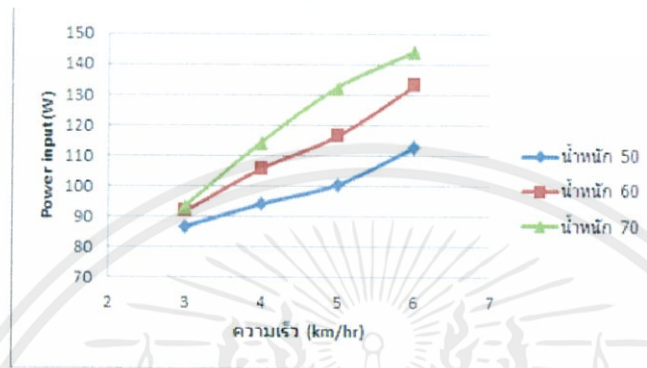
ทิศทาง เสี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า (วัตต์)	กำลังขา ออก(วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.05	2.29	3.87	10.84	52.7845	41.9508	79.47560363
4	23.04	2.28	3.66	11.32	52.5312	41.4312	78.86970029
5	23.02	2.11	3.91	10.12	48.5722	39.5692	81.46470615
6	23.02	2.21	4.23	10.01	50.8742	42.3423	83.22941688

ทิศทาง เสี้ยวขวา ของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมีโหลดน้ำหนัก 70 กิโลกรัม							
ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชม.)	แรงดัน แบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแส แบตเตอรี่ (แอมป์)	แรงดัน เข้า มอเตอร์ (โวลต์)	กระแส เข้า มอเตอร์ (แอมป์)	กำลังขา เข้า(วัตต์)	กำลังขา ออก(วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
3	23.04	4.31	6.24	13.04	99.3024	81.3696	81.94122196
4	23.06	4.88	7.11	13.21	112.5328	93.9231	83.46286594
5	23.04	6.66	7.81	16.51	153.4464	128.9431	84.03136209
6	23.02	8.15	8.77	17.48	187.613	153.2996	81.71054245

จากที่เราวัดค่าและบันทึกผลพารามิเตอร์จากการทดสอบรถเข็นไฟฟ้า ทั้งเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย-ขวา เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดสอบมาพลอตเป็นกราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ตามรูปที่ 4.16-4.31 เพื่อให้ง่ายต่อวิเคราะห์การทำงานของรถเข็นไฟฟ้าตัวนี้

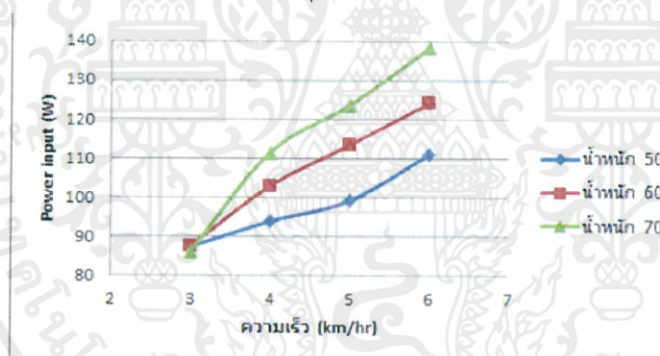
กราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ได้จากค่าพารามิเตอร์

Power input VS ความเร็ว



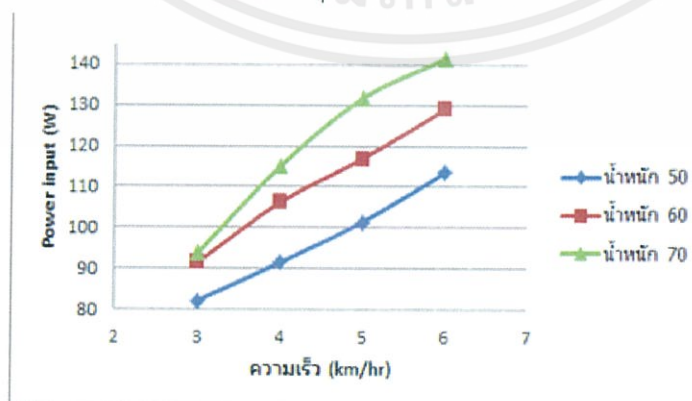
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 1 (เดินหน้า)

Power input vs ความเร็ว



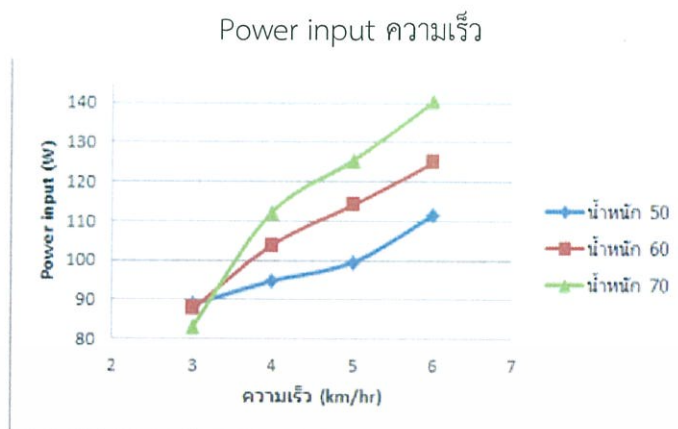
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 2 (เดินหน้า)

Power input VS ความเร็ว

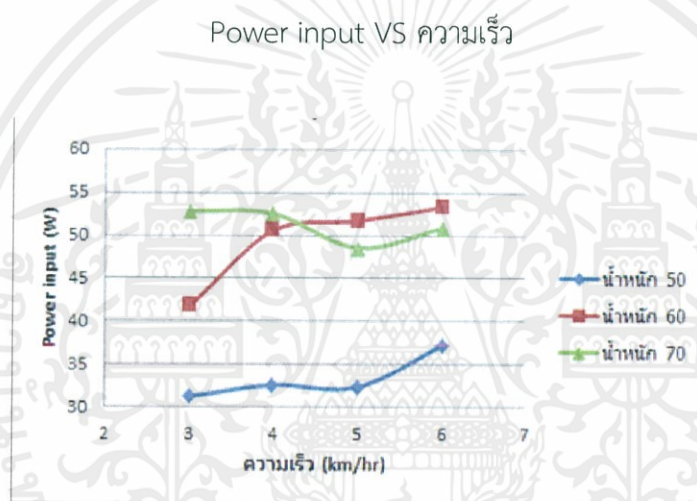


รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 1 (ถอยหลัง)

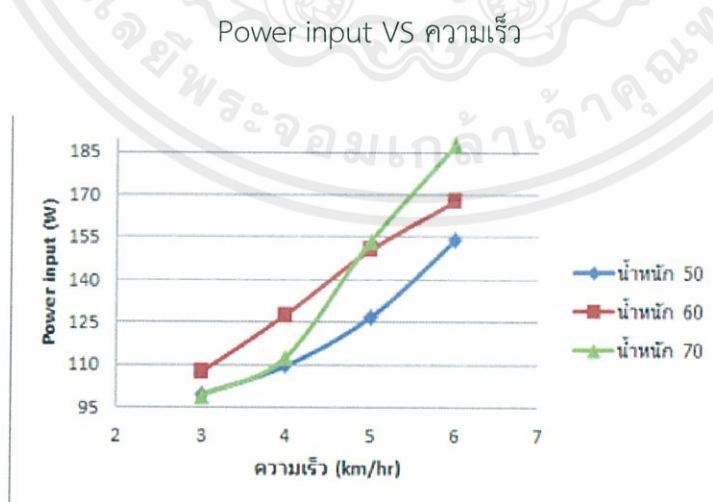
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 2 (ถอยหลัง)

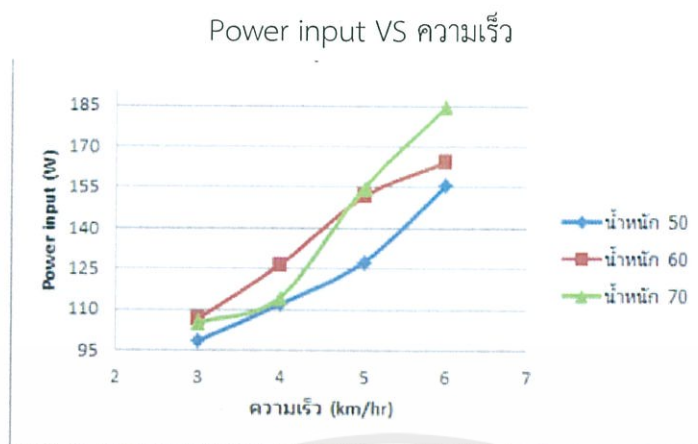


รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 1 (เลี้ยวซ้าย)

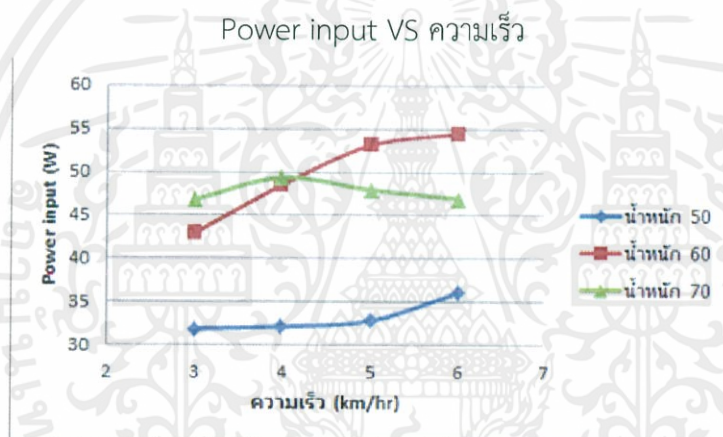


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 2 (เลี้ยวซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

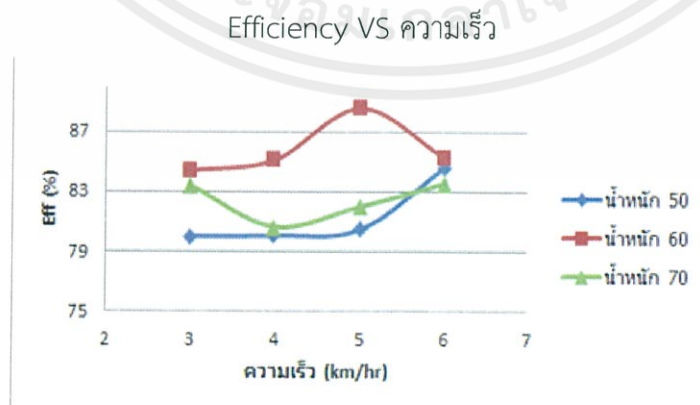


รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 1 (เลี้ยวขวา)



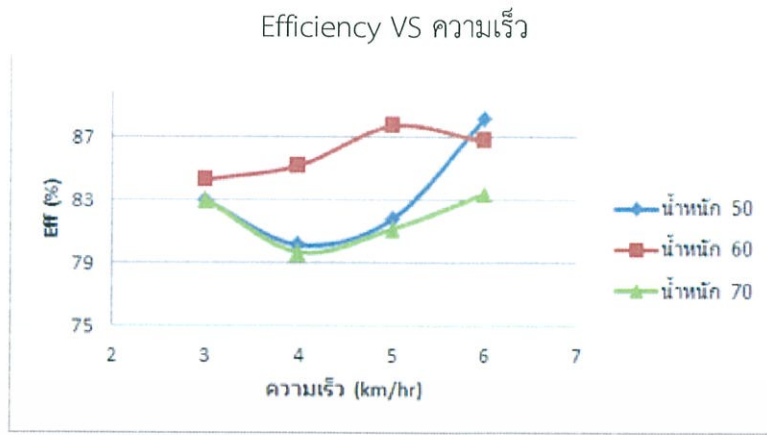
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้ากับความเร็วของมอเตอร์ 2 (เลี้ยวขวา)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วที่น้ำหนักต่างๆ

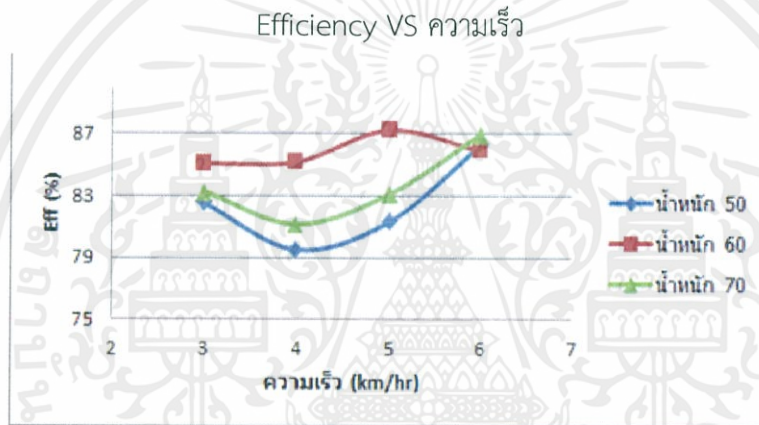


รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถูกกับความเร็วของมอเตอร์ตัวที่1 (เดินหน้า)

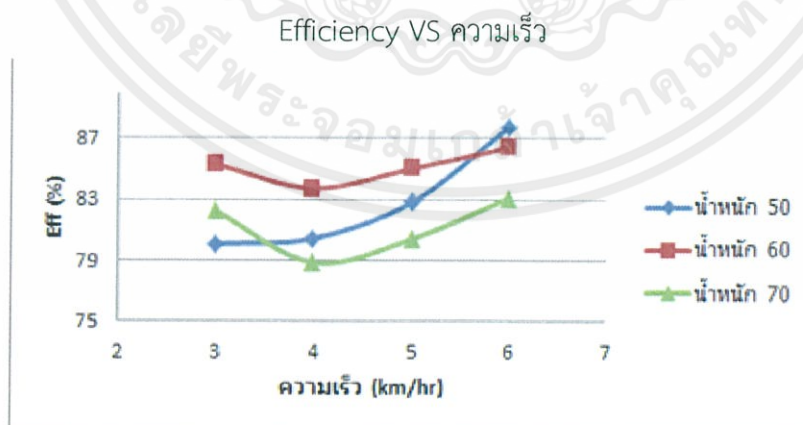
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วของมอเตอร์ตัวที่2 (เดินหน้า)

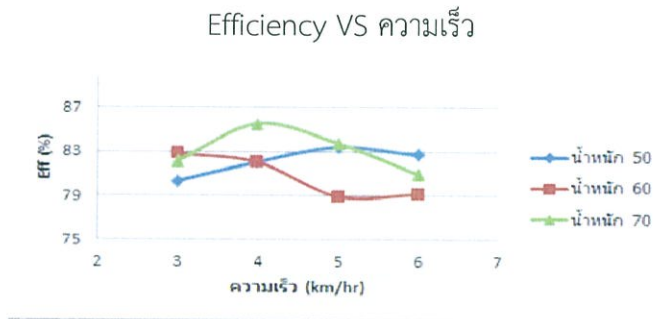


รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วของมอเตอร์ตัวที่1 (ถอยหลัง)

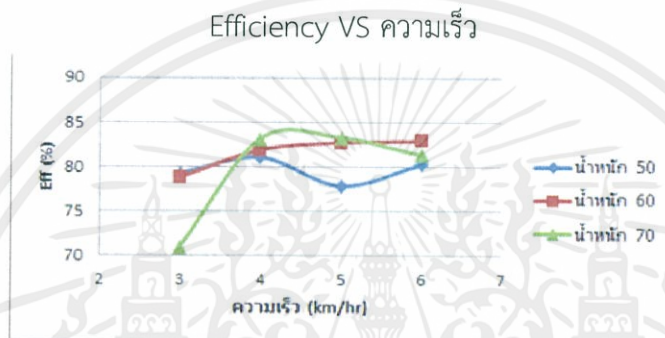


รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรถับความเร็วของมอเตอร์ตัวที่2 (ถอยหลัง)

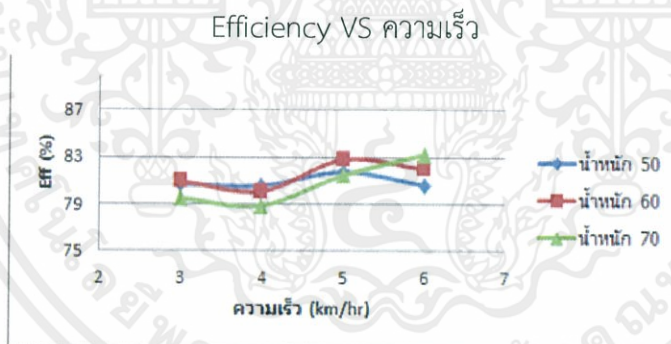
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



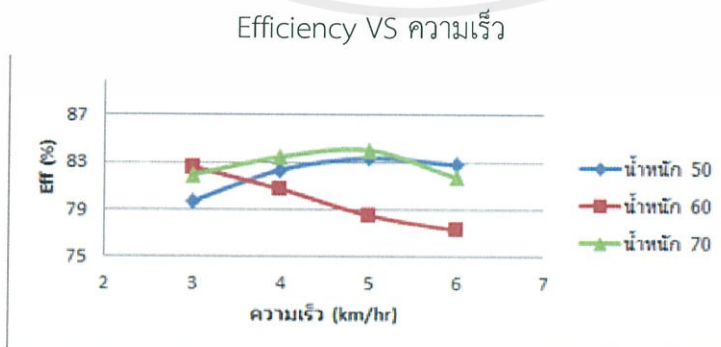
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรมอเตอร์ตัวที่1 (เลี้ยวซ้าย)



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรมอเตอร์ตัวที่2 (เลี้ยวซ้าย)



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรมอเตอร์ตัวที่1 (เลี้ยวขวา)



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพวงจรมอเตอร์ตัวที่2 (เลี้ยวขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์จากการทดลองของระบบยก

การทดลองสภาพ No Load				
การทดลองครั้งที่	ยกขึ้น		ยกลง	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	11.82	1.56	11.78	1.46
2	11.80	1.49	11.81	1.49
3	11.78	1.52	11.80	1.50

การทดลองสภาพ Load 50 kg				
การทดลองครั้งที่	ยกขึ้น		ยกลง	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	11.82	1.59	11.78	1.44
2	11.80	1.56	11.81	1.49
3	11.78	1.52	11.80	1.43

การทดลองสภาพ Load 60 kg				
การทดลองครั้งที่	ยกขึ้น		ยกลง	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	11.8	1.68	11.83	1.4
2	11.80	1.65	11.81	1.49
3	11.78	1.58	11.80	1.50

การทดลองสภาพ Load 70 kg				
การทดลองครั้งที่	ยกขึ้น		ยกลง	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	11.7	1.78	11.82	1.32
2	11.78	1.68	11.81	1.43
3	11.81	1.73	11.84	1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุป

จากการศึกษาและทดลองวงจร DC Chopper ในส่วนการควบคุมการเคลื่อนที่ และกำหนดความเร็วรอบของรถเข็นไฟฟ้า สามารถควบคุมจากการปรับแรงดันขาออกของวงจร DC Chopper โดยการปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณPWM ที่จ่ายให้อุปกรณ์Switching คือ IGBT เพื่อให้ได้แรงดันขาออกที่ต้องการ โดยค่าDuty cycleจะแปรผันตรงตามแรงดันขาออกทำให้ทราบว่า ยิ่งค่าDuty cycleของสัญญาณPWM มีค่าน้อยลงจะส่งผลให้แรงดันขาออกมีค่าน้อยลงตาม และแรงดันขาออกที่ส่งไปยังมอเตอร์จะแปรผันตรงตามความเร็วรอบของมอเตอร์ กล่าวคือยิ่งค่าแรงดันขาออกมีค่าน้อยจะส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์น้อยลงตามซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ทำให้สามารถควบคุมความเร็วรอบของรถเข็นไฟฟ้าได้ ในกรณีการเลี้ยงของรถเข็นไฟฟ้านั้น สามารถที่จะทำได้โดยการทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ควบคุมที่ล้อทั้งสองชุดต่างกัน กล่าวคือ รถเข็นไฟฟ้าจะเลี้ยงตามทิศที่ล้อมีความเร็วรอบมากกว่าด้านล้ออีกฝั่งหนึ่ง และในกรณีเดินหน้าหรือถอยหลังสามารถทำได้โดยการกลับทิศการหมุนของมอเตอร์โดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งทำได้โดยการทำงานจรรีเลย์มาช่วยในการกลับทิศทางการไหลของกระแสเพื่อป้อนไปยังมอเตอร์ไฟฟ้า ในส่วนระบบยกของรถเข็นไฟฟ้าใช้วงจรรีเลย์ในการกำหนดทิศการไหลของกระแสที่ป้อนให้ Linear Actuator มีผลทำให้สามารถควบคุมทิศการขึ้นหรือลงของระบบยกได้

จากการทดลอง ได้ทำการทดลองสัญญาณ PWM ที่ทุกๆ Duty cycle และที่น้ำหนักต่างๆ เพื่อให้ได้ค่า Duty cycle ที่เหมาะสมสำหรับคนที่จะมานั่งรถเข็นไฟฟ้าเพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานในส่วนของผู้สูงอายุสามารถควบคุมความเร็วของรถเข็นไฟฟ้าได้ที่มีความเร็วที่ไม่เร็วหรือช้าจนเกินไปสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งจากการที่ได้ทดลองการควบคุมสัญญาณ PWM ที่ Duty Cycle ต่างๆจะได้ว่าค่า Duty 35-60 หรือถ้าแปลงเป็นหน่วยของความเร็วจะได้เป็น 4-6 km/hour ที่เรจำกัดขอบเขตของความเร็วไว้เพื่อไม่ให้ผู้ใช้งานบังคับให้เร็วหรือช้าจนเกินความจำเป็นในการใช้งานจริงนั่นเอง และในส่วนของระบบยกมีความเร็วในการยกขึ้นหรือลงแต่ละรอบอยู่ที่ประมาณ30วินาที

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานเป็นแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดและมีความจุที่น้อย ทำให้ระยะเวลาการใช้งานน้อยและชนิดของแบตเตอรี่เองก็มีน้ำหนักมาก อาจมีการปรับเปลี่ยนมาใช้แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาและมีความจุที่มากกว่า เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน
2. มอเตอร์ในส่วนของระบบเคลื่อนที่ยังมีกำลังไฟฟ้าน้อยอยู่จึงไม่สามารถขึ้นพื้นที่ลาดเอียงได้
3. ในส่วนของระบบยกที่ยังไม่สามารถปรับความเร็วในการยกขึ้นหรือลงได้ตามความต้องการผู้ใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง, พิมพ์ครั้งที่ 2  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2554.
- [2] อีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย , เอกสารประกอบการสอนวิชา  
Electrical Machine, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.
- [3] E, Hughes , "Hughes , electrical technology" London : Longman, 1997.
- [4] V, Subrahmanyam, Power Electronics , 2nd Edition, 2006.
- [5] M, Clifford , Modern Electric/Electronic Motors, Prentice-Hall, Inc. 1990.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลอุปกรณ์วัดค่า

	<p>Digital Oscilloscope (Rigol) รุ่น DS1052E</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 Analog channels + external trigger</li> <li>1 Million point deep memory</li> <li>1 GSa/sec max sample rate</li> <li>5.7" TFT QVGA (320X240) with 64K color LCD backlit display</li> <li>Trigger modes : edge, pulse width, slope, video, pattern, continuous time, and alternate</li> </ul>
	<p>CLAMP METER รุ่น CM-9942G</p> <p>รายละเอียด วัด ACV, ACA, DCV, ohms, HZ, Capacitance, Diode</p> <p>สมาร์ทฟังก์ชัน Auto Range</p> <p>ฟังก์ชัน "A" สำหรับวัด ACA</p> <p>ฟังก์ชัน "V" สำหรับวัด ACV, DCV</p> <p>ฟังก์ชัน "Ω" สำหรับวัด Resistance, Diode, Capacitor</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Digital Multi Meter (Hewlett Packard)

รุ่น 973A

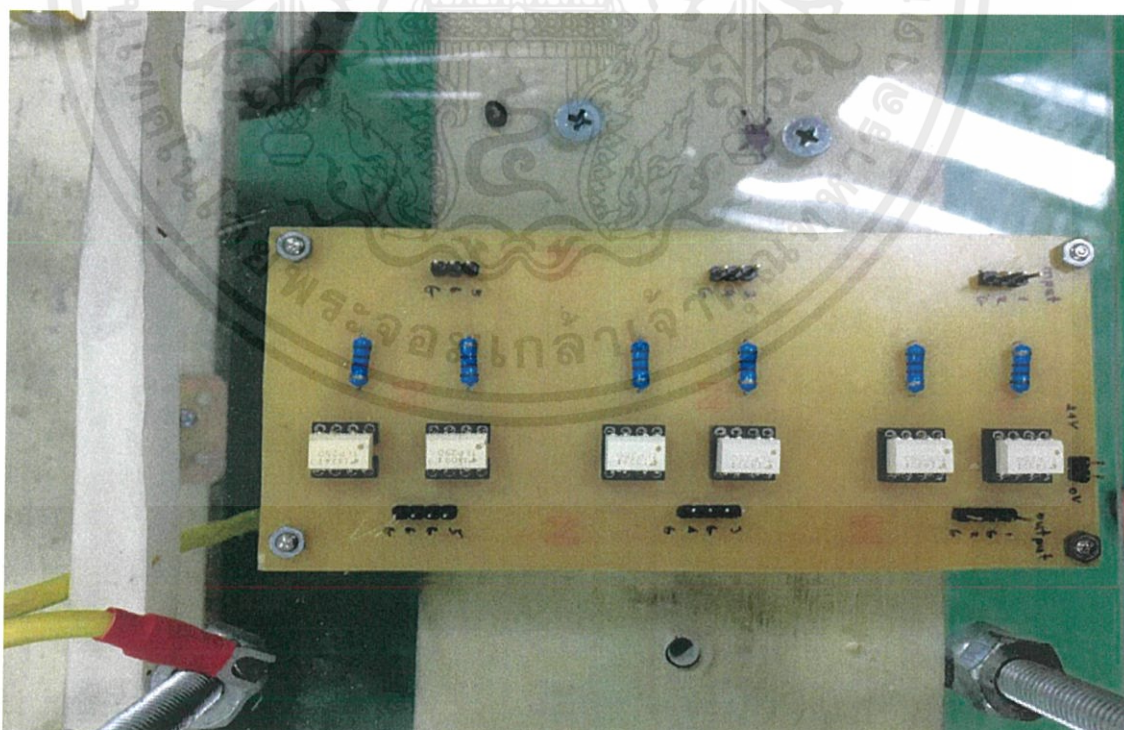
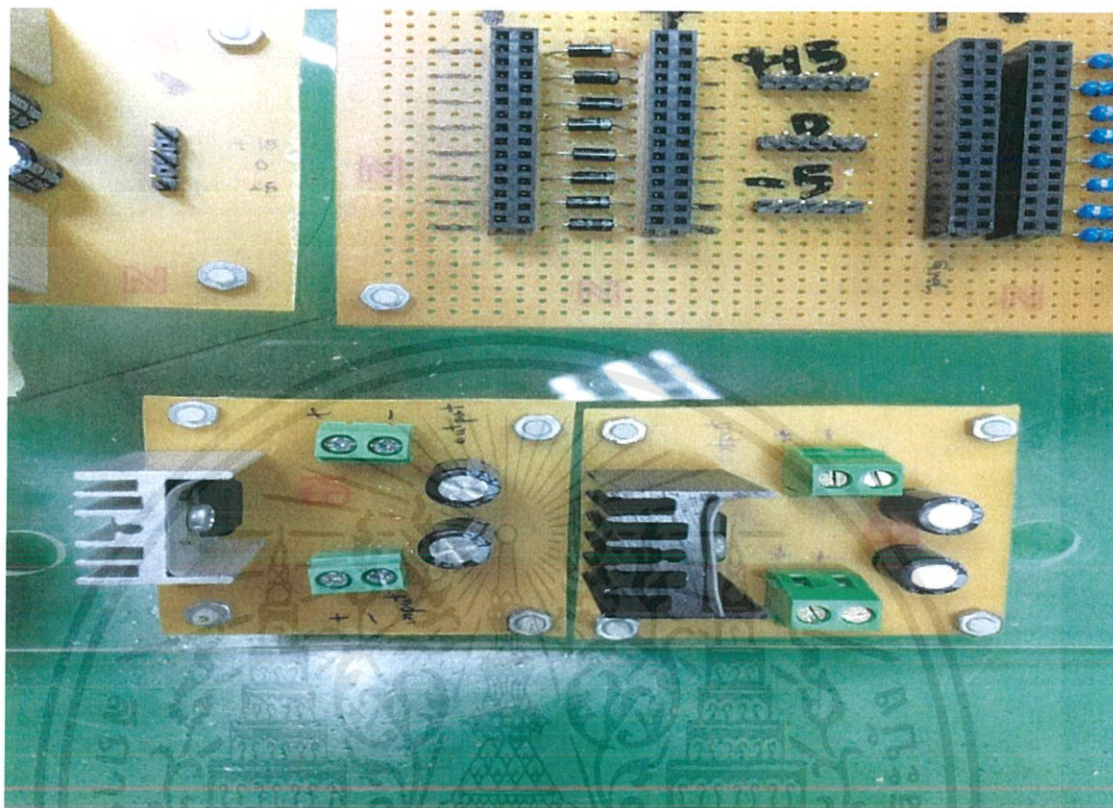
รายละเอียด Vac or Vdc : 1000/1000

Volts

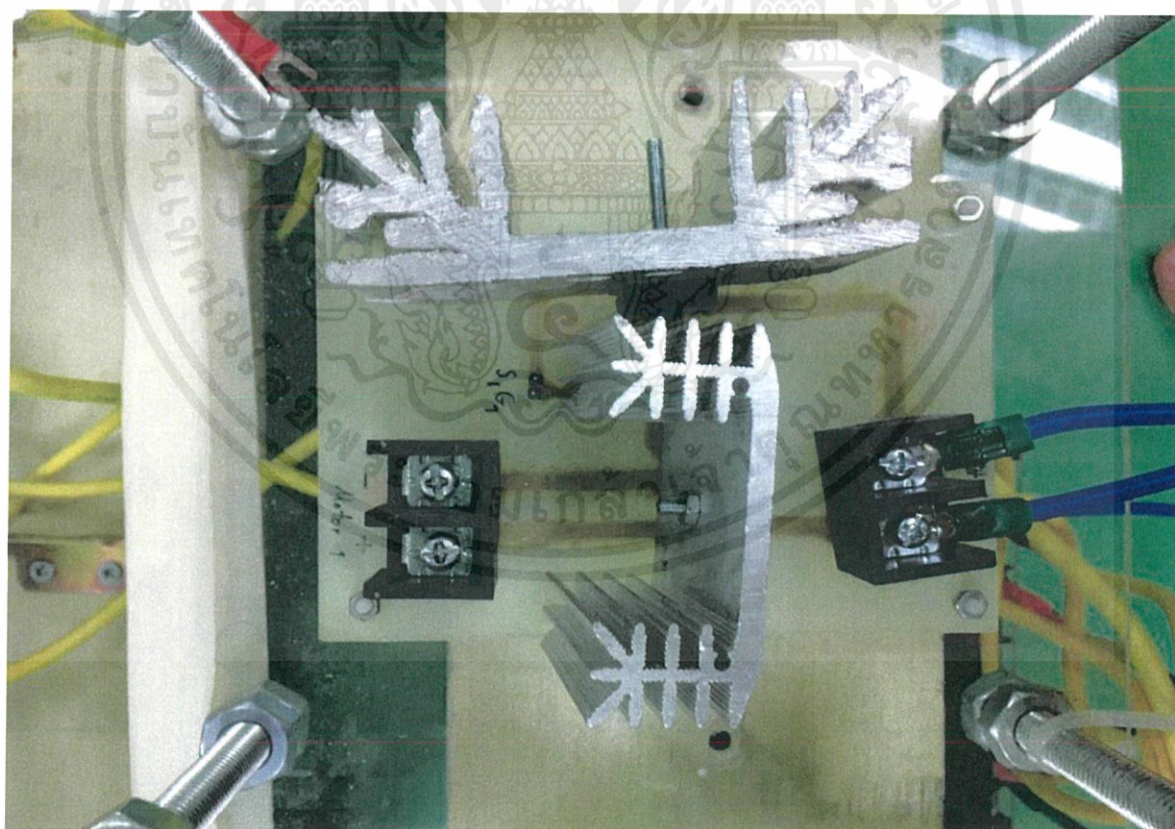
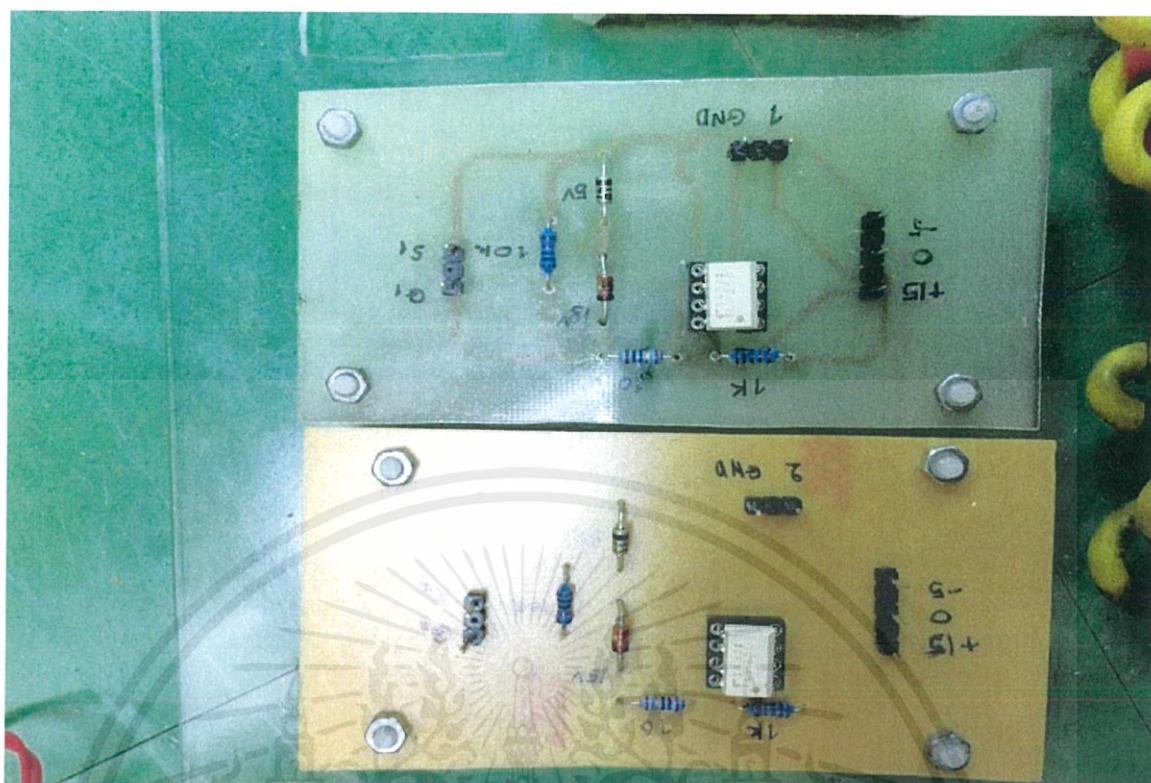
Iac or Idc : 0 to 10 Amps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

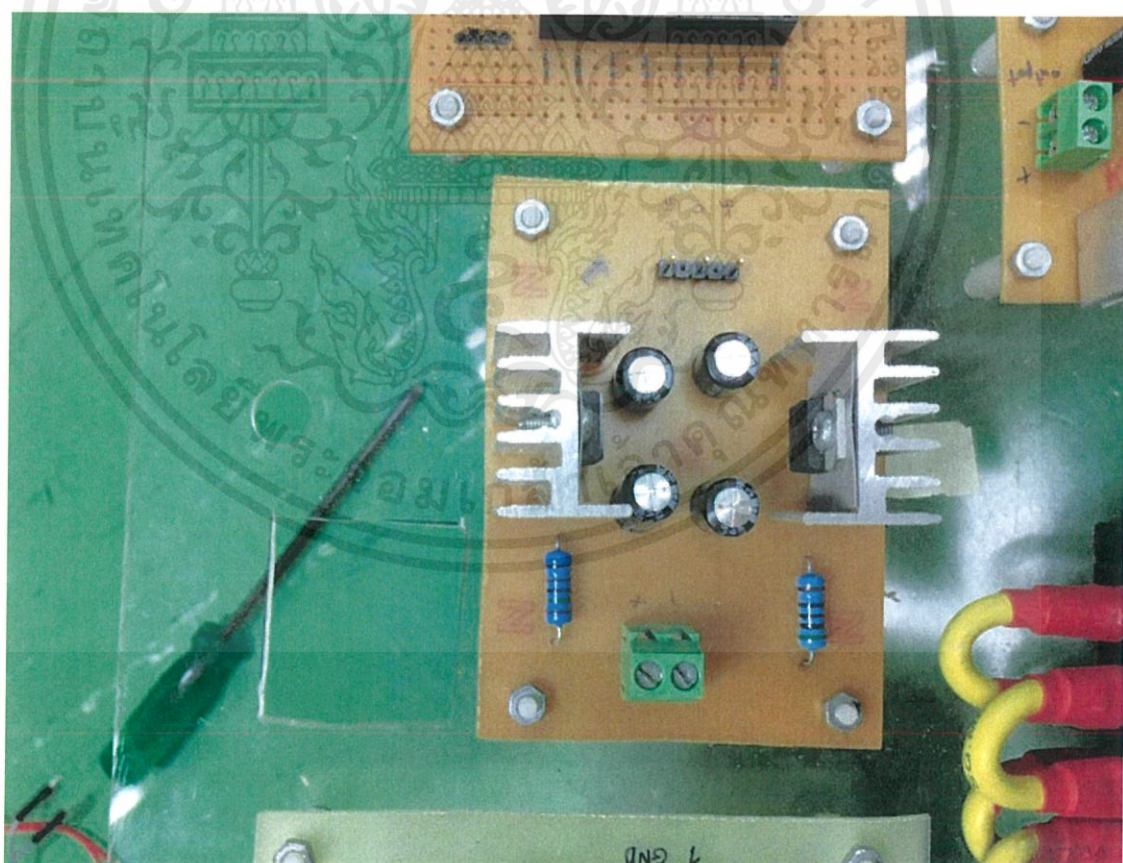
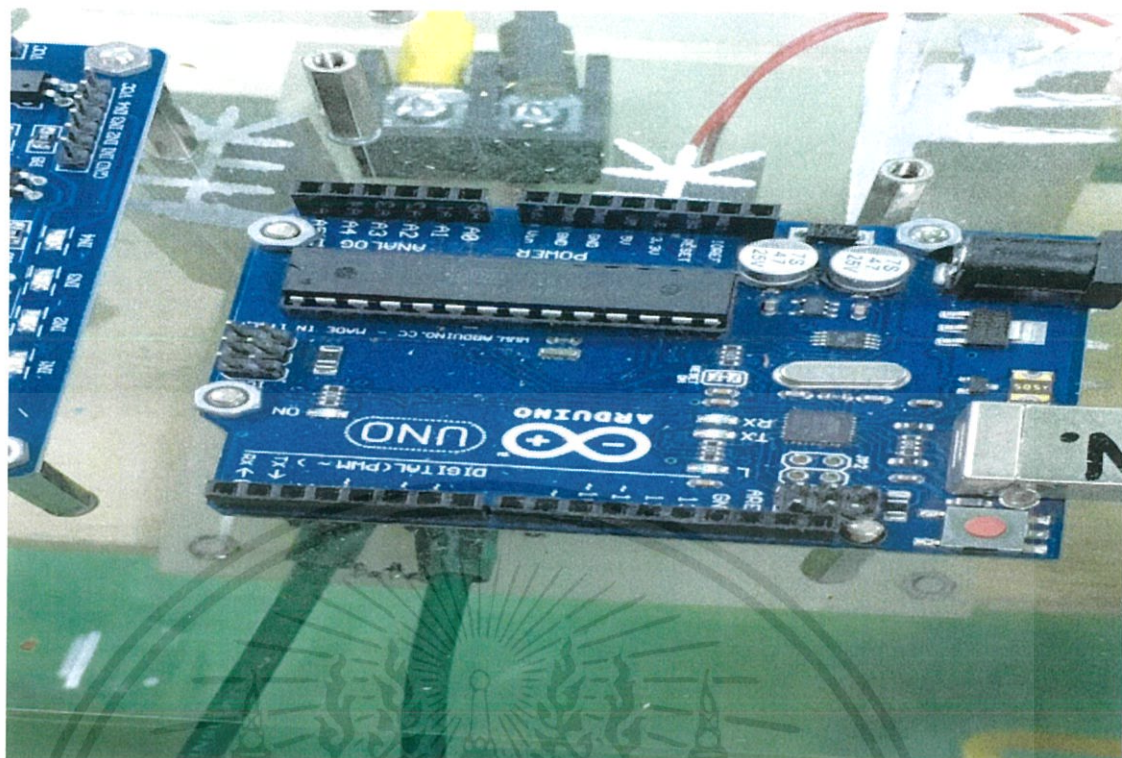
ภาพโครงงานโดยรวมของงานวิจัย



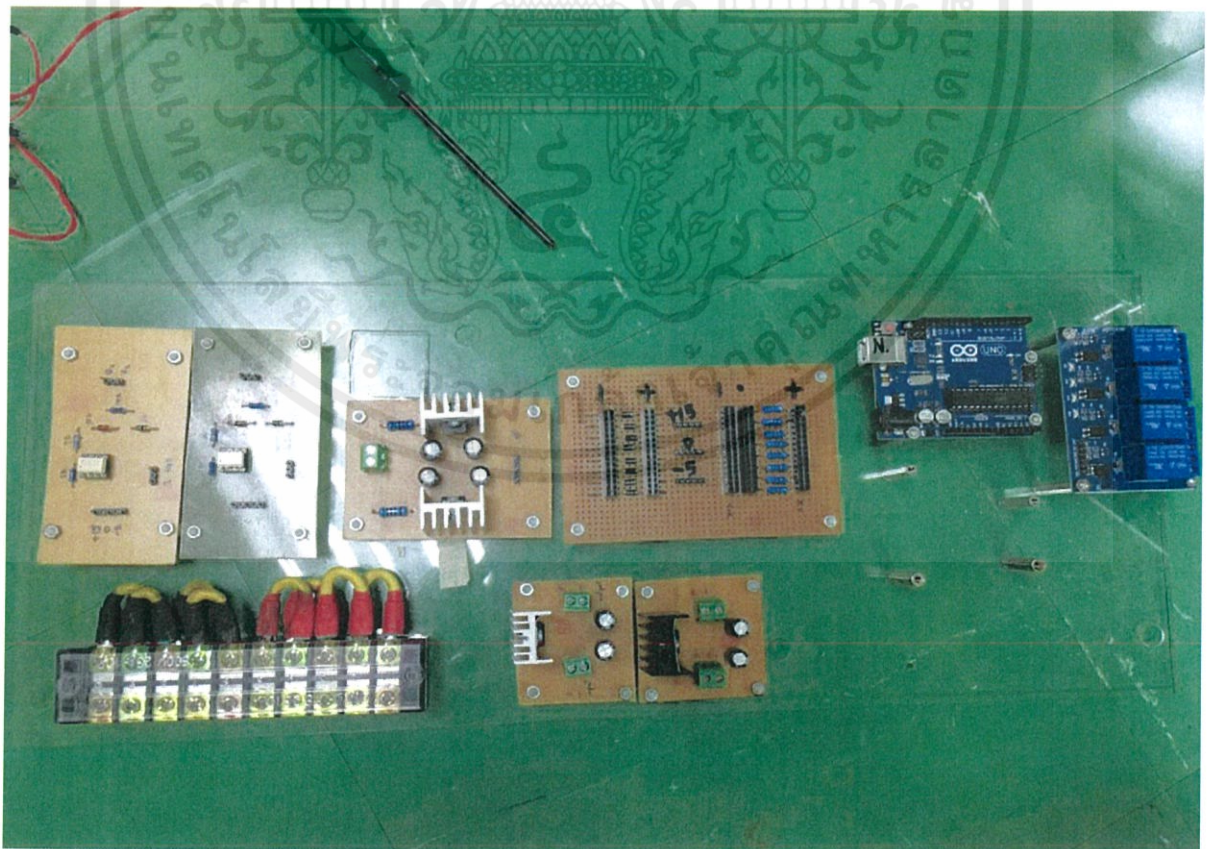
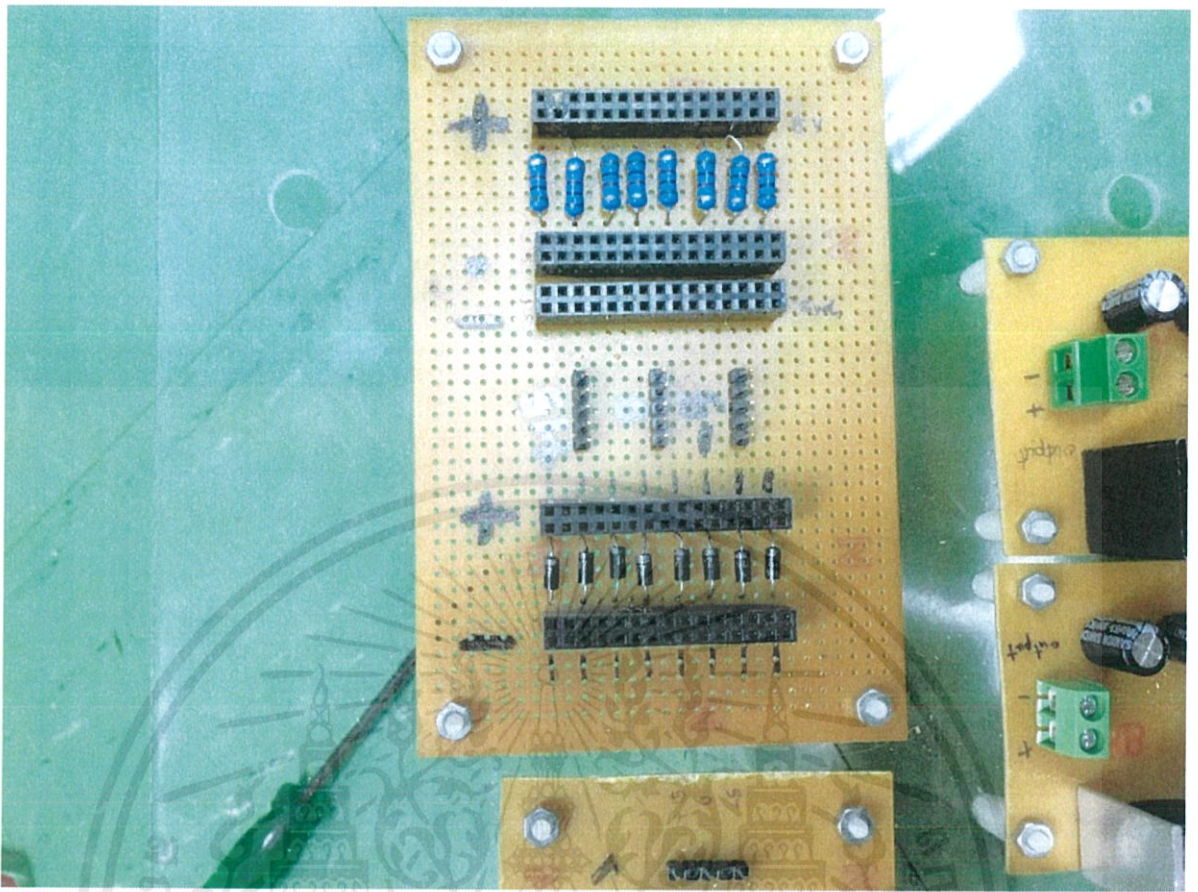
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

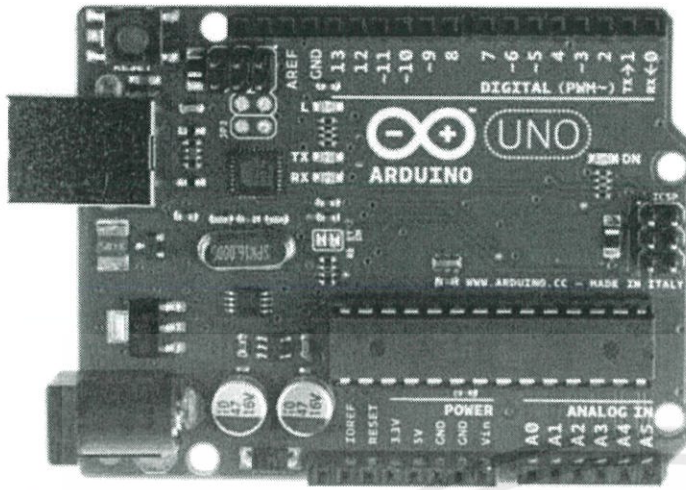


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

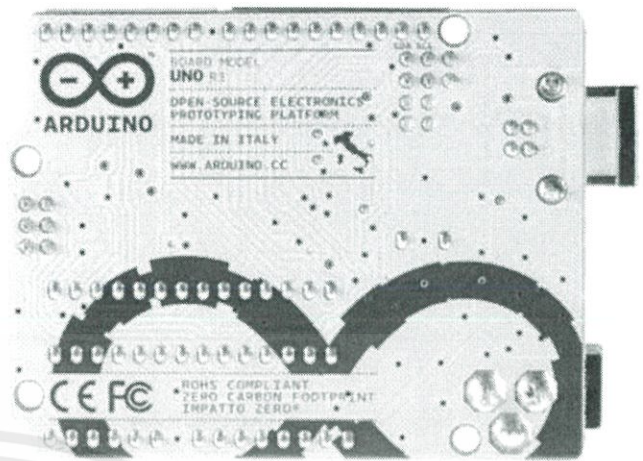


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

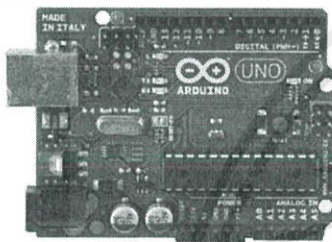
# Arduino Uno



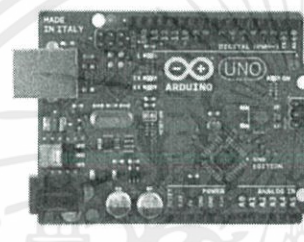
Arduino Uno R3 Front



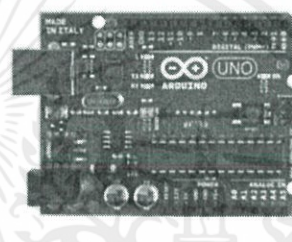
Arduino Uno R3 Back



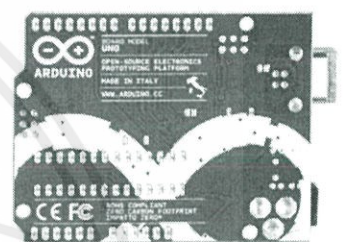
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

## Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Summary

Microcontroller: ATmega328  
Operating Voltage: 5V  
Input Voltage (recommended): 7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

## USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

## Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

**50A, 600V Hyperfast Diode**

The RHRG5060 is a hyperfast diode with soft recovery characteristics ( $t_{rr} < 45ns$ ). It has half the recovery time of ultrafast diodes and is of silicon nitride passivated ion-implanted epitaxial planar construction.

This device is intended for use as a freewheeling/clamping diode and rectifier in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Its low stored charge and hyperfast soft recovery minimize ringing and electrical noise in many power switching circuits, thus reducing power loss in the switching transistors.

Formerly developmental type TA49065.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
RHRG5060	TO-247	RHRG5060

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Symbol**



**Features**

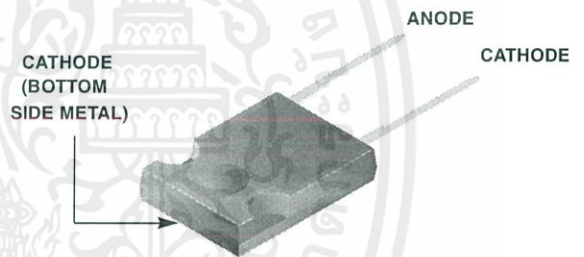
- Hyperfast with Soft Recovery . . . . . <45ns
- Operating Temperature . . . . . 175°C
- Reverse Voltage . . . . . 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

**Applications**

- Switching Power Supplies
- Power Switching Circuits
- General Purpose

**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247



**Absolute Maximum Ratings**  $T_C = 25^\circ C$ , Unless Otherwise Specified

	RHRG5060	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage . . . . .	$V_{RRM}$ 600	V
Working Peak Reverse Voltage . . . . .	$V_{RWM}$ 600	V
DC Blocking Voltage . . . . .	$V_R$ 600	V
Average Rectified Forward Current . . . . . ( $T_C = 93^\circ C$ )	$I_{F(AV)}$ 50	A
Repetitive Peak Surge Current . . . . . (Square Wave, 20kHz)	$I_{FRM}$ 100	A
Nonrepetitive Peak Surge Current . . . . . (Halfwave, 1 Phase, 60Hz)	$I_{FSM}$ 500	A
Maximum Power Dissipation . . . . .	$P_D$ 150	W
Avalanche Energy (See Figures 10 and 11) . . . . .	$E_{AVL}$ 40	mJ
Operating and Storage Temperature . . . . .	$T_{STG}, T_J$ -65 to 175	°C

# RHRG5060

## Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_F$	$I_F = 50\text{A}$	-	-	2.1	V
	$I_F = 50\text{A}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	1.7	V
$I_R$	$V_R = 600\text{V}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
	$V_R = 600\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	1.5	mA
$t_{rr}$	$I_F = 1\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	45	ns
	$I_F = 50\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	50	ns
$t_a$	$I_F = 50\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	25	-	ns
$t_b$	$I_F = 50\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	20	-	ns
$Q_{RR}$	$I_F = 50\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	65	-	nC
$C_J$	$V_R = 10\text{V}, I_F = 0\text{A}$	-	140	-	pF
$R_{\theta JC}$		-	-	1.0	$^\circ\text{C}/\text{W}$

### DEFINITIONS

$V_F$  = Instantaneous forward voltage ( $p_w = 300\mu\text{s}$ ,  $D = 2\%$ ).

$I_R$  = Instantaneous reverse current.

$t_{rr}$  = Reverse recovery time (See Figure 9), summation of  $t_a + t_b$ .

$t_a$  = Time to reach peak reverse current (See Figure 9).

$t_b$  = Time from peak  $I_{RM}$  to projected zero crossing of  $I_{RM}$  based on a straight line from peak  $I_{RM}$  through 25% of  $I_{RM}$  (See Figure 9).

$Q_{RR}$  = Reverse recovery charge.

$C_J$  = Junction Capacitance.

$R_{\theta JC}$  = Thermal resistance junction to case.

$p_w$  = pulse width.

$D$  = Duty cycle.

### Typical Performance Curves

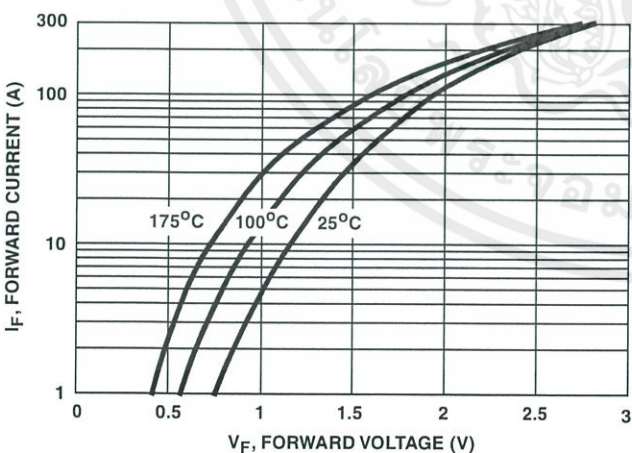


FIGURE 1. FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE

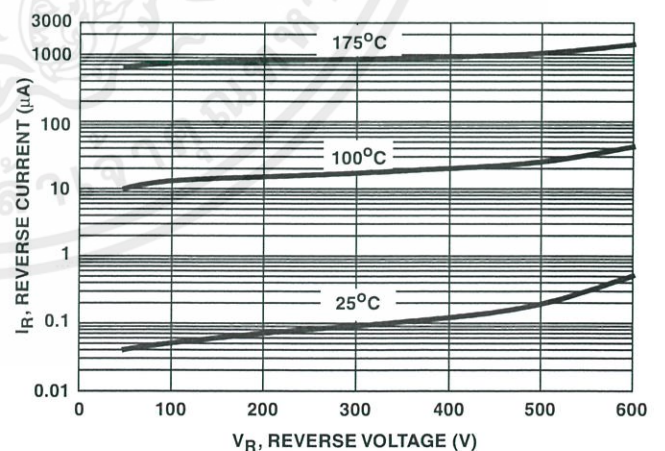


FIGURE 2. REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE

Typical Performance Curves (Continued)

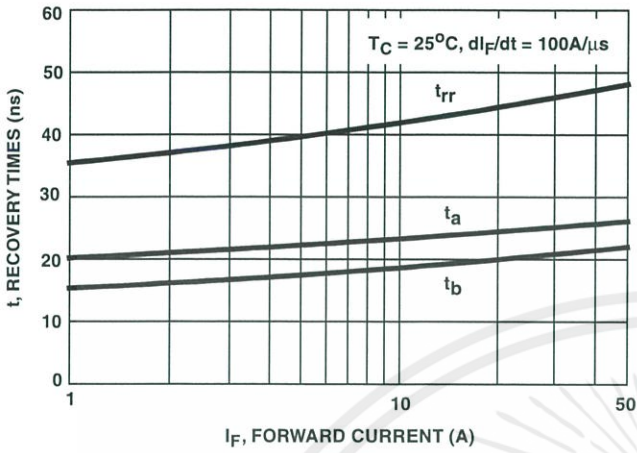


FIGURE 3.  $t_{rr}$ ,  $t_a$  AND  $t_b$  CURVES vs FORWARD CURRENT

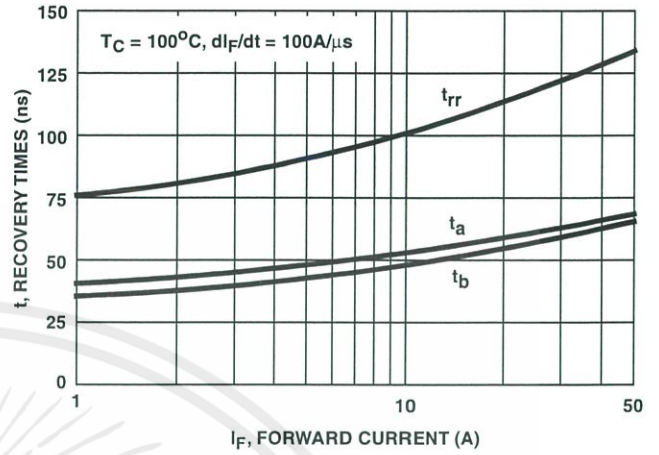


FIGURE 4.  $t_{rr}$ ,  $t_a$  AND  $t_b$  CURVES vs FORWARD CURRENT

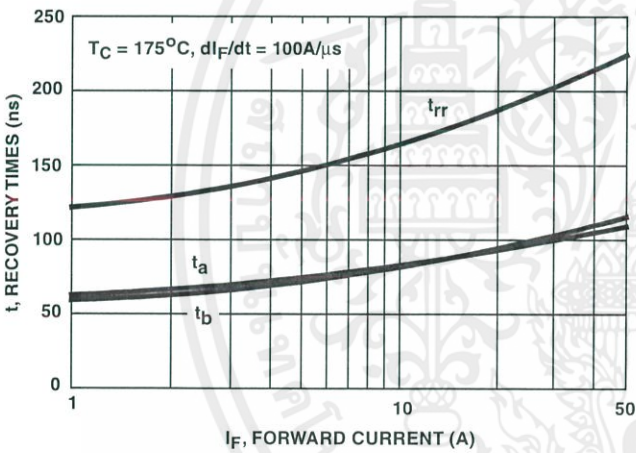


FIGURE 5.  $t_{rr}$ ,  $t_a$  AND  $t_b$  CURVES vs FORWARD CURRENT

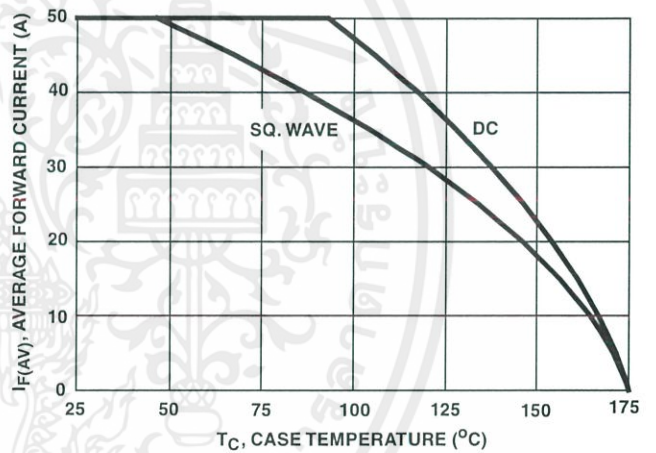


FIGURE 6. CURRENT DERATING CURVE

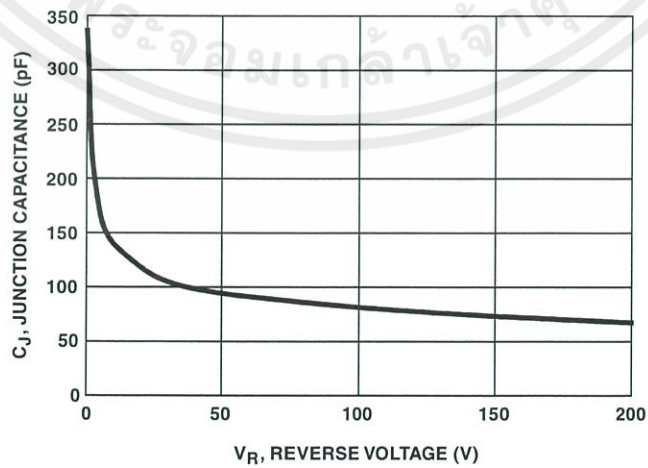


FIGURE 7. JUNCTION CAPACITANCE vs REVERSE VOLTAGE

Test Circuits and Waveforms

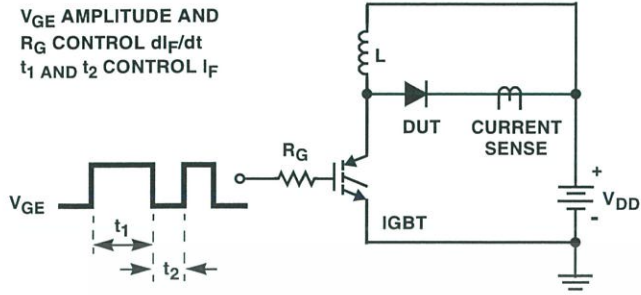


FIGURE 8.  $t_{rr}$  TEST CIRCUIT

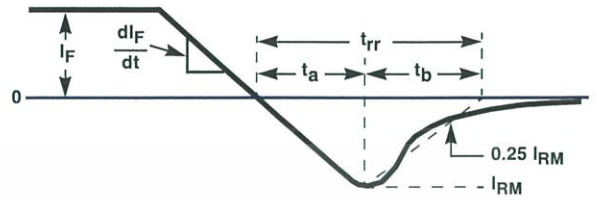


FIGURE 9.  $t_{rr}$  WAVEFORMS AND DEFINITIONS

$I_{MAX} = 1.4A$   
 $L = 40mH$   
 $R < 0.1\Omega$   
 $E_{AVL} = 1/2LI^2 [V_{R(AVL)}/(V_{R(AVL)} - V_{DD})]$   
 $Q_1 = IGBT (BV_{CES} > DUT V_{R(AVL)})$

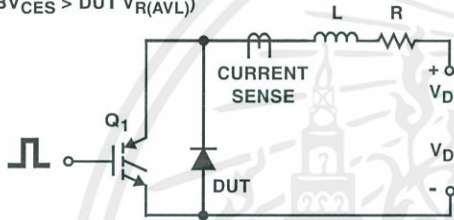


FIGURE 10. AVALANCHE ENERGY TEST CIRCUIT

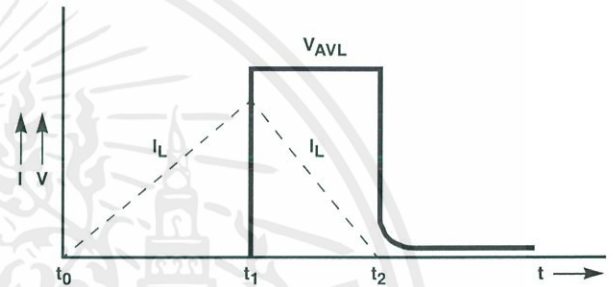


FIGURE 11. AVALANCHE CURRENT AND VOLTAGE WAVEFORMS

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE <sup>x</sup> ™	FAST <sup>®</sup>	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FAST <sup>r</sup> ™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench <sup>®</sup>	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E <sup>2</sup> CMOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER <sup>®</sup>	UltraFET <sup>®</sup>	

STAR\*POWER is used under license

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**40A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diode**

The HGTG20N60B3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the RHRP3060.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

Formerly developmental type TA49016.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG20N60B3D	TO-247	G20N60B3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Symbol**

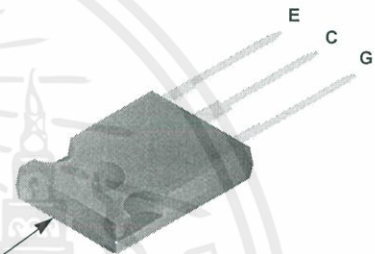


**Features**

- 40A, 600V at  $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time..... 140ns at 150°C
- Short Circuit Rated
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247



COLLECTOR  
(BOTTOM SIDE METAL)

# HGTG20N60B3D

## Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	HGTG20N60B3D	UNITS
Collector to Emitter Voltage	600	V
Collector to Gate Voltage, $R_{GE} = 1\text{M}\Omega$	600	V
Collector Current Continuous	40	A
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	20	A
Average Diode Forward Current at $110^\circ\text{C}$	20	A
Collector Current Pulsed (Note 1)	160	A
Gate to Emitter Voltage Continuous	$\pm 20$	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed	$\pm 30$	V
Switching Safe Operating Area at $T_C = 150^\circ\text{C}$	30A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	165	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$	1.32	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering	260	$^\circ\text{C}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$	4	$\mu\text{s}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$	10	$\mu\text{s}$

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:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2.  $V_{CE} = 360\text{V}$ ,  $T_C = 125^\circ\text{C}$ ,  $R_G = 25\Omega$ .

## Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Collector to Emitter Breakdown Voltage	$BV_{CES}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V	
Collector to Emitter Leakage Current	$I_{CES}$	$V_{CE} = BV_{CES}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	250	$\mu\text{A}$	
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	2.0	mA	
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	1.8	2.0	V
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	2.1	2.5	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{CE} = V_{GE}$	3.0	5.0	6.0	V	
Gate to Emitter Leakage Current	$I_{GES}$	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA	
Switching SOA	SSOA	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 10\Omega$ , $L = 45\mu\text{H}$	$V_{CE} = 480\text{V}$	100	-	-	A
			$V_{CE} = 600\text{V}$	30	-	-	A
Gate to Emitter Plateau Voltage	$V_{GEP}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.0	-	V	
On-State Gate Charge	$Q_{G(ON)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	$V_{GE} = 15\text{V}$	-	80	105	nC
			$V_{GE} = 20\text{V}$	-	105	135	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)I}$	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $I_{CE} = I_{C110}$	-	25	-	ns	
Current Rise Time	$t_{rI}$	$V_{CE} = 0.8 BV_{CES}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	-	20	-	ns	
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)I}$	$R_G = 10\Omega$ , $L = 100\mu\text{H}$	-	220	275	ns	
Current Fall Time	$t_{fI}$		-	140	175	ns	
Turn-On Energy	$E_{ON}$		-	475	-	$\mu\text{J}$	
Turn-Off Energy (Note 3)	$E_{OFF}$		-	1050	-	$\mu\text{J}$	
Diode Forward Voltage	$V_{EC}$	$I_{EC} = 20\text{A}$	-	1.5	1.9	V	
Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$I_{EC} = 20\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	55	ns	
		$I_{EC} = 1\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	45	ns	
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$	IGBT	-	-	0.76	$^\circ\text{C}/\text{W}$	
		Diode	-	-	1.2	$^\circ\text{C}/\text{W}$	

### NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss ( $E_{OFF}$ ) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0\text{A}$ ). The HGTG20N60B3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

Typical Performance Curves

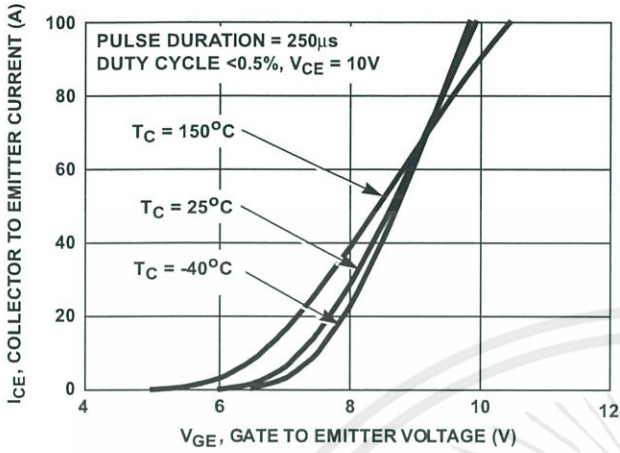


FIGURE 1. TRANSFER CHARACTERISTICS

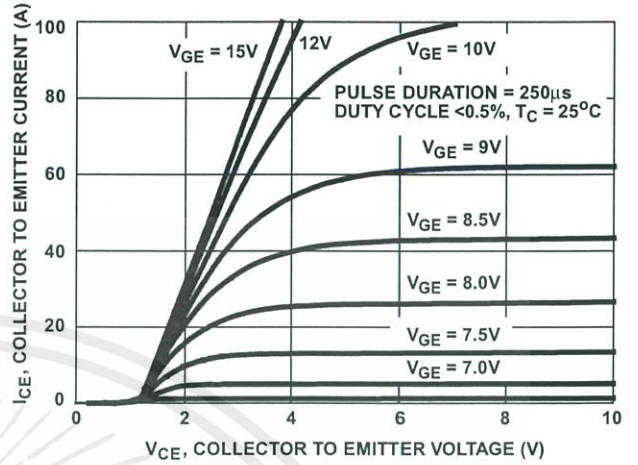


FIGURE 2. SATURATION CHARACTERISTICS

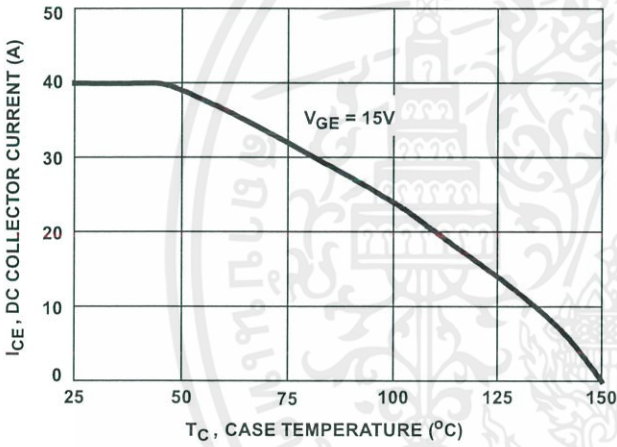


FIGURE 3. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

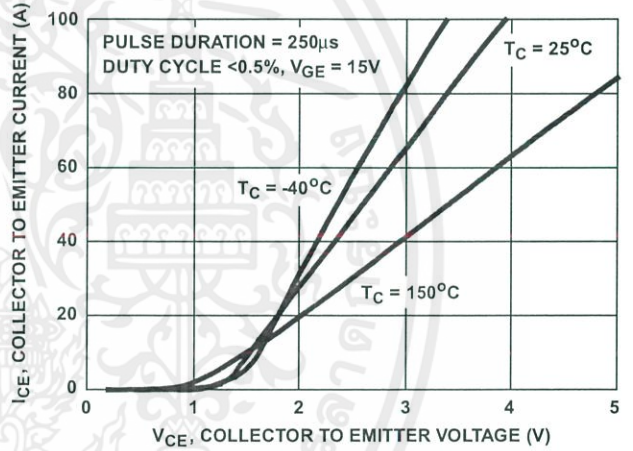


FIGURE 4. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

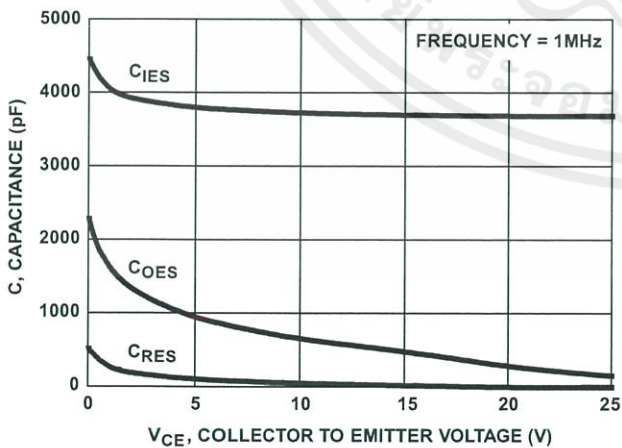


FIGURE 5. CAPACITANCE vs COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE

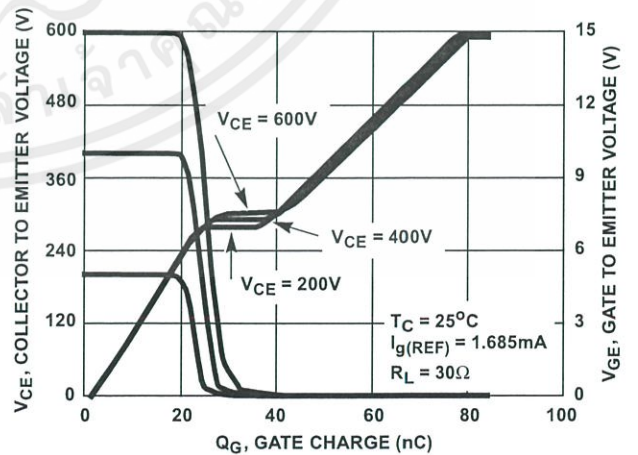


FIGURE 6. GATE CHARGE WAVEFORMS

Typical Performance Curves (Continued)

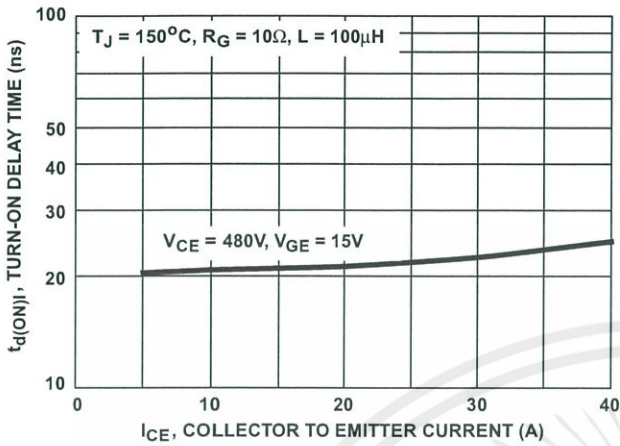


FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

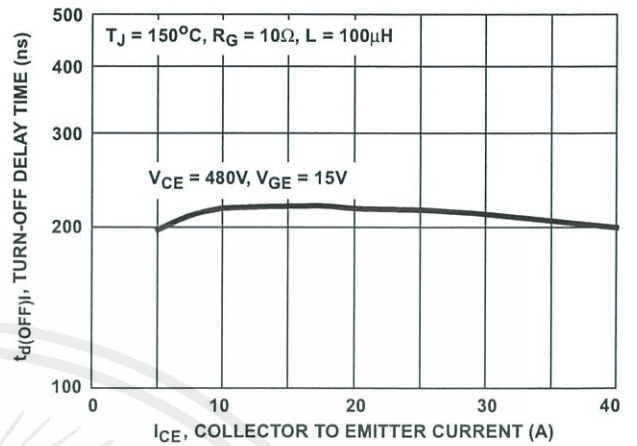


FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

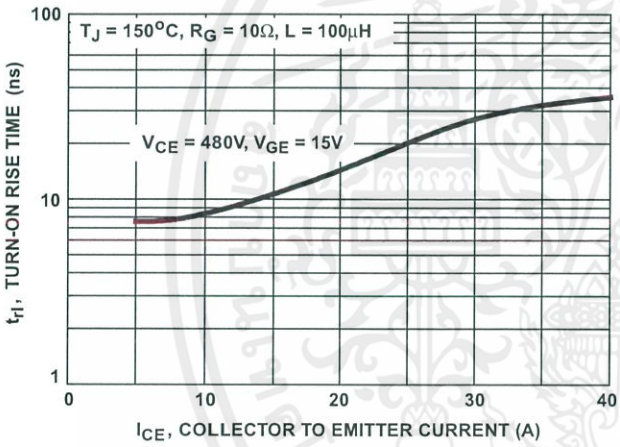


FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

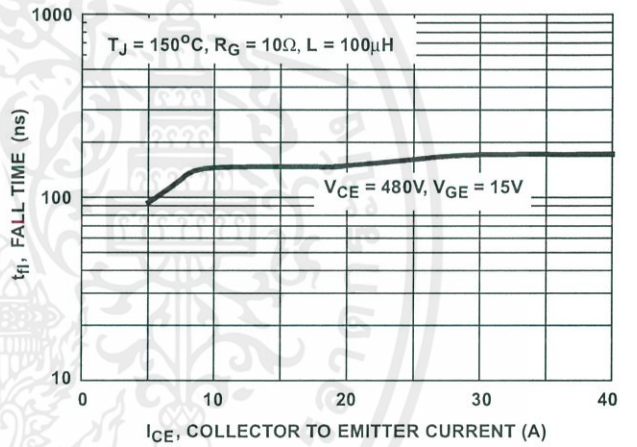


FIGURE 10. TURN-OFF FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

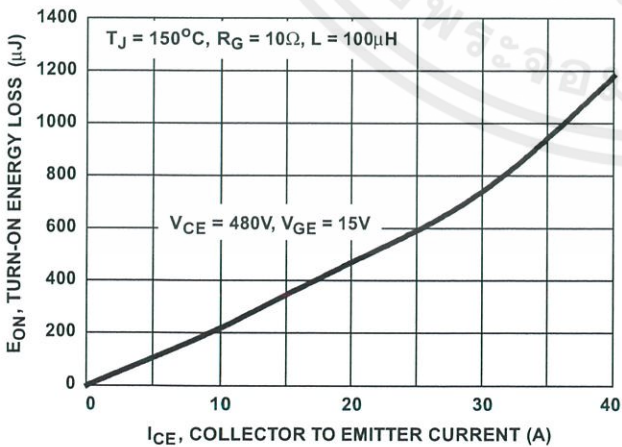


FIGURE 11. TURN-ON ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

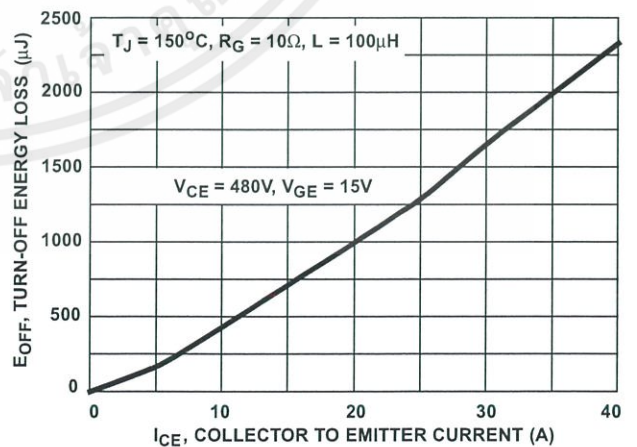


FIGURE 12. TURN-OFF ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

Typical Performance Curves (Continued)

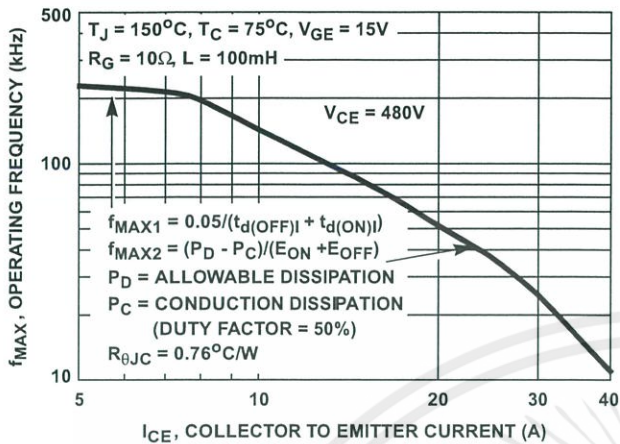


FIGURE 13. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

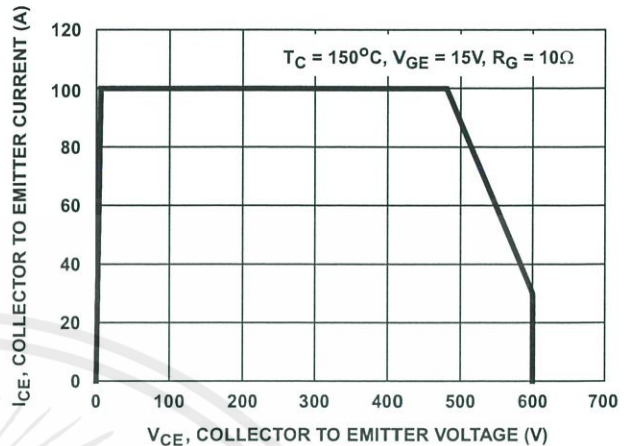


FIGURE 14. SWITCHING SAFE OPERATING AREA

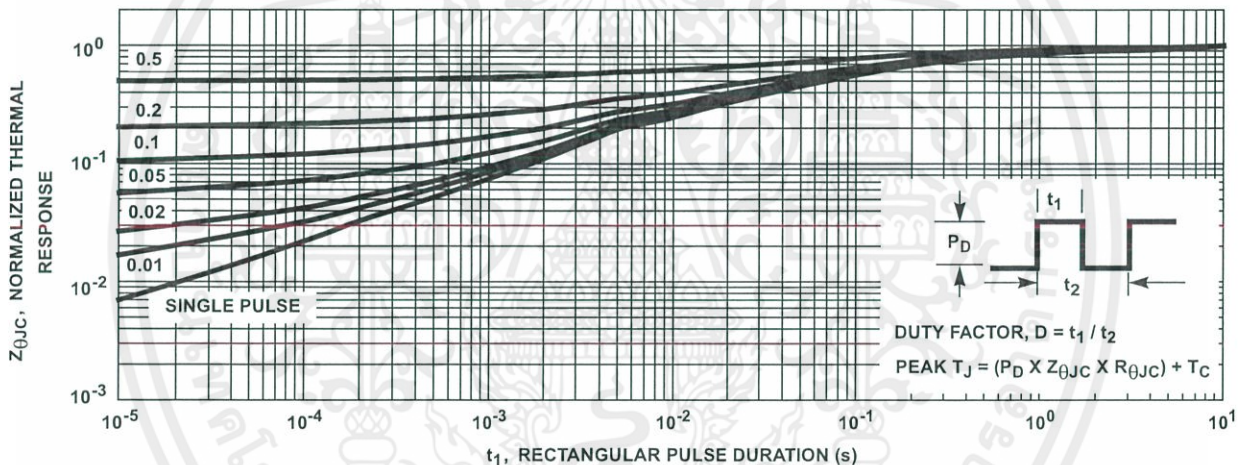


FIGURE 15. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL RESPONSE, JUNCTION TO CASE

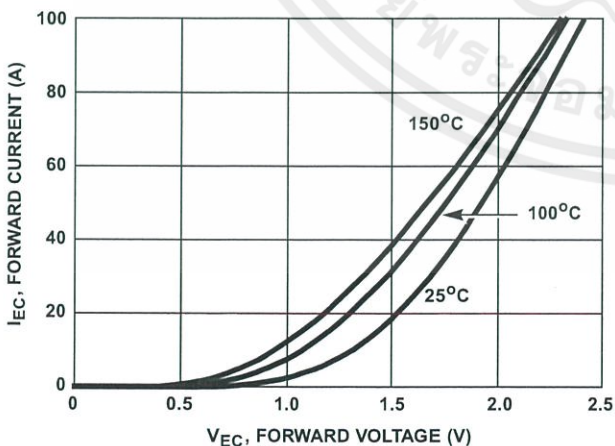


FIGURE 16. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

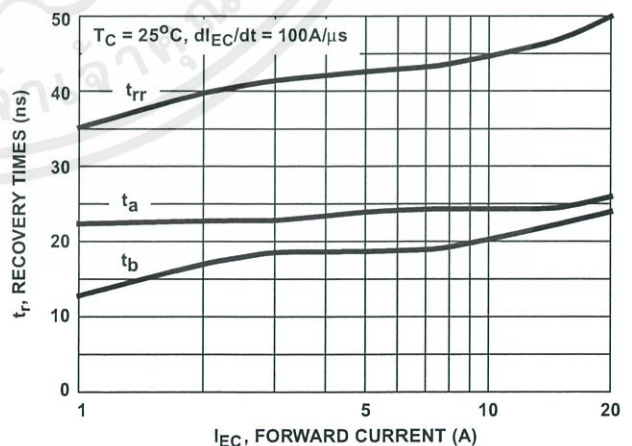


FIGURE 17. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

**Test Circuit and Waveform**

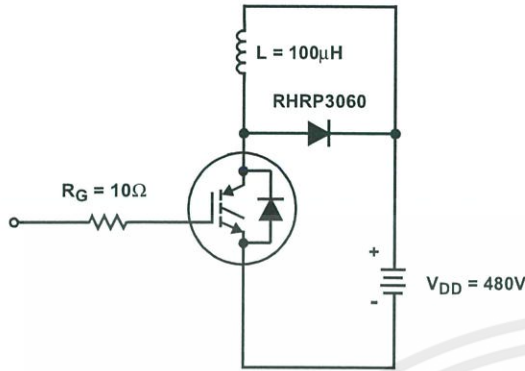


FIGURE 18. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

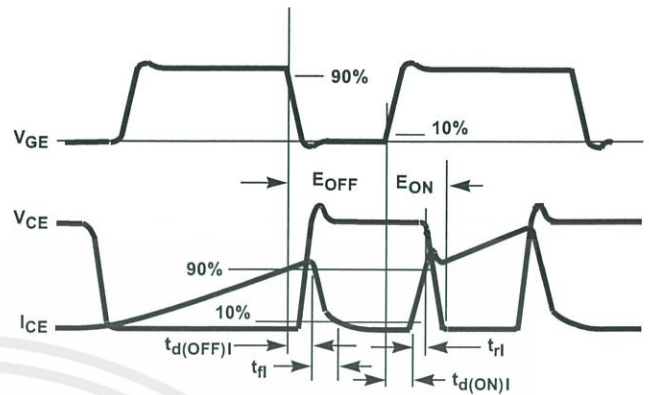


FIGURE 19. SWITCHING TEST WAVEFORMS

**Handling Precautions for IGBTs**

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and discharge procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of  $V_{GEM}$ . Exceeding the rated  $V_{GE}$  can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

**Operating Frequency Information**

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current ( $I_{CE}$ ) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows  $f_{MAX1}$  or  $f_{MAX2}$  whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

$f_{MAX1}$  is defined by  $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{d(OFF)I} \cdot t_{d(ON)I})$ . Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible.  $t_{d(OFF)I}$  and  $t_{d(ON)I}$  are defined in Figure 19.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than  $T_{JM}$ .  $t_{d(OFF)I}$  is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

$f_{MAX2}$  is defined by  $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON})$ . The allowable dissipation ( $P_D$ ) is defined by  $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{\theta JC}$ . The sum of device switching and conduction losses must not exceed  $P_D$ . A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses ( $P_C$ ) are approximated by  $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$ .

$E_{ON}$  and  $E_{OFF}$  are defined in the switching waveforms shown in Figure 19.  $E_{ON}$  is the integral of the instantaneous power loss ( $I_{CE} \times V_{CE}$ ) during turn-on and  $E_{OFF}$  is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for  $E_{OFF}$ ; i.e. the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0$ ).

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE <sub>x</sub> ™	FAST®	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FAST <sub>r</sub> ™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench®	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E <sup>2</sup> C <sub>CMOS</sub> ™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER®	UltraFET®	

STAR\*POWER is used under license

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP250

- Transistor Inverter
- Inverter For Air Conditionor
- IGBT Gate Drive
- Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

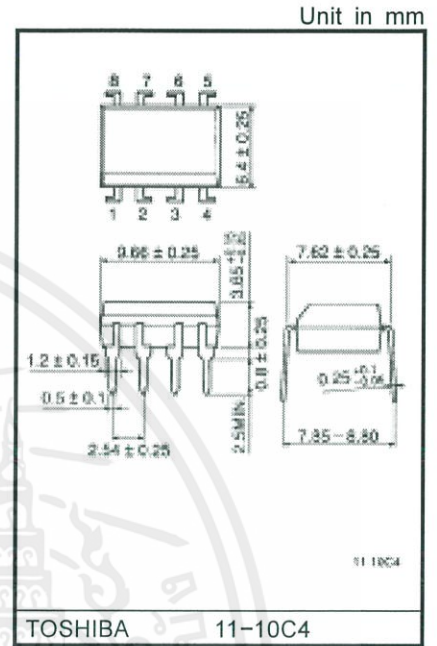
This unit is 8-lead DIP package.

TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
  - VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
  - Maximum operating insulation voltage:  $630\text{V}_{\text{PK}}$
  - Highest permissible over voltage:  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

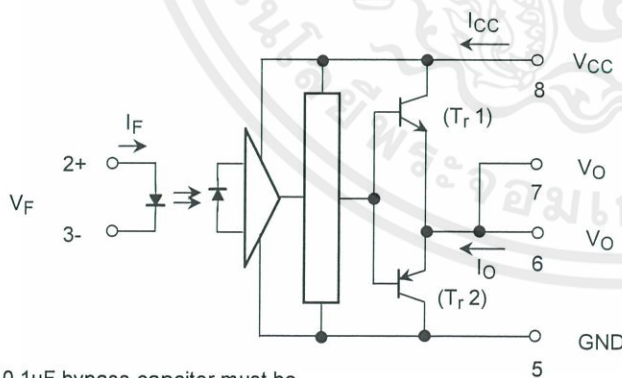
**(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"**

- Creepage distance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$



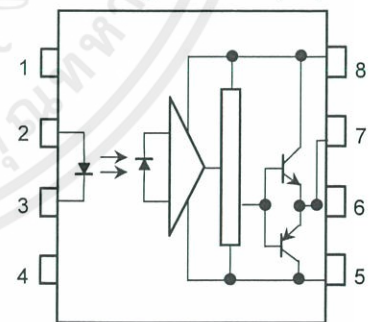
Weight: 0.54 g

## Schmatic



A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

## Pin Configuration (top view)



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6:  $V_O$  (Output)
- 7:  $V_O$
- 8:  $V_{CC}$

## Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On

## Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I <sub>F</sub>	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI <sub>F</sub> / ΔTa	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I <sub>FPT</sub>	1	A	
	Reverse voltage	V <sub>R</sub>	5	V	
	Junction temperature	T <sub>j</sub>	125	°C	
Detector	"H"peak output current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I <sub>OPH</sub>	-1.5	A	
	"L"peak output current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I <sub>OPL</sub>	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V <sub>O</sub>	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V <sub>CC</sub>	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>O</sub> / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>CC</sub> / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T <sub>j</sub>	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T <sub>opr</sub>	-20~85	°C		
Storage temperature range	T <sub>stg</sub>	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	T <sub>sol</sub>	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	BV <sub>S</sub>	2500	V <sub>rms</sub>		

Note 1: Pulse width P<sub>W</sub> ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on (Note 7)	I <sub>F(ON)</sub>	7	8	10	mA
Input voltage, off	V <sub>F(OFF)</sub>	0	—	0.8	V
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	15	—	30   20	V
Peak output current	I <sub>OPH</sub> /I <sub>OPL</sub>	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T <sub>opr</sub>	-20	25	70   85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1)	I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>8-6</sub> = 4V	-0.5	-1.5	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>6-5</sub> = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

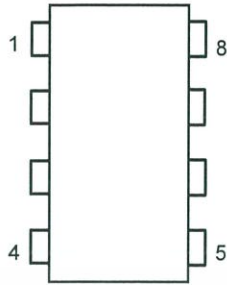
Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t <sub>pLH</sub>	6	I <sub>F</sub> = 8mA (Note 7) V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>pHL</sub>			—	0.15	0.5	
Output rise time		t <sub>r</sub>			—	—	—	
Output fall time		t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

\* All typical values are at Ta = 25°C

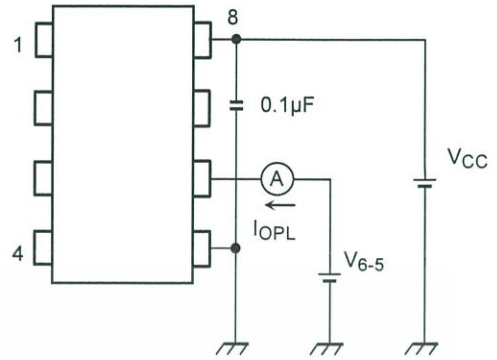
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.



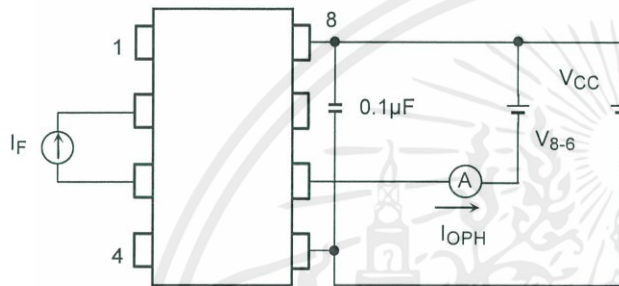
Test Circuit 1 :



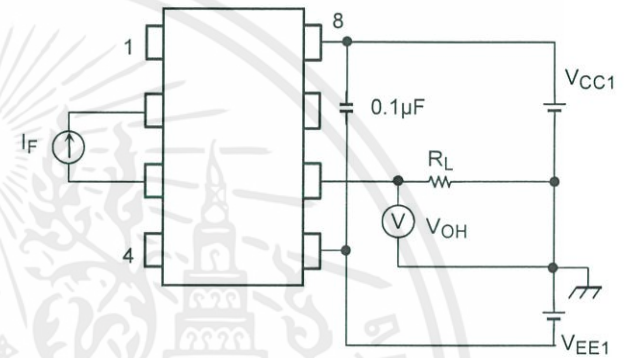
Test Circuit 2 : IOPL



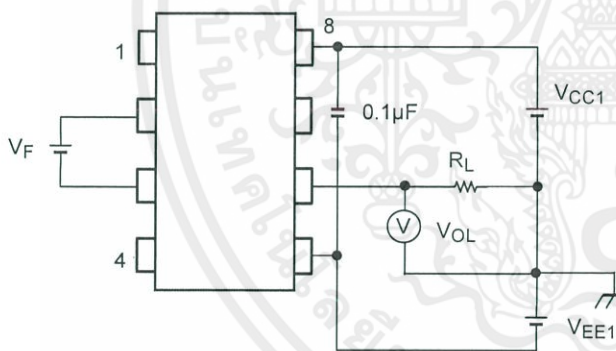
Test Circuit 3 : IOPH



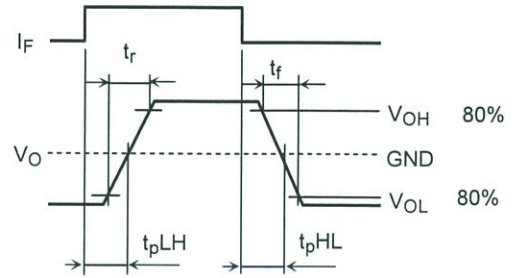
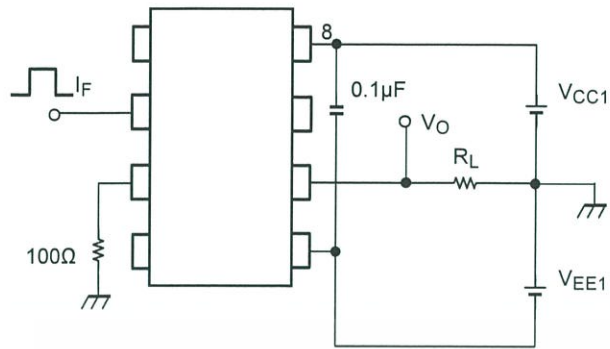
Test Circuit 4 : VOH



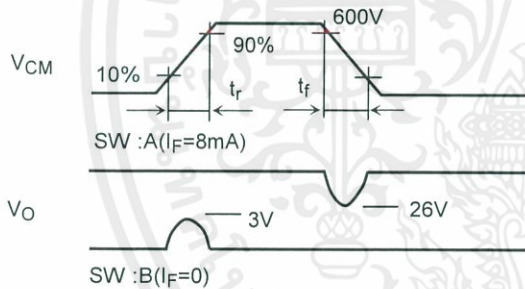
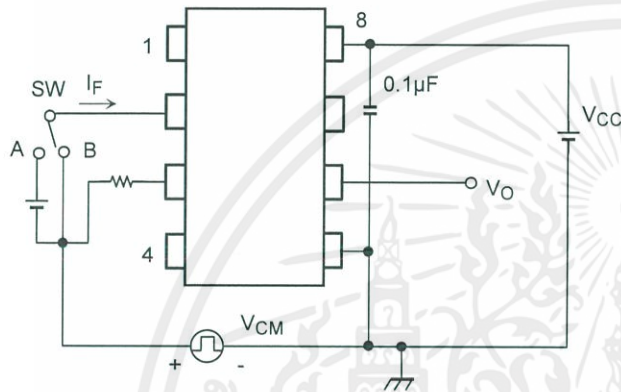
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



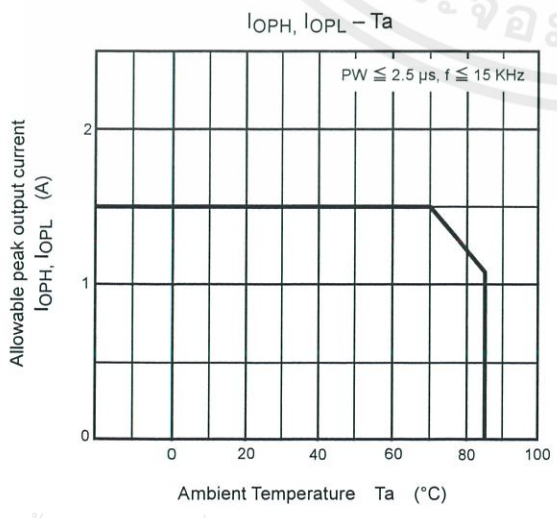
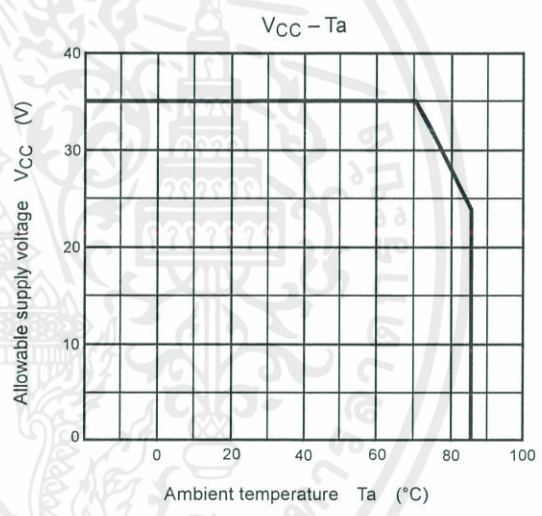
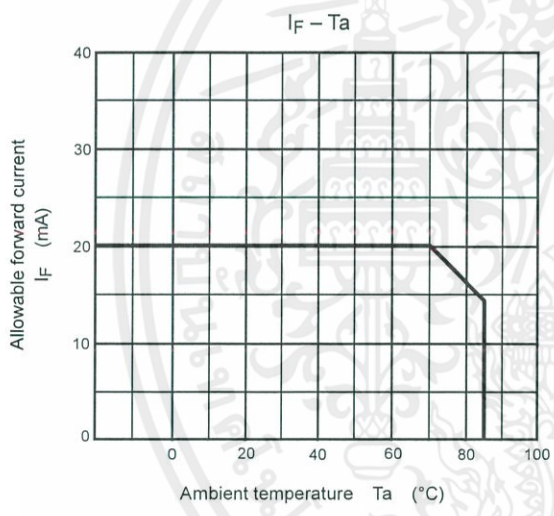
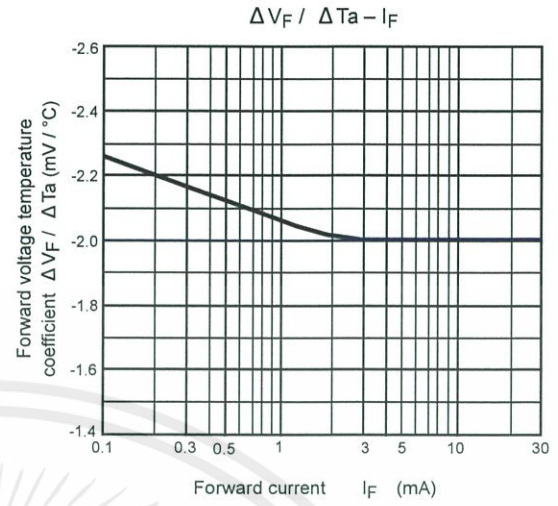
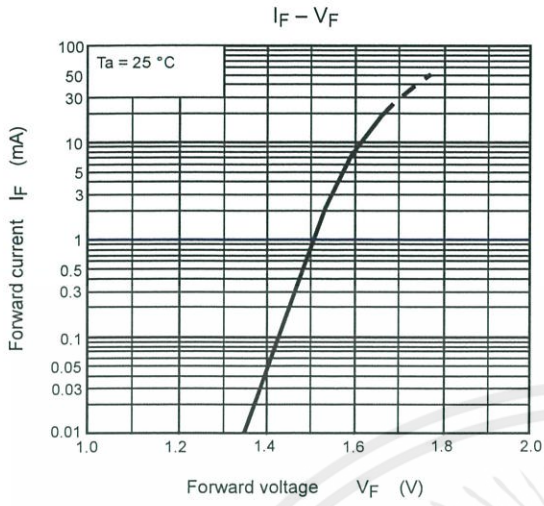
Test Circuit 7:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$$C_{ML} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_f \text{ (\mu s)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_r \text{ (\mu s)}}$$

$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.  
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและประกอบรถเข็นไฟฟ้า

## DESIGN AND ASSEMBLY OF ELECTRIC WHEELCHAIR

ธนกร สุริยานุกุล, วาริน สุขแสวง, สมโชค สกฤกษ์, สิทธิพล สดมหาชลาสินธุ์  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขที่ 1 ซอย ดลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

**บทคัดย่อ**

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างรถเข็นไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ โดยโครงการนี้ได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V เป็นตัวขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับ Duty cycle ให้ได้ความเร็วที่ต้องการ โดยป้อนให้กับ IGBT ที่ทำหน้าที่เป็นตัว Switching ให้แก่วงจร DC Chopper ซึ่งรถเข็นไฟฟ้านี้สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผู้ใช้มีน้ำหนักเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้รถเข็นไฟฟ้ายังมีระบบเพื่อให้ง่ายต่อการลุกขึ้นยืนหรือนั่งลงสำหรับผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาไขข้อกระดูก น้ำหนักของผู้ใช้งานมากที่สุดคือ 70 กิโลกรัม

**Abstract**

The objective of this project is to design and make the electric wheelchair which is able to control the velocity. The DC motor 24 V has been used to be a mechanical power to drive wheelchair. We use Micro-controller to control and make square wave which can change duty cycle to feed into the IGBT to be a switching DC Chopper. The maximum speed is 6 km/hour. If the value of duty cycle decreases, the DC motor current and motor speed also decrease. On the other hand, the value of duty cycle increases, the DC motor current and motor speed also increases. So, the wheelchair has lift system to standup and sit down will be simple. In addition, the electric wheelchair can help the older people in movement. The maximum user's weight is 70kg.

**1. บทนำ**

จำนวนผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยในทุกวันนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากงานด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจึงส่งผลให้ผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่ได้รับการบำบัด รักษา และดูแลสุขภาพเป็นอย่างดีจากหน่วยงานทางการแพทย์ จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีทางการแพทย์เป็นสิ่งที่สำคัญและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สูงอายุได้เป็นอย่างดี

ปัญหาสำคัญหนึ่งอย่างของผู้สูงอายุและผู้ป่วยส่วนใหญ่คือปัญหาด้านการเคลื่อนที่เนื่องจากอายุมาก จึงได้มีการนำรถเข็นมาใช้กับผู้สูงอายุ เพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน รวมถึงผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนที่ด้วย ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของรถเข็นผู้สูงอายุ จึงมีความคิดที่จะพัฒนารถเข็นผู้สูงอายุ ให้มีความสามารถเพิ่มขึ้นเป็นรถเข็นไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ารถเข็นไฟฟ้าทั่วไปและ นำมาเป็นต้นแบบ สำหรับการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นกว่าเดิมหรือมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้นไปอีก และนี่คือเหตุผลสำคัญสำหรับการพัฒนารถเข็นไฟฟ้า

**2. หลักการเบื้องต้นของวงจรสับ (chopper)**

ใน วงจร ประกอบ ด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สวิตช์และ โหลดเป็นตัวความต้านทานวงจรที่ใช้งานจริงๆ จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่แทนสวิตช์ เมื่อเปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย เมื่อปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะตกสู่ศูนย์ แรงดันเฉลี่ยที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเปิด-ปิดสวิตช์ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า ซอปปเปอร์

ถ้าช่วงเวลาที่สวิตช์เปิด-ปิด เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันก็จะทำให้แรงดันที่โหลด ( $V_0$ ) และกระแสที่โหลดเปลี่ยนแปลงซึ่งค่าแรงดันเฉลี่ย (average voltage) จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายดังนี้

$$V_{0(ave)} = \frac{V_s}{T} T_{on} = \frac{V_s T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$$

โดย  $T_{on}$  = ระยะเวลาที่สวิตช์ทำงาน

$T_{off}$  = ระยะเวลาที่สวิตช์ไม่ทำงาน

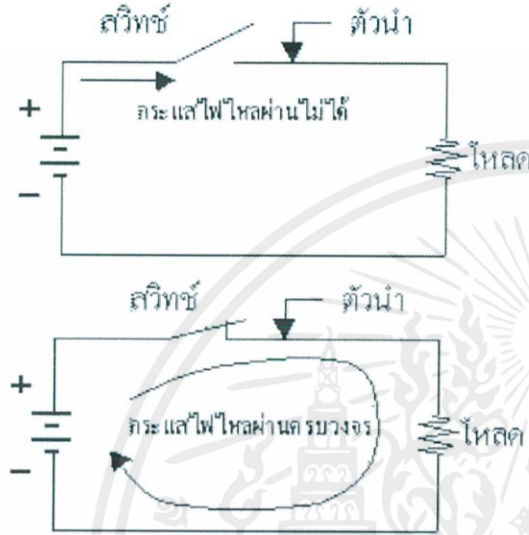
$T$  = ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล =  $T_{on} + T_{off}$

ลักษณะการเปิด-ปิดสวิตช์ในวงจรสับขั้นพื้นฐาน ในรูปสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะคือ

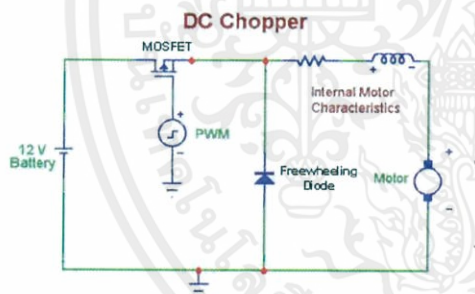
1.  $T_{on}$  เปลี่ยนแปลง และ  $T_{off}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  คงที่ เรียกการทำงานลักษณะนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (Pulse width modulation) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{on}$  น้อยลง

2.  $T_{on}$  คงที่ และ  $T_{off}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  เปลี่ยนแปลง เรียกการทำงานลักษณะเช่นนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่

แรงดันที่ โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{off}$  มากขึ้น  
 3.เป็นลักษณะการทำงานของการทำงานของการเปลี่ยนแปลงความกว้าง  
 ของพัลส์และการเปลี่ยนแปลงความถี่ ถ้าวงจรสับมีโหลด  
 เป็นตัวต้านทานกระแสที่ไหลเข้า โหลดจะมีลักษณะรูปร่าง  
 เหมือนกับแรงดันที่โหลดแสดงในรูปที่ 2 แต่ถ้าโหลดเป็น  
 ตัวเหนี่ยวนำกระแสที่ไหลเข้า โหลดจะไหลอย่างต่อเนื่องโดย  
 ต่อไดโอดดังแสดงในรูป 2



รูปที่ 1 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ



รูปที่ 2 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 การออกแบบวงจรสับระดับแรงดัน(DC Chopper)

ในวงจรสับระดับแรงดันมีอุปกรณ์ทั้งหมดดังนี้

- 1.IGBT ทำงานที่ความถี่สวิชชิ่ง 18 กิโลเฮิร์ตซ์ เลือกใช้IGBT เบอร์G20N60B3D ซึ่งมีพิกัดแรงดัน 600 โวลต์ และมีกระแส 40 แอมแปร์
- 2 ไดโอด เลือกใช้ไดโอดชนิด Ultrafast recovery diode เบอร์ RURG5060 ที่มีพิกัดแรงดัน 600 โวลต์ และพิกัดกระแส 50 แอมแปร์
- 2 Arduino ในการควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino Uno R3 ในการป้อนสัญญาณ PWM ให้กับIGBT

2.2 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

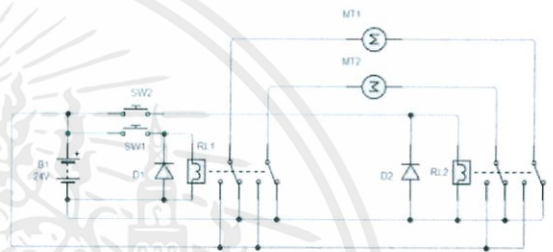
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำารรับค่าแรงดัน

อินพุทจากการปรับค่าความต้านทานมาคำนวณเพื่อทำการ

เปรียบเทียบก่อนสร้างสัญญาณPWMแรงดันเอาท์พุทตาม Duty Cycle ที่ต้องการแล้วส่งออกตามต้องการเพื่อไปขับ IGBT การต่อวงจรความต้านทานปรับค่าสร้างสัญญาณ PWM

2.3 การออกแบบวงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่ ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้กลับทิศทางหมุนนั้น จำเป็นต้องมีวงจรในการกลับทิศทางสวิตช์จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้วงจรรีเลย์ช่วยในการกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองตัวในระบบการเคลื่อนที่เพื่อให้เดินหน้าและถอยหลัง โดยใช้รีเลย์ชนิดDPDT ในการสร้างวงจรดังรูป

รูป 3 วงจรรีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าระบบเคลื่อนที่

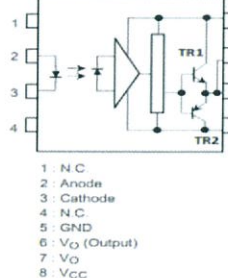


2.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

ในการขับเคลื่อนนั้นต้องได้ค่าตั้งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณออกมาขับสวิทช์มีแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ แต่สวิทช์นั้นต้องการแรงดันในการขับเคลื่อนอยู่ในช่วง 10 โวลต์ขึ้นไป จึงต้องมีวงจรในการช่วยขับเคลื่อนที่รับค่าตั้งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ นั่นคือ TLP 250

ในงานโครงการนี้ใช้ TLP250 เป็นตัวขับเคลื่อน โดยจะทำงานเมื่อมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาซึ่งขาที่ 2 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นการสั่งให้ TLP 250 ทำงานตั้งสัญญาณขับเคลื่อนขาที่ 6 เข้าขาเกตของIGBT ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 15 โวลต์ และต่อขา 5 (ขากราวด์)เป็นไฟ -5 โวลต์เพื่อเป็นการหยุดนำกระแสของสวิทช์ให้สนิท

Pin Configuration



รูปที่ 4 วงจร TLP250

3. ทดสอบการทำงาน

โหลคน้ำหนัก 50 กิโลกรัม			
ความเร็ว (กิโลเมตร/ชม.)	กำลังขาเข้า (วัตต์)	กำลังขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ(%)
3	86.76	69.41	80.00
4	94.19	75.4138	80.06
5	100.52	80.898	80.47
6	112.72	95.4024	84.63

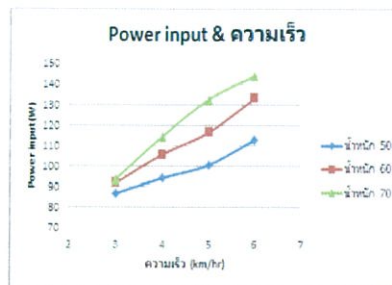
โหลคน้ำหนัก 60 กิโลกรัม			
ความเร็ว (กิโลเมตร/ชม.)	กำลังขาเข้า (วัตต์)	กำลังขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ(%)
3	91.76	77.45	84.40
4	105.73	89.98	85.10
5	116.5	103.18	88.56
6	133.04	113.43	85.26

โหลคน้ำหนัก 70 กิโลกรัม			
ความเร็ว (กิโลเมตร/ชม.)	กำลังขาเข้า (วัตต์)	กำลังขาออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ(%)
3	93.58	78.05	83.40
4	114.47	92.33	80.66
5	132.53	108.68	82.00
6	144.24	120.52	83.55

ตารางผลการทดลองที่น้ำหนักต่างๆ

จากผลการทดลองที่น้ำหนักต่างๆ ทำให้เห็นว่าที่น้ำหนักที่มากขึ้นมอเตอร์จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นตามไปด้วย โดยรับค่า Duty ค่าสุด-สูงสุดไว้ที่ 35-60% ที่เราตั้งไว้ไม่ให้ น้อยหรือมากเกินไปเพราะเพื่อที่จะไม่ให้รถขึ้นไฟฟ้าเคลื่อนที่เร็วหรือช้าจนเกินความจำเป็นในการใช้งาน ดังนั้นเมื่อเราแปลงเป็นหน่วยของความเร็ว ความเร็วที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 3-6 km/hr เพื่อให้ง่ายต่อการดูหรือการใช้งานนั่นเอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ได้จากค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 5 กราฟระหว่างกำลังขาเข้ากับความเร็วที่น้ำหนักต่างๆ

จากผลการทดลองที่ความเร็วเพิ่มขึ้น มอเตอร์ก็จะใช้กำลังมากขึ้นตามไปด้วย และอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มอเตอร์กินกำลังมากขึ้นก็คือโหลของมอเตอร์ซึ่งในที่นี้โหลของเราคือน้ำหนักของผู้ใช้งาน จากการทดลองที่น้ำหนักที่ต่าง ๆ กัน เมื่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมอเตอร์ก็จะใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นไปด้วย จากนั้นนำค่าผลการทดลองนำมาพลอตเป็นกราฟเพื่อให้ผู้ใช้งานหรือผู้คนธรรมดาเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

4. สรุป

จากการศึกษา DC Chopper การที่จะควบคุมความเร็วของรถขึ้นไฟฟ้า จะต้องควบคุมแรงดันขาออกของ DC Chopper ซึ่งการควบคุมแรงดันนั้น มาจากการควบคุมการทำงานของสวิทช์ของ DC Chopper ในตอนแรกได้เลือกใช้ Power Mosfet (IRFP 460) แต่เนื่องด้วยค่าความถี่ของสัญญาณ PWM ที่ใช้นั้นไม่สูงมากพอหรือไม่เหมาะสมที่จะควบคุม Mosfet ได้ จึงได้เปลี่ยนมาใช้ IGBT แทน ซึ่งเหมาะสมมากกว่า Mosfet ที่มีความถี่กว่า ในการที่จะสั่ง on/off IGBT จะต้องป้อนสัญญาณ PWM เข้าไปที่วงจร Gate Drive ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้ ILP250 มาสร้างวงจร Gate Drive เพื่อให้ได้สัญญาณ PWM ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมสวิทช์ประเภท IGBT

จากการทดลองสัญญาณ PWM ที่ทุกๆ Duty cycle และที่น้ำหนักต่างๆ เพื่อให้ได้ค่า Duty cycle ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานเพื่อที่จะทำให้สามารถควบคุมความเร็วของรถขึ้นไฟฟ้าได้ที่มีความเร็วที่ไม่เร็วหรือช้าจนเกินไปสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งจากการที่ได้ทดลองการควบคุมสัญญาณ PWM ที่ Duty Cycle ต่างๆ จะได้ว่าค่า Duty 35-60 หรือถ้าแปลงเป็นหน่วยของความเร็วจะได้เป็น 4-6 km/hour ที่เรากำหนดขอบเขตของความเร็วไว้เพื่อไม่ให้ผู้ใช้งานบังคับให้เร็วหรือช้าจนเกินความจำเป็นในการใช้งานจริงนั่นเอง

## เอกสารอ้างอิง

[1] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง, พิมพ์ครั้งที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2554.

[2] ชีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์ และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, เอกสารประกอบการสอนวิชา Electrical Machine, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.

[3] E, Hughes, , "Hughes , electrical technology" London : Longman, 1997.

[4] V, Subrahmanyam, Power Electronics , 2nd Edition, 2006.

[5] M, Clifford , Modern Electric/Electronic Motors, Prentice-Hall, Inc. 1990.

## ประวัติผู้เขียน



นายชนกร สุริยนากุล  
เกิดวันที่ 29 พฤษภาคม 2538  
โทรศัพท์ 085-004-4992  
E-mail: thanakorn4992@gmail.com



นายวาริน สุขแสวง  
เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน 2537  
โทรศัพท์ 082-492-9989  
E-mail: kikyo\_10509@hotmail.com



นายสมโชค สตุล  
เกิดวันที่ 4 กันยายน 2538  
โทรศัพท์ 088-033-9580  
E-mail: somchoke.sc@gmail.com



นายทิทธิพล สดมหาสถินธุ์  
เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2538  
โทรศัพท์ 085-065-8041  
E-mail: blooddaimon2@hotmail.com

## ประวัติผู้เขียน



นายธนกร สุริยนากุล  
เกิดวันที่ 29 พฤษภาคม 2538  
โทรศัพท์ 085-004-4992  
E-mail: thanakorn4992@gmail.com



นายวาริน สุขแสง  
เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน 2537  
โทรศัพท์ 082-492-9989  
E-mail: kiky\_10509@hotmail.com



นายสมโชค สกกุล  
เกิดวันที่ 4 กันยายน 2538  
โทรศัพท์ 088-033-9580  
E-mail: somchoke.sc@gmail.com



นายสิทธิพล สดมहाขลาสินธุ์  
เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2538  
โทรศัพท์ 085-065-8041  
E-mail: blooddaimon2@hotmail.com