



ภาควิชาวิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง
Electric DC Motor Tricycle

ชื่อนักศึกษา

1. นายบรรจง ทองเหลื่อ	รหัสประจำตัว	46035439
2. นายสาธิต เจียรชัย	รหัสประจำตัว	46035447
3. นายสุตสาคร คำธร	รหัสประจำตัว	46035452
4. นายทวิศักดิ์ ชูคง	รหัสประจำตัว	46035724

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ไพฑูริย์ พวงวงศ์ตระกูล	
2. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ	
3. อาจารย์ปิยะ สุภวาราสวัฒน์	
4. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
5. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สวัสดิ์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันอาทิตย์ที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 เวลา 13.30 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....



<BT4710172>

รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง

ELECTRIC DC MOTOR TRICYCLE



นายบรรจง ทองเหลือ
นายสาริต เจียรชัย
นายสุตสาคร กำธร
นายทวีศักดิ์ ชูคง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

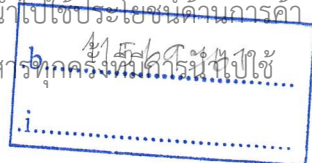
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

2/ค.
๑/1468
๑547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ส.ย. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ได้รับไปใช้



ปริญญานิพนธ์

เรื่อง รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

Electric DC Motor Tricycle

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างรถสามล้อไฟฟ้าเพื่อเป็นยานพาหนะ
2. เพื่อศึกษาภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติเกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมด้วยหลักการชอปเปอร์
3. เพื่อให้ นักศึกษาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สั่งงานในวงจรชอปเปอร์ ให้ทำการ สับวิตช์ให้มอเตอร์กลับคืนพลังงาน
4. เพื่อให้เกิดแนวทางในการพัฒนาระบบการขับเคลื่อนทางกลด้วยพลังงานไฟฟ้าให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุด
5. เพื่อเป็นการส่งเสริมการลดมลภาวะทางอากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเข้าใจถึงระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์และ ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าดีซีแบบกระตุ้นแยก
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการคืนพลังงานสะสมขณะหยุดมอเตอร์แบบพลวัต (Regenerative Breaking)
3. สามารถที่จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาในการสร้างรถมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. เพื่อให้มีความเข้าใจในการทำงานหรือองค์ประกอบการทำงานต่างๆ ที่ใช้สำหรับในการ ควบคุมมอเตอร์กำลังที่ต้องการได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง	
นักศึกษา	นายบรรจง	ทองเหลือ
	นายสาริต	เจียรชัย
	นายสุตสาคร	กำจร
	นายทวีศักดิ์	ชูคง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประเสริฐ	เคนพั่นคือ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Series motor) ซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulation) เป็นสัญญาณทริกให้กับเพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสให้ได้มากหรือน้อยตามต้องการซึ่งค่าความกว้างของสัญญาณที่นำไปทริกให้กับเพาเวอร์มอสเฟตจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมเอาเมเจอร์ มีค่าแตกต่างกันไปตามความกว้างของสัญญาณพัลส์ ที่ทริกให้กับเพาเวอร์มอสเฟส เป็นผลให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความเร็วที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเราจึงสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์โดยการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์นั่นเอง

ซึ่งแหล่งกำเนิดของสัญญาณพัลส์ของ PWM นี้จะใช้ชิพไอซีเบอร์ TL494 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ออกมา ส่วนการที่เราเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนเพราะแรงบิด (Torque) ขณะเริ่มต้นสูง ดังนั้นมอเตอร์จึงต้องมีขนาดกำลังเพียงพอจะทำให้รถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งถ้าเราต้องการเพิ่มแรงบิดให้สูงขึ้นกับงาน จำเป็นต้องเพิ่มขนาดมอเตอร์ใหญ่ขึ้น

II

Thesis Title	Electric DC Motor Tricycle
Students	Mr.Bunjong Tonglua Mr.Sathit Chearachai Mr.Sudsacorn Gumtorn Mr.Taweesak Chookong
Advisor	Mr.Prasert Kenpankho
Co-Advisor	Mr.Amornchai Chaishana
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2004

ABSTRACT

The main purpose of this project is to study about controlling on “Series Motor” which uses “Pulse Width Modulation” (PWM) technique to generate the trigger signal to MOSFET. This will take effect on the level of MOSFET’S electrical conductivity. The Armature voltage drop will be varied by the width of the pulse modulation triggered to MOFET. This will cause the DC Motor to have different speeds. Consequently, the Motor can be expedited by adjusting the pulse width.

IC chip number TL 494 is used as a source generator of the signal of PWM. The DC Motor is used to be the driving for the vehicle due to its more high torque in the initiation. Therefore, the more power of the work is required, the more power of the Motor must be empowered.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการนี้ที่ผ่านมาได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ และ อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาที่ให้ความรู้คำแนะนำ และความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ รวมถึงอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความรู้คำแนะนำข้อคิดเห็น และคอยให้กำลังใจในการทำงานทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่พัสดุคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำงานรวมถึงรุ่นพี่และเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือในการทำงานและตรวจทานปริิญาานิพนธ์ให้สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุพการีที่ให้การสนับสนุน และคอยให้กำลังใจในการทำงาน ขอขอบคุณครับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 การวิเคราะห์หม้อเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	4
2.2.1 ประสิทธิภาพของมอเตอร์	6
2.3 วิธีควบคุมความเร็ว	6
2.3.1 ควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์	6
2.3.2 ควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก	8
2.3.3 การควบคุมความต้านทานที่อาร์เมเจอร์	9
2.3.4 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมโดยใช้แรงดันอาร์เมเจอร์ และวิธีการควบคุมที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก	10
2.3.5 การเริ่มหมุนของมอเตอร์	10
2.3.6 การหยุดมอเตอร์	11
2.4 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ขดลวดแตรนที่ต่างๆ	15
2.4.1 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีช้อปเปอร์	15
2.5 เพาเวอร์มอสเฟต	22
2.5.1 โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟต	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.2 คุณสมบัติของเพาเวอร์มอสเฟต	22
2.5.3 กำลังงานสูญเสีย	24
2.4.4 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต	25
2.6 วงจรสับเบอร์	27
2.7 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	35
2.7.1 การจำแนกประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	35
2.7.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	36
2.7.3 ตัวประกอบที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่	40
2.7.4 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่	49
2.7.5 ขนาดของแบตเตอรี่และประสิทธิภาพ	49
2.8 วิธีการเลือกใช้แบตเตอรี่	49
2.8.1 คุณสมบัติของการคายประจุ	50
2.8.2 ตัวแปรทางด้านอุณหภูมิ	54
2.8.3 การประจุกระแสไฟฟ้า	56
2.9 เซนเซอร์ชนิดแสง	56
2.9.1 ชนิดของตัวรับและส่งแสง	56
2.9.2 เทคนิคในการส่งแสง	58
2.9.3 โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดแสง	58
2.9.4 เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด	59
2.9.5 เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ	59
2.9.6 เซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง	60
2.9.7 หลักการเลือกใช้เซนเซอร์ให้เหมาะสมกับงาน	61
2.9 ระบบทางกล	64
2.9.1 ระบบการเบรก	64
2.9.2 เพลา	64
2.9.3 แบริ่ง	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับและทุกฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.9.5 โഴ้	67
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	69
3.1 ฟังก์ชันการทำงานของโครงการ	70
3.2 แผนผังของวงจรภาคควบคุมและวงจรภาคกำลัง	70
3.3 อัตราทด	70
3.3.1 ความต้องการการเคลื่อนที่ของรถ	71
3.3.2 ความต้านทานเนื่องจากอากาศ	71
3.3.3 ความต้านทานเนื่องจากการหมุน	71
3.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์	72
3.4.1 แรงเสียดทาน	72
3.4.2 แรงขณะเริ่มเคลื่อนที่	72
3.4.3 แรงที่ใช้เมื่อเคลื่อนที่แล้ว	73
3.4.4 แรงบิดที่ใช้เมื่อเคลื่อนที่แล้ว	73
3.4.5 กำลังงานที่ใช้เวลา 1 ชั่วโมง	74
3.5 วงจรภาคควบคุม	75
3.5.1 การสร้างชุดกำเนิดพัลส์วัดชั้มอดูลชั้น	75
3.6 วงจรประจุแบตเตอรี่	79
3.7 วงจรแสดงระดับแรงดัน	81
3.8 วงจรเซ็นเซอร์อินฟาเรด	82
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	84
4.1 การทดลองมอเตอร์	84
4.1.1 การทดลอง	84
4.1.2 ผลการทดลอง	85
4.2 การทดลองรถสามล้อไฟฟ้า	86
4.2.1 การทดลอง	86
4.2.2 ผลการทดลอง	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 การทดลองระยะทางกับการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง	89
4.3.1 การทดลอง	89
4.3.2 ผลการทดลอง	90
4.4 การทดลองเซ็นเซอร์กันชนตอนลอยหลัง	90
4.4.1 การทดลอง	90
4.4.2 ผลการทดลอง	90
บทที่ 5 บทสรุป	91
5.1 สรุป	91
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	91
5.3 แนวทางการพัฒนา	92
บรรณานุกรม	93
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	94
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	97
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	105
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน	111
ภาคผนวก จ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	118
ประวัติผู้แต่ง	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติแอมแปร์ - ชั่วโมง (Ampere - Hours) หรือ วัตต์ - ชั่วโมง (Watt - Hours) ของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	36
2.2 เปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ	38
2.3 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	48
2.4 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการประจุในอุณหภูมิต่างๆ	49
2.5 พิกัดความจุที่เปลี่ยนไปในการคายประจุอย่างต่อเนื่อง	52
2.6 พลังงานของแบตเตอรี่ที่พิกัดของการคายประจุต่างๆ	53
2.7 ความสามารถของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของ อิเล็กโทรไลต์	54
2.8 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง	57
2.8 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง	58
2.9 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด	59
2.10 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ	60
2.11 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง	60
4.1 ตารางการทดลองมอเตอร์	85
4.2 การทดลองความเร็วสูงสุด โดยใช้คันโยกกับมอเตอร์	89
4.3 การทดลองระยะทางกับเวลาต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง	90
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมมอเตอร์	106
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรประจุแบตเตอรี่	107
ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรประจุแบตเตอรี่	108
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	108
ค.3 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	109
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด	109
ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด	110
ง.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้นในการใช้รถสามล้อ	116
ง.2 ข้อมูลจำเพาะ	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	4
2.2 กราฟความสัมพันธ์ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยกและมอเตอร์แบบอนุกรม	7
2.3 กราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วควบคุมความต้านทานที่อาร์เมเจอร์	10
2.4 ขอบเขตของแรงบิดและกำลังไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบการควบคุมแบบควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์และควบคุมสนามแม่เหล็ก	11
2.5 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วขณะเกิด การหยุดหมุนแบบพลวัต (Regenerative Breaking) ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก	12
2.6 Resistance Dynamic Breaking ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก	13
2.7 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วขณะใช้ Resistance Breaking ของมอเตอร์	13
2.8 Plugging ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก	14
2.9 กราฟลักษณะสมบัติของมอเตอร์ขณะ Plugging	14
2.10 เครื่องหมายของแรงดันของแหล่งจ่าย แรงดันเหนี่ยวนำและกระแสในการทำงานของมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วต่างๆ	16
2.11 วงจร Class E Four-Quadrant Chopper	17
2.12 รูปสัญญาณของ Four Quadrant Chopper ที่ควบคุมโดยวิธีที่ 3 ขณะทำงานในสถานะ Forward Motoring	19
2.13 รูปสัญญาณของ Four Quadrant Chopper ที่ควบคุมโดยวิธีที่ 3 ขณะทำงานในสถานะ Forward Regeneration	20
2.14 ตัวอย่าง Gate Charge Chart	26
2.15 วงจรสับเบรคคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรสวิตซ์	28
2.16 ลักษณะการลดของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมมอสเฟตขณะเริ่มหยุดนำกระแส	28
2.17 การต่อวงจรสับเบรคช่วงหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมมอสเฟตกำลังให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ	29
2.18 วิธีกำจัดแรงดันสไปก์	31
2.19 รูปคลื่นขณะสวิตซ์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 (ต่อ) รูปคลื่นขณะสวิตช์	32
2.19 (ต่อ) รูปคลื่นขณะสวิตช์	33
2.20 พื้นที่ปลอดภัยในการทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ	33
2.21 การประมาณรูปคลื่นแบบเชิงเส้นขณะสวิตช์กำลังสูญเสียขณะตัดกระแส	34
2.22 ความจุแอมแปร์ - ชั่วโมง และกราฟของเวลา	38
2.22 (ต่อ) ความจุแอมแปร์ - ชั่วโมง และกราฟของเวลา	39
2.23 ผลของแรงดันสุดท้ายต่อเอาต์พุตของเซลล์ เมื่อโหลดเท่ากับ 6 ชั่วโมง แรงดันสุดท้ายปกติเป็น V1 กับแรงดันสุดท้ายเป็น V2 ที่ 4 ชั่วโมง	40
2.24 การเปลี่ยนแปลงแรงดันขณะเปิดวงจรของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว กับค่าความถ่วงจำเพาะ	45
2.25 ลักษณะสมบัติของแรงดันเมื่อเทียบกับเวลาของแท่งชั้นแบตเตอรี่	47
2.26 ความจุของแบตเตอรี่ขณะที่คายประจุอย่างต่อเนื่องและหยุดเป็นพักๆ ที่อุณหภูมิสูง	51
2.27 ความจุของแบตเตอรี่ขณะที่ทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องและหยุดเป็นพักๆ ที่อุณหภูมิต่ำ	51
2.28 แรงดันไฟฟ้าและกำลังทางด้านเอาต์พุตของแท่งชั้นแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิปกติ	53
2.29 กราฟความจุลิ่ง (Cooling) เอ็กซ์ไซค์ ไอออนนิเคดของแบตเตอรี่ 18 เซลล์ 440 Ah	55
2.30 การทดสอบความเร็วรอบของสายพานและพูลเล่แบบไม่มีร่อง	66
2.31 การทดสอบความเร็วรอบของสายพานและพูลเล่แบบมีร่อง	67
3.1 แผนผังการทำงานของโรงงาน	69
3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคควบคุม และวงจรภาคกำลัง	70
3.3 ขนาดของโครงสร้างรถสามล้อ	74
3.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์	76
3.5 วงจรภาคควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	79
3.6 วงจรประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 ก้อน	80
3.7 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	82

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 วงจรเซนเซอร์อินฟาเรด	83
4.1 รูปแบบการทดลองมอเตอร์	84
4.2 การทดลองรตวงทางตรง	86
4.3 การทดลองรตเลียขว	87
4.4 การทดลองรตเลียข้าย	87
4.5 การทดลองกัปรต	88
4.6 การทดลองขั้ขั้สูง	88
ก.1 ภาพด้านหน้ารตสามลั้ไฟฟ้าขั้เคลื่อนด้วยมตอรั้กระแตรง	95
ก.2 ภาพด้านข้งรตสามลั้ไฟฟ้าขั้เคลื่อนด้วยมตอรั้กระแตรง	95
ก.3 ภาพด้านหลังของรตสามลั้ไฟฟ้าขั้เคลื่อนด้วยมตอรั้กระแตรง	96
ข.1 วงจรควบคุมมตอรั้ไฟฟ้ากระแตรง	98
ข.2 แผ่นวงจรพื้วงจรควบคุมมตอรั้ด้านบน	98
ข.3 แผ่นวงจรพื้วงจร ควบคุมมตอรั้ด้านล่าง	99
ข.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพื้วงจรควบคุมมตอรั้	99
ข.5 วงจรประจุเบตเตอรั้ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 กั้	100
ข.6 แผ่นวงจรพื้วงจรประจุเบตเตอรั้ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 กั้	100
ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพื้วงจรประจุเบตเตอรั้ ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์จำนวน 4 กั้	101
ข.8 วงจรวัดระดับแรงดันเบตเตอรั้	101
ข.9 แผ่นวงจรพื้วงจรวัดระดับแรงดันเบตเตอรั้	102
ข.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพื้วงจรวัดระดับแรงดันเบตเตอรั้	102
ข.11 วงจรเซนเซอร์อินฟาเรด	103
ข.12 แผ่นวงจรพื้วงจรเซนเซอร์อินฟาเรด	103
ข.13 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพื้วงจรเซนเซอร์อินฟาเรด	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	113
ง.2 ปุ่มสวิตช์ควบคุมรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	113
ง.3 หน้าปัทม์ตัวตรวจวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	114
ง.4 ไฟแสดงการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่	114
ง.5 การต่อใช้งานจากชุดควบคุม	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ มีวิวัฒนาการก้าวหน้าขึ้นทุกๆ วันเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์และเพิ่มความสะดวกสบาย แต่เทคโนโลยีส่วนใหญ่จะผลิตมาเพื่อตอบสนองให้กับบุคคลทั่วไป ดังนั้นผู้จัดทำได้สังเกตเห็นว่าคนพิการที่ประกอบอาชีพนั้นยังขาดเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในด้านการคมนาคม จึงมีความคิดที่จะทำรถสามล้อขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการคมนาคม และเพื่อเสริมสร้างการประกอบอาชีพของคนพิการ เนื่องจากในสภาพปัจจุบันการคมนาคมนั้นถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวันกับเราเป็นอย่างมาก โดยพาหนะที่ใช้ในการคมนาคมทางบก โดยส่วนใหญ่จะเป็นการใช้พาหนะที่ใช้พลังงานจากเผาไหม้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง แต่จากการใช้พลังงานจากน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงนั้นมีข้อเสียตามหลายประการอาทิเช่น เรื่องมลพิษที่เกิดจากเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากเครื่องจักรภายในตัวพาหนะ ทำให้เกิดการเปลี่ยนจากน้ำมันที่ทำการเผาไหม้แปรเป็นควันเสียที่มีให้เห็นมากมายในท้องถนนทั่วไป ในสภาวะการปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงมีการใช้กันอย่างเป็นที่แพร่หลายโดยไม่มีการควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในอนาคตข้างหน้าสามารถจะเกิดการขาดแคลนน้ำมันซึ่งนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้จากปัญหาที่ได้กล่าวมา เนื่องจากการใช้พาหนะโดยทั่วๆ ไปยังคงมีความต้องการเชื้อเพลิงอย่างไม่สิ้นสุดการลดปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน เชื้อเพลิงนั้นสามารถทำได้วิธีหนึ่งก็คือ การหาพลังงานในรูปแบบอื่นมาทดแทนพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจให้เกิดประโยชน์ได้ ดังนั้นรถขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าก็เป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการคมนาคม โดยประโยชน์ที่ได้นั้นก็มิได้อยู่หลายประการเช่น ในสภาพการจราจรที่ติดขัดนั้นทำให้เกิดการหยุดจอดตามสภาพการจราจรนั้นบ่อยครั้ง ข้อดีที่ได้จากพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าก็คือ ในสภาวะที่หยุดนิ่งพาหนะแทบจะไม่ต้องใช้พลังงานเลย อีกทั้งความเร็วสำหรับพาหนะชนิดนี้จะเป็นปริมาณความเร็วที่ใช้พลังงานประหยัดและเพียงพอ แต่สำหรับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง แม้ขณะการหยุดจอดตามสภาพการจราจรก็ยังคงมีการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ภายในหรือการเผาไหม้น้ำมันอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าจะอยู่สภาวะหยุดนิ่งก็ตามอีกทั้งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถหาได้ง่าย และถูกกว่าน้ำมัน ในด้านของอายุการใช้งานพาหนะขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจะมีอายุการใช้งานที่มากกว่า เนื่องจากไม่เกิดการเผาไหม้ในตัวเครื่องจักรเหมือนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้การบำรุงรักษานั้นทำได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงมีความคิดที่จะจัดทำโครงการรถมอเตอร์ไฟฟ้าคันพลังงานที่สามารถขับเคลื่อนได้ โดยการใช้ดีเซลมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกเป็นต้นกำลังและมีชุดช้อปเปอร์สวิตซ์ทำการเปลี่ยนให้มอเตอร์ ในขณะที่ทำการเบรกแปรเปลี่ยนเป็นเจนเนอเรเตอร์ในการจ่ายพลังงานคืนกลับมาสู่แบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งพลังงานของรถไฟฟ้า เพื่อเป็นการสนองในส่วนของการประหยัดพลังงานที่มีอยู่

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. เป็นระบบ 3 ล้อ โดยใช้การควบคุมการขับเคลื่อนด้วย 2 ล้อหลัง
2. ใช้ดีเซลมอเตอร์ชนิดกระตุ้นแยกเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน
3. ใช้แหล่งจ่ายพลังงานแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบเซลล์แห้ง
4. รถมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มความเร็วได้
5. ใช้เซนเซอร์ในการป้องกันการชนเวลาถอยหลัง

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับ โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก การทำงานของมอเตอร์ที่ควอดแรนต์ต่างๆ วิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์ องค์ประกอบของวงจรควบคุมมอเตอร์แบบคันพลังงาน แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดและการประจุแบตเตอรี่รวมไปถึงระบบทางกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถสามล้อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับการคำนวณและการออกแบบโครงการการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ โครงสร้างส่วนประกอบต่างๆ การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานและวงจรประจุแบตเตอรี่โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วยการทดลองและผลการทดลองของวงจรภาคควบคุมมอเตอร์ การทดสอบตัวรถและความเร็วของรถสามล้อไฟฟ้าและการทดสอบระยะเวลาต่อการประจุแบตเตอรี่ใช้งานแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการงานปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขรวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพของรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง และการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับชุดควบคุมแบบสมบูรณ

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง เป็นคู่มือการใช้งานรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง

ภาคผนวก จ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงการงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

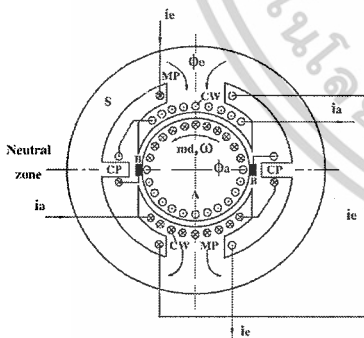
2.1 กล่าวนำ

สิ่งที่นำมาพิจารณาและศึกษาในส่วนต่างๆ เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการทำโครงการงานรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยดีเซลมอเตอร์ โดยสามารถพิจารณาในเนื้อหาต่างๆ ได้ดังนี้

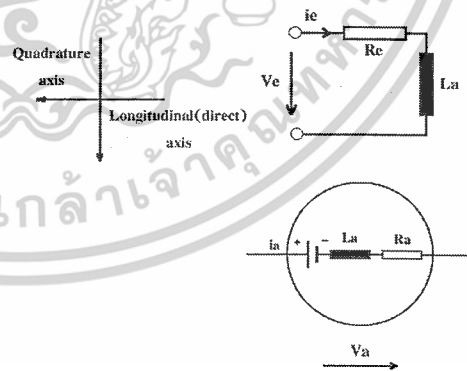
1. การวิเคราะห์หม้อเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก
2. ทฤษฎีและหลักการของวงจรขอปเปอร์
3. องค์ประกอบต่างๆ สำหรับการประจุและคายประจุ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดซึ่งจะมีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

2.2 การวิเคราะห์หม้อเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

ในการควบคุมความเร็วหม้อเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สิ่งสำคัญที่จะต้องทราบก็คือขั้วล่อโคเดแกรม หรือฟังก์ชัน โอนย้ายของตัวมอเตอร์นั้น เพื่อจะได้นำมาทำการออกแบบระบบควบคุมและสามารถทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้



(a) ภาพตัดขวางของมอเตอร์



(b) วงจรสมมูลทางไฟฟ้า

รูปที่ 2.1 เครื่องจักร ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 (a) เป็นภาพตัดขวางของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 ขั้ว ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator; S) และส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Rotor; A) ซึ่งเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีขดลวดพันอยู่ทั่วไปแล้วโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์ขนาดใหญ่จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางวางซ้อนกัน เพื่อลดการสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron Loss) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในขดลวดสนาม ถ้าในมอเตอร์ขนาดเล็กสเตเตอร์จะเป็นเหล็กหล่อแบบธรรมดา โดยขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์จะเป็นที่พันขดลวดสนาม โดยจะมีกระแสฟลักซ์ i_c ไหลผ่านซึ่งจะทำให้เกิดฟลักซ์ (Main Flux; Φ_c) ผ่านสเตเตอร์และโรเตอร์ส่วนขดลวดอาร์เมเจอร์จะพันอยู่ในร่องสลิต (Slot) ของโรเตอร์และขั้วต่อทั้งสองอยู่กับแท่ง คอมมิวเตเตอร์ ในการป้องกันกระแสอาร์เมเจอร์ ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ จะต้องผ่าน แปรงถ่าน (Brushes) และคอมมิวเตเตอร์เสมอ ซึ่งกระแสอาร์เมเจอร์นี้จะเป็นตัวสร้างและกระจายฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจากฟลักซ์หลัก

จากรูปที่ 2.1 ช่องอากาศ (Air Gap) ในทิศทางของฟลักซ์ที่เกิดจากฟลักซ์หลักมีค่ามากจะเป็นผลทำให้ค่าของฟลักซ์ที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ มีค่าน้อยกว่าฟลักซ์ที่เกิดจากขดลวดสนาม การแก้ปัญหานี้ได้โดยการวางขดลวดชดเชย เข้าไปในขั้วตามรูปที่ 2.1 และการต่อขดลวดดังกล่าวเข้าไปจะสร้าง MMF มีทิศทางตรงข้ามกับของเดิมทำให้สามารถลดสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากออกไปได้นอกจากนี้ขดลวดดังกล่าวสามารถช่วยลดอาร์เมเจอร์รีแอกชั่น ลงได้ด้วย

โดยปกติแล้วขดลวดชดเชยนี้จะมีในมอเตอร์ขนาดใหญ่หรือมอเตอร์ที่ใช้งานหนัก นอกจากนั้นมอเตอร์ที่มีขดลวดชดเชยยังสามารถทนการ โอเวอร์ โหลด (Over Load) ได้มากกว่ามอเตอร์ที่ไม่มีขดลวดชดเชย และในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของกระแสที่อาร์เมเจอร์อย่างรวดเร็วทำให้กระแสฮาร์โมนิกสูงไม่ส่งผลต่อการทำงานของมอเตอร์เช่นการสปาร์กที่แปรงถ่าน เป็นต้น

ขั้วคอมมิวเตเตอร์วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กของขดลวดที่พันอยู่บนขั้วคอมมิวเตเตอร์ เกิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งเป็นขดลวดที่พันอยู่บนขั้วแม่เหล็ก เป็นตัวช่วยให้แนว Neutral Zone อยู่ในแนวเดียวกัน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 2.1(b) แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันรวมของขดลวดอาร์เมเจอร์ (U_a) ประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (U_i) ที่เหนี่ยวนำขึ้นมาจากการหมุนของโรเตอร์ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ $L_a(\frac{di_a}{dt})$ และแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน $R_a I_a$ เมื่อค่า I_a และ R_a เป็นพารามิเตอร์ของขดลวดอาร์เมเจอร์ ในมอเตอร์ตัวขนาดใหญ่ค่าของ $R_a I_a \ll U_a$ ทำให้ไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าให้เป็นกำลังงานกลเพื่อให้หมุนขั้วงานของมอเตอร์นั้น ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปส่วนหนึ่งทำให้กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนกลับที่แกนมอเตอร์ : Output) น้อยกว่ากำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input) อัตราส่วนระหว่างกำลังกลกับกำลังไฟฟ้าเรียกว่า (Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็คือ สมรรถนะในการทำงานของมอเตอร์นั่นเองหาได้จาก

$$\eta = P_2 \cdot 100 / P_1 \% \quad (2.1)$$

ให้ η = ประสิทธิภาพ
 P_1 = กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า: Input Power)
 P_2 = กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนกลับที่แกนมอเตอร์: Output Power)
 ΔP = กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

2.3 วิธีควบคุมความเร็ว

จากความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิด จะเห็นว่าความเร็วสามารถควบคุมได้โดยวิธีต่อไปนี้คือ

1. ควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ (Armature Voltage Control)
2. ควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Flux Control)
3. ควบคุมความต้านทานที่อาร์เมเจอร์ (Armature Resistance Control)

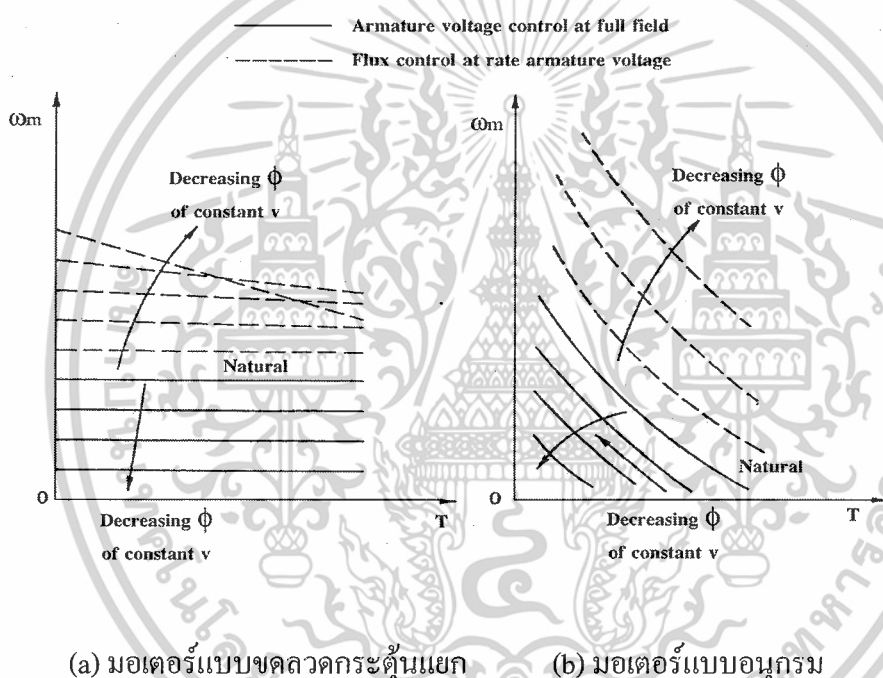
2.3.1 ควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์

ถ้าแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ที่สภาวะคงที่ลดลง จะเห็นว่าถ้าแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ที่สภาวะคงที่ลดลง จะเห็นว่ากระแสอาร์เมเจอร์ลดลงดังนั้นแรงบิดจะลดลงด้วยแรงบิดของมอเตอร์จะน้อยกว่าแรงบิดของโหลด ทำให้มอเตอร์เกิดความหน่วงซึ่งเป็นผลให้ความเร็วและแรงดันเหนี่ยวนำลดลงซึ่งในที่สุดความเร็วจะตกลงมาน้อยกว่าความเร็วที่แรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดของโหลด ถ้าแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ แบบขดลวดกระตุ้นแยกถูกลดอย่างมาก แต่มีค่าน้อยกว่าแรงดันเหนี่ยวนำจะทำให้กระแสไหลกลับทางมอเตอร์ ก็จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยให้แรงบิดเป็นลบ การทำงานช่วงนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์ลดลงถึงจุดๆ หนึ่งที่แรงดันเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับแหล่งจ่าย หลังจากนั้นมอเตอร์ก็จะเกิดความหน่วงขึ้นอย่างสมบูรณ์เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงบิดโหลด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสามารถอธิบายได้อีกอย่างหนึ่งว่า ถ้าแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ขณะที่หมุนอยู่ที่จุดสภาวะคงที่มีค่าเพิ่มขึ้น กระแสอาร์เมเจอร์จะเพิ่มขึ้น นั่นคือแรงบิดจะเพิ่มขึ้นและมอเตอร์จะมีความเร็วเป็นผลทำให้ความเร็วและแรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ในที่สุดก็จะหมุนที่ความเร็วมากกว่าเดิม ในจุดที่ แรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดของโหลด

เมื่อลดหรือเพิ่มความเร็วจะทำให้แรงดันที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากถ้าเปลี่ยนค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์อย่างมากมาย จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าสู่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนมากตามไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลเสียหายต่อคอมมิวเตเตอร์ทำให้อายุใช้งานของมอเตอร์ลดลง



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยกและมอเตอร์แบบอนุกรม

คุณสมบัติแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยกและแบบอนุกรมเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอาร์เมเจอร์แสดงไว้ในเส้นทึบของรูปที่ 2.2 เมื่อลดแรงดันอาร์เมเจอร์ลงมอเตอร์จะทำงานที่เส้นการทำงานที่ต่างกัน ในกรณีของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก ความเร็วที่ไม่มีโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อแรงดันอาร์เมเจอร์และเส้นความสัมพันธ์จะเป็นแบบขนาน แรงดันที่อาร์เมเจอร์จะเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าพิกัดไม่ได้ นั่นคือวิธีนี้จะใช้สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์จากต่ำสุดจนถึงค่าพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของการใช้การควบคุมวิธีนั้นก็คือ ความชันของความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยไม่ว่าความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด และวิธีนี้จะให้แรงบิดคงที่ ณ จุดที่กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าสูงสุดเท่าที่ยอมรับได้แล้วทำให้แรงบิดเท่ากันหมดไม่ว่า แรงบิดจะเป็นเท่าใดหรือพิจารณา $T = KI_a$ ถ้า I_a เท่ากันก็ทำให้แรงบิดเท่ากันหมด (เฉพาะมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก)

การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประกอบกันขึ้นเป็นคอนเวอร์เตอร์โดยมีวิธี ดังนี้คือ

1. Controlled Rectifier หรือ (AC to DC Converter)
2. Chopper หรือ (DC to DC Converter)

2.3.2 ควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก

ถ้าสนามแม่เหล็กของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก หรือแบบอนุกรม ขณะหมุนที่ความเร็วค่าหนึ่งๆ จะทำให้แรงดันเหนี่ยวนำลดลง เพราะความต้านทานของอาร์เมเจอร์มีน้อยกระแสจึงเพิ่มขึ้นโดยเป็นปริมาณที่มากกว่าการลดลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก ผลก็คือทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงอย่างมากแรงบิดจะเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมาก มากกว่าแรงบิดของ โหลดแรงบิดที่มากขึ้นนี้จะทำให้มอเตอร์เกิดความเร็วจนมาเป็นผลทำให้แรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นมอเตอร์ก็จะหมุนที่ความเร็วใหม่ที่สูงกว่าเดิม การควบคุม โดยใช้วิธีพยายามอย่าให้สนาม แม่เหล็กอ่อนเกินไป เพราะว่าจะเป็นอันตรายเนื่องจากเกิดกระแส Inrush นั่นคือกระแสระมัดระวังเรื่องสนามแม่เหล็ก หรือสามารถอธิบายได้อีกอย่างหนึ่งว่าเมื่อสนามแม่เหล็กของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก เพิ่มขึ้นแรงดันเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งแรงดันที่เพิ่มขึ้นจะเกินแรงดันของแหล่งจ่ายนั้นคือกระแสอาร์เมเจอร์จะไหลกลับทางเมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้มอเตอร์จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจ่ายพลังงานสู่ระบบ พลังงานนี้ได้มาจากพลังงานจลน์ของมอเตอร์และโหลด เมื่อพลังงานถูกจ่ายออกไปทำให้พลังงานกลที่เก็บไว้ในมอเตอร์และ โหลดลดลง เป็นผลให้แรงดันเหนี่ยวนำลดลงทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงจนเป็นความเร็วใหม่ซึ่งต่ำกว่าความเร็วเดิม ในกรณีของมอเตอร์แบบอนุกรมเมื่อเพิ่มสนามแม่เหล็กในขดลวดทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ลดลงเป็นจำนวนมาก (แต่ไม่กลับทิศทาง) เพราะแรงบิดของมอเตอร์น้อยกว่าแรงบิด โหลดจึงทำให้มอเตอร์หน่วง ทำให้หมุนช้าลงสู่ความเร็วใหม่ที่ต่ำกว่าเดิม

คุณสมบัติของแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองแบบ เมื่อลดสนามแม่เหล็กลงสามารถแสดงได้ด้วยเส้นประในรูปที่ 2.2 ที่เส้นแรงแม่เหล็กลดลงถ้าหากให้เส้นแรงบิดเพิ่มขึ้น กระแสจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเกิดแรงดันตกอย่างมากในอาร์เมเจอร์ผลที่ตามมาก็คือแรงดันเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

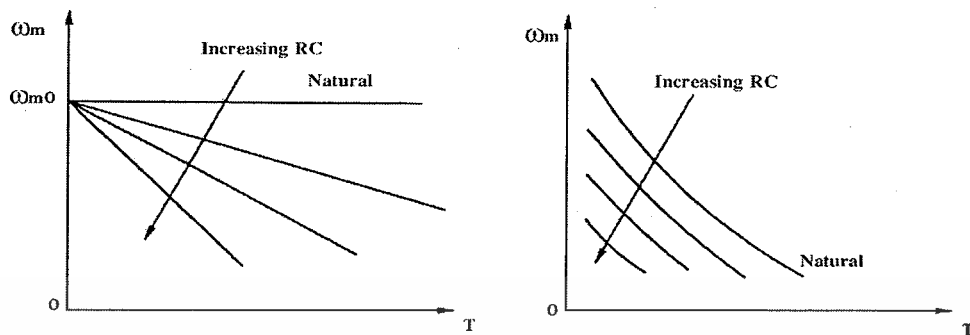
นำและความเร็วจะตกลงอย่างมากเช่นเดียวกัน หรือสรุปได้ว่าเมื่อสนามแม่เหล็กลดลงเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชันของแรงบิดและความเร็วอย่างมาก

การควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขนาน และแบบขดลวดกระตุ้นแยกจะทำให้กำลังออกมามีค่าคงที่ เพราะที่ความเร็วที่เกินไปจากพิกัดนี้มอเตอร์ก็ยังไม่ให้กำลังไฟฟ้าได้แต่เป็นค่าที่สูงสุดที่มอเตอร์จะจ่ายให้ได้ คือมอเตอร์ไม่สามารถจะจ่ายกำลังได้มากกว่านี้อีกแล้วจึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ความเร็วเหล่านี้ มีค่าสูงสุดและคงที่ ถ้าสมมติให้กระแส อาร์เมเจอร์สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้งานได้ ($I_{a(max)}$) ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อสนามแม่เหล็กอ่อนตัวลงซึ่งแรงดันเหนี่ยวนำ E_a จะคงที่อยู่ที่ความเร็วดังกล่าวแต่แรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ยังคงที่ด้วย ซึ่งผลที่ตามก็คือ มันจะทำให้มอเตอร์มีกำลังจ่ายออกมาเป็น $E_a I_{a(max)}$ คงที่ตลอดช่วงความเร็วนี้และแรงบิดสูงสุดที่จะจ่ายได้จะแปรผันกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น จากสมมติฐานกระแสอาร์เมเจอร์สูงสุดที่ยอมรับได้คือ $I_{a(max)}$ จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการลดสนามแม่เหล็กลง จะเป็นเพียงการประมาณการเท่านั้นเพราะว่าเมื่อมีสนามแม่เหล็กลดลงปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์จะมีผลอย่างมาก เพราะฉะนั้นกระแสสูงสุดที่มอเตอร์จะได้รับ โดยผ่านคอมพิวเตอร์จึงลดลง ทำให้มอเตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าน้อยลงกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มอเตอร์จะจ่ายได้

ในมอเตอร์กระตุ้นแยก การควบคุมสนามแม่เหล็กทำได้โดยการเปลี่ยนแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยการใช้คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟ ac หรือ dc ส่วนมอเตอร์ขนาดเล็กๆ จะต่อเป็นแบบขนานและการควบคุมสนามแม่เหล็กจะทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับความต้านทานที่วงจรด้านขดลวดสนามแม่เหล็ก ส่วนในมอเตอร์แบบอนุกรมการควบคุมสามารถทำได้โดยการใช้ความต้านทาน Diverter ควบคู่กับขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.3.3 การควบคุมความต้านทานที่อาร์เมเจอร์

เมื่อเพิ่ม R_a เข้าไปในชุดอาร์เมเจอร์ จากกราฟจะเห็นว่า การควบคุมด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ต่ำมากที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากเกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_e



a) แบบขดลวดกระตุ้นแยก

b) แบบอนุกรม

รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วควบคุมความต้านทานที่อาร์เมเจอร์

2.3.4 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมโดยใช้แรงดันอาร์เมเจอร์ และวิธีการควบคุมที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก

ในเครื่องจักรกลที่ต้องการควบคุมความเร็วเป็นช่วงกว้าง จะใช้การควบคุมแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ร่วมกับการควบคุมสนามแม่เหล็ก ถ้าใช้การควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์จะมีข้อดีที่สามารถให้แรงบิดจนถึงแรงบิดสูงสุดได้ตลอดช่วงความเร็ว ส่วนการควบคุมสนามแม่เหล็กมีข้อดีคือสามารถให้ความเร็วที่สูงกว่าการควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ ในเครื่องจักรทั่วไป Base Speed คือความเร็วที่สภาวะพิกัดเป็นสภาวะที่แรงดันอาร์เมเจอร์และแรงดันที่ขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่ในพิกัดความเร็ว ณ จุดนี้เป็นการหมุนต่างๆ ไป ความเร็วจากน้อยที่สุดจนถึงความเร็วดังกล่าวนี้จะใช้วิธีการควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ และถ้าต้องการความเร็วเกิดพิกัดขึ้นไปจะใช้การควบคุมสนามแม่เหล็กแทน ที่ทำเช่นนี้เพราะแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์จะมีค่ามากกว่าแรงดันพิกัดของตัวมอเตอร์ไม่ได้ แต่การควบคุมแบบสนามแม่เหล็กจะทำให้แรงบิดที่มอเตอร์จ่ายลดลง

การเปลี่ยนแปลงแรงบิด (T) และกำลังไฟฟ้า (P_m) ที่การควบคุมทั้ง 2 แบบ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยสมมติให้กระแสอาร์เมเจอร์ที่จุดพิกัดมีค่าคงที่ตลอดช่วงความเร็ว

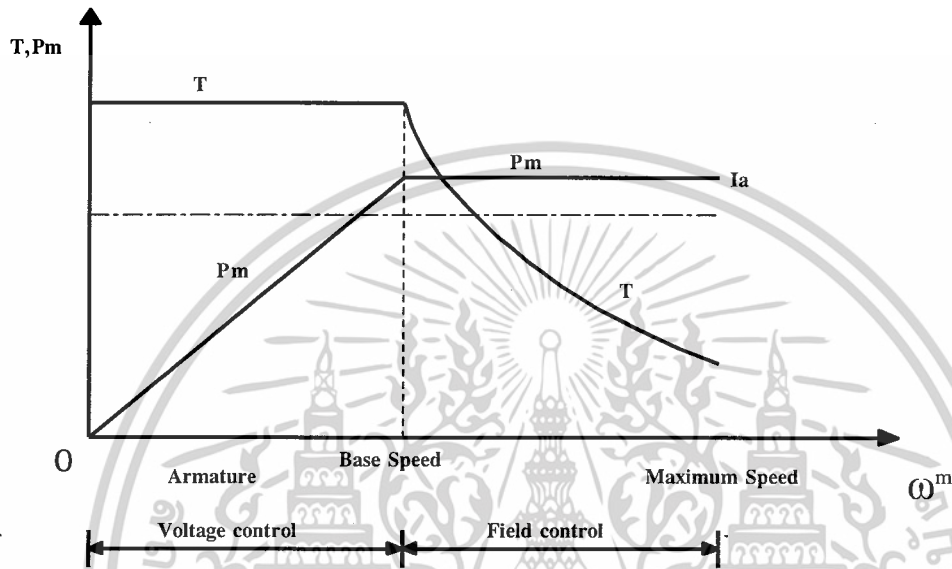
2.3.5 การเริ่มหมุนของมอเตอร์

เมื่อต่อแรงดันเข้ากับแรงดันพิกัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มทำการหมุน ลักษณะเช่นนี้ในมอเตอร์ขนาดกลางจะให้กระแสเริ่มหมุนถึง 20 เท่าของกระแสพิกัด กระแสนี้จะทำความเสียหายให้กับมอเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดการกระโดดของกระแสไฟฟ้าที่ซีคอมมิวเตเตอร์และจะเกิดความร้อนขึ้นที่ขดลวด เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการจำกัดกระแสขณะมอเตอร์เริ่มหมุน ซึ่งทำได้โดยการลดแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์แล้วค่อยๆ เพิ่มแรงดันก็จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จะใช้ชุดควบคุมในการควบคุมความเร็วชุดควบคุมนี้สามารถจำกัดกระแสตอนเริ่มหมุนได้ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนอย่างช้าๆ และหมุนเร็วขึ้นหรือที่เรียกว่า Soft Start



รูปที่ 2.4 ขอบเขตของแรงบิดและกำลังไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบการควบคุมแบบควบคุมแรงดันอาร์มเจอร์และควบคุมสนามแม่เหล็ก

2.3.6 การหยุดมอเตอร์

เมื่อกระแสไหลตามวงจรสมมูลของอาร์มเจอร์สถานะคงที่ มอเตอร์จะให้แรงบิดในทิศทางบวก และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อจ่ายให้โหลด ถ้าในบางกรณีกระแสอาร์มเจอร์ของมอเตอร์เกิดกลับทางทั้งๆ ที่สนามแม่เหล็กอยู่ที่ทิศทางเดิม แรงบิดที่มอเตอร์จ่ายให้กลับไปที่เดิม และเครื่องจักรกลตัวนี้จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการรับพลังงานกลจากโหลดและเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานกลที่ได้จากโหลดจะเกิดจากพลังงานสะสมในความเร็วของโหลดมอเตอร์หรืออาจจะมาจาก Active Load การหยุดหมุนสามารถทำได้ 3 แบบคือ

1. การหยุดหมุนแบบพลวัต (Regenerative Breaking)
2. การหยุดหมุนแบบใช้ความต้านทาน (Resistance Dynamic Breaking)
3. การหยุดหมุนโดยการกลับขั้วแรงดัน (Plugging)

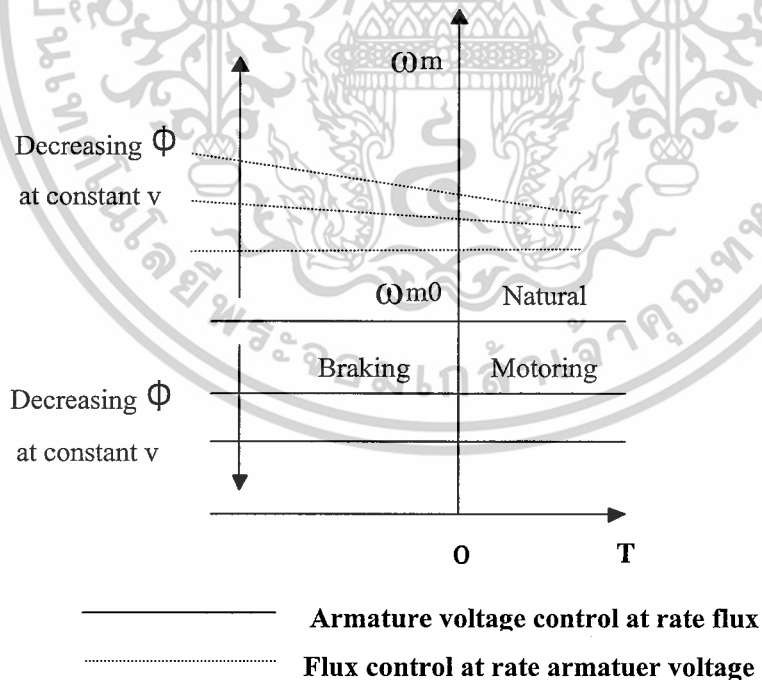
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การหยุดหมุนแบบพลวัต

ในการหมุนแบบนี้พลังงานจะถูกส่งไปยังแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งโดยปกติแหล่งจ่ายไฟจะเก็บพลังงานไม่ได้ ดังนั้นพลังงานส่วนนี้จึงจะถูกจ่ายไปที่โหลดที่ต่อแหล่งจ่ายเดียวกันนี้ ถ้าแหล่งจ่ายไฟไม่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้หรือไม่มีโหลดอื่นต่ออยู่ร่วมกันแล้วทำการหยุดหมุนแบบพลวัต ก็ทำไม่ได้ ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก การต่อวงจรอาร์เมเจอร์กับแหล่งจ่ายจะเป็นตามวงจรสมมูลของอาร์เมเจอร์สภาวะคงที่ ถ้าทำให้แรงดันเหนี่ยวนำ E_a ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ มอเตอร์ก็จะกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟและจะจ่ายพลังงานไปยังแหล่งจ่าย ตรงนี้คือการหยุดหมุนแบบพลวัต ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

2) การหยุดแบบใช้ความต้านทาน

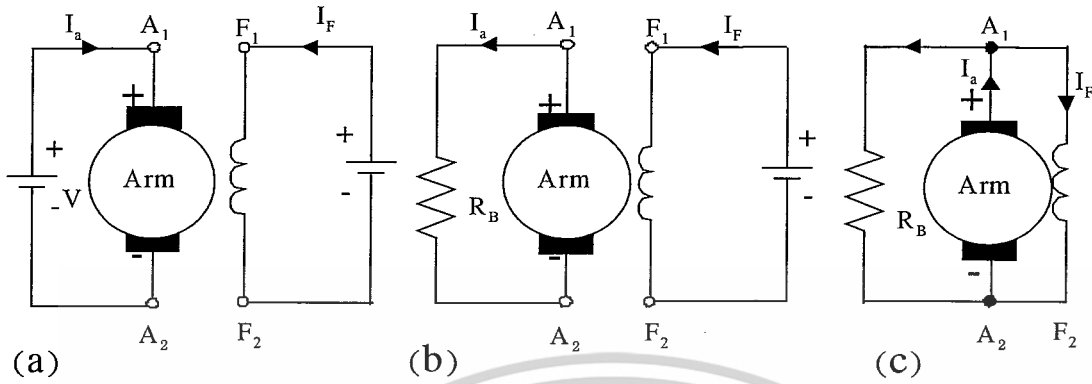
การหยุดหมุนวิธีนี้สามารถที่จะทำได้ โดยการปลดชุดอาร์เมเจอร์ออกจากแหล่งจ่ายและต่อความต้านทานค่าหนึ่งที่เหมาะสมแทนที่ มอเตอร์ก็จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เช่นกันซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดแรงบิดเพื่อหยุดหมุน ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะแสดงเฉพาะมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วขณะเกิด การหยุดหมุนแบบพลวัต

(Regenerative Breaking) ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก

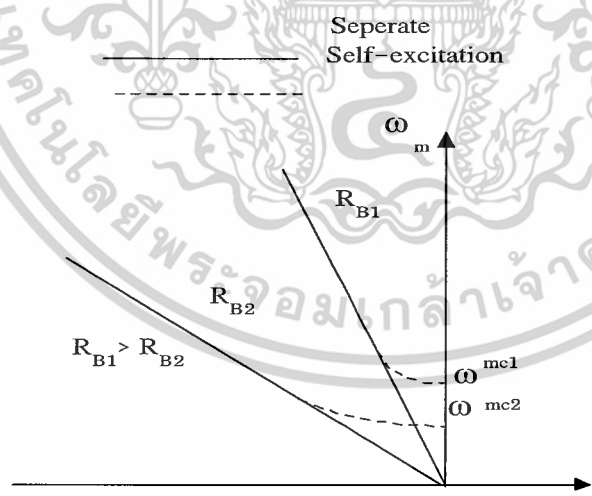
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (a) ทำงานเป็นมอเตอร์
- (b) การหยุดหมุนแบบกระตุ้นแยก
- (c) การหยุดหมุนแบบSelfExcitation

รูปที่ 2.6 Resistance Dynamic Breaking ของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก

ส่วนคุณสมบัติของแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยกได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งจากภาพนี้จะเห็นว่าเมื่อมีค่าความต้านทานต่างกันทำให้ความชันต่างกันด้วย

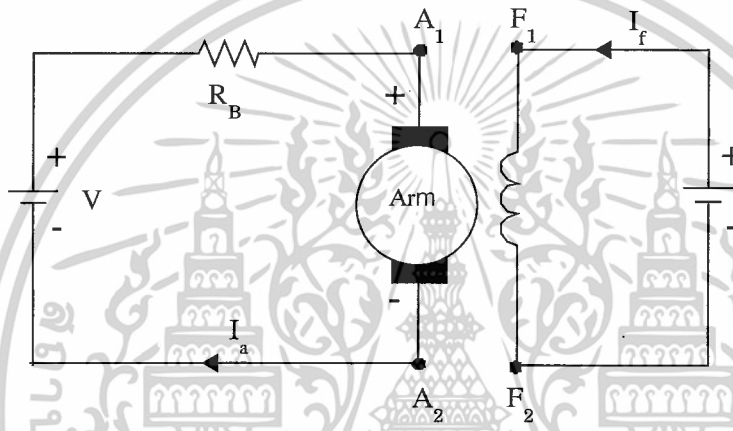


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วขณะใช้ Resistance Breaking ของมอเตอร์

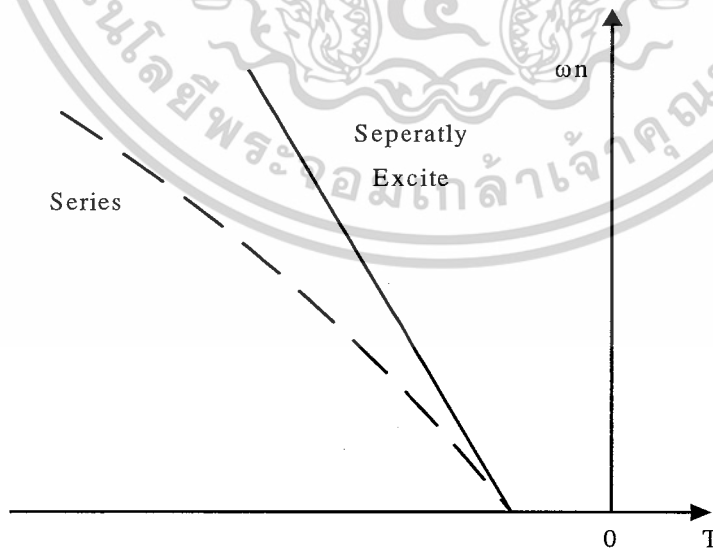
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การหยุดหมุนโดยการกลับขั้วแรงดัน

ถ้าขั้วของมอเตอร์ หรือขั้วของแหล่งจ่าย แบบขดลวดกระตุ้นแยกที่กำลังหมุนอยู่เกิดกลับขั้ว (จากขั้ว + เป็นขั้ว -) ขณะที่แรงดันเหนี่ยวนำมีทิศทางเหมือนเดิมจะทำให้กระแสของมอเตอร์กลับทาง ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดเพื่อการหยุดหมุน การหยุดหมุนชนิดนี้เรียกว่า Plugging ถ้ามอเตอร์ยังหมุนอยู่ตามวงจรในรูปที่ 2.6 (a) ก็จะสามารถทำการหยุดหมุน โดยการ Plugging ได้ดังรูปที่ 2.8 ส่วนคุณสมบัติของความเร็ว และแรงบิดได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 การหยุดหมุนของมอเตอร์แบบขดลวดกระตุ้นแยก



รูปที่ 2.9 กราฟลักษณะสมบัติของมอเตอร์ขณะ Plugging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ควอดแดรนต์ต่างๆ

การทำงานทั้งหมดนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ซึ่งในภาพนี้จะแสดงช่วงของ V , E และ I_a เป็นบวกทั้งหมด ในควอดแดรนต์ที่ 2 เป็นช่วงของการ Forward Breaking แรงดัน V น้อยกว่า E กระแสไหลกลับทาง (เป็นลบ) ในควอดแดรนต์ที่ 3 แรงดันเหนี่ยวนำเป็นลบพร้อมกับแรงดันที่แหล่งจ่าย ตอนนี้กระแสก็เป็นลบด้วยเพราะ $|V| > |E|$ ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 4 จะเป็น Reverse Breaking $|E| > |V|$ เป็นลบ แต่ $|E| > |V|$ จึงทำให้ I_a เป็นบวก

2.4.1 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีชอปเปอร์ (Chopper)

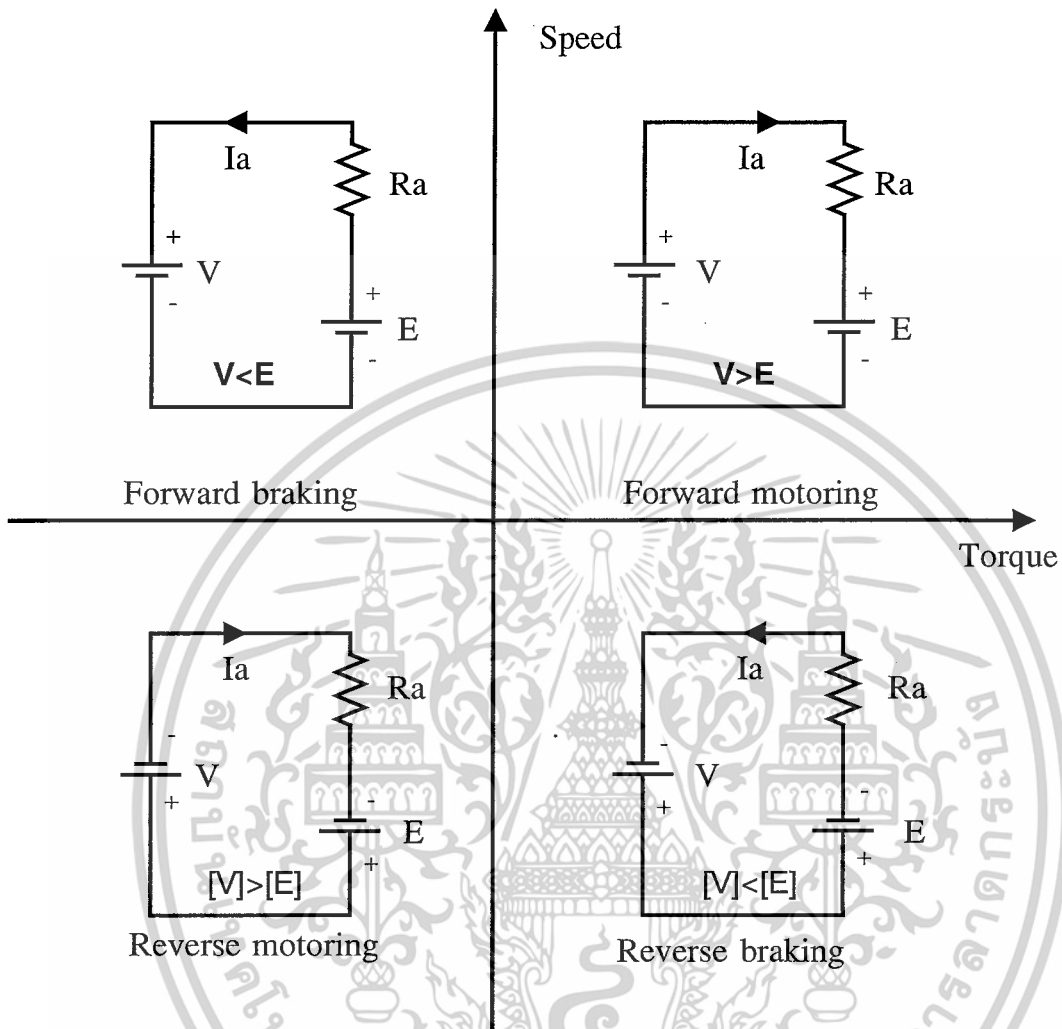
ในการทำงานถ้าเราพบว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำไปใช้มีค่าแตกต่างกับค่าที่ต้องการใช้ เราสามารถที่จะควบคุมโดยการ ใช้ dc to dc converter หรือที่เรียกว่า ชอปเปอร์ (Chopper) เพราะว่าการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่แพร่หลาย ในระบบยานพาหนะที่ใช้ไฟฟ้า และยังนิยมที่จะใช้กับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ของมอเตอร์ ชนิดแยกกระตุ้น (separately excited) ชอปเปอร์ถูกใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะมีข้อได้เปรียบกว่าใช้ควบคุมด้วยวิธีอื่นหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพสูง ยืดหยุ่นต่อการควบคุม, น้ำหนักเบา, ขนาดเล็กตอบสนองรวดเร็ว และสามารถควบคุมความเร็วให้ต่ำมากๆ ได้ โดยทั่วไปแล้วชอปเปอร์มักจะใช้ในงานประเภทลากจูง (traction) และเซอร์โว

ในการใช้งานเซอร์โว ส่วนมากนิยมใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก หรือชนิดสนาม (Field) เป็นแม่เหล็กถาวร เพราะสามารถควบคุมได้กว้าง

การใช้งานลากจูง (Traction) แต่เดิมนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอนุกรมซึ่งมีแรงบิดเริ่มต้นสูง แต่การควบคุมขดลวดสนามของมันกระทำได้ยากและอีกปัญหาหนึ่ง คือ การเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative) ทำได้ยากการแก้ปัญหาเหล่านี้สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้วิธีการ ชอปเปอร์ขับเคลื่อนเข้ามาทดแทนได้

การควบคุมมอเตอร์ทั้งลูปปิดและลูปเปิด การใช้วิธีการ ชอปเปอร์เป็นตัวขับเคลื่อน มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอื่นหลายประการ เช่น รีปเปิล ที่กระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์น้อยแล้วยานการทำงานไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous conduction) ในระนาบ ความเร็ว-แรงบิดน้อยกว่า ซึ่งการลดรีปเปิลของกระแสอาร์เมเจอร์จะเป็นการลดการสูญเสียของเครื่องจักร การลดหรือกำจัดยานการนำไม่ต่อเนื่องจะเป็นการปรับปรุงการควบคุมค่าความเร็ว และผลตอบสนองชั่วคราวของการขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

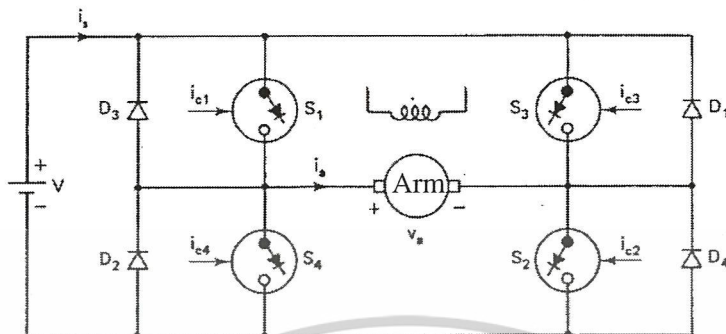


รูปที่ 2.10 เครื่องหมายของแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันเหนี่ยวนำและกระแสในการทำงานของมอเตอร์ที่ควอดแดรนต์ต่างๆ

1) การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีชอปเปอร์ ชนิดคลาสสี่ชอปเปอร์ (Four Quadrant chopper)

ในการทำงานของ 4 ควอดแดรนต์ชอปเปอร์ นั้นจะใช้วงจร Class E Chopper ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจร Class E Four-Quadrant Chopper

สี่ ควบคุมแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ สามารถที่จะควบคุมด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1.1) วิธีที่ 1

ถ้า S_2 ต่่วงจร (Conduct) อย่างต่อเนื่อง S_1 และ S_4 จะถูกควบคุม ในขณะที่ จะเป็นแบบ 2 ควบคุมแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ ทำให้ควบคุมมอเตอร์ได้ในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 2 ถ้า S_3 ต่่วงจร (Conduct) อย่างต่อเนื่อง S_1 และ S_4 ถูกควบคุมทำให้ได้ 2 ควบคุมแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ซึ่งจ่ายแรงดันเป็นลบทำให้ควบคุมมอเตอร์ได้ในควอดแดรนต์ที่ 3 และ 4 สำหรับการเปลี่ยนสถานะจาก Forward Motoring มีขั้นตอนดังนี้

ในควอดแดรนต์แรก S_2 จะปิด (Conduct) อย่างต่อเนื่อง S_1 และ S_4 จะถูกควบคุม ในการเปลี่ยนสถานะจะลดค่า δ ให้มีค่าต่ำสุด อัตราเร่งของมอเตอร์จะลดลงที่แรงบิดสูงสุด จนความเร็วเริ่มจะเป็นศูนย์ขณะนี้ S_2 จะไม่ต่่วงจร S_3 ถูกต่่วงจร (Conduct) อย่างต่อเนื่องแทน S_2 ค่า δ สำหรับคู่สวิตช์ S_1 และ S_4 จะถูกปรับให้สอดคล้องกับความเร็วที่ต้องการ มอเตอร์จะมีอัตราเร่งเพิ่มมากขึ้นที่แรงบิดสูงสุดในทิศทางหมุนตรงกันข้าม กระแสของมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยลูปควบคุมกระแส จากนั้นก็ได้อัตราเร่งตามต้องการ ในการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_4 , S_3 และ S_2 จะต้อง ไม่ทำงานพร้อมกัน โดยจะต้องมีการหน่วงเวลา ในระหว่างการ Turn-Off (No Conduct) และ Turn-On (Conduct) ของคู่สวิตช์ดังกล่าว

1.2) วิธีที่ 2

สวิตช์ S_1 และ S_2 กับไดโอด D_1 และ D_2 จะเป็นวงจรขั้วมอเตอร์ วงจรขั้วมอเตอร์ชนิดนี้จะจ่ายกระแสที่เป็นบวกและแรงดันปรับค่าได้ทั้งบวกและลบซึ่งทำให้ควบคุมมอเตอร์ได้ในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ S_3 และ S_4 กับไดโอด D_3 และ D_4 จะเป็นวงจรชอปเปอร์อีกชุดหนึ่ง ซึ่งจ่ายกระแสที่เป็นลบและแรงดันปรับค่าได้ทั้งบวกและลบ ซึ่งทำให้ควบคุมมอเตอร์ได้ในควอดแรนต์ที่ 2 และ 3

ในการเปลี่ยนสถานะจากควอดแรนต์ที่ 1 เป็นควอดแรนต์ที่ 3 สามารถทำได้ดังนี้ ในควอดแรนต์ที่ 1 สวิตช์ S_1 และ S_2 ถูกควบคุมในย่าน $0.5 \leq \delta \leq 1$ กระแสอาร์เมเจอร์มีทิศทางในการเปลี่ยนสถานะ สวิตช์ S_1 และ S_2 จะถูก Turn-Off (No Conduct) ทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ไหลผ่านไดโอด D_1 , แหล่งจ่าย และ D_2 จะตกเป็นศูนย์กลางรวดเร็ว Back EMF. จะมีแรงดันเป็นบวกที่ขั้วด้านซ้ายในขณะที่สวิตช์ S_3 และ S_4 จะถูกควบคุมค่า δ ในย่าน $0 \leq \delta \leq 0.5$ กระแสอาร์เมเจอร์จะไหลในทิศทางตรงข้ามจนมีค่าสูงสุด กระแสจะถูกควบคุมไม่ให้เกิดกว่าค่าสูงสุด โดยลูปควบคุมกระแส ความเร็วมอเตอร์จะลดลงจนเกือบจะเป็นศูนย์ ซึ่งในขณะนี้ δ จะถูกปรับค่าเพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ $0.5 \leq \delta \leq 1$ มอเตอร์จะเร่งความเร็วที่ แรงบิดสูงสุด จนความเร็วอยู่ในสภาวะคงตัวในทิศทางตรงกันข้าม

การควบคุมด้วยวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธีที่ 1 ดังนี้ ที่แรงดันเอาต์พุตต่ำๆ สวิตช์แต่ละตัวจะทำงานด้วยเวลาใกล้ๆ กับ T ไม่เหมือนกับวิธีที่ 1 ซึ่งสวิตช์จะทำงานด้วยเวลาเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นจึงไม่มีข้อจำกัดที่แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด และความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุด นอกจากนี้ในการทำงาน ยังไม่ต้องการมีการหน่วงเวลาในการกลับสวิตช์ปิดและกลับสวิตช์เปิดของสวิตช์แต่ละคู่ทำให้สามารถทำงานที่ความถี่สูงกว่าได้

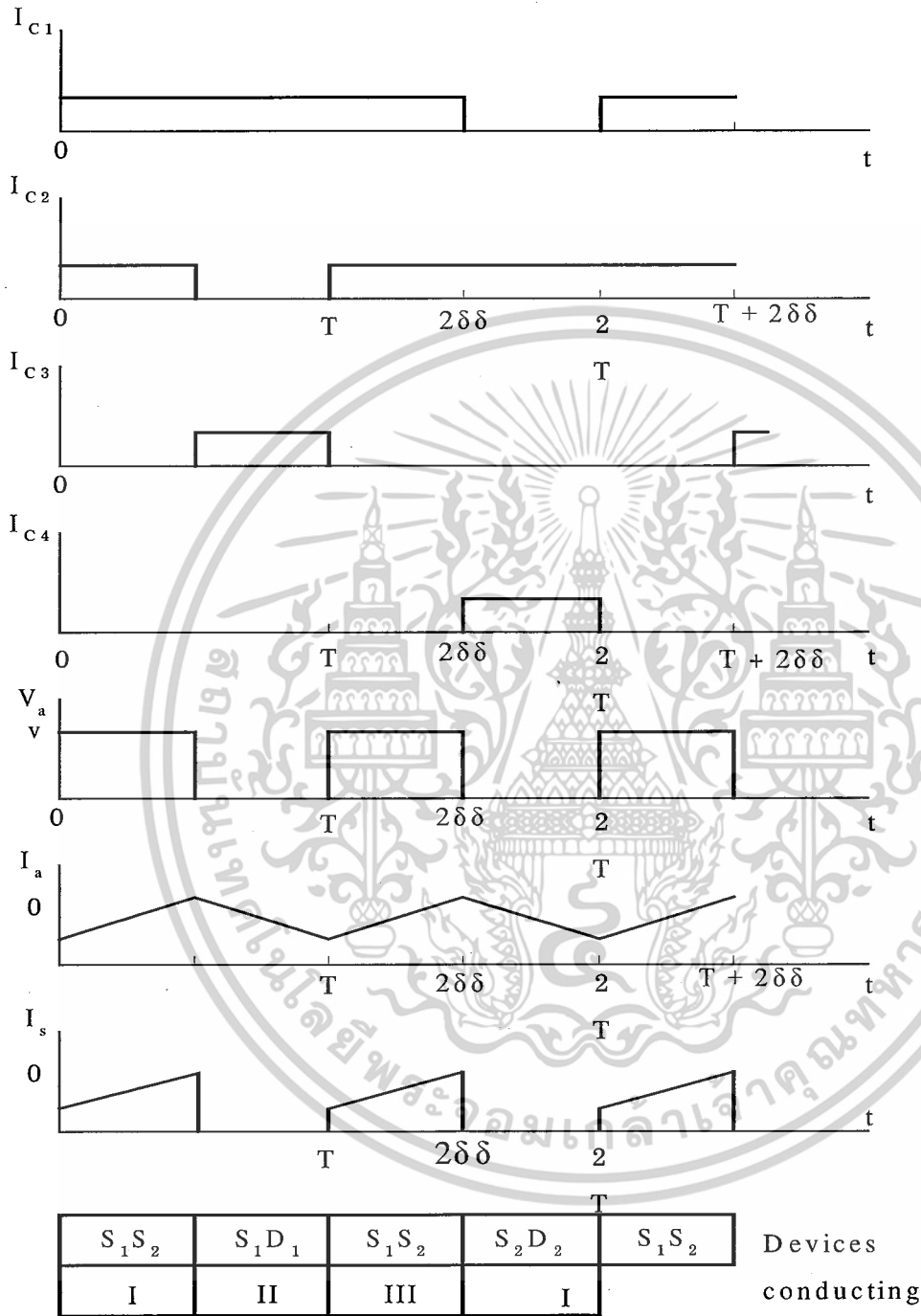
1.3) วิธีที่ 3

วิธีนี้จะเป็นการปรับปรุงแก้ไขวิธีที่ 2 ซึ่งในวิธีที่ 2 ชอปเปอร์ทั้ง 2 ชุดถูกควบคุมโดยแยกออกจากกัน แต่ในวิธีนี้ชอปเปอร์ทั้ง 2 ชุด จะถูกควบคุมโดยพร้อมกันดังนี้

สัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 - S_4 จะแทนด้วย I_{C1} , I_{C2} , I_{C3} และ I_{C4} รูปสัญญาณของ I_{C1} , I_{C4} , V_a , I_a และ I_s ขณะทำงานแบบ Forward Motoring และ Forward Regeneration แสดง ดังรูปที่ 2.19(a) และ รูปที่ 2.19(b) สวิตช์ S_1 และ S_2 จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณที่ต่างเฟสกัน สวิตช์ S_1 จะได้รับสัญญาณควบคุมจากเวลา $t=0$ ถึง $t=2\delta T$ เมื่อ $\delta = \frac{t_{on}}{2T}$ สัญญาณควบคุมสำหรับสวิตช์ S_2 จะเริ่มจากเวลา $t=T$ ถึง $t=T+2\delta T$ ในบางช่วงจะต้องการหน่วงเวลาในระหว่าง การ Turn-Off (No Conduct) และ Turn-On (Conduct) ที่คู่สวิตช์เดียวกัน

ในระยะเวลา $2T$ ชอปเปอร์จะทำงานถึง 4 ช่วงเวลาในรูปที่ 2.12 และ 2.13 จะแบ่งช่วงเวลา I, II, III และ IV ในแต่ละช่วงเวลานี้จะแสดงถึงอุปกรณ์ที่นำกระแสด้วยการทำงานใน ควอดแรนต์ที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

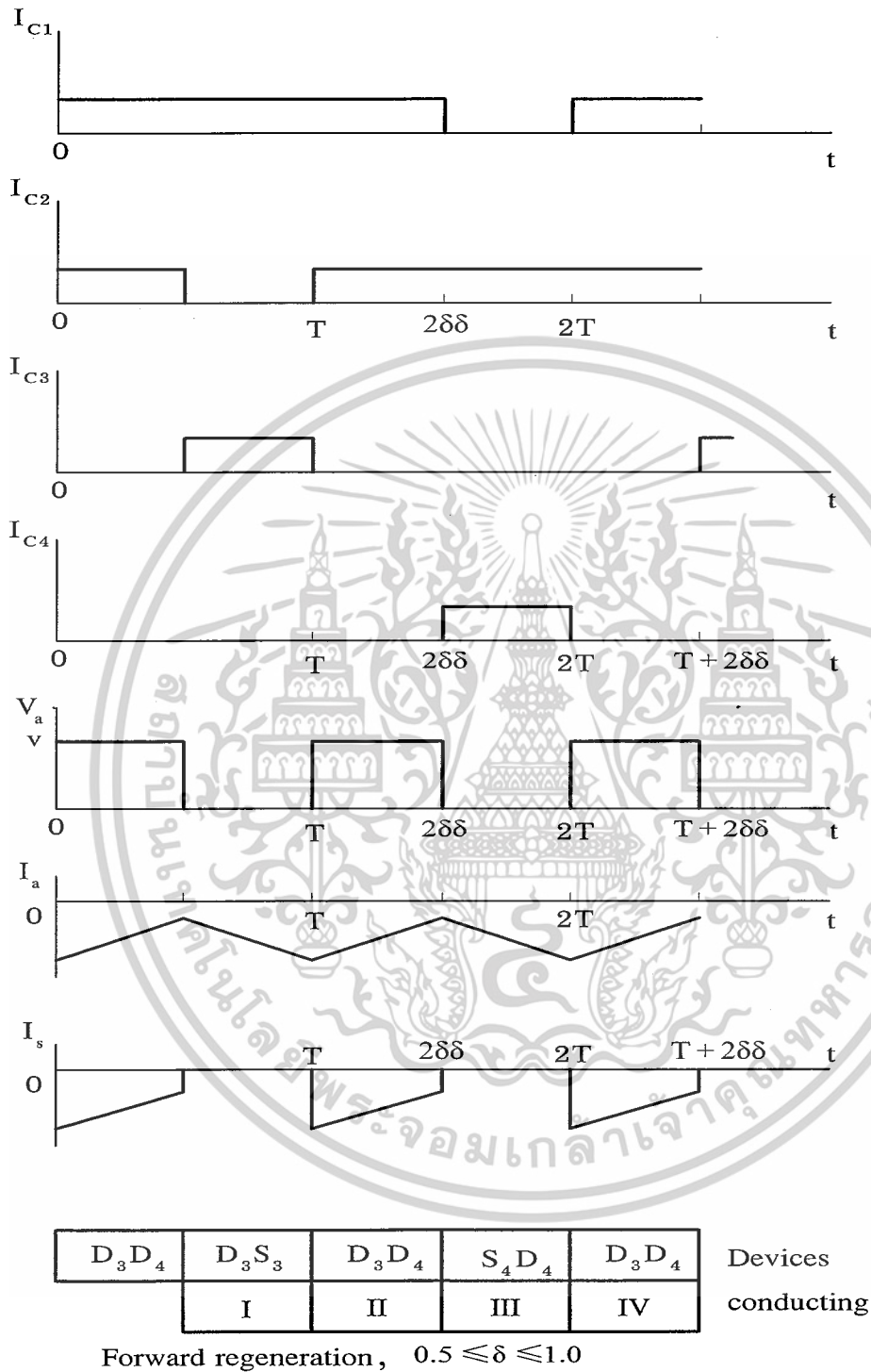
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Forward regeneration, $0.5 \leq \delta \leq 1.0$ V and $V_a \leq E$

รูปที่ 2.12 สัญญาณของ Four-Quadrant Chopper ที่ควบคุมโดยวิธีที่ 3 ขณะทำงาน
ในสถานะ Forward Motoring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปสัญญาณของ Four Quadrant Chopper ที่ควบคุม โดยวิธีที่ 3 ขณะทำงาน
ในสภาวะ Forward Regeneration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่ I สวิตช์ S_1 และ S_2 นำกระแส มอเตอร์จะได้รับแรงดันบวกจากแหล่งจ่ายทำให้ กระแสอาร์เมเจอร์จะเพิ่มมากขึ้น สวิตช์ S_2 จะ กลับสวิตช์ปิดที่ปลายสุดของ ช่วงที่ I ในช่วงที่ II สวิตช์ S_1 และ S_3 ได้รับสัญญาณควบคุม กระแสของมอเตอร์จะไหลในทิศทางบวก ต่อไปผ่าน D_1 และ S_1 ขณะนี้ V_a เป็นศูนย์ I_a จะลดลงสวิตช์ S_3 ไม่ทำงานเนื่องจากได้รับไบแอส กลับ ในช่วงที่ III S_2 กลับสวิตช์เปิดอีกครั้งทำให้ $V_a = V$ และ I_a เพิ่มขึ้น S_1 จะ กลับสวิตช์ปิดเมื่อสิ้นสุดในช่วงที่ III ในช่วงที่ IV สวิตช์ S_1 และ S_4 ได้รับสัญญาณควบคุมทำให้กระแสมอเตอร์ไหลผ่าน S_2 และ D_2 สวิตช์ S_4 ไม่นำกระแส(No Conduct)เนื่องจากได้รับไบแอส กลับจากแรงดันตกคร่อม ไดโอด D_2 จากที่ผ่านมา เป็นการทำงานแบบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในการเปลี่ยนสภาวะจาก เคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปเป็น เคลื่อนที่ไปข้างหน้าใหม่ทำได้โดยการลดค่า δ หรือเพิ่มค่า E เพื่อให้ I_a มีค่าเป็นลบ รูปสัญญาณใน สภาวะ เคลื่อนที่ไปข้างหน้าใหม่แสดง ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งในการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในช่วงที่ IV สวิตช์ S_1 และ S_2 ได้รับสัญญาณควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ที่เป็นลบ เนื่องจาก Back EMF. จะไหลผ่าน ไดโอด D_3 และสวิตช์ S_3 และในช่วงนี้ I_a จะเพิ่มขึ้นทำให้มีพลังงาน สะสมที่ตัวเหนี่ยวนำมากขึ้นทำให้พลังงานสะสมที่ตัวเหนี่ยวนำมากขึ้น แต่ S_1 ไม่นำกระแสเนื่องจาก ได้รับไบแอสกลับ ส่วน S_3 จะ กลับสวิตช์ปิดเมื่อสิ้นสุดในช่วงที่ I กระแสอาร์เมเจอร์จะไหล ผ่านไดโอด D_3 , แหล่งจ่าย V และ D_4 พลังงานจะถูกส่งไปยังแหล่งจ่าย สวิตช์ S_1 และ S_2 จะได้รับ สัญญาณควบคุมแต่ไม่นำกระแสเนื่องจากได้รับไบแอสกลับ ขณะนี้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ V และ I_a จะลดลง และในช่วงที่ III S_4 จะกลับสวิตช์เปิดทำให้มีกระแสอาร์เมเจอร์ไหลผ่าน สวิตช์ S_4 และไดโอด D_4 พร้อมกันนั้น S_2 ก็ได้รับสัญญาณควบคุมด้วยแต่ไม่นำกระแสเมื่อสิ้นสุดในช่วงที่ III S_4 จะกลับสวิตช์ปิด ทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ไหลผ่าน ไดโอด D_3 , แหล่งจ่ายไฟและ D_4 พลังงานที่สะสมไว้จะถูกส่งไปยังแหล่งจ่าย

การทำงานในสภาวะ ชับเคลื่อนและ การหยุดแบบ Regenerative ในทิศทางกลับกัน จะ กระทำในย่านของ $0 \leq \delta \leq 0.5$ เมื่อ $|V_a| \leq |E|$ มอเตอร์จะทำงานในสภาวะ ถอยหลังรถและ เมื่อ $|E| > |V_a|$ มอเตอร์จะทำงานในสภาวะ กลับหลังแบบ Regenerative การควบคุมโดยวิธีนี้ จะมี วงจรควบคุมที่ง่ายกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 และเนื่องจากในการทำงานบางช่วงต้องมีการหน่วง เวลาในการ กลับสวิตช์ปิดและกลับสวิตช์เปิดของสวิตช์ จะทำให้ความถี่ในการทำงานต่ำกว่าวิธีที่ 2

2.5 เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET POWER TRANSISTOR)

เพาเวอร์มอสเฟต เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่พัฒนามาจากมอสเฟต (Metaloxide – Semiconductor Field Effect Transister) ซึ่งนิยมใช้มากในวงจรสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ชิปพราย การควบคุมมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ โเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) กำลังสูญเสียขณะสวิตช์ต่ำ
- 2) ไม่มีแรงดันพังทลายที่ 2
- 3) มีอัตราการขยายสูงและวงจรขับสร้างได้ง่าย
- 4) มีความทนทานและเสถียรภาพทางอุณหภูมิสูง
- 5) มีความจุและการรับกระแสได้สูง
- 6) สามารถนำมาต่อขานานได้ง่าย เนื่องจากสัมประสิทธิ์ความต้านเป็นบวก
- 7) ใช้ในวงจรความถี่สูงได้ดี

แต่ข้อเสียของเพาเวอร์มอสเฟตก็มีเช่นเดียวกันคือแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส มีค่าประมาณ 4.5 โวลต์ ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเพียง 1 โวลต์ (อัตรา 400 โวลต์ 10 แอมแปร์) ในส่วนของวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่ายโดยการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำได้จากไอซีโดยตรง เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

2.5.1 โครงสร้างเพาเวอร์มอสเฟต

เนื่องจากโครงสร้างที่เหมือนกับการนำมอสเฟตมาต่อขานานกันเป็นจำนวนมาก (การขานานกันของเซลล์ย่อยแต่ละเซลล์) ดังนั้นการทำงานต่างๆ ตลอดจนคุณสมบัติอื่นๆ ของเพาเวอร์มอสเฟตจะคล้ายกับมอสเฟตทั่วไป เพียงแต่มีอัตราทนกำลังและคุณสมบัติการทำงานที่ดีกว่า

2.5.2 คุณลักษณะของเพาเวอร์มอสเฟต

แรงดันพังทลาย (V_{DS}) แรงดันค่านี้เป็นค่าแรงดันเดรนกับซอร์ส ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แสดงได้โดยที่อุณหภูมิต่ำๆ ค่าแรงดันพังทลายของเพาเวอร์มอสเฟตจะลดอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันให้ระหว่างเดรนกับซอร์สโดยเปิดขาเกตไว้ ดังเช่นวงจรบริดจ์ แรงดันตกคร่อมระหว่างเกตกับซอร์สจะถูกรูปร่างขึ้น

เนื่องจากค่าความจุภายในของมอสเฟตนำกระแสเกิดการลัดวงจรขึ้นได้จึงเป็นอันตรายต่อมอสเฟต ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ควรใส่ค่าความต้านทานหลายสิบลอห์มไว้ระหว่างขาเกตและซอร์ส ค่าความขณะนำกระแสหรือ $R_{DS(ON)}$ เพาเวอร์มอสเฟตในขณะที่นำกระแสอย่างสมบูรณ์แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเดรนกับซอร์สจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันเนื่องมาจากค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์ส ซึ่งมีลักษณะเดียวกัน โอห์มมิกริซิแตนซ์ (Ohmic Resitan) หรือค่าความต้านทานไฟกระแสตรงต่างๆ ไปได้จากกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสจากสมการที่ 2.2

$$P = I^2_{DM} \times R_{DS(ON)} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I_{DM} เป็นค่าสูงสุดของกระแสเดรน

วงจรมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต จากโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟต สามารถสร้างวงจรมูลย์ซึ่งประกอบด้วยไดโอด D_X ค่าความจุ ค่าความต้านทาน (ซึ่งมีค่าน้อยมาก) และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN Q_X การพิจารณาวงจรมูลย์นี้สำคัญมากต่อการใช้งานเพาเวอร์มอสเฟตควบคุมมอเตอร์ แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) เพราะขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมีค่าสูง กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านความจุที่ต่ออยู่ระหว่างเดรนและเกต ของเพาเวอร์มอสเฟต Q_X กระแสนี้จะทำให้เกิดความต้านทานขาเกตและซอร์สของ Q_X ซึ่งแรงดันนี้อาจทำให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสและอาจเกิดลัดวงจรขึ้นได้

การขนานเพาเวอร์มอสเฟต เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ $R_{DS(ON)}$ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน เพาเวอร์มอสเฟตที่ต่อขนานกันจึงมีปริมาณใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิเดียวกัน นั่นคือควรวางไว้บนแผ่นความร้อนเดียวกัน หรือ ใกล้เคียงกัน และอาจหาค่าความต้านทานอนุกรมกับขาเกต เพื่อให้เกิดความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการเปิดและปิด น้อยที่สุด โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการ เปิดและปิดของเพาเวอร์มอสเฟตนี้ แสดงให้เห็นในรูปกระแสเดรน

การทำงานที่ความเร็วสูง ถึงแม้เพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานด้วยแรงดันเกตเพียงเล็กน้อย แต่ก็ต้องเพียงพอในการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุที่แฝงอยู่ภายในวงจรเกตคั้งนั้นการทำงานที่ความเร็วสูงตัวเก็บประจุที่อินพุตต้องทำการเก็บประจุอย่างรวดเร็ว จึงควรใช้แหล่งจ่ายสัญญาณที่มีความต้านทานต่ำ จึงสรุปได้ว่าวงจรขับกระแสเกตจะมีผลต่อความเร็วในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ส่วนอุณหภูมินั้นจะมีผลกระทบต่อความเร็วไม่มากนัก

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเกตกับซอร์ส (V_{GS}) และเดรนกับซอร์ส (V_{DS}) ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงระหว่างเกตกับซอร์ส (V_{GS}) จะเก็บประจุขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มนำกระแสขณะมีแรงดัน โสลด์ ประมาณ 3 โวลต์ในช่วงนี้ (t_0-t_1) เรียกว่าเวลาหน่วงการนำกระแส ($t_{d(ON)}$, turn-on delay time) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า $C_{GS}(R_{dr} + R_G)$

เมื่อ R_{dr} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขับกระแสเกต

R_G คือ ค่าความต้านทานขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต

ในช่วงเวลา t_1 และ t_2 ค่าความจุทางด้านอินพุตจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลของมิลเลอร์คือ

$$C_{ds} = C_{GS} + (1 + A_v) + C_{SD} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ควรป้องกันกระแสที่มีค่าพีคสูงจากแหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์ต่ำ

2.5.3 กำลังงานสูญเสีย

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวเพาเวอร์มอสเฟตมีสาเหตุหลักต่างๆ กันดังนี้

กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส เกิดขึ้นจากค่าความต้านทานของเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสนั่นเอง ซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหาได้จาก

$$PC = I^2_{Drms} \times R_{DS(ON)} \quad (2.4)$$

กำลังงานสูญเสียขณะสวิตช์ ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มนำกระแสและหยุดจะมีกระแสไหลผ่านอยู่ในขณะที่มีแรงดันตกคร่อมจึงเป็นเหตุให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานที่ความถี่สูงๆ และปกติแล้วช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสจะนานกว่าช่วงเริ่มนำกระแสจะนานกว่าช่วงเริ่มนำกระแสมา ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในขณะสวิตช์จึงเกิดในช่วงหยุดนำกระแสจะนานกว่าช่วงหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเราอาจจะลดทอนกำลังงานสูญเสียได้โดยการใส่วงจรสับเบอรัระหว่างขาเกตกับขาซอร์สเพื่อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแรงดัน V_{GS} ขณะเริ่มหยุดนำกระแสให้เหมาะสม

เมื่อทำงานเป็นสวิตช์ ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักถูกใช้งานที่ความถี่สูง การคิดกำลังสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องกำหนดค่ากำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วยเนื่องจากช่วงเวลาหยุดนำกระแสกับช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลา ดังนั้นกำลังสูญเสียขณะทำงาน P_D จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = P_{SW(ON)} + P_{SW(OFF)} + P_C \quad (2.5)$$

$$P_{SW(ON)} = \frac{0.5 I_{PK} V_{in} \cdot t_r}{T} \quad (2.6)$$

$$P_{SW(OFF)} = \frac{0.5 I_{PK} V_{in} \cdot t_r}{T} \quad (2.7)$$

$P_{SW(ON)}$ เป็นกำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$P_{SW(OFF)}$ เป็นกำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

P_D เป็นกำลังสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$I_{PK(ON)}$ เป็นกระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

$I_{PK(OFF)}$ เป็นกระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{Drms}	เป็นกระแส rms ที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน
$R_{DS(ON)}(T_j)$	เป็นค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์สที่อุณหภูมิสูงสุด ขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต
t_r	เป็นกำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต
t_s	เป็นกำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังสูญเสียจากไดโอดแฝง เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านไดโอดในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสซึ่งจะพบว่าในวงจรที่มีโหลดอินดักเตนซ์รวมอยู่ เช่น มอเตอร์

กำลังสูญเสียในภาคเกตอินพุตกำลังสูญเสียในช่วงนี้จะมีค่าน้อยสุด เพราะขนาดแรงดันและกระแสมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนนี้เกิดจากค่าความต้านทานของขาเกตและวงจรถับของกระแสเกตนั่นเอง

2.5.4 การขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสสั้น แตกต่างจากการขับ ไบอัสในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขการไบอัสที่แตกต่างกัน สำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสจะไหลผ่านคอลแลคเตอร์และอีมิเตอร์ได้ ก็ต่อเมื่อมีกระแสไบอัสไหลผ่านที่เบสและอีมิสเตอร์แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนกับซอร์สก็ต่อเมื่อแรงดันตกรวมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำที่แรงดันเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมอสเฟตใช้กระแสต่ำการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

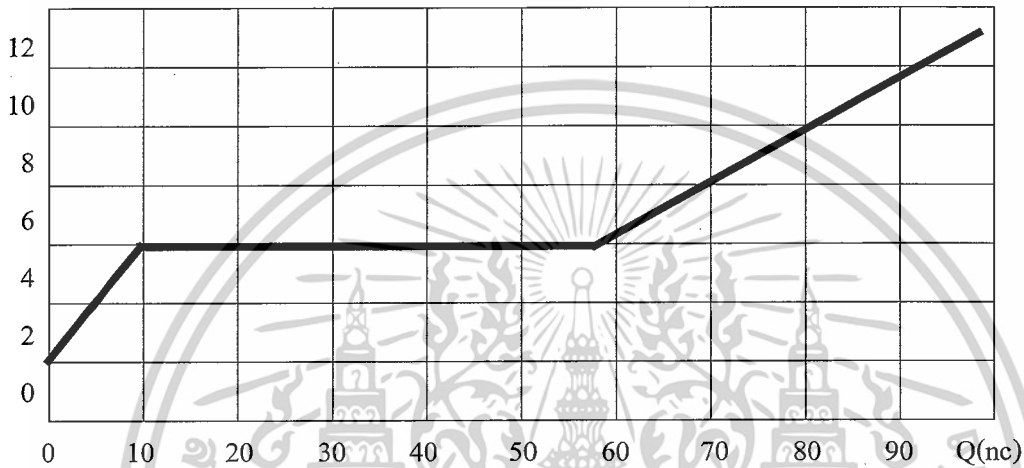
อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการขับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสเป็นอันดับแรกเสียก่อน ค่าความจุไฟฟ้าอินพุต (Input Capacitance) เนื่องจากการสร้างลักษณะโครงสร้างภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟตเหมือนกับตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาต่างๆ ของมัน

ตัวเก็บเหล่านี้บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์ตประจุเข้าไปเก็บที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้แรงดันที่ตกรวมขาเกต (V_{GS}) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่มเพาเวอร์มอสเฟต จึงจะเริ่มนำกระแสให้ทางกลับกันการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจากแรงดันตกรวมที่ขาเกต (V_{GS}) มีค่าลดลงต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่มเพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแสลักษณะการนำกระแสและแรงดันที่ขาเกต โดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เองจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมันกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะใช้กราฟของค่าแรงดัน (V_{GS}) เพิ่มขึ้นในขณะประจุสะสมขาเกตเพิ่มขึ้นหรือเรียกว่า Gate Charge Chart มาใน data sheet (ดังรูปที่ 2.14) กราฟมีประโยชน์มากในการคำนวณค่ากระแสไบอัสเกตและเวลาการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

VGS(Volt)



รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง Gate Charge Chart

ลักษณะของกราฟแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ตามผลของประจุที่เกิดขึ้น คือ

1. ช่วงเวลาหน่วงก่อนการเริ่มนำกระแส (Turn on Delay) t_0
2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Rise Time) $t_1 \rightarrow t_2$
3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (Excess Charge Time) $t_2 \rightarrow t_3$

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มซาร์ตประจุที่ขาเกตจนกระทั่งพ้นช่วงเวลาก่อนเริ่มนำกระแส เมื่อแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS(th)}$) จึงจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สที่เวลา t_0 แรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส (V_{DS}) จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วที่ 90% ของค่าเวลาตกคร่อม V_{DS} สูงสุด เพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_1 ถึง t_2 (V_{GS}) จะคงที่ จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน ค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้น การนำเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกตด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้เวลาเริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแส การหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตทำได้ง่ายๆ ด้วยการคายประจุที่ขาเกตทิ้งไปเช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแส และถ้าขนาดกระแสเพื่อชาร์จประจุและคายประจุเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วง t_2 ถึง t_3 การหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการคายประจุทิ้งไป

จากกราฟในรูปที่ 2.14 ของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละเบอร์ จะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_r แต่ละช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส t_f ได้จาก

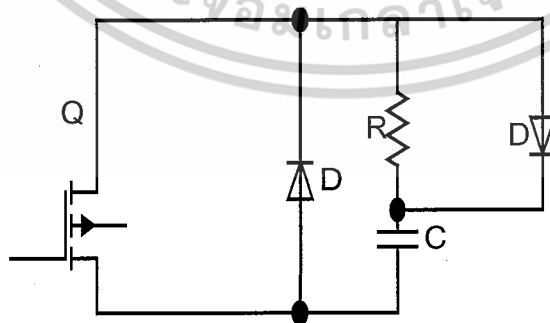
$$t_r = \frac{Q_G}{I_G} \quad (2.8)$$

I_G คือ ค่ากระแสที่ใช้ชาร์จประจุที่มีค่ากระแสคงที่เป็นแอมแปร์

2.6 วงจรสแน็บเบอร์ (SNABBER CIRCUIT)

วงจรสแน็บเบอร์ส่วนที่เพิ่มเติมเข้าเพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสีย และป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับมอสเฟตกำลังในขณะวงจรทำงานปกติ ซึ่งวงจรที่ใช้ในวงจรสแน็บเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสประกอบด้วย ตัวต้านทานเก็บประจุและไดโอด

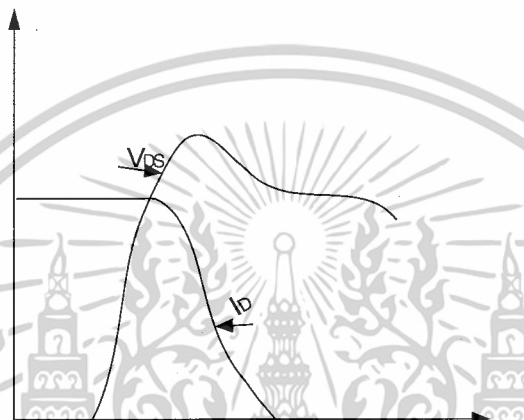
กำลังสูญเสียที่เกิดในมอสเฟตกำลังจะเป็นไปได้สูง ขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่มอสเฟตกำลังจะหยุดนำกระแส นั้น กระแสจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่แรงดันเริ่มขึ้นสู่แรงดันอินพุตอย่างรวดเร็วกำลังสูญเสียในรูปความร้อนในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นสูง



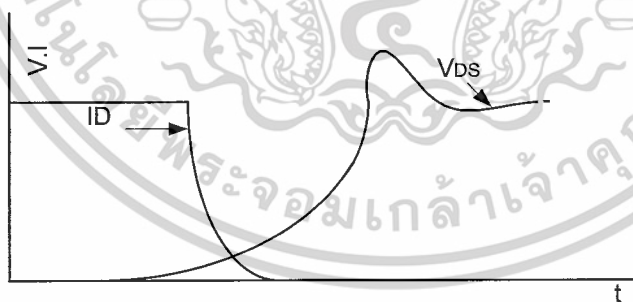
รูปที่ 2.15 วงจรสแน็บเบอร์คร่อมเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรสวิตชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสียในช่วงนี้ อาจทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอร์ดเข้ามอสเฟตกำลัง เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่ไดรอนและซอร์สให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลังลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำการกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลักษณะการต่อวงจรสับเบอร์ด อาจทำได้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.16 ลักษณะการลดของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมมอสเฟตขณะเริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 2.17 การต่อวงจรสับเบอร์ดช่วงหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมมอสเฟตกำลังให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

การทำงานของวงจร RCD สับเบอร์ดช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้คือ เมื่อมอสเฟตกำลัง Q_1 เริ่มหยุดนำกระแสที่แรงดันที่ขาไดรอนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1 และไดโอด D_1 ของวงจรสับเบอร์ดทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C_1 ด้วยแรงดันที่ตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C1 จะทำให้แรงดันที่ขาเดรนของมอสเฟตกำลังเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นถ้าให้ C1 มีค่ามากพอการเพิ่มขึ้นแรงดันที่ขาเดรนจะถูกหน่วงออกไปเพื่อกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลังลดลงจนมีค่าน้อยได้ทันกันและจะลดการเกิดกำลังสูญเสียในตัวมอสเฟตกำลังได้

ขณะที่มอสเฟตกำลังเริ่มนำกระแสอีกครั้ง C1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R1 ที่ไปตกคร่อม C1 จึงลดค่าลงได้อีกครั้งและสามารถทำงานในช่วงต่อไป ค่าของ C1 และ R1 ที่เหมาะสมอาจหาได้จาก

$$C_1 = \frac{I_P \times t_{off}}{2V_{in}} \quad (2.9)$$

$$R = \frac{t_{on}(min)}{2.3C_1} \quad (2.10)$$

เมื่อ

I_P

คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแสของมอสเฟตกำลัง

V_{in}

คือ ค่าแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์

t_{on}

คือ ช่วงเวลานำกระแสของมอสเฟตกำลัง

t_{off}

คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของมอสเฟตกำลัง

การคายประจุของ C1 จะทำให้เกิดสัญญาณสูญเสียในตัว R1 จะต้องทนกำลังได้สูงโดยกำลังสูญเสียใน R1 หาได้จาก

$$P_0 = \frac{C_1(2V_{in})^2}{2T} \quad (2.11)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของมอสเฟต

วงจรอาร์ซี snubber (R-C Snubber) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (c) ปกติใช้ในวงจร แปรผันกำลัง (Power Conversion) เพื่อเป็นการกำจัดแรงดันสไปก์ ที่เกิดจากเหนี่ยวนำของโหลดและสายไฟที่ใช้ต่อวงจร พลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำเหล่านี้จะถ่ายเทไปยังตัวเก็บประจุในวงจร snubber ในช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์ ตัดกระแสตัวต้านทานจะทำให้เกิดการสั่น (Oscillation) อาร์แอลซี แบบหน่วงเกิน (Over Damp) และตัวต้านทานดูดกลืนพลังงานไว้ ตัวต้านทานจะเป็นตัวจำกัดกระแสขณะประจุ (Charge) ตัวเก็บประจุช่วงทรานซิสเตอร์นำกระแสซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{V_s}{R}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

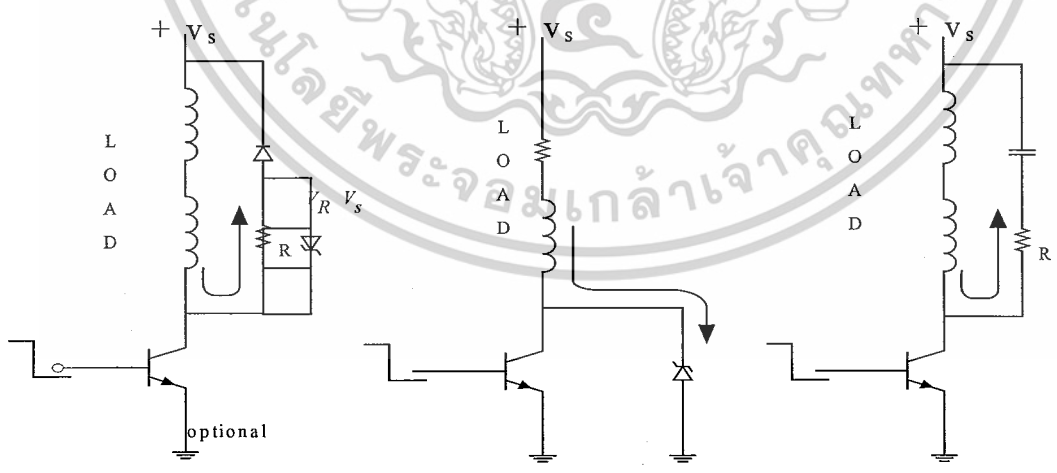
สำหรับวงจรที่โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวกำลังสูญเสียในตัวต้านทานในวงจรสับเบอร์จะเท่ากับกำลังสูญเสียขณะนำกระแสและขณะตัดกระแสรวมกัน

$$p = \frac{1}{2} \times L \times I_m^2 + \frac{1}{2} C V_s^2 \times f_s \quad \text{Watt} \quad (2.12)$$

วงจรปกติที่ใช้สำหรับจำกัดแรงดันขณะตัดกระแสของวงจรแปรผันกำลังซึ่งใช้ฟริววลิ่งไดโอด (ไม่ต่อ R_{option}) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (a)

รูปคลื่นของสัญญาณ ขณะสวิตซ์ของโหลดแบบเหนี่ยวนำที่ต่อฟริววลิ่งไดโอดดังแสดงในรูปที่ 2.18 (a) ขณะตัดกระแสทรานซิสเตอร์มีกระแสไหลอยู่เต็มพิกัด (Full Load) ในขณะที่แรงดันคอลเลกเตอร์ เพื่อขึ้นจนถึงแรงดันของแหล่งจ่ายฟริววลิ่งไดโอดจะนำกระแสไหลกลับแทน

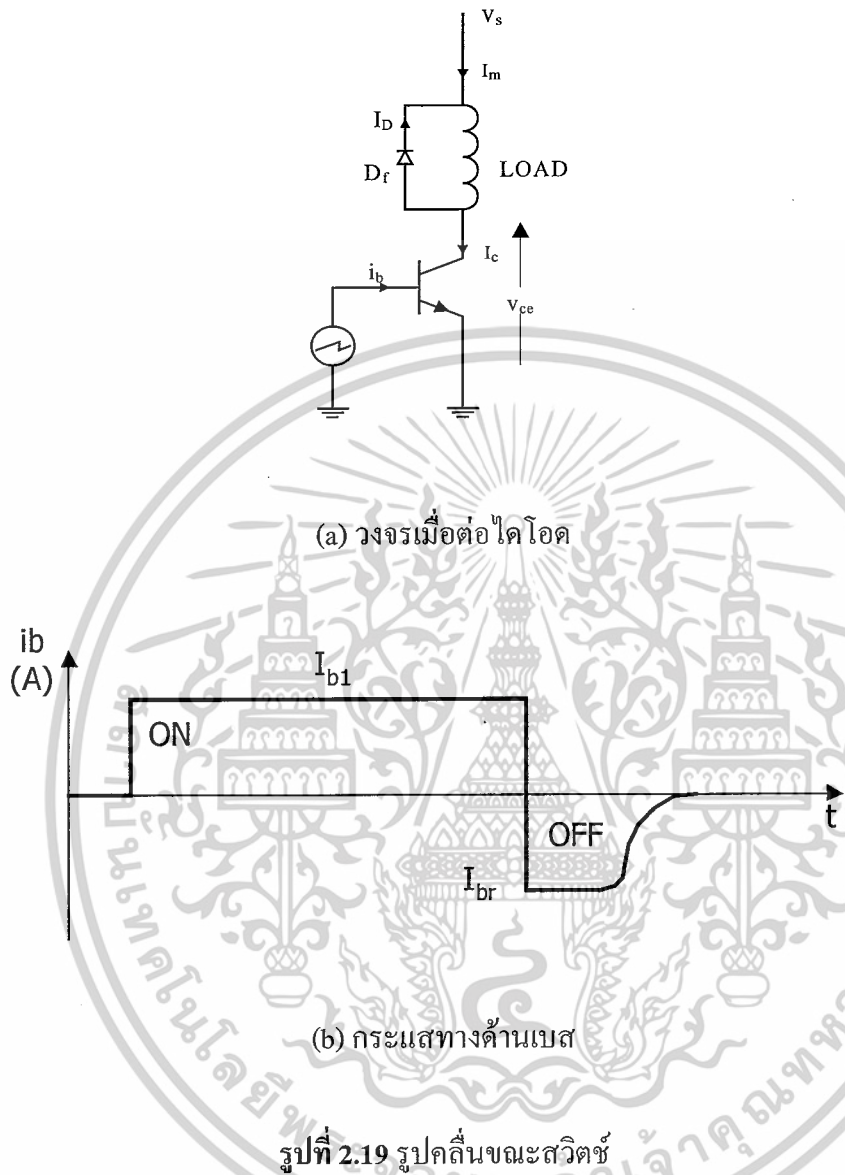
ในรูปที่ 2.19 แสดงช่วงเวลาขณะนำกระแสขณะตัดกระแสจะเกิดแรงดันและกระแสสูงสุดเนื่องไขจิตจำกัดทางด้านกระแสและแรงดันถูกแสดงลงบนพื้นที่ปลอดภัยในการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ในช่วงเวลาเวลาตัดกระแส คือจุดการทำงานจากจุด C ไปยังจุด A แรงดันและกระแสจะเกิดสูงสุดที่จุด D ความเครียดขณะช่วงนำกระแสมีความรุนแรงมากกว่าช่วงตัดกระแสเพราะเนื่องจากผลของการฟื้นตัวย้อนกลับ (Reverse Recovery Effect) ของฟริววลิ่ง ไดโอดเป็นผลดังแสดงในพื้นที่ปลอดภัยในการทำงานที่จุด B



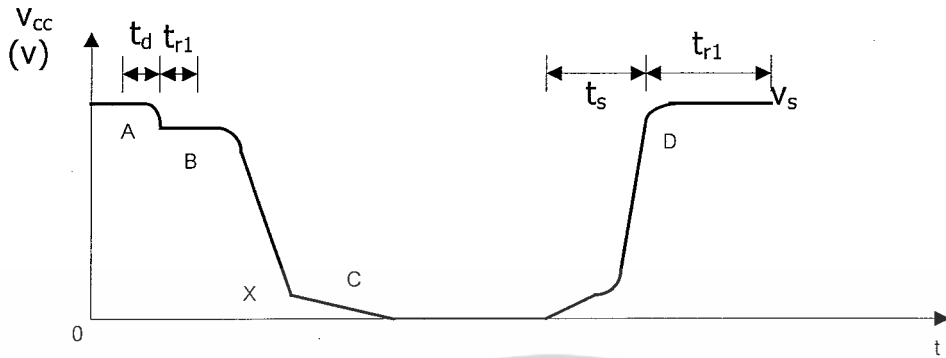
(a) ฟริววลิ่งไดโอด (b) ซีเนอร์ไดโอด (c) วงจรอาร์ซีสับเบอร์

รูปที่ 2.18 วิธีจำกัดแรงดันสไปก์

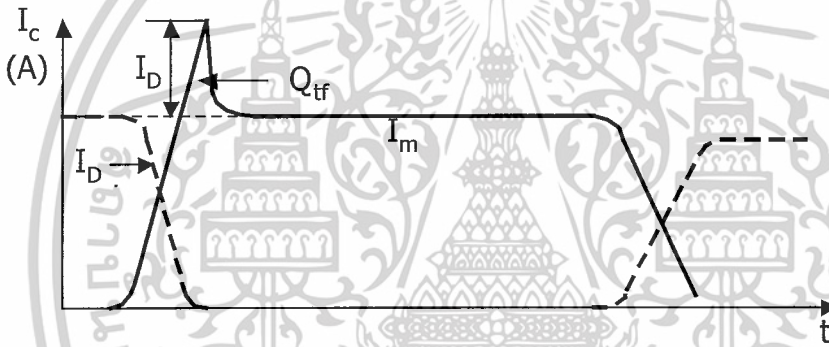
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



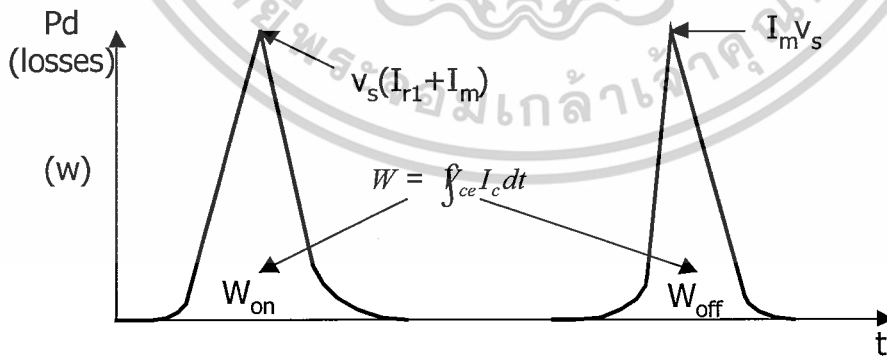
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) แรงดันคอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์



(d) กระแสคอลเลกเตอร์และกระแสในไดโอด

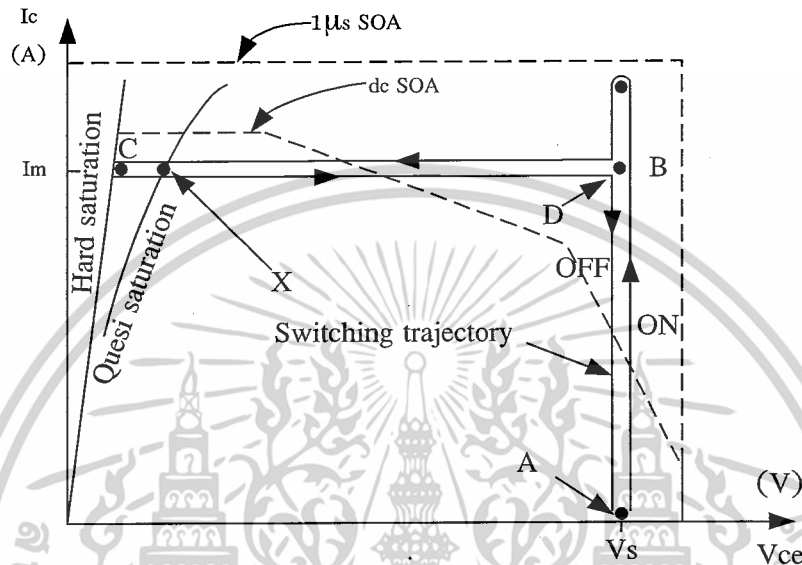


(e) กำลังสูญเสียในคอลเลกเตอร์

รูปที่ 2.19 (ต่อ) รูปคลื่นขณะสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกำลังสูญเสียขณะสวิตช์ของโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำกับโหลดที่เป็นตัวต้านทาน พบว่ากำลังสูญเสียในทรานซิสเตอร์ ขณะสวิตช์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานมีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 2.20 พื้นที่ปลอดภัยในการทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ

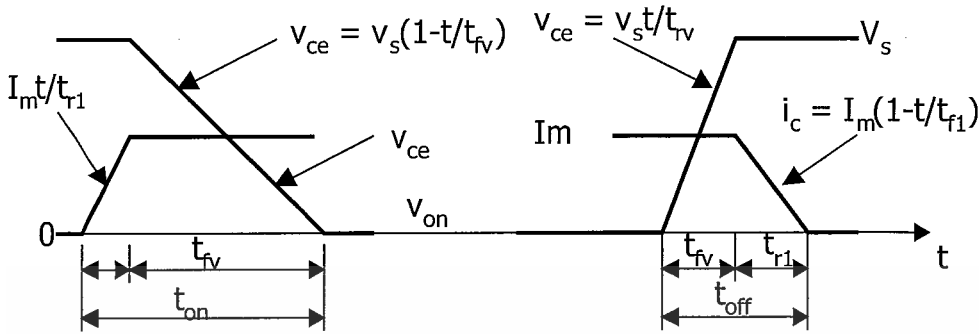
กำลังสูญเสียขณะสวิตช์สามารถคำนวณได้โดยการประมาณรูปคลื่นแรงดันและกระแสเป็นเชิงเส้น และสมมติให้ช่วงการฟื้นตัวของฟริวิลลิ่งไดโอดมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิดรูปที่ 2.21 แสดงรูปคลื่นของการสวิตช์ที่ประมาณเป็นเส้นตรงของโหลดแบบเหนี่ยวนำที่แรงดัน V_m และกระแส I_m เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันในช่วงนำกระแสและตัดกระแส

กำลังสูญเสียขณะนำกระแส

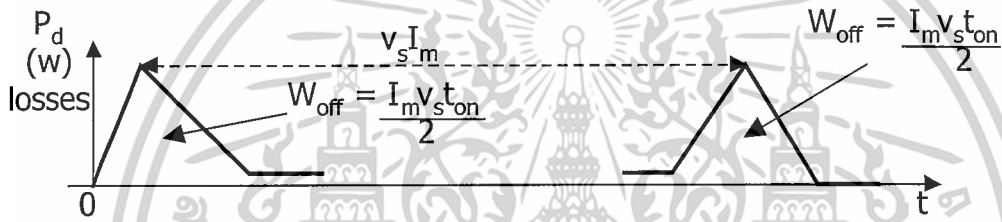
$$\begin{aligned}
 W_{on} &= 0 \int^{t_{ri}} V_m I_m \frac{t}{t_{r1}} dt + 0 \int^{t_{fv}} V_m 1 \frac{t}{t_{fv}} I_m dt \\
 W_{on} &= V_m \times I_m \times \frac{t_{on}}{2} \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

โดยที่ $t_{on} = t_{r1} + t_{fv}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.30 เวลาที่กระแสเพิ่มขึ้นขณะนำกระแส คือ t_{r1} และเวลาที่แรงดันตกลงขณะนำกระแสคือ t_{fv}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะสวิตช์



(b) กำลังสูญเสียขณะสวิตช์

รูปที่ 2.21 การประมาณรูปคลื่นแบบเชิงเส้นขณะสวิตช์กำลังสูญเสียขณะตัดกระแส

โดยที่ $t_{on} = t_1 + t_{fv}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นขณะตัดกระแสคือ t_{fv} และเวลาที่กระแสตกลงขณะตัดกระแสคือ t_{r1} เปรียบเทียบกำลังสูญเสียของโหลดแบบตัวต้านทานและโหลดแบบตัวเหนี่ยวนำ จะได้ว่าโหลดแบบตัวเหนี่ยวนำสูงกว่า 3 เท่า

2.7. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดนี้นับได้ว่าเป็นแบตเตอรี่ที่ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางไม่เฉพาะแต่ที่ใช้กันในรถยนต์เท่านั้น แต่ได้มีการใช้งานกันในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปเช่น ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองให้กับห้องทดลอง หรือเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดสตาร์ทมอเตอร์ เป็นต้น

2.7.1 การจำแนกประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ได้ถูกออกแบบมามากมาย หลายประเภท เพื่อที่จะทำให้แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่ถูกกำหนดไว้และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การที่จะเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ชนิดใดนั้น ควรที่จะพิจารณาถึงความเหมาะสม และลักษณะสมบัติต่างๆ กันของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ ซึ่งจะมีหลายสิ่งหลายอย่างที่สอดคล้องกันอยู่ เช่นอายุของแบตเตอรี่เอาท์พุทต่ำสุดต่อหน่วย น้ำหนักหรือปริมาตร และสิ่งสำคัญที่สุดคือ จะต้องมีการจ่ายในขณะทำงานต่ำ

เราสามารถแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ได้เป็น 2 ชนิดตามการใช้งานซึ่งแบตเตอรี่ที่ทำงานในสถานที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ไม่ว่าจะถูกเคลื่อนย้ายโดยมีมนุษย์หรือเป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของขบวนการพาหนะ เราเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า พอร์ทเทเบิลแบตเตอรี่ (Portable Batteries) และอีกชนิดหนึ่งนั้นเป็นประเภทที่ตั้งอยู่ในสถานที่ ที่เป็นหลักแหล่งแน่นอนและจะอยู่ต่อไปเช่นนั้นตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งเราเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า สเตชันนารีแบตเตอรี่ (Stationary Batteries)

พอร์ทเทเบิลแบตเตอรี่ (Portable Batteries) ประกอบด้วย

- 1) แบตเตอรี่รถยนต์
- 2) แทรกชั่นแบตเตอรี่ (Traction Batteries)
- 3) แบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือ
- 4) แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟ
- 5) แบตเตอรี่ของวิทยุและแบตเตอรี่ของชุดทดลองขนาดเล็กสเตชันนารีแบตเตอรี่

(Stationary Batteries) ประกอบด้วย

- 6) แบตเตอรี่ที่ใช้ในไฟฉุกเฉิน
- 7) แบตเตอรี่ที่ใช้ในห้องทดลอง
- 8) แบตเตอรี่ที่ใช้ในสถานที่ส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง
- 9) แบตเตอรี่ที่ใช้ในการป้องกันไฟไหม้ในระบบ

2.7.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

1) ความจุของแบตเตอรี่

ความจุที่มีอยู่ในเซลล์หรือแบตเตอรี่ สามารถแสดงให้เป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere - Hours) หรือ วัตต์-ชั่วโมง (Watt - Hours)

แบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 Ah ที่ 10 ชั่วโมง หมายความว่า จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 10 แอมป์ ภายในเวลา 10 ชั่วโมง แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 100 Ah ในขณะที่พิกัดการคายประจุเกิน 10 แอมป์ ในขณะที่มีพิกัดของภาระต่ำกว่า 10 แอมป์ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานได้มากกว่า 100 Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere - Hours) หรือ วัตต์-ชั่วโมง (Watt - Hours) ของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแบตเตอรี่	อัตราความจุ	อุณหภูมิ		แรงดันสูงสุด
	hr	C°	F°	V
- ตะกั่วกรด	20	25		1.75
- ใช้ขับเคลื่อนรถยนต์	5	77		1.73
- ใช้ลากจูง	5	15.6		1.70
- ใช้กับรถไฟ	10	80		1.85

ในการระบุความจุของแบตเตอรี่จำเป็นต้องกำหนดถึงพักเวลาในการคายประจุ ตัวอย่างแบตเตอรี่ชนิดเฮฟวีเพลทเพลนเน็ต (Heavy Plate Planate) มีความจุ 100 Ah ที่ 10 ชั่วโมง จะมีความจุ 50Ah เท่านั้น ความจุของแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย (Final Voltage) โดยค่าต่างๆ เหล่านี้จะถูกกำหนดมา สำหรับแบตเตอรี่ 100 Ah ความจุของมันจะเกี่ยวเนื่องกับเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียสและมีแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายเป็น 1.85 โวลต์ ต่อเซลล์ เราสามารถเขียนได้เป็น 100 Ah/10 hr./1.85V.p.c /15.6 C แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ที่มีความจุ 100 Ah จะเกี่ยวเนื่องกับเวลา 5 ชั่วโมง ที่ 27 องศาเซลเซียส และแรงดันสุดท้ายเป็น 1.7 โวลต์ ต่อเซลล์ (100 Ah/20 hr./1.75 V.p.c/25 °C) แทรกชั้นแบตเตอรี่ขนาดความจุ 100 Ah จะเกี่ยวเนื่องกับเวลา 5 ชั่วโมง ที่ 27 องศาเซลเซียส และแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายเป็น 1.7 โวลต์ต่อเซลล์ (100 Ah/5 hr./1.7 V.p.c/27 °C) ในตารางที่ 2.1 ซึ่งในแต่ละประเทศจะถูกกำหนดเป็นพื้นฐานสำหรับความจุ อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย จะเปลี่ยนไปตามชนิดของแบตเตอรี่

2) ความจุวัตต์ - ชั่วโมง (Watt - Hour Capacity)

เมื่อได้คายประจุที่พิกัดพื้นฐานที่แสดงไว้ในตารางแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เมื่อมีการคายประจุจะมีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 2.0 โวลต์ ต่อเซลล์ และแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์จะมีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1.35 โวลต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าในการคายประจุตลอดเวลาจะมีค่าเริ่มต้นไปจนถึงค่าสุดท้าย แรงดันไฟฟ้าสุดท้ายเป็นตัวแปรหลายๆ ต่อแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย เซลเพลนเน็ต (Planate) ที่ 10 ชั่วโมง และแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย 1.85 โวลต์ ในการคายประจุจะมีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแทรกชั้นแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายเป็น 1.70 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความจุวัตต์ - ชั่วโมง (Watt - Hour) ของแบตเตอรี่จะประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าในการคายประจุ และค่าความแอมแปร์ - ชั่วโมง

3) เปรอ์เซ็นต์ความจุและกราฟของเวลา

ความจุของแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่วกรด เปลี่ยนแปลงไปกับพิกัดของการคายประจุ และความจุเท่าที่จะหาได้จากแบตเตอรี่ ค่าของแอมแปร์-ชั่วโมง หรือวัตต์-ชั่วโมง เป็นค่าที่มากที่สุดในการคายประจุต่ำที่สุด และมีค่าน้อย เมื่อมีพิกัดการคายประจุที่สูง

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและเวลาในการคายประจุ แสดงในรูปที่ 2.22 สำหรับแบตเตอรี่ชนิด เพลนเน็ต, แทรกซ์สัน, รถยนต์ จากการอ่านค่าจากกราฟนั้น มีความเป็นไปได้ในการประมาณค่าความจุ ในแต่ละชนิดของแบตเตอรี่ ที่ค่าต่างๆ เปลี่ยนไปในการคายประจุ

การลดลงของความจุที่การคายประจุสูงๆ นั้นเป็นผลจากการสร้างตะกั่วซัลเฟตอย่างรวดเร็วที่พื้นผิวของแผ่นเพลท เกิดการกีดขวางรูของแผ่นเพลทกรดจะถูกหน่วงและกีดขวางชั้นสุดท้ายที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยา ซัลเฟต ที่ถูกสร้างอย่างรวดเร็วนี้จะไปเพิ่มความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ลดลง

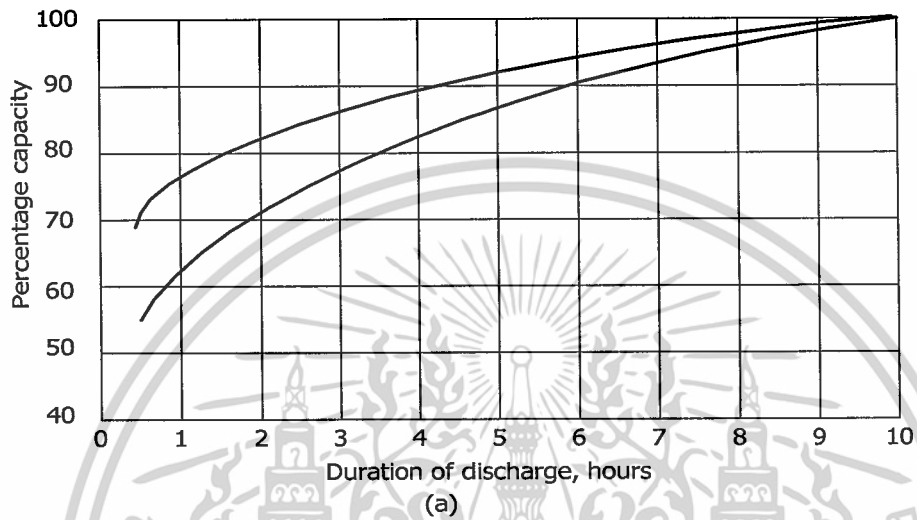
สำหรับพิกัดในการคายประจุอย่างช้าๆ การแพร่ของกรดไปยังรูต่างๆ ทำให้การทำปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ซัลเฟต ไม่เกาะที่พื้นผิวของแผ่นเพลทอย่างรวดเร็วเกินไป มีแผ่นปฏิกิริยาหลายอย่างที่ง่ายต่อการเปลี่ยนไปเป็น ตะกั่วซัลเฟต แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่จะมีค่าคงที่สำหรับงานที่มีคาบที่มีความยาวมาก

ตารางที่ 2.2 เปรอ์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

ความจุ	ชนิดเพลนเน็ต	ชนิดใช้ขับเคลื่อน	ชนิดใช้ลากจูง
ทั่วไป	100% (10hr)	100% (20 hr)	100% (5 hr)
10-hr	100%	89%	111%
5-hr	83-88%	78%	100%
3-hr	72-79%	70%	89%

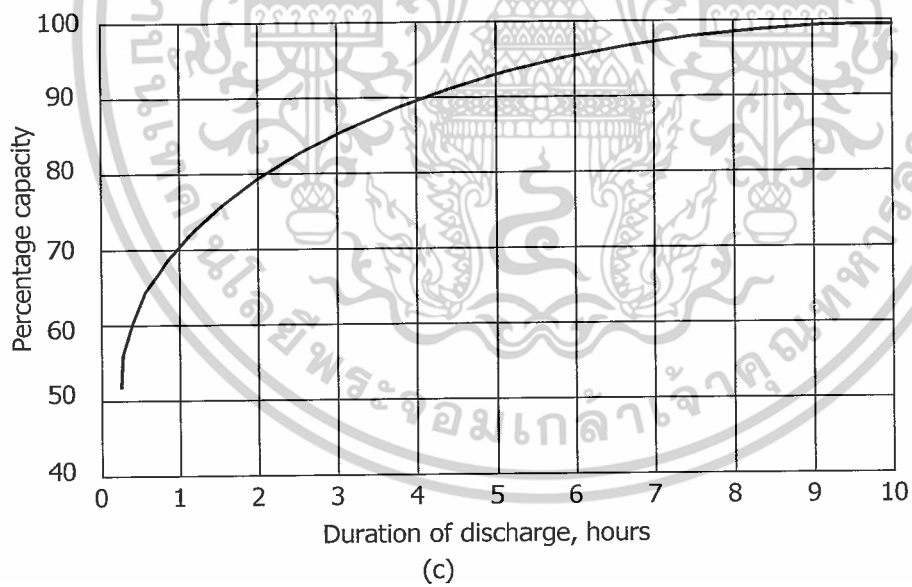
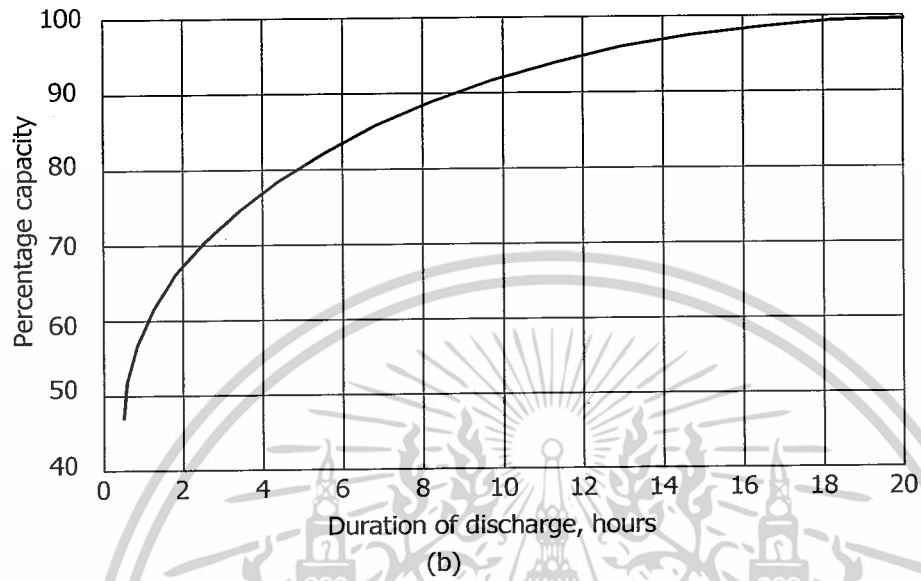
อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่สามารถคายประจุได้ที่กระแสสูงๆ ถึงจุดๆ หนึ่ง ทำให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว ต้องทำการเปิดวงจรแรงดันไฟฟ้าจะกลับมาที่ค่าเดิม และความเอกสาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ทำการคายประจุที่กระแสไฟฟ้าสูงๆ แล้ว ถึงจุดพักทลาย แบตเตอรี่จะได้รับความจุกลับคืนมา ถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าลดลง



รูปที่ 2.22 ความจุแอมแปร์-ชั่วโมง และกราฟของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 (ต่อ) ความจุแอมแปร์-ชั่วโมง และกราฟของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

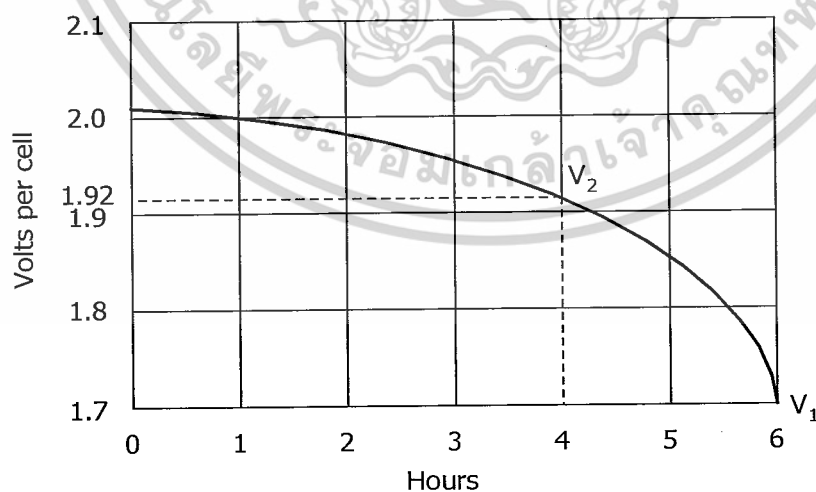
2.7.3 ตัวประกอบที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่

มีหลายๆ องค์ประกอบที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่วกรดแต่ที่สำคัญๆ มีดังนี้

- 1) พิกัดของการคายประจุ
- 2) แรงดันไฟฟ้าสุดท้ายที่ถูกจำกัดไว้
- 3) อุณหภูมิของแบตเตอรี่
- 4) จำนวนของแผ่นปฏิกิริยา
- 5) การออกแบบและจำนวนของแผ่นเพลท
- 6) ปริมาตรและคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์
- 7) อายุของแบตเตอรี่

1) แรงดันไฟฟ้าสุดท้าย

ควรพิจารณาผลที่เกิดจากการคายประจุ บนความจุเท่าที่หาได้ของแบตเตอรี่ความจุนั้น สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายที่ถูกจำกัดไว้เมื่อแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ความจุนั้นต่ำลงสามารถจำลองชนิดของการทำงาน คือแบตเตอรี่ 24 เซลล์ สามารถจ่ายพลังงานต่ำที่สุดที่จะทำงานได้คือ 46 โวลต์ หรือ 1.92 โวลต์ ต่อเซลล์กระแสไฟฟ้าจะสามารถเขียนได้จากการจ่ายภาวะสูงสุดของแบตเตอรี่ อาจจะเทียบเคียงจากพิกัด 6 ชั่วโมง ถึงแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายมาตรฐานเป็น 1.71 โวลต์ ต่อเซลล์ แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ทำงานพอจะยอมรับได้ว่า มีค่า 1.92 โวลต์ ต่อเซลล์แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียง 4 ชั่วโมง เท่านั้น



รูปที่ 2.23 ผลของแรงดันสุดท้ายต่อเอาท์พุทของเซลล์ เมื่อโหลดเท่ากับ 6 ชั่วโมง

แรงดันสุดท้ายปกติเป็น V₁ กับแรงดันสุดท้ายเป็น V₂ ที่ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าสุดท้าย จะถูกกำหนดเป็นส่วนๆ โดยอาศัยธรรมชาติของการทำงาน ซึ่งคุณสมบัติของแบตเตอรี่จะกำหนด โดยคุณสมบัติแรงดันไฟฟ้าในการคายประจุของแบตเตอรี่ ภาวะที่เป็นแสงสว่างจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่สูง แต่ถ้าภาวะในการเริ่มเดินมอเตอร์ที่มีภาระหนักๆ จะเกิดความต้องการพลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่ค่อนข้างมาก การใช้กระแสไฟฟ้าสูงๆ ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำๆ ทำให้แรงดันไฟฟ้าสุดท้ายต่ำกว่าคุณสมบัติในการคายประจุของแบตเตอรี่จะเป็นตัวกำหนดแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย แรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างคงที่สม่ำเสมอ 0.3 โวลต์ต่อเซลล์ จากแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น แรงดันไฟฟ้าของเซลล์จะตกลงเป็นค่าที่ชันมากจนเกินจุดสุดท้ายซึ่งมีชื่อว่า นี (Knee) ของกราฟแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องเกินกว่า นี ก็จะไม่ผลิตเวอร์ท-วาย (Worth-While) เพิ่มขึ้นในวาริเอเบิลคาปาซิเตอร์ (Variable Capacitor) เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าเกิดการพังทลายทันที

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิปกติของแบตเตอรี่ทุกๆ ไปจะอยู่ระหว่าง 15.6 องศาเซลเซียส ถึง 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างชั่วคราว ตามแรงดันไฟฟ้าในการคายประจุความจุ และแรงดันไฟฟ้าจะกลับคืนถึงอุณหภูมิปกติ เมื่อปราศจากการประจุ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความจุมีค่าสูงขึ้นด้วย

อุณหภูมิจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง ความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์และวิสคอสซิตี (Viscosity) โดยปฏิกิริยาทั้งสองของอิเล็กโทรไลต์จะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำๆ โดยเฉพาะที่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส การแพร่หรือการไหลเวียนของอิเล็กโทรไลต์ภายในรูของแผ่นปฏิกิริยา จะส่งผลทำให้วิสคอสซิตี (Viscosity) และความต้านทานลดลงและความจุของแบตเตอรี่จะมีค่าสูงขึ้นที่อุณหภูมิสูงๆ

ในการเปลี่ยนแปลงของความจุของแบตเตอรี่ก่อให้เกิดผลในวิสคอสซิตีและความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์อย่างเห็นได้ชัดที่พิกัดการคายประจุสูงๆ

3) จำนวนของแผ่นปฏิกิริยา

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุออกมา เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีระหว่างอิเล็กโทรไลต์และแผ่นปฏิกิริยา ของตะกั่วออกไซด์ตะกั่วที่เป็นโพรง ความจุของแบตเตอรี่จะมีค่ามากขึ้น ถ้าจำนวนของแผ่นปฏิกิริยามีจำนวนมาก

ความสัมพันธ์ตามเหตุผลระหว่างน้ำหนักของแผ่นปฏิกิริยาพลังงานด้านเอาท์พุท ในหน่วยของแอมแปร์ - ชั่วโมง ที่เก็บสะสมไว้ สามารถคำนวณได้โดยสูตรของฟาราเดย์ในเรื่องของไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามหลักการแล้วแผ่นปฏิกิริยาสำหรับ 1 Ah ต้องประกอบด้วย ตะกั่วออกไซด์ 4.4 กรัม กับ ตะกั่ว 3.87 กรัม ความต้องการใน 3 ถึง 5 ชั่วโมงจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของเซลล์และจำนวนของแผ่น เพลท

4) การออกแบบของเซลล์

การให้เพิ่มน้ำหนักของแผ่นปฏิกิริยา เพื่อให้เซลล์สามารถจ่ายกระแสได้สูงนั้นเป็นปัจจัยที่ทำให้อิเล็กทรอนิกส์เข้าไปในแผ่นปฏิกิริยาจะเป็นผลสำเร็จนั้น จะต้องใช้แผ่นเพลทขนาดบางๆ จำนวนมากกับอัตราส่วนของน้ำหนักแผ่นปฏิกิริยากับกรดมีค่าสูง และต้องอาศัยการบำรุงรักษาแผ่นกรดให้แข็งแรงเพียงพอที่จะเป็นตัวนำที่ดีและเก็บพาสซ์ (Paste) น้ำหนักของแผ่นปฏิกิริยาจะถูกกระจายไปยังบางส่วนของแผ่นเพลทบางๆ ที่บรรจุในพาสซ์ (Paste) ที่หนาแน่นหรือ แข็งซึ่งผลที่ได้จะทำให้ความจุของเซลล์ลดต่ำลง แผ่นเพลทของแผ่นตัวทำปฏิกิริยาที่เป็นรูๆ จะสามารถผลิตเอาที่พุดได้มากกว่าแผ่นเพลทของแผ่นตัวทำปฏิกิริยาที่หนาแน่นและแข็ง โดยดูจากรายละเอียดในการคายประจุที่ค่าพิกัดสูงๆ การเพิ่มขึ้นของจำนวนคาร์บอนเล็กๆ เบอร์เหลี่ยมซัลเฟต โครงสร้างอื่นๆ จะขยายการผสมของพาสซ์ (Paste) ได้รวดเร็วยิ่งขึ้นในการเจาะแผ่นเพลทเป็นรูๆ

สำหรับงานที่มีรอบการทำงานคือ มีการประจุและคายประจุอย่างสม่ำเสมอ จะใช้แผ่นเพลทที่มีจำนวนรูค่อนข้างมากแต่จะทำให้การนำกระแสไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสั้น เพราะแผ่นปฏิกิริยาจะกร่อนก่อนกำหนด รูของแผ่นเพลทจะตันในระหว่างการคายประจุปกติเนื่องจากการก่อตัวของตะกั่วซัลเฟตเพราะว่าตะกั่วซัลเฟตจะเข้าไปอุดช่องหรือรูของแผ่นปฏิกิริยาที่มีอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาของซัลเฟตเกิดขึ้นอย่างมากมาย เนื่องจากว่าเซลล์ได้ถูกการคายประจุที่มากเกินไปหรือการประจุที่กระแสต่ำเกินไปบ่อยๆ หรือซัลเฟตได้ขยายตัวจนกลบรูของแผ่นเพลท สำหรับการคายประจุที่มีคาบเวลายาวนาน ถ้าไม่มีการรักษาการรั่วไหลของความจุในเซลล์หรือการประจุที่ผิดเงื่อนไข จะทำให้มีความดันเกิดขึ้นที่แผ่นปฏิกิริยา ซึ่งผลให้เกิดรอยแตกขึ้นที่กรด หรือแผ่นเพลทสูญเสียการทำปฏิกิริยาไป

5) ความต้านทานภายใน

เมื่อขั้วของเซลล์ที่มีการเก็บพลังงานไว้ ได้ถูกต่อเข้ากับความต้านทานภายนอกซึ่งมีค่า R (โอห์ม) ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล I (แอมแปร์) ซึ่งเราวัดได้จากแอมมิเตอร์ โดยทิศทางของกระแสจะไหลจากขั้วบวกไปยังแผ่นเพลทของขั้วลบ โดยอิเล็กทรอนิกส์ ความต้านทานรวมทั้งหมด คือ ความต้านทานภายนอกบวกกับความต้านทานภายใน โดยคำนวณได้จากกฎของโอห์ม

$$I = \frac{E}{(R_E + R_C)} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ E คือแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรของเซลล์ R_E คือความต้านทานภายนอก และ R_C คือความต้านทานภายในเซลล์

ความต้านทานภายในจะแปรผันไปตามอุณหภูมิ สถานะของการคายประจุการออกแบบของเซลล์ มันจะเพิ่มอุณหภูมิต่ำลง ขอบเขตของการคายประจุ การเพิ่มขึ้นของการประจุ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับ ความต้านทานภายนอกของวงจร ซึ่งจากสมการที่แล้วเขียนได้เป็น

$$E = I \times (R_E + R_C) \quad (2.15)$$

เมื่อ R_E มีค่าสูง และ I ที่มีค่าต่ำเพราะฉะนั้น เราสามารถรู้ค่าของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม IR_C ได้ ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ IR_E เมื่อ I มีค่ามากๆ เช่น ในการสตาร์ทหรืองานอื่นๆ ที่คล้ายกัน IR_C มีค่าสูงประมาณ 0.1 โวลต์ หรือมากกว่า กระแสที่ไหลออกมามากมาย จะทำให้บางส่วนของพลังงานสูญเสียไปกับ ความร้อนภายใน ซึ่งจะนำไปตามปฏิกิริยากับกระแส ยกกำลังสอง $I^2 R_C$

เมื่อแบตเตอรี่หรือเซลล์มีจุดมุ่งหมายอย่างเห็นได้ชัด เพื่อจัดการกระแสมากโดยที่จะต้องพยายามรักษาค่าความต้านทานภายใน ให้มีค่าต่ำๆ ซึ่งเป็นเช่นนี้ได้ จะต้องออกแบบเซลล์ จะต้องมีส่วนประกอบต่างๆ จำนวนมาก กับอิเล็กทรอนิกส์บางส่วนสั้นจะมีการขนานกัน ของรูปร่างของแผ่นเพลทบางกลุ่ม ซึ่งจะทำให้ผลของความต้านทาน N เพลท ซึ่งค่าความต้านทาน R_P คือ $\frac{R_P}{N}$

บางครั้งเพื่อความสะดวก จึงมีการแสดงค่าความจุของเซลล์ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมงต่อแผ่นเพลทขั้วบวก เซลล์ที่มี 9 แผ่นเพลท จะมีแผ่นเพลทขั้วบวก 4 แผ่น และแผ่นเพลทขั้วลบ 5 แผ่น สมมุติว่า แผ่นเพลทขั้วบวกมีความจุ 10 แอมแปร์-ชั่วโมง ความจุของแบตเตอรี่หาได้จาก $4 \times 10 = 40 \text{ Ah}$ ซึ่งเหมือนกับแผ่นเพลทที่มีขนาดเท่ากัน คือในหนึ่งเซลล์มี 21 แผ่นเพลท และมีแผ่นเพลทขั้วบวก 10 แผ่น เพราะฉะนั้นค่าความจุมีค่าเท่ากับ $10 \times 10 = 100 \text{ Ah}$

เช่นเดียวกันในการบอกค่าความต้านทานภายในซึ่งมีหน่วยเป็น โอห์มต่อแผ่นเพลท ขั้วบวก ที่ความจุ 10 Ah จะมีค่าความต้านทาน 0.01 โอห์ม ซึ่งในจำนวน 9 แผ่นเพลท จะมีแผ่นเพลทขั้วบวก ต่อขนานกัน 4 แผ่น จึงมีค่าความต้านทานเท่ากับ $0.01/4$ หรือ 0.0025 โอห์ม

แบตเตอรี่ 6 เซลล์ 9 แผ่นเพลทมีค่าแรงดันทั่วไป 12 โวลต์ (6×12) มีความจุ 40 Ah มีค่าความต้านทานภายใน 6×0.0025 หรือ 0.015 โอห์ม ซึ่งมีค่าเท่ากับความต้านทาน 6 เซลล์ต่ออนุกรมกัน

ความต้านทานรวมของแบตเตอรี่หาได้จาก ค่าของความต้านทานภายในบวกกับค่าความต้านทานจุดต่อของแต่ละเซลล์ทั้ง 5 จุดต่อ ค่าความต้านทานของจุดต่อมีค่าประมาณเท่ากับหนึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หกของความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ความต้านทานของแบตเตอรี่จะมีค่าเป็น $0.015 + 0.0025 = 0.0175$ โอห์ม

ความต้านทานภายในจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความต้านทานขณะคายประจุเต็มที่เป็น $2/12$ ถึง 3 เวลาในขณะที่ค่าการคายประจุเต็มที่

6) ขอบเขตของความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดต่างๆ กันที่ 15.6 องศาเซลเซียส เป็นดังนี้

- 1) สเตชันนารีแบตเตอรี่ 1.210
- 2) พอร์ทเทเบิลแบตเตอรี่
- 3) ภูมิภาคเมืองหนาว 1.270 – 1.285
- 4) ภูมิภาคเมืองร้อน 1.230 – 1.250

ความถ่วงจำเพาะจะตกลงตามการคายประจุ และจะเพิ่มขึ้นตามการประจุ ซึ่งจะมีค่าต่ำสุดเมื่อมีการคายประจุเต็มที่ และมีค่าสูงสุดเมื่อมีการประจุเต็มที่

ความถ่วงจำเพาะจะเป็นตัวแสดงผลที่ตีความของสถานะ ในการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด การตกลงของความถ่วงจำเพาะในขณะที่คายประจุจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจำนวนแอมแปร์-ชั่วโมง ที่ถูกจ่ายไปโดยแบตเตอรี่ ความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ ในระหว่างการคายประจุเต็มที่ จะเปลี่ยนไปตามจำนวนของอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ขอบเขตของความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ มีค่าประมาณดังนี้

- | | | | | |
|---------------|-------------------------|-----|----|-----|
| 1) สเตชันนารี | 1.210 – (1.130 – 1.180) | ที่ | 10 | ชม. |
| 2) รถยนต์ | 1.280 – 1.110 | ที่ | 20 | ชม. |
| 3) แทรกชั้น | 1.280 – (1.120 – 1.150) | ที่ | 5 | ชม. |

ค่าความผิดพลาดอาจจะเปลี่ยนไปไม่เกิน 0.030 สำหรับสเตชันนารีขนาดใหญ่ และไม่เกิน 0.170 หรือมากกว่า สำหรับพอร์ทเทเบิลเซลล์

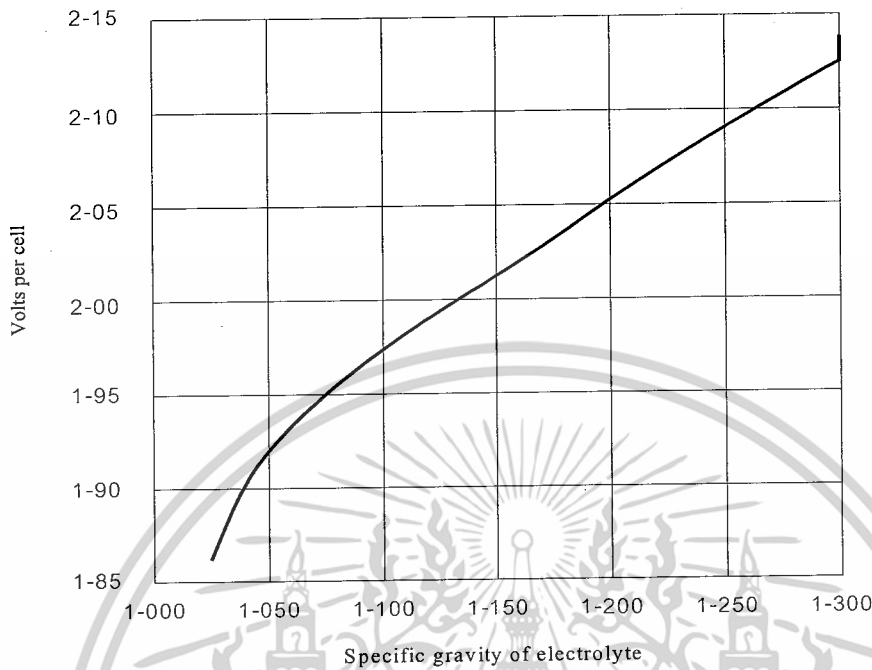
7) แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรและค่าความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์จะแปรตามแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร ความจุที่เหลืออยู่จะไม่คงที่แน่นอน หลังจากคาบเสถียรภาพประมาณ 12 ชม. ตามการประจุ หลังจากการประจุคาบที่มีเสถียรภาพจะยอมให้แรงดันแก๊สซิง (Gassing) หรือแรงดันฟรอนท์ (Front) ออกมาชัดเจนทันทีทันใด การตกลงถึงค่าเปิดวงจรที่เป็นจริง

ผลของค่าความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ ขณะเปิดวงจรเป็นไปตามรูปที่ 2.41 ในย่านของความถ่วงจำเพาะจาก 1.10 – 1.29 ค่าของแรงดันจะเพิ่มขึ้น โดยความชันที่คงที่ โดยการเพิ่มความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงแรงดันขณะเปิดวงจรของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกับค่าความถ่วงจำเพาะ

สเตชันนารีเซลล์จะทำงานที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.210 อิเล็กโทรไลต์จะมีแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรเป็น 2.025 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ชนิดรถยนต์จะทำงานที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.280 อิเล็กโทรไลต์ที่มีแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเป็น 2.12 โวลต์

เราอาจจะหาค่าได้จากการประมาณแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร = sp.gr. + 0.84

โดยทั่วๆ ไปนี้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะหาได้จากจำนวนเซลล์คูณด้วยสอง

8) แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุ

แรงดันไฟฟ้าของบางเซลล์จะมีค่าสูงกว่าปกติ เมื่อมีการประจุแต่เมื่อมีการคายประจุ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์ก็จะลดลง สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจากการประจุหรือคายประจุจะแปรผันตามองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) กระแสไฟฟ้าที่ไหล
- 2) สถานะของการประจุและคายประจุ
- 3) อุณหภูมิของเซลล์
- 4) อายุของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของกราฟการประจุและคายประจุจะเป็นไปตามรูปที่ 2.26 สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ชนิดแทรกชั้น ทำไม่จำเป็นต้องเป็นแบตเตอรี่ชนิดนี้ ก็เพราะว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้จะผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและรถบรรทุกในงานอุตสาหกรรมภายในวันหนึ่งหรือวันถัดไปจะมีการคายประจุอย่างสมบูรณ์ สำหรับกราฟการประจุครั้งต่อไปในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่วโมง ซึ่งมีการแปรผันตามเวลาที่เปลี่ยนไป

แบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน ซึ่งจะไม่มีการขยายการคายประจุขึ้นมามากมาย และจะรักษาเวลาในการประจุส่วนใหญ่ไว้ โดยการต่อขนานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบแบตเตอรี่จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ แรงดันไฟฟ้าจะถูกแบ่งเป็นหลายระดับโดยมีระดับของแรงดันแก๊สซิง (Gassing) เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งมีค่าประมาณ 2.30 – 2.40 โวลต์ ต่อเซลล์และกระแสที่ไหลผ่านตัวแบตเตอรี่จะมีค่าค่อนข้างต่ำลงไปเรื่อยๆ เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าสูงเกินกว่าระดับแรงดันแก๊สซิง

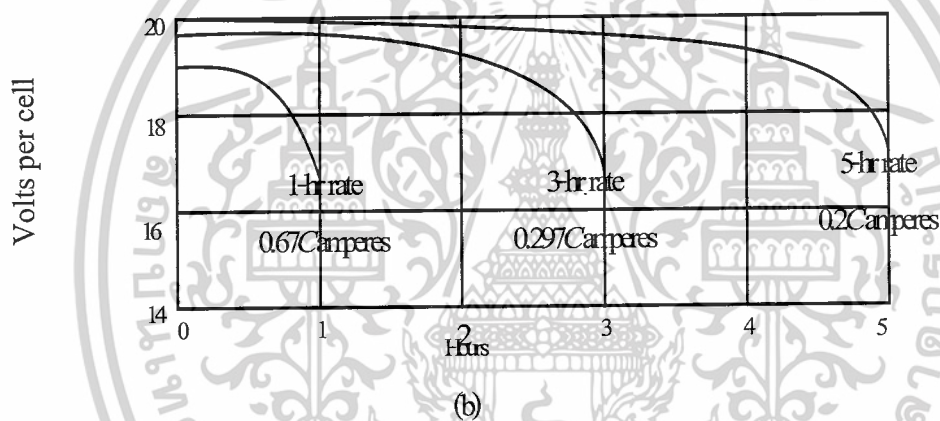
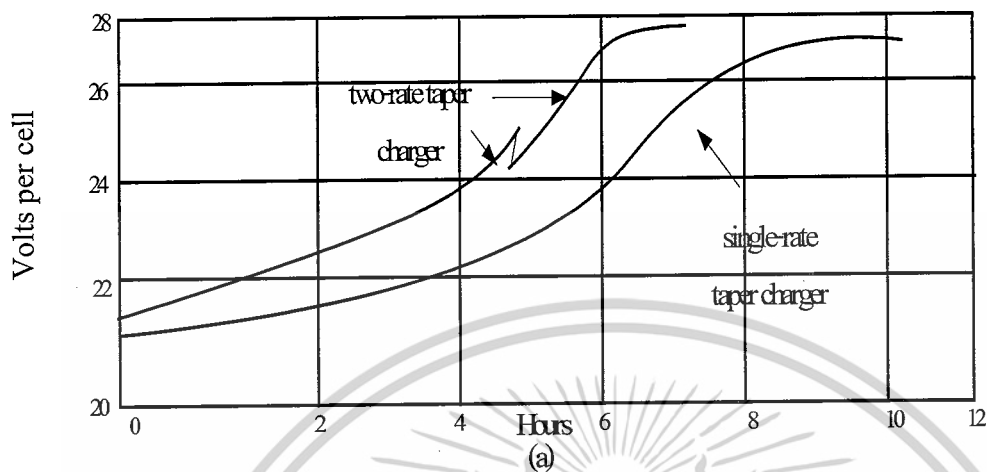
แบตเตอรี่จะต้องได้รับการประจุถึงระดับแรงดันแก๊สซิง เพื่อการประจุที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามค่าความจุมากกว่า 10 % จะถึงใช้ไปในระหว่างการคายประจุฉุกเฉิน

9) แรงดันและพิกัดในการประจุ

ในการประจุเซลล์ปกติ หรือการประจุครั้งต่อไปของแบตเตอรี่ จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตและสามารถบำรุงรักษาได้ตลอดที่มีการประจุ

เพราะว่าการประจุที่ได้รับการยอมรับที่พิกัดสูง กับแบตเตอรี่ที่ผ่านการคายประจุมา ที่เป็นไปได้ที่จะต้องประจุอย่างปลอดภัยที่พิกัดติดต่อกัน 3 – 5 ครั้ง สำหรับการประจุปกติ เมื่อให้พิกัดเริ่มต้นของการประจุมีค่าสูงและจะลดลง เมื่อถึงจุดแก๊สซิง แรงดันของเซลล์จะมีค่าประมาณ 2.35 โวลต์ และจะต้องมีการป้องกันแบตเตอรี่ เช่น การป้องกันอุณหภูมิเกินด้วย พิกัดของการประจุจะต้อง ไม่มากกว่าที่กำหนดมา และพิกัดสุดท้ายจะเป็น ไปอย่างถูกต้อง สำหรับเวลาที่เซลล์ใช้ไปถึงจุดแก๊สอย่างสมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ลักษณะสมบัติของแรงดันเมื่อเทียบกับเวลาของแท่งขั้วแบตเตอรี่

ผลความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ในพิภคการประจุที่แตกต่างกันตามรูปที่ 2.26 เซลล์ที่ทำการคายประจุอย่างเต็มที่นั้น แล้วมาทำการประจุ จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ประจุต่ำกว่า 2.0 โวลต์ โดยปกติจะมีแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ ขณะเริ่มต้นในการประจุจะไม่สูงไปกว่า 2.20 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งจะแปรผันตามกระแสในการประจุ

เมื่อมีการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการประจุจะแปรผันตามชนิดและอายุของแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ จะมีค่าตามตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่	แรงดันขณะประจุ(ต่อเซลล์)	กระแสที่ใช้ในการประจุ	อุณหภูมิที่ใช้ในการประจุ	
	V	A	C°	F°
- ใช้ขั้วเคลื่อนหรือลากจูง	2-70	$0.07 \times C_5$	27	80
- ใช้งานทั่วไป	2-65	$0.0 \times C_{20}$	21	70
- ใช้เป็นพลังงานสำรอง	2-75	$0.07 \times C_{10}$	15-6	60

C_5, C_{20}, C_{10} = Ampere hour capacitor at 5-hr, 20-hr and 10-hr rate

พิกัดของกระแสสุดท้ายจะเท่ากับ 7% ของความจุปกติ จะให้แรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ สูงสุด ขณะที่กระแสไฟฟ้าในการประจุที่เท่ากัน แรงดันไฟฟ้าที่จุดสุดท้ายอาจไม่เท่ากัน โดยเป็นผลมาจากอุณหภูมิตามตารางที่ 2.4

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ประจุเต็มที่กับอุณหภูมิสำหรับเซลล์ตะกั่วกรด เป็นค่าประมาณ 0.03 โวลต์ในทุกๆ 5.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.4 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการประจุในอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ชนิดของแบตเตอรี่		
		ลากจูง	ขั้วเคลื่อน	พลังงานสำรอง
C°	F°	V	V	V
15-6	60	2-76	2-68	2-75
21	70	2-73	2-65	2-72
27	80	2-70	2-62	2-69
32	90	2-67	2-59	2-66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่

การใช้แบตเตอรี่กับงานหลายๆ งาน แบตเตอรี่จะวนเวียนอยู่กับการปล่อยกระแสไฟฟ้าและการประจุกระแสไฟฟ้า โดยปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะมากกว่า 4 ปี ซึ่งรับรองจากผู้ผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งกำหนดในภาวะในการใช้งานของแบตเตอรี่จะอยู่ระหว่าง 5-6 ปี ปกติแล้วการใช้งานของแบตเตอรี่จะไม่มากกว่า 85 % ของความสามารถของแบตเตอรี่ใน 5 ชั่วโมง การใช้กระแสไฟฟ้าจนหมดแบตเตอรี่จะไม่เป็นอันตราย ถ้ามีพลังงานพร้อมเพียงและเพียงพอสำหรับการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่

การปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปเรื่อยๆ อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมได้ ดังนั้น การศึกษาวิธีการใช้แบตเตอรี่ที่จากผู้ผลิตแบตเตอรี่เสียก่อนที่จะมีการปล่อยหรือการประจุไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่ถูกปล่อยกระแสออกมากเกินไปจะทำให้ลิธียมเฟตที่เคลือบในเพลทผลิตแอคทีฟแมททีเรียล (Active Material) ที่ขยายออกกว้างทำให้รูถูกปิด ซึ่งมีผลทำให้การประจุกระแสไฟฟ้าครั้งต่อไปไม่สมบูรณ์

2.7.5 ขนาดของแบตเตอรี่และประสิทธิภาพ

งานที่แตกต่างกันเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไป ตามลักษณะของทางกายภาพ น้ำหนัก ปริมาตร และความสามารถของการจุกระแสไฟ เช่น เซลล์ที่มีขนาดเล็กที่สุดจะสูง 24 ซม. ปริมาตร 2.5 ซม.³ หนัก 5.5 ก.ก มีความจุประมาณ 50 Ah เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะสูง 74 ซม. ปริมาตร 49 ซม.³ หนัก 145 ก.ก. มีความจุประมาณ 200 Ah ความจุต่อน้ำหนัก 1 ก.ก. ของแบตเตอรี่สำหรับลากเป็น 24 Wh ต่อ ก.ก. ความจุกระแสต่อปริมาตร 1 ซม.³ ของแบตเตอรี่สำหรับลากเป็น 55 Wh ต่อ dm³ ค่าเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงปรับปรุงได้ ถ้าใช้เพลทที่บางลง ในกรณีที่แบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานมาก ภายใต้งานที่หนัก

2.8 วิธีการเลือกใช้แบตเตอรี่

ปัจจัยในการเลือกใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับงานมีดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
- 2) ขนาดและความต้านทานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับพาหนะ
- 3) เนื้อที่ว่างที่จะใช้สำหรับวาง แบตเตอรี่

มอเตอร์ที่ใช้สำหรับรถบรรทุก และพาหนะจะอยู่ระหว่าง 2 แรงม้า ถึง 12 แรงม้า สำหรับรถบรรทุกชนิดโพลีคลีฟท์ จะใช้มอเตอร์อย่างน้อย 2 ตัว สำหรับการทำให้แล่นและสำหรับการดัน (Pump) ของเครื่องยกไฮดรอลิก (Hydraulic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าจะมีตั้งแต่ 12 โวลต์ (6 เซลล์) จนถึง 72 โวลต์ (32 เซลล์) ในรถบรรทุกและพาหนะชนิดเดียวกัน ผู้ผลิตจะมีขนาดของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันแก่ผู้ใช้น้อยกับผู้ใช้งาน หรือบรรทุกในงานหนัก หรือไม่หนักเฉลี่ยแล้วรถบรรทุกอุตสาหกรรมจะใช้แบตเตอรี่ประมาณ 10 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หนัก 500 ก.ก. ปริมาตร 210 ซม.³ จะทำงานได้ 8 ชั่วโมง ต่อการประจุ 1 ครั้ง แต่ถ้าต้องทำงานครั้งหนึ่งมากกว่า 8 ชั่วโมง จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ หรือเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุกๆ 8 ชั่วโมง

แบตเตอรี่ที่ใช้กับพาหนะที่ใช้บนถนนทั่วไปจะดูที่ ความจุ และแรงดันไฟฟ้าปัจจัยในการเลือกแบตเตอรี่สำหรับพาหนะทั่วไป คือ อัตราบรรทุก, ระยะทางที่ใช้วิ่งจำนวนการหยุดและออกรถ และสภาพถนน พาหนะที่วิ่งบนถนนธรรมดาที่สามารถรู้จำนวนการหยุดในการวิ่งแต่ละครั้ง จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ประมาณ 30-40 % ซึ่งจะใช้แบตเตอรี่มากกว่าภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ภายใต้สภาพถนนที่เป็นเนินเขา

ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่สามารถจะระบุได้ว่าจะต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดใด จึงจะเหมาะสมแก่งานที่ใช้ ผู้ผลิตจะมีการจำลองงานและขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับงาน สภาพถนนเพื่อบริการ ซึ่งบริการนี้จะทำให้ผู้ใช้แบตเตอรี่ได้เหมาะสมกับหน้าที่ของพาหนะ

2.8.1 คุณสมบัติของการคายประจุ

รูปกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.35 และ 2.36 เป็นกราฟของรูปแบบการทำงานของแบตเตอรี่ทั้งชนิดหลอด (Tubular) และชนิดแผ่น (Plate)

แบตเตอรี่จะทำงานคล้ายกับมนุษย์ คือ ยิ่งทำงานหนักมากก็จะยิ่งอ่อนแรง

อัตรา 8 ชม. : 108 Ah (หรือ 135 Ah สำหรับ 8 ชม.)

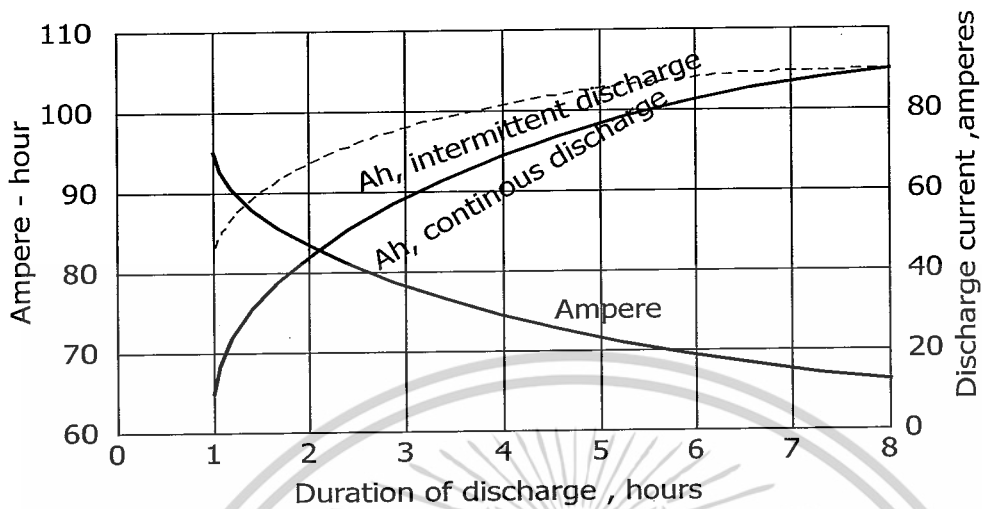
อัตรา 5 ชม. : 100 Ah (หรือ 2 Ah สำหรับ 5 ชม.)

อัตรา 3 ชม. : 89 Ah (หรือ 29.7 Ah สำหรับ 5 ชม.)

อัตรา 1 ชม. : 67 Ah (หรือ 67 Ah สำหรับ 1 ชม.)

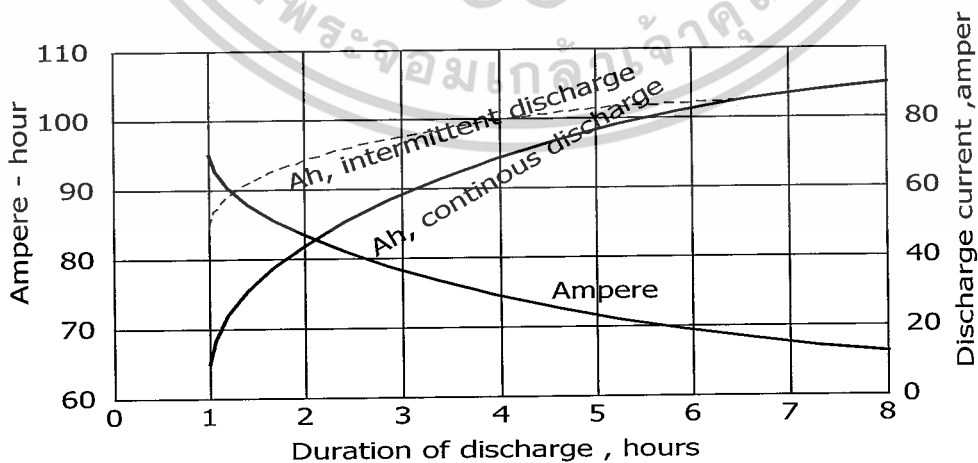
ค่าข้างบนเป็นความสามารถ ในการปล่อยกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ความจุของแบตเตอรี่ขณะที่คายประจุอย่างต่อเนื่องและหยุดเป็นพักๆ ที่อุณหภูมิสูง

กระแสที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ จะถูกนำมาใช้กับส่วนมอเตอร์ในพาหนะอย่างเช่น รถบรรทุกไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ และแบตเตอรี่จะปล่อยกระแสไฟได้สูงที่สุด ถ้าใช้แบตเตอรี่ขนาดอัตรา 2 ชั่วโมง ขณะที่เมื่อพาหนะมีการหยุดเป็นพักๆ จะสามารถใช้ประโยชน์ได้นานถึง 5 ชั่วโมง จากกราฟรูปที่ 2.20 จะแสดงให้เห็นว่า 91% ของความสามารถปล่อยกระแสทั้งหมด เมื่อปล่อยกระแสช่วง 2 ชั่วโมง และมีการหยุดเป็นพักๆ ซึ่งสามารถครอบคลุมถึงช่วงเวลาถึง 6 และต่อๆ ไปเปรียบเทียบกับ การปล่อยกระแสแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาเดียวกันจะใช้ประมาณ 81 % ของความสามารถปล่อยกระแสทั้งหมด



รูปที่ 2.27 ความจุของแบตเตอรี่ขณะที่ทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องและหยุดเป็นพักๆ ที่อุณหภูมิต่ำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบความจะที่เปลี่ยนไปในการคายประจุอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.5 พิกัดความจะที่เปลี่ยนไปในการคายประจุอย่างต่อเนื่อง

การปล่อยประจุ (Hr)	ความจุ	
	27°C (Ah)	0°C (Ah)
5	100	87
3	89	77
1	67	56

เปรียบเทียบรูปที่ 2.20 กับ 2.21 จะเห็นว่าในการปล่อยกระแสแบบหยุดเป็นพักๆ 0 องศาเซลเซียส จะให้ค่าความสามารถของแบตเตอรี่ 74 Ah ซึ่งมากกว่าการปล่อยกระแสแบบ ต่อเนื่องที่ 27 องศาเซลเซียส คือ 67 Ah ในเวลา 1 ชั่วโมง

กำลังเป็นวัตต์ของแบตเตอรี่เป็นผลคูณมาจากโวลต์ (Volt) และแอมแปร์ (Ampere) และจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีอยู่เราสามารถที่จะเลือกขนาดกำลังไฟฟ้าที่จำเป็นจากแบตเตอรี่ได้

ตัวอย่าง เช่น มอเตอร์ ขนาด 5 แรงม้า จะต้องการกระแสประมาณ

$$5,000 \text{ W}/36\text{V} = 136 \text{ A} \text{ จาก เซลล์แบตเตอรี่ 18 เซลล์}$$

$$\text{หรือ } 5,000 \text{ W}/48\text{V} = 104 \text{ A} \text{ จาก เซลล์แบตเตอรี่ 24 เซลล์}$$

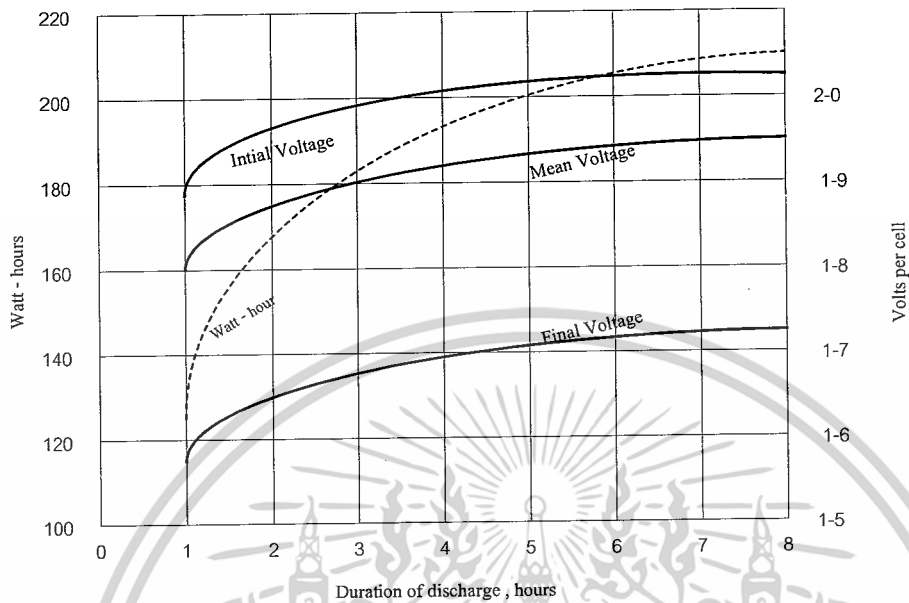
ถ้ากระแสไฟฟ้ามีความต้องการตลอด 2 ชั่วโมง อย่างต่อเนื่อง ค่าความจุของแบตเตอรี่จะเป็น

$$2 \times 139 = 273 \text{ A} \text{ จาก เซลล์แบตเตอรี่ 18 เซลล์}$$

$$\text{หรือ } 2 \times 104 = 208 \text{ A} \text{ จาก เซลล์แบตเตอรี่ 24 เซลล์}$$

ในการตัดสินใจกำลังวัตต์หรือพลังงานวัตต์-ชั่วโมง ของผลลัพธ์เอาท์พุทของแบตเตอรี่ เราจำเป็นต้องทราบค่าความต้านทานเฉลี่ยของการทำงานของแบตเตอรี่จากรูปที่ 2.24 แสดงความต้านทานเฉลี่ยของการปล่อยกระแสไฟฟ้าต่อ 1 เซลล์ ที่อัตราปล่อยการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะน้อยกว่า 2.0 V สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ลาก และลดลงเพื่อเพิ่มการปล่อยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าและกำลังทางด้านเอาต์พุตของแท่งขั้วแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิปกติ

พลังงานที่ได้ทางเอาต์พุต ได้มาจากการคูณความต้านทานเฉลี่ยของการปล่อยกระแสกับแอมแปร์-ชั่วโมง ที่อัตราการปล่อยกระแสไฟฟ้าเฉพาะดังที่แสดงในตารางที่ 6 สำหรับเซลล์ 100 Ah

ตารางที่ 2.6 พลังงานของแบตเตอรี่ที่ฟังก์ชันของการคายประจุต่างๆ

เวลาในการคายประจุ (Hr)	ปริมาณความจุที่เปลี่ยนแปลง (Ah)	แรงดันเฉลี่ย (V)	พลังงานที่จ่าย (Wh)
5	100	1-92	192
3	87	1-885	168
1	67	1-80	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานสุดท้ายของการปล่อยพลังงานกระแสไฟฟ้าประมาณ 0.3 โวลต์ ต่อเซลล์ ซึ่งจะต่ำกว่าความต้านทานเริ่มแรกของการปล่อยกระแสไฟฟ้า และจุดหนึ่งที่เป็นลักษณะเฉพาะของการปล่อยกระแสไฟฟ้า ซึ่งความต้านทานของเซลล์จะเริ่มตกลงเรื่อยๆ อย่างรวดเร็วจนไม่มีกำลังที่ใช้ต่อไป จากรูปที่ 2.29 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของการปล่อยกระแสและเวลา ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งจะสามารถอธิบายความต้านทาน โดยดูว่ากราฟโค้งอย่างไรมากหรือน้อยแค่ไหน

2.8.2 ตัวแปรทางด้านอุณหภูมิ

การประจุกระแสไฟฟ้า เข้าแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะให้ได้ผลที่แตกต่างกันด้วย จะดูได้จากเมื่อประจุกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงความสามารถของแบตเตอรี่ จะมีมากกว่าการประจุกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ก็ไม่เสมอไป เพราะความสามารถของแบตเตอรี่จะถูกสะสมอีกครั้ง เมื่อมีการประจุกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิลดลง

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดสามารถที่จะทำงานได้ในพื้นที่และอากาศเย็นที่อุณหภูมิประมาณ -29 องศาเซลเซียสถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเริ่มปฏิบัติงานอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า

ความร้อนในแบตเตอรี่จะไม่สูญเสียโดยง่าย จากรูปที่ 2.30 แสดงถึงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขนาด 18 เซลล์ 440 Ah ซึ่งถูกวางไว้ในถาดเหล็ก โดยไม่มีฉนวนป้องกัน แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับรถบรรทุกโพลีคลีฟท์ สามารถจะทำงานได้เกินช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในสถานที่ที่มีอากาศเย็น อุณหภูมิประมาณ -29 องศาเซลเซียส แบตเตอรี่จะปฏิบัติงานได้โดยไม่มีปัญหาที่ช่วงปลายของชั่วโมงที่ 8 และสามารถทำงานได้ตามปกติตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในแต่ละวัน เพียงแต่ว่าเวลาที่มีการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่จะต้องทำที่อุณหภูมิลดลง

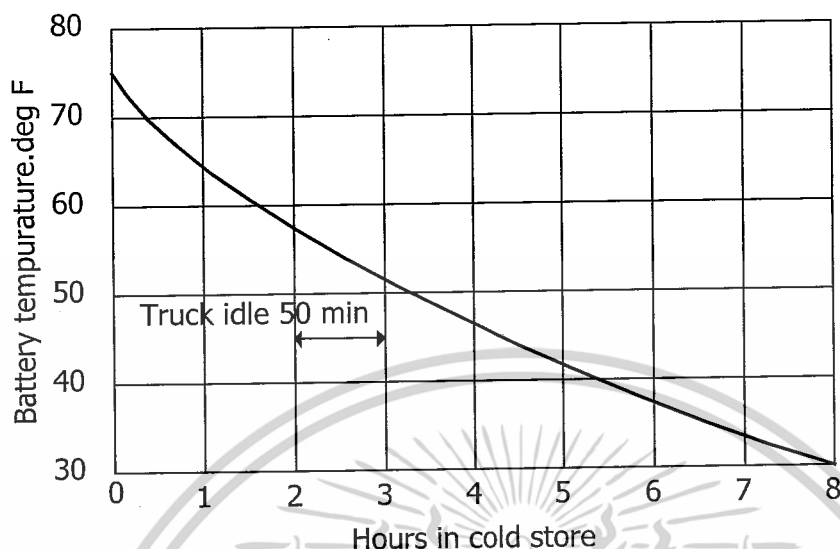
ตารางข้างล่างนี้จะแสดงขอบเขตความสามารถของแบตเตอรี่ที่ลดลง ขณะที่อุณหภูมิของ อิเล็กโทรไลต์ลดลงด้วย

ตารางที่ 2.7 ความสามารถของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์

อุณหภูมิของสารละลายในแบตเตอรี่		ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง
C°	F°	%
27	80	100
0	32	70
-18	0	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 กราฟความคลุ่ลิ่ง (Cooling) เอ็กซีไซค์ไอออนนิแคดของแบตเตอรี่ 18 เซลล์ 440 Ah

จากตารางจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นตัวกำหนดความสามารถของแบตเตอรี่ และนี่ก็เป็นสาเหตุหนึ่ง ซึ่งนอกจากนี้แล้วยังมีสาเหตุที่เกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่อความสามารถของแบตเตอรี่อีก ดังต่อไปนี้

- 1) อุณหภูมิของอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเข้าสู่สถานที่เก็บที่มีอากาศเย็น
 - 2) ระยะเวลาที่เก็บไว้ในที่เย็น (ระยะเวลาที่ปฏิบัติงานในที่เย็น)
 - 3) ขนาด และ รูปร่างของเซลล์ต่างๆ ของแบตเตอรี่
 - 4) ตัวป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วของแบตเตอรี่ การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ทางหนึ่งคืออุณหภูมิที่ขณะปฏิบัติงานนั้นไม่ควรต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
 - 5) ตัวป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วของแบตเตอรี่ การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ทางหนึ่งคืออุณหภูมิที่ขณะปฏิบัติงานนั้นไม่ควรต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
 - 6) เมื่อมีการประจุกระแสไฟให้แบตเตอรี่ ควรทำให้อุณหภูมิห้อง คือประมาณ 25 องศาเซลเซียส
 - 7) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าก่อนที่จะนำแบตเตอรี่เข้าไปปฏิบัติงานในที่เย็นอุณหภูมิของแบตเตอรี่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส หรือ สูงกว่า หรือไม่
 - 8) เมื่อไม่ได้ใช้แบตเตอรี่ ควรเก็บไว้ในที่อบอุ่นไม่ใช่ในที่เย็น
 - 9) ในการประจุกระแสครั้งใหม่แต่ละครั้งให้แบตเตอรี่ต้องอัดให้เต็ม และไม่วางแบตเตอรี่ที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าแล้วไว้ในที่เย็นโดยไม่แน่ใจว่าแบตเตอรี่คายประจุแล้วหรือยัง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) ฝาปิดแบตเตอรี่ ควรจะมีขนาดพอดีเพราะความร้อนส่วนใหญ่ที่สูญเสียจะผ่านจุดต่อของเซลล์และจุดต่อข้างนอก

2.8.3 การประจุกระแสไฟฟ้า

โดยทั่วไปๆ แล้วแบตเตอรี่สำหรับลากส่วนใหญ่ จะใช้เวลาในการประจุกระแสประมาณ 10 ชม. หรือ มากกว่าและเครื่องมือสำหรับเครื่องประจุกระแสไฟฟ้า จะถูกออกแบบมาง่ายๆ มีคุณลักษณะที่ปลอดภัย มีอุปกรณ์อัตโนมัติสำหรับหยุดการประจุกระแสเมื่อกระแสถูกอัดจนเต็ม ซึ่งเราจะเรียกเครื่องประจุแบบนี้ว่า ชิงเกิ้ลสเต็ปแทปเปอร์

แต่ถ้าในกรณีที่จำเป็น ต้องใช้เวลาในการประจุกระแสต่ำกว่า 10 ชั่วโมง ต้องใช้เครื่องประจุกระแสไฟฟ้าชนิดทรูสเต็ปแทปเปอร์ ซึ่งจะใช้เวลาในการประจุประมาณ 8 ชั่วโมง

2.9 เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (OPTICAL SENSOR)

ในงานบางลักษณะที่เราต้องการตรวจจับชิ้นงานที่มีระยะห่างจากตัวเซนเซอร์ค่อนข้างมาก ซึ่งอาจมีค่าเป็นเมตรแนวทางหนึ่งในการใช้เซนเซอร์แบบแสงในการตรวจจับ

2.9.1 ชนิดของตัวรับแสงและส่งแสง

เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือตัวส่งและรับแสง ลักษณะของการตรวจจับนั้นเกิดขึ้นจากการที่ลำแสงจากตัวส่งส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางด้วยวัตถุและทำให้ตัวรับแสงทำงานเปลี่ยนสถานะสัญญาณเอาท์พุทเพื่อนำไปใช้งาน

1) ตัวรับแสง

จะเป็นอุปกรณ์เรียกว่าโฟโตไดโอด (Photo Diode) หรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2) ตัวกำเนิดแสง

3) หลอดแบบมีไส้

เป็นเซนเซอร์รุ่นเก่าที่เคยใช้กันมีข้อเสียตรงขาดง่ายและมีขนาดใหญ่ใช้พลังงานมากซึ่งปัจจุบันมีใช้เฉพาะงานบางอย่าง

4) หลอด LED (Light Emitting Diode)

เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีขนาดเล็ก มีความทนทานสูง นิยมกันมากในเซนเซอร์รุ่นใหม่

4.1) LED แบบแสงอินฟราเรด (Infrared) จะเป็นแสงอินฟราเรดมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 910 ถึง 950 นาโนเมตร มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ให้ความเข้มของแสงสูงจึงส่งไปได้ระยะไกล และสามารถส่งทะลุวัตถุบางชนิดได้ แต่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2) LED แบบแสงสีแดง เป็นแสงที่ตามองเห็น มีความยาวคลื่นประมาณ 660 นาโนเมตร ให้ความเข้มแสงปานกลาง เวนเซอร์ที่ใช้แสงสีแดงจะสามารถตรวจจับเครื่องหมาย (mark) สีดำ น้ำเงิน หรือ สีเขียว บนพื้นสีขาวได้

4.3) LED แบบสีเขียว เป็นแสงที่ตามองเห็น มีความยาวคลื่นประมาณ 560 นาโนเมตร ให้ความเข้มของแสงต่ำ เวนเซอร์ที่ใช้แสงสีเขียวจะมีระยะการตรวจจับใกล้แต่สามารถตรวจจับเครื่องหมาย (mark) สีแดง บนพื้นสีขาวได้

4.4) LED แบบแสงเลเซอร์ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) เป็นแสงที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้แผ่รังสีออก โดยปกติแล้วแสงที่เราเห็นทั่วไปไม่ว่าจะเป็นแสงจากหลอดไฟ แสงจากดวงอาทิตย์ จะเป็นแสงที่กระจายออกมารอบจุดกำเนิด มีความถี่หรือหลายสี แต่เลเซอร์จะมีคุณสมบัติให้แสงเดียว มีสีเขียวและเฟสเดียว ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความเข้มสูง แสงเลเซอร์จะมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.01 มิลลิเมตร หรืออยู่ในความถี่ช่วงประมาณ 10^{13} ถึง 10^{15} เฮิร์ตซ์ ปกติทั่วไปแล้วจะเป็นลำแสงสีแดง

ตาราง 2.8 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง

แหล่งกำเนิดแสง	ข้อดี	ข้อเสีย
- แสงอินฟราเรด	- ระยะการตรวจจับ - ต้านทานต่อแรงรบกวน	- ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้
- แสงสีแดง	- ระยะการตรวจจับอยู่ในระหว่างแสงอินฟราเรดกับแสงสีเขียว - สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีดำ น้ำเงินหรือเขียวบนพื้นสีขาวได้ - ตามองเห็น	แสงจากภายนอกรบกวนได้ง่าย - เครื่องหมายสีแดงบนพื้นสีขาวไม่สามารถตรวจจับได้
- แสงสีเขียว	- สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีแดงบนพื้นสีขาวได้ - ตามองเห็น	- ระยะการตรวจจับสั้นที่สุด - ไม่สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีเขียวบนพื้นขาวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.8 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง

แหล่งกำเนิดแสง	ข้อดี	ข้อเสีย
- แสงสีขาวยาว	- แยกแยะความแตกต่างของสีได้เกือบทุกสี	- แสงจากภายนอกรบกวนการทำงานได้ง่าย - อายุการใช้งานของหลอดไฟมีจำกัด
- แสงเลเซอร์	- ระยะเวลาตรวจจับไกลสุด - แยกแยะความแตกต่างของสีได้เกือบทุกสี	- เป็นอันตรายต่อสายตา

2.9.2 เทคนิคในการรับส่งลำแสง

1) วิธีการรับส่งแบบทั่วไป

เป็นวิธีที่ตัวส่งแสงส่งลำแสงไปอย่างต่อเนื่องเป็นปกติ เหมือนกับแสงตามธรรมชาติ วิธีนี้ระยะเวลาตรวจจับจะไม่ไกลนักและอาจจะถูกแสงจากภายนอกรบกวนได้ง่าย

2) วิธีการตรวจจับแบบพัลส์

เป็นวิธีที่ตัวส่งแสง จะส่งลำแสงเป็นจังหวะที่สม่ำเสมอด้วยอัตราความถี่ที่สูง และที่ส่วนของตัวรับก็จะถูกออกแบบมาสำหรับรับสัญญาณแสงนี้ โดยเฉพาะ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ระยะเวลาตรวจจับทำได้ไกลและต้านทานต่อแสงรบกวนจากภายนอก

2.9.3 โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดรับส่งลำแสง

โครงสร้างเซนเซอร์ของเซนเซอร์ชนิดรับส่งลำแสง โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ ประกอบด้วย

- 1) วงจรกำเนิดคลื่นหรือพัลส์ความถี่สูง
- 2) วงจรกำเนิดคลื่นหรือพัลส์ความถี่สูง
- 3) แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ LED
- 4) อุปกรณ์รับแสง โดยส่วนมากจะใช้โฟโตไดโอด หรือโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์
- 5) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Preamplifier)
- 6) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Preamplifier)
- 7) อุปกรณ์เปรียบเทียบสัญญาณจากแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ และสัญญาณจากตัวรับแสง

(Logic operation) สารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) อุปกรณ์แยกแยะสัญญาณให้ทำงานหรือไม่ทำงาน
- 9) หลอดไฟแสดงการทำงาน
- 10) เอาต์พุตและวงจรป้องกัน
- 11) แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอก
- 1.2) วงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่

เซนเซอร์ชนิดใช้แสงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น หากแบ่งตามวิธีการตรวจจับสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันซึ่งทั้งนี้ตัวส่งและตัวรับส่งแสงอาจจะอยู่รวมภายในห้องเดียวกันหรือแยกกันอยู่คนละที่ก็ได้

2.9.4 เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด (Through-Beam Sensor)

เซนเซอร์แบบนี้จะแยกตัวส่งและตัวรับสัญญาณออกจากกัน และให้วัตถุที่ต้องการการตรวจจับเคลื่อนที่ผ่านระหว่างกลาง

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - ระยะการตรวจจับไกล - ความแม่นยำค่อนข้างสูง - สีและผิวของวัตถุไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้น้ำหนักในการติดตั้ง - ต้องจ่ายไฟทั้งตัวส่งและตัวรับ - ไม่สามารถตรวจจับวัตถุโปร่งใสได้

การประยุกต์ใช้งานของเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด เป็นการนำเซนเซอร์ไปใช้ตรวจจับขนาดและรูปร่างของชิ้นงานบนสายพานลำเลียง โดยแยกแยะชิ้นงานที่มีขนาดเท่ากันไปในทิศทางเดียวกัน

2.9.5 เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ (Retro-Reflective Sensor)

เซนเซอร์ประเภทนี้จะรวมตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสงไว้ภายในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) สะท้อนแสงกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบลำแสงผ่านตลอด - ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเดินสายไฟต่ำกว่า - การปรับแต่งทำได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - จำเป็นต้องใช้แผ่นสะท้อนแสงแบบพิเศษ - ความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าแบบลำแสงผ่านตลอด - อาจมีปัญหาในกรณีตรวจจับวัตถุที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงใกล้เคียงกับแผ่นสะท้อนแสง

การนำเซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับมาใช้ในการตรวจจับนับชิ้นงานบนสายพานลำเลียง โดยส่งสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับให้กับอุปกรณ์นับ (Counter)

การนำเอาเซนเซอร์มาใช้ในการตรวจจับขนาดของแผ่นวัตถุที่ม้วนเป็นขดว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่

2.9.6 เซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง (Diffuse Reflective sensor)

เซนเซอร์ประเภทนี้ ตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสงจะอยู่ภายในตัวเดียวกัน แล้วใช้วัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นตัวสะท้อนแสงกลับ

ตารางที่ 2.11 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย - ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเดินสายต่ำ - ไม่ต้องมีการปรับแต่งทิศทางลำแสง 	<ul style="list-style-type: none"> - ระยะเวลาในการตรวจจับน้อยกว่าทั้งสองแบบที่ผ่านมา - ความสามารถในการตรวจจับขึ้นอยู่กับสีและสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงที่ผิวของวัตถุหรือชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่ทราบว่าเซนเซอร์แบบนี้ ระยะที่ใช้ในการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวชิ้นงาน และตารางต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างของค่าตัวคูณประกอบ (Factor) ของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรงในการการตรวจจับชิ้นงานประเภทต่าง

ในงานบางประเภทไม่สามารถที่จะติดตั้งตัวเซนเซอร์ได้ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจาก ไม่มีพื้นที่ในการติดตั้ง หรือพื้นที่เหล่านั้นอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซนเซอร์ หรือเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำและแน่นอนในการตรวจจับค่อนข้างสูง สายไฟเบอร์ออปติกหรือสายใยแก้ว จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อสนองตอบต่อความต้องการดังกล่าว การทำงานของสายใยแก้วอยู่บนพื้นฐานของผลรวมของการสะท้อนแสงภายในสาย โดยในที่นี้ส่วนมากจะใช้เป็นสายเดี่ยว ซึ่งนอกจากจะหุ้มด้วยวัสดุจำพวกพลาสติก หรือโลหะที่ทนอุณหภูมิสูงและที่สามารถโค้งงอตัวได้

การนำสายใยแก้วมาใช้กับเซนเซอร์ชนิดใช้แสงนี้ ส่วนมากจะใช้เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอดและแบบตรวจจับโดยตรง ซึ่งเซนเซอร์ทั้งสองแบบนี้อาจจะอยู่ในรูปแบบทรงกระบอกหรือทรงสี่เหลี่ยมก็ได้

2.9.7 หลักการเลือกใช้เซนเซอร์ชนิดใช้แสงให้เหมาะสมกับงาน

เนื่องจากเซนเซอร์ชนิดใช้แสงนั้น มีอยู่หลายแบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปดังกล่าวข้างต้น ในการเลือกใช้งานเซนเซอร์ประเภทนี้นั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบรายละเอียด คุณสมบัติบางประการของตัวเซนเซอร์ รวมทั้งลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ เพื่อที่จะสามารถใช้งานได้ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด หัวข้อที่สำคัญที่ควรพิจารณามีดังต่อไปนี้

1) ขนาดรูปร่างของตัววัตถุที่ตรวจจับ

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ขนาดเล็กสุดของวัตถุที่เซนเซอร์ประเภทนี้สามารถตรวจจับได้นั้น ประมาณว่ามีค่าใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ที่ติดอยู่กับด้านหน้าของตัวเซนเซอร์นั้น ถ้าจำเป็นต้องการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าอาจต้องใช้หน้ากากบังลำแสงช่วย แต่ก็จะมีผลทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ให้ระมัดระวังเกี่ยวกับย่านการตรวจจับของเซนเซอร์แบบนี้ เพราะมันเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของวัตถุที่ตรวจจับ ถ้าเลื่อนตัวเซนเซอร์ไปเข้าใกล้ตัววัตถุมากขึ้นหรือปรับความไวของเซนเซอร์ให้เพิ่มขึ้น จะทำให้เซนเซอร์นั้นสามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กลงได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องระมัดระวังไม่ให้เซนเซอร์ตรวจจับฉากหลังของวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ชนิดของวัตถุที่ตรวจจับ

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ใช้กับวัตถุเกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุโปร่งใส เช่น พลาสติกใส กระดาษใส ขวดใส เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงวัตถุที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างแสงลอดผ่านได้

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุนั้นดูดซับแสงได้ เช่น วัตถุสีดำด้าน หรือวัตถุที่มีผิวขรุขระ หรือวางเป็นมุมเอียง เพราะบางทีอาจจะทำให้ลำแสงจากตัวส่ง ส่งไปกระทบกับวัตถุแล้วแสงหักเหไม่สะท้อนกลับมายังตัวรับแสงได้

3) สีและผิวของวัตถุที่ตรวจจับ

กรณีลำแสงเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ความสามารถในการตรวจจับไม่ขึ้นอยู่กับสีหรือผิวของวัตถุที่ตรวจจับ

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ถ้าวัตถุที่ตรวจจับนั้นสะท้อนแสงได้ไม่มีสีดำด้านหรือโปร่งใสมาก จะต้องพิจารณาให้ดีกับการเลือกใช้เซนเซอร์แบบนี้ เพราะวัตถุดังกล่าวจะทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง หรือตรวจจับไม่ได้เลยก็เป็นได้

4) ตำแหน่งที่จะตรวจจับ

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด วัตถุจะตรวจจับไม่ได้ ไม่ว่าจะตัดผ่านลำแสงในทิศทางหรือตำแหน่งระยะใดๆ ระหว่างตัวรับและตัวส่งแสง ดังนั้นจึงไม่ต้องจำเป็นห่วงใยมากนักในตำแหน่งของวัตถุที่ตัดผ่านลำแสง

กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ให้ระมัดระวังในการตรวจจับเซนเซอร์แบบนี้ เพราะพื้นที่ในการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งระยะที่วัตถุนั้นเลื่อนเข้ามาสัมผัสลำแสง

5.) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตรวจจับ

ปัจจุบันนี้เซนเซอร์ที่ใช้แสงส่วนใหญ่จะมีการตอบสนองได้เร็วถึง 1/1000 วินาที หรือ 1 มิลลิวินาที (1 ms) ทั้งนี้ก็เพื่อสามารถให้ตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวเร็วได้ แต่เพื่อความแน่ใจควรใช้สูตรต่อไปในการคำนวณหาความเร็วสูงสุดของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เมื่อใช้กับงานเซนเซอร์รุ่นนี้ๆ

โดยที่ V = ความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m/s)

W = ขนาดความกว้างของวัตถุ (m)

T = เวลาในการตอบสนองของเซนเซอร์รุ่นที่พิจารณา (s)

A = ขนาดความกว้างต่ำสุดของวัตถุที่เซนเซอร์รุ่นที่พิจารณาสามารถจับได้ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีที่ต้องเซนเซอร์เข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PLC) หากสัญญาณที่เซนเซอร์ตรวจจับได้นั้นสั้นเกินไปจนอุปกรณ์ควบคุมรับไม่ทัน ให้เซนเซอร์รุ่นที่มีตัวตั้งเวลารวมอยู่ด้วย

6) สภาพแวดล้อมในบริเวณที่จะใช้งาน

ควรเอาใจใส่ในการเลือกเซนเซอร์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละออง น้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเซนเซอร์แต่ละรุ่นมีมาตรฐานในการป้องกันอยู่ เช่น IP67 ป้องกันการสัมผัสชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้า ซึ่งอยู่ภายในอย่างสมบูรณ์ ป้องกันฝุ่นละออง และป้องกันน้ำเข้าได้ เป็นต้น

7) ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ที่ใกล้เคียงกัน

ยิ่งระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ชนิดใช้แสงมีน้อยเพียงใด โอกาสที่จะเกิดการรบกวนกันก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น คือ

1.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด

ดั่งที่ทราบกันแล้วว่าเซนเซอร์แบบนี้ ลำแสงจะวิ่งผ่านเลนส์จากตัวส่งมายังตัวรับวิ่งอย่างไรก็ตามลำแสงจากตัวส่งไม่ได้ถูกบีบเป็นลำตรงเข้ามายังตัวรับเสียเลยทีเดียว (ยกเว้นหากเป็นแสงเลเซอร์) แต่มันจะกระจายออกไปเป็นมุมกว้างผลที่ตามาก็คือ หากมีการเซนเซอร์ตัวอื่นๆ ติดตั้งอยู่ในพื้นที่บริเวณดังกล่าวก็อาจจะทำให้เกิดการรบกวนกันเองได้ เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าวจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์แต่ละชุดดังต่อไปนี้

โดยที่รัศมีลำแสงของเซนเซอร์แต่ละรุ่นซึ่งสามารถดูได้จากชองกราฟ (Parallel deviation) ในคู่มือของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ นอกจากนั้นอาจใช้วิธีการสลับตำแหน่งของตัวรับและตัวส่งของเซนเซอร์ชุดที่อยู่ติดกันเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกันเองก็ได้

1.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง

จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแสง (Characteristic curve) ของย่านการตรวจจับของเซนเซอร์รุ่นนั้นๆ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการรบกวนกันเองได้ ในการพิจารณา (Curve) จะต้องพิจารณาจากระยะ X1 และ L1 โดยจะต้องกำหนดให้เซนเซอร์ที่อยู่ใกล้กันต้องมีระยะห่างอย่างน้อย 2 เท่าของระยะ X1

เมื่อ X1 คือรัศมีของลำแสงตัดกันซึ่งดูได้จากชองกราฟ (Parallel deviation) ในคู่มือของเซนเซอร์แต่ละรุ่น และในกรณีที่ต้องติดตั้งเซนเซอร์ประเภทนี้หันหน้าเข้าหากันต้องพยายามให้แนวลำแสงของแต่ละตัวติดกันเป็นมุม อย่าให้อยู่ในแนวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) การติดตั้งเซนเซอร์บนชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว

โดยทั่วไปแล้วจะไม่นิยมติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้แสงบนชิ้น ส่วนที่มีการเคลื่อนไหว แต่ถ้าหากจำเป็นจริงๆ จะต้องพิจารณาดูให้แน่ใจว่าเมื่อติดตั้งไปแล้วจะทำให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้างของเซนเซอร์ ตลอดจนสายไฟที่เป็นส่วนสำคัญ โดยส่วนมากสายไฟของตัวเซนเซอร์มักชำรุดหรือขาดตรงบริเวณสายไฟที่ต่อเข้ากับตัวเซนเซอร์ ดังนั้นควรมีการยึดสายไฟบริเวณดังกล่าว ไม่ให้มีการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการใช้สายใยแก้วที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยๆ ควรจะใส่ปลอกป้องกันไว้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

2.10 ระบบทางกล

2.10.1 ระบบการเบรก

เบรกกำมปูจักรยาน ใช้ผ้าเบรกหนีบล้อหน้าทำให้รถหยุดนิ่ง เมื่อใช้มือกำเบรกที่มีมือจับแหน
รถ

2.10.2 เพลา

1) ชื่อเรียกของเพลาตามลักษณะการใช้งาน

เพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1) เพลา (Shaft)

เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

1.2) แกน (Axle)

เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุนส่วนมากเป็นตัวกลางรองรับชิ้นส่วนหมุน เช่น ล้อ สายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่า ส่วนหมุน ไม่ว่าจะชิ้นส่วนจะหมุนหรือไม่หมุนก็ตาม

1.3) สปินเดิล (Spindle)

เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่แทนกลึง (Head Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาดรูปร่างและส่วนยื่นออกมาต่อกับเพลาอื่นๆ

1.4) เพลาแวนอน (Line Shaft)

หรือเพลาที่ส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลาที่ต่อตรงเครื่องต้นกำลังและใช้ในการส่งกำลัง ไปยัง เครื่องจักรอื่น โดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5) แจ็กชาฟ (Jack Shaft)

หรือเค้านเตอร์ชาฟ (Counter Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับ เพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

2) หลักการพิจารณาในการออกแบบเพลา

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัน หรือหลายแรงรวมกันก็ได้ ดังนั้น คำนวณที่ต้องใช้ความเค้นผสมช่วยด้วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ตลอดเวลา ทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้เพลายังมีความแข็งแรง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสม ระยะ โกงของเพลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลา มีระยะ โกงมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้เกิดความวิฤติของเพลาลดลง ซึ่ง อาจทำให้เพลา มีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความวิฤตินี้ได้ ระยะ โกงนี้ ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของเพลา และรองรับเพลาเช่น บอลเบริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

การคำนวณหาขนาดของเพลาที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้ง การหาขนาดของเพลา เพื่อให้เพลาทนต่อ แรงที่มากกระทำอย่างเดียวกันนั้นไม่เพียงพอ เช่นในกรณีของ เพลาถูกเบียด ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่ียงตรงดั่งนั้นมุมบิดของเพลา จะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้าน ตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและเบริงที่รองรับเพลาอยู่เกิด ความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐาน สำหรับพิสัยมุมบิดของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมัก จะใช้ มุมบิดของเพลาให้มีมุมบิดถึง 1 องศาต่อความยาวเพลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ เพลา ในกรณีของเพลาสำหรับถูกเบียดของเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะทำให้มุมบิดไม่เกิน 0.5 องศาต่อความยาวของเพลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความแข็งแรงทางด้านระยะ โกงเพราะจะต้องใช้ ระยะ โกงของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอก เป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียดด้วย ระหว่างล้อ สายพาน เฟือง โครงสร้างของเครื่องจักรตลอดจนการเลือกชนิดของสำหรับรองรับเพลาที่เหมาะสม ถ้าเพลา มีระยะ โกงมากเกินไป จะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกัน ลดลง เป็นผลให้อัตราส่วนการขบของเฟืองลดลงด้วย ทำให้ส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกเบริงชนิดที่อนุญาตให้มีการเยื้องแนวได้พอเหมาะกับระยะ โกงของเพลาที่จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ โกงดังกล่าวไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการคำนวณความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง ได้ดังนี้

สำหรับเพลลาเครื่องจักรทั่วไป ค่าระยะ โกงระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงควรจะ ไม่เกิน 0.08 ม.ม.

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองตรงคุณภาพดีอยู่แล้ว ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.125 มม. และความลาดเอียงของเพลลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286 องศา

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองดอกจอกคุณภาพดีอยู่แล้ว ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรจะเกิน 0.75 ม.ม.

จากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วจะเห็นว่าขนาดของเพลลา อาจจะสามารถหาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการ แทนที่จะเป็นความแข็งแรงในด้านการรับแรงภายนอกก็ได้

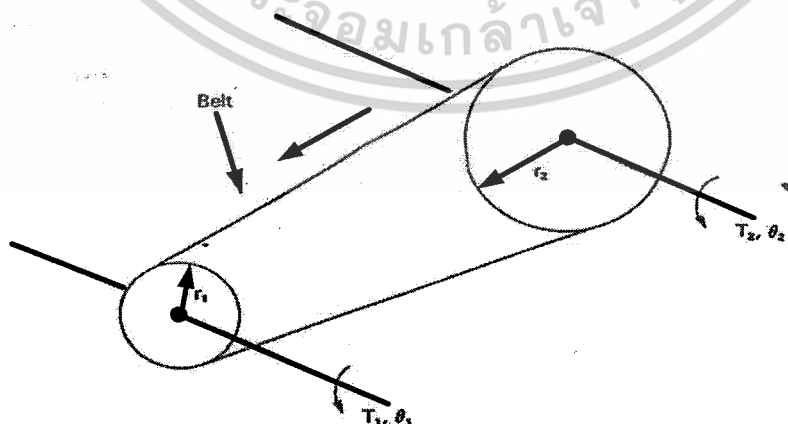
2.10.3 แบร์ริง (Bearing)

เป็นตัวช่วยลดความเสียดทาน ความสึกหรอ และความร้อน ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีเสียดสีกันขึ้น การหล่อลื่นทำได้โดยการใส่สารหล่อลื่น หรือจาระบี หรือ หรืออากาศ และอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน ในการเลือกใช้แบร์ริงนั้นจะต้องเลือกใช้แบบให้เหมาะสมกับเพลลา

2.10.4 ระบบสายพานและพูลต์

ระบบสายพานและพูลต์ หรือ โซ่และเฟืองซี่ การวิเคราะห์ระบบนี้จะคล้ายคลึงกับชุดเฟืองในอุดมคติ แต่ในกรณีความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของทั้งสองเพลลา จะอยู่ในทิศทางเดียวกัน

สายพานมีซี่และโซ่จะทำงานในลักษณะเดียวกันกับชุดเฟืองแตกต่างกันตรงที่สามารถส่งกำลังได้ไกลกว่าโดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนเฟือง

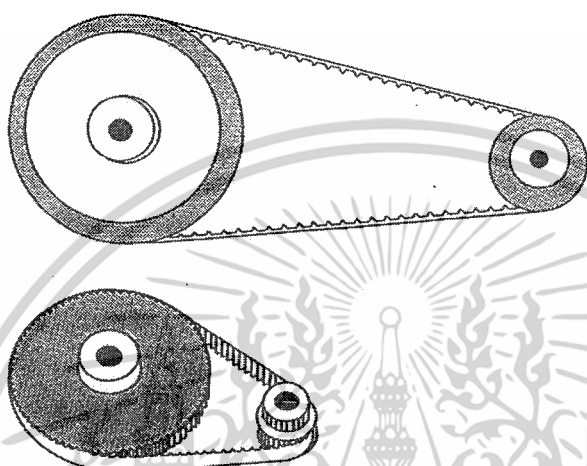


รูปที่ 2.30 การทอดความเร็วรอบของสายพานและพูลต์แบบไม่มีร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 แสดงสายพานซี่และพูลเล่แบบมีร่อง ซึ่งมีลักษณะการทำงานตรงกันข้ามกับสายพานและพูลเล่ตรงที่จะไม่มีการถื่นไหล ระหว่างสายพานและร่องพูลเล่เนื่องจากมีซี่ฟันยึดอยู่แต่จะแสดงคุณสมบัติเป็นสปริง ถ้าเพลลาขาออกถูกล็อคและยังคงมีการป้อนทอร์คเข้ามาที่เพลลาขาเข้า



รูปที่ 2.31 การทดสอบความเร็วรอบของสายพานและพูลเล่แบบมีร่อง

การทดสอบล้อสายพานสามารถคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

ความเร็วรอบล้อขับ \times เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ = ความเร็วรอบล้อตาม \times เส้นผ่านศูนย์กลางล้อตาม

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2 \quad (2.16)$$

อัตราทด $I = \text{ความเร็วล้อขับ} / \text{ความเร็วล้อตาม}$

หรือ $I = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางล้อตาม} / \text{เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ}$

2.10.5 โഴ้

การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีใช้กันมากในงานเครื่องกล เนื่องจากมีลักษณะการขับเคลื่อนด้วยสายพานโดยโซ่จะคล้อยอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ซึ่งต่อยึดบนเพลลาขับและเพลลาตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนนี้จะไม่มีการสลับขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับเคลื่อนด้วยสายพานและการขับเคลื่อนด้วยเฟืองทางด้านราคาสมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับเคลื่อนได้ในระยะทางไกลกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพานและการขับเคลื่อนพร้อมกันหลายๆ เพลลา ซึ่งมีทิศทางการหมุนตามกันหรือสวนกันก็ได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ข้อดีของโซ่

- 1.1) ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
- 1.2) ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขั้นต้นในโซ่ด้านดึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุงานของแบร็งที่รองรับเพลลาเพิ่มมากขึ้น
- 1.3) ไม่มีการสลลปในขณะที่ส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
- 1.4) มีขนาดกระทัดรัดกว่าสายพานเมื่อใช้งานที่อัตราทดที่เท่ากัน เฟืองโซ่จะขนาดเล็กกว่าสายพาน และถ้าต้องการกำลังเท่ากันความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าความกว้างของสายพาน
- 1.5) ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วถอดสลักเท่านั้น
- 1.6) ใช้งานได้ที่ทั้งที่อุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้น และฝุ่นละออง

2) ข้อเสียของโซ่

- 2.1) มีเสียงดัง
- 2.2) หากความเร็วรอบสูง จะเป็นอันตรายเมื่อโซ่ขาด
- 2.3) เพลลาจะต้องขนานกัน และไม่มีควมอ่อนตัวในการส่งกำลัง
- 2.4) ราคาแพงกว่าสายพาน และต้องมีการหล่อลื่น

สิ่งจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่เมื่อใช้งานด้วยความเร็วปานกลาง จนถึงความเร็วสูงสุดคือการสึกหรอของข้อต่อ และความต้านทานแรงดึงของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้แล้วถ้าใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดขึ้นในโซ่เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง ในการจับโดยใช้โซ่หลายเส้นขนานกัน อาจทำให้แรงที่กระทำกับโซ่ไม่กระจายไปเท่ากันตลอดความกว้างของโซ่และถ้าหล่อลื่นไม่ดีพอก็จะเป็นสาเหตุประการสำคัญที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

โซ่คล้องอยู่บนเฟืองโซ่จะมีลักษณะคล้ายรูปหลายเหลี่ยมบนเฟืองโซ่ ทำให้แกนของแรงในแนวสัมผัสกับเฟืองโซ่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ส่งกำลัง นอกจากนี้ในระหว่างเคลื่อนที่เข้าหาและเคลื่อนที่ออกจากเฟืองโซ่ ข้อต่อโซ่แต่ละข้อจะเกิดการหมุนซึ่งการหมุนจะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นเป็นผลทำให้สูญเสียกำลังและสึกหรอ ผลต่อมาก็คือระยะฟิตของโซ่เพิ่มขึ้นจนอาจจะหลุดออกจากเฟืองโซ่ได้

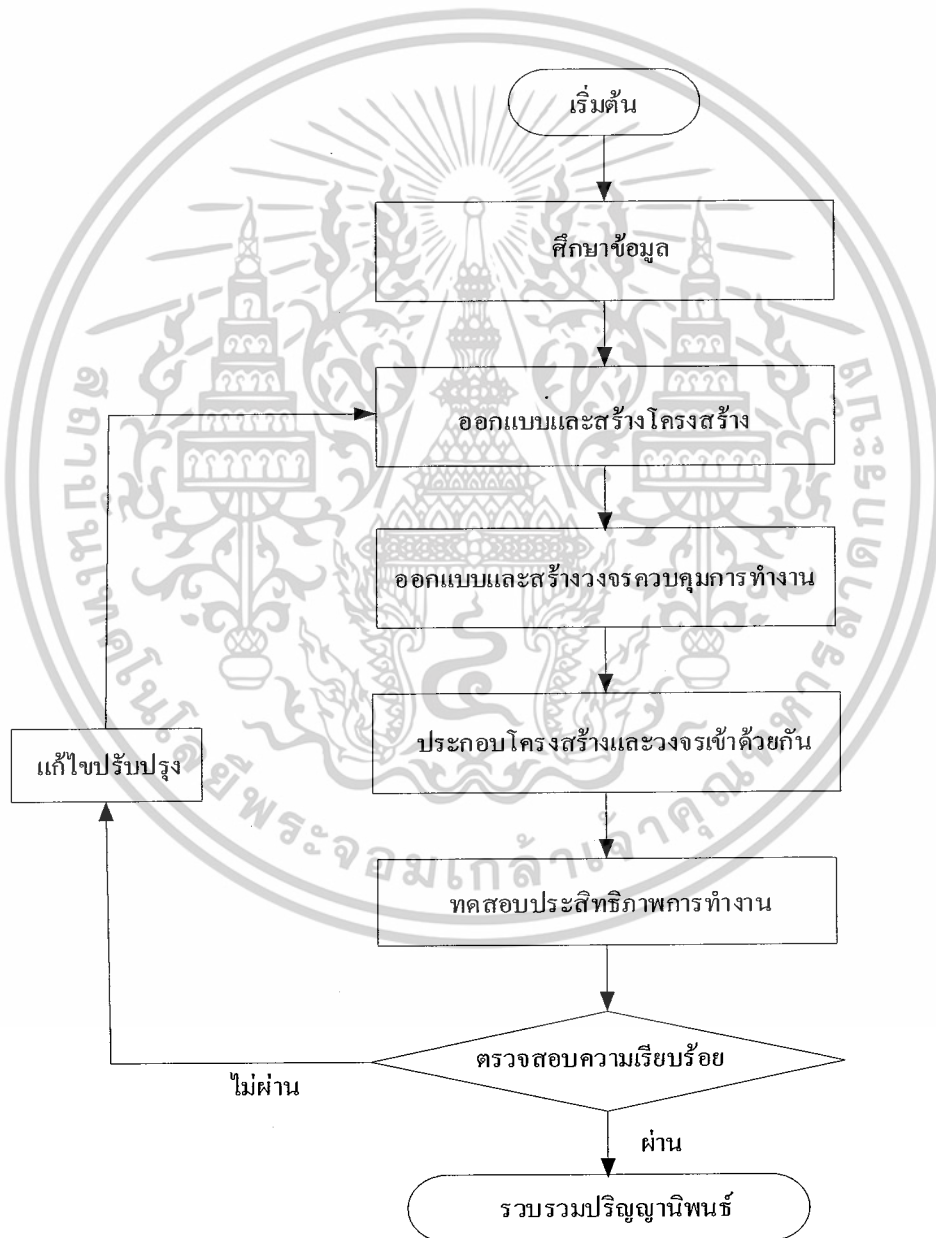
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 ผังการทำงานของโครงการ

ในการจัดทำรถสามล้อมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถจัดลำดับขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

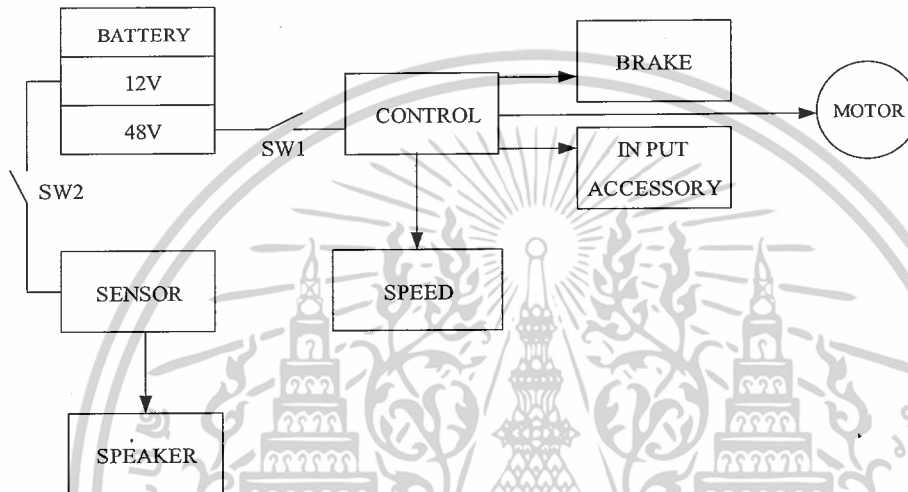


รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนผังของวงจรภาคควบคุมและวงจรภาคกำลัง

เนื่องจากอาศัยหลักการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายไฟ 48 โวลต์ ให้ชุดควบคุมที่ควบคุมโดยการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ เพื่อเพิ่มความเร็วให้กับมอเตอร์และจ่ายไฟ 12 โวลต์ ให้กับเซนเซอร์แล้วเซนเซอร์จะมีเสียงร้องเมื่อถอยหลังไปชนกับระยะที่ตั้งไว้กับสิ่งขีดขวาง



รูปที่ 3.2 แผนผังของวงจรภาคควบคุม และวงจรภาคกำลัง

ในการหาขนาดมอเตอร์นั้น เราจะต้องคำนวณอย่างละเอียด โดยคำนวณบนพื้นฐานของความต้านทานการเคลื่อนที่ทั้งหมดของตัวรถไฟฟ้า ซึ่งกำลังของมอเตอร์ดีซีจะต้องเอาชนะพารามิเตอร์เหล่านี้ให้ได้รับไฟฟ้า ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปได้

3.3 อัตราทด

อัตราทด (Velocity ratio) m_{∞} คืออัตราทดระหว่างความเร็วของล้อขับต่อความเร็วรอบของล้อตามสมการ

$$m_{\infty} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.1)$$

โดยที่ m_{∞} คือ อัตราทด

N คือ ความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ความต้องการการเคลื่อนที่ของรถ (Automotive Resistance)

ในการขับเคลื่อนรถมีความต้านทานที่จะต้องพิจารณาคือ ความต้านทานจากลม ความต้านทานการหมุนแต่เนื่องจากเราไม่ได้นำค่าเหล่านี้มาคิด เนื่องจากรถสามล้อวิ่งในความเร็วไม่มากนัก ซึ่งความต้านทานเหล่านี้ไม่จำเป็นจะนำมาคิดก็ได้แต่ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนรถ เราได้นำค่าความต้านทานเนื่องจากแรงเสียดทานมาคิดเพียงอย่างเดียว และได้คำนวณในแนวทางราบเพียงอย่างเดียว

3.3.2 ความต้านทานเนื่องจากอากาศ (Air Resistance)

รถทุกชนิดที่วิ่งบนท้องถนนนั้นเมื่อสัมผัสกับถนนในขณะที่ล้อหมุนเพื่อวิ่งเพื่อวิ่งไปข้างหน้าจะเกิดแรงเสียดทานการหมุนกับผิวถนนและอีกอย่างหนึ่งคือ แรงต้านทานการหมุนจากรถ เนื่องจากรถต้องวิ่งแหวกอากาศออกไปซึ่งที่ความเร็วต่ำ แรงต้านทานการหมุนจากลมน้อยมากจนไม่สามารถเปรียบเทียบกับแรงเสียดทานการหมุน แต่ถ้ารถวิ่งด้วยความเร็วสูงแรงต้านทานจากลมจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง

3.3.3 ความต้านทานเนื่องจากการหมุน (Rolling Resistance)

ความต้านทานนี้เกิดขึ้นเมื่อรถเคลื่อนที่ โดยมีองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

1) ความต้านทานเนื่องจากการกระแทก (Impact Resistance) ผิวถนนที่ขรุขระจะทำให้ล้อขยี้ดขยี้ดและเปลี่ยนไปตามรอยขรุขระ ค่ารอยขรุขระมีมากหรือว่ามีสภาพขยี้ดขยี้ดไม่ดี จะเกิดการกระแทกขึ้นระหว่างยาง และผิวถนนขนาดของแรงกระแทกขึ้นอยู่กับวัตถุที่ทำพื้นถนน น้ำหนักรถ และความเร็ว

2) ความต้านทานที่ผิวถนน (Surface Resistance) คือความเสียดทานระหว่างยางกับผิวถนนระหว่างรถเคลื่อนที่ค่าของความต้านทาน ที่อยู่กับผิววัสดุที่ถนนและสภาพพื้นถนนที่ขยับอยู่ว่าแห้ง เปียกและเหลวเป็น โคลน ผิวถนนที่แห้งจะมีความต้านทานน้อยกว่าผิวถนนที่เปียกเป็น โคลน

3) ความต้านทานภายในตัวรถ (Internal Resistance) จะเกิดขึ้นกับตลับลูกปืนเพลา แกนล้อ เป็นต้นเมื่อชิ้นส่วนเหล่านี้เคลื่อนที่จะเกิดการเสียดสีกับชิ้นงานส่วนอื่นๆ ทำให้เกิดการสึกหรอ ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานนี้ คือชนิดของน้ำมันหล่อลื่นปริมาณอากาศในล้อและชนิดของยาง ขณะรถเคลื่อนที่นั้นความต้านทานที่ผิวถนนและความต้านทานในตัวรถจะค่อนข้างมีค่าคงที่ จะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถ โดยมีความต้านทานของการกระแทกจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

ข้อกำหนด

1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยางรถสามล้อแบบหมุนอัดลมบนคอนกรีต
2. แรงเสียดทานสถิตย์
3. แรงเสียดทานจลน์
4. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตลับลูกปืนที่มีการหล่อลื่นที่เลือกใช้คือ 0.001 ถือว่าน้อย

มากไม่นำมาคำนวณ

5. น้ำหนักรถสามล้อรวมอุปกรณ์ติดตั้งทั้งหมด
6. น้ำหนักรถสามล้อรวมอุปกรณ์ที่ติดตั้งแล้ว 50 kg.
7. น้ำหนักผู้ขับขี่ (สูงสุด) 120 kg.
8. น้ำหนักรวม 170 kg.
9. ระยะรัศมีของล้อรถสามล้อ 0.3 m.
10. ระยะรัศมีของคุมล้อรถสามล้อจากเฟืองถึงหมั่นล้อ 0.0354 m.

พิจารณาในแนวราบ

$$W = \text{น้ำหนักกรรวมสูงสุด } 170 \text{ kg. หรือ } 170 \times 9.18 \\ = 1667.7 \text{ N}$$

3.4.1 แรงเสียดทาน

1) แรงเสียดทานสถิตย์

$$f_s = \mu_s \times w = 0.04 \times 1667.7 = 66.7 \text{ N}$$

2) แรงเสียดทานจลน์

$$f_k = \mu_k \times w = 0.02 \times 1667.7 = 33.354 \text{ N}$$

3.4.2 แรงขณะเริ่มเคลื่อนที่

เงื่อนไข ความเร็วเริ่มต้น $u = 0 \text{ km/hr}$ หรือ $u = 0 \text{ m/s}$

ความเร็วสุดท้าย $v = 10 \text{ km/hr}$ หรือ $v = 2.78 \text{ m/s}$

เวลาที่ใช้ในการเพิ่มความเร็ว 4 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่ง $a = \frac{v - u}{\Delta t} = \frac{2.78 - 0(\text{m/s})}{4(\text{s})} = 0.696 \text{ m/s}^2$

เมื่อ $\Delta t = 4 - 0 = 4 \text{ วินาที}$

ระยะทาง $S = ut + \frac{1}{2}at^2$
 $= (0)4 + \frac{1}{2}(0.695)(4)^2$
 $= 5.56 \text{ m.}$

แรงที่ใช้เริ่มเคลื่อนที่

$$F_{start} = ma + f_s = 170 \times (0.696) + 66.7$$

$$= 184.85 \text{ N} \approx 185 \text{ N}$$

3.4.3 แรงที่ใช้เมื่อเคลื่อนที่แล้ว

จากผลรวมแรงแนวตั้ง $\sum F_y = 0$

หาผลรวมแนวราบ $\sum F_x = ma_x + f_k$
 $F_{run} = 170(0.696) + 33.354$
 $= 151.5 \text{ N}$

3.4.4. แรงบิดที่ใช้เมื่อเคลื่อนที่แล้ว

1) ที่ขอบยางกับผิวถนน

$$\tau = F_{start} \times r = 185 \times 0.3 = 55 \text{ N-m}$$

$$\tau = F_{run} \times r = 15.5 \times 0.3 = 45.45 \text{ N-m}$$

2) ที่ศูนย์กลางจักรยาน

$$\tau = F_{start} \times r = 185 \times 0.035 = 6.48 \text{ N-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = F_{\text{rim}} \times r = 151.5 \times 0.035 = 5.3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

3.4.5. กำลังงานที่ใช้เวลา 1 ชั่วโมง

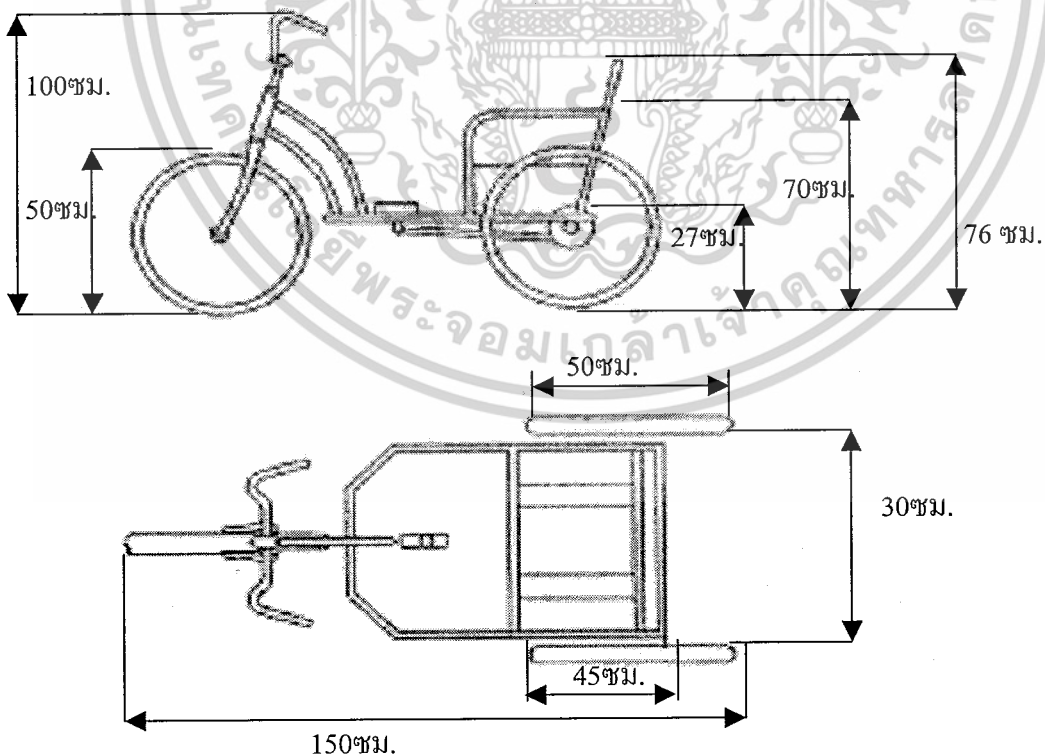
ดังนั้น ระยะทางที่ได้ 10 กิโลเมตร

$$P = \frac{F \times S}{t} = \frac{185 \times 10000 \text{ (N}\cdot\text{m)}}{3600 \text{ (S)}} = 514 \text{ W}$$

หาขนาดมอเตอร์เมื่อ $1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$

ขนาดมอเตอร์ $Hp = \frac{P}{746} = \frac{514}{746} = 689 \text{ Hp} \approx 0.7 \text{ Hp}$

ดังนั้น เราจึงเลือกขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสมกับรถสามล้อ จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 Hp ใช้ในการติดตั้ง



รูปที่ 3.3 ขนาดของโครงสร้างรถสามล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรภาคควบคุม

3.5.1 การสร้างชุดกำเนิดพัลส์วิตซ์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation)

การใช้ไอซีเบอร์ TL494 สำหรับสร้างพัลส์ เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการนำสัญญาณอินพุตที่เป็นดิซี มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมด้านบวก เพื่อปรับเปลี่ยนความถี่ไซเคิลของสัญญาณเอาต์พุต

1. การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

เนื่องจาก TL494 เป็นวงจรพัลส์วิตซ์มอดูเลชันที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตกำหนดโดยค่า R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซีคาบเวลาการทำงานกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1}$$

$$R_T = \frac{1.1}{C_T \times f} \quad (3.2)$$

กำหนดคาบเวลาการทำงานที่ความถี่ 500 Hz โดยเลือกค่า C กับ 0.0022 μF

$$R_T = \frac{1.1}{0.0022 \mu \times 500 \text{ Hz}} = 10 \text{ k}\Omega$$

2. การกำหนดจำกัดย่านการทำงาน

เนื่องจาก TL494 รับอินพุตที่เป็นสัญญาณดิซีโวลต์ 0 ถึง 2.8 โวลต์ ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณรูปพัลส์บวก และมีพีคโวลต์เดจ เท่ากับ 15 โวลต์ และความถี่ที่อินพุต 0 โวลต์ได้ ความถี่ไซเคิล 0% ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมี ตัวต้านทานจำกัดความถี่ไซเคิล ดังต่อไปนี้

แรงดันอินพุตที่ขา 14 มีค่า 4 โวลต์ แรงดันโวลต์ไวเคอร์ เป็น

$$V_{R2} = \frac{4R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.3)$$

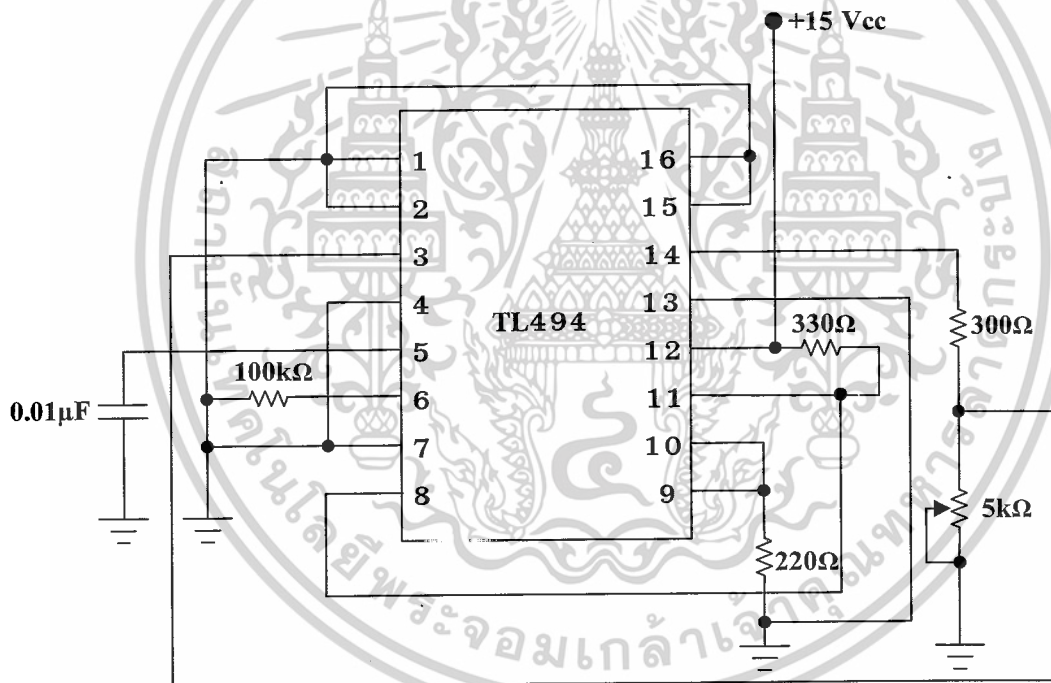
ให้ $V_{R2} \text{ Min} = 40\%$ ของแรงดัน 2.8 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 V_{R_2} &= 0.4 \times 2.8V \\
 &= 1.12V \\
 1.12V &= \frac{4 \times R_2}{R_1 + R_2}
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ R_1 มีค่าความต้านทานเท่ากับ 330 โอห์ม จะได้

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \frac{1.12}{2.88} \times 330\Omega \\
 &= 132\Omega
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

3. การเลือกเพาเวอร์มอสเฟส

พิจารณาโหลดของว่าที่กระแสและแรงดันแบบใด โครงการนี้ภาระเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ดูข้อมูลจากเนมเพลท มีพิกัดแรงดัน 60 โวลต์ มีพิกัดกระแสสูงสุด 12 แอมแปร์ ดังนั้น การเลือกต้องมากกว่าพิกัดดังกล่าว

เลือกเพาเวอร์มอสเฟสเบอร์ IRF250 พิกัดแรงดัน 200 V_{dc} พิกัดกระแส 30 A_{dc} ค่าเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{d(off)} = 125 \text{ ns}, t_{d(on)} = 35 \text{ ns}, t_f = 100 \text{ ns}, t_r = 100 \text{ ns}$$

4. การออกแบบวงจร snubber (Snubber)

1) ข้อมูลจาก Data Sheet ของ MOSFET IRF250

	$t_{d(off)} = 125 \text{ ns}, t_{d(on)} = 35 \text{ ns}, t_f = 100 \text{ ns}, t_r = 100 \text{ ns}$
เมื่อ	$t_{off} = t_{d(off)} + t_f$
	$t_{off} = \text{Current Fall Time}$
	$t_{d(off)} = \text{Turn off delay Time}$
	$t_f = \text{Fall Time}$
แทนค่า	$t_{off} = t_{d(off)} + t_f$
	$= (125 + 100) \text{ ns}$
	$= 225 \text{ ns}$
เมื่อ	$t_{on} = t_{d(on)} + t_r$
	$t_{on} = \text{Turn on Time}$
	$t_{d(on)} = \text{Turn on delay Time}$
	$t_r = \text{Rise Time}$
แทนค่า	$t_{on} = t_{d(on)} + t_r$
	$= (35 + 100) \text{ ns}$
	$= 135 \text{ ns}$
ค่าเวลา	$T = t_{on} + t_{off}$
	$= (225 + 135) \text{ ns}$
	$= 360 \text{ ns}$

2) คำนวณหา RCD Snubber ดังนี้

2.1 ค่า C_s จากสมการ

$$C_s = \frac{I_P \times t_{off}}{2 \times V_{in}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

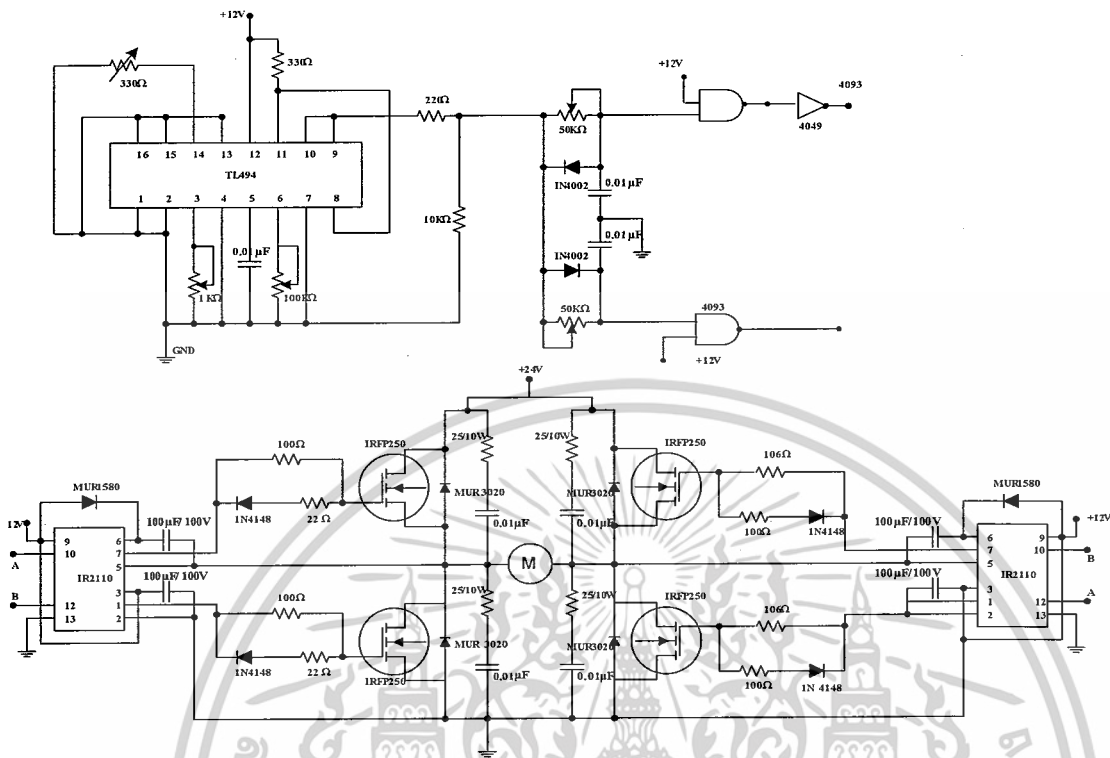
$$= \frac{12\text{A} \times 225\text{ns}}{2 \times 60\text{V}} = 0.0225 \mu\text{F}$$

เลือกใช้ C_S ที่ $0.022 \mu\text{F}$

2.2 ค่า R_S จากสมการ

$$R_S = \frac{t_{\text{on}}}{2.3C} = \frac{123\text{ns}}{23 \times 0.022\mu} = 2.667\Omega$$

เมื่อจ่ายไฟให้อิซีเบอร์ TL494 สำหรับสร้างพัลส์ เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการนำสัญญาณ อินพุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมด้านบวก เพื่อปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแส เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนกับซอร์สก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำที่แรงดันเท่ากับแรงดันเริ่ม (Threshold Voltage) ของมอสเฟสใช้กระแสต่ำ จึงขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสไปขับมอเตอร์วงจรสับเบอร์ด่วนที่เพิ่มเติมเข้า เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสีย และป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับมอสเฟตกำลังในขณะวงจรทำงานปกติ ซึ่งวงจรที่ใช้ในวงจรสับเบอร์ด่วนช่วงหยุดนำกระแสประกอบด้วย ตัวต้านทานเก็บประจุและไดโอด



รูปที่ 3.5 วงจรภาคควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.6 วงจรประจุแบตเตอรี่

จากวงจรในรูป ไฟ AC 220 V โหลดเข้าหม้อแปลงขนาด 55 V/5A ผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟร์ C1 จะเป็นตัวฟิลเตอร์ทำให้ได้แรงดัน ณ จุดมีค่าเท่ากับ 75 โวลต์ ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$V_{DC} = V_m \frac{I_{dc}}{4F_c} \tag{3.4}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{55}{0.707} \\ &= 77.793 \text{ โวลต์} \\ V_{dc} &= 77.793 \frac{2.7}{4 \times 50 \times 4700 \times 10^{-6}} \\ &= 74.920 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่

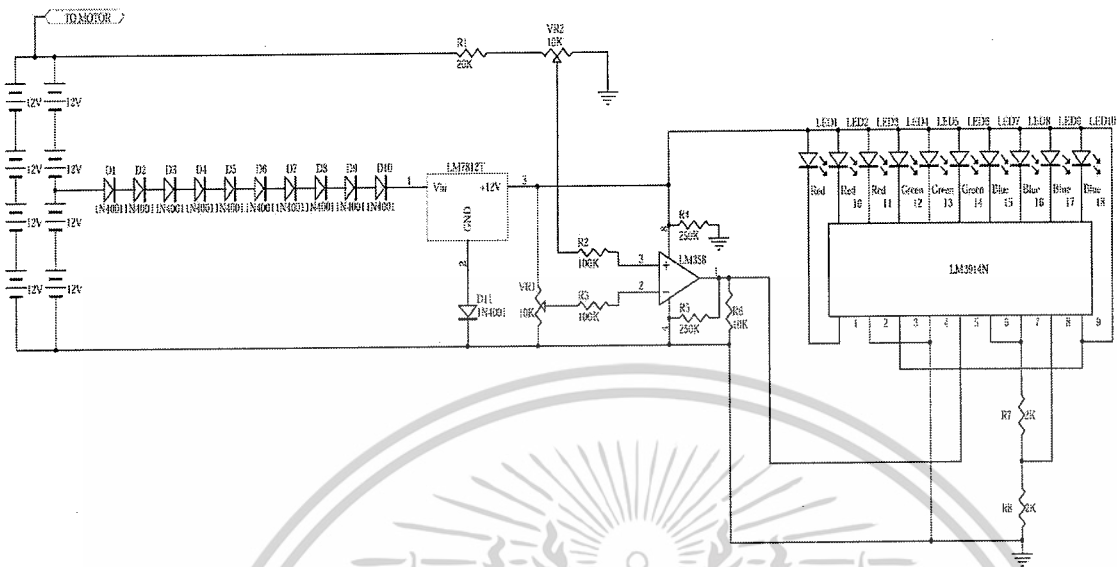
แนวคิดจากในการประยุกต์วงจรแสดงระดับแรงดันนี้ มาจากกราฟคุณสมบัติของแบตเตอรี่ ที่แสดงค่าระดับแรงดันในการประจุแต่ละครั้งว่าเมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม แล้วจะมีค่าระดับแรงดันที่แท้จริงอยู่ที่ค่าแรงดันที่โวลต์และถ้าแบตเตอรี่เหมือนอยู่กับสถานะ LOW นั้นจะมีค่าระดับแรงดันเท่าใด จึงทำให้เกิดความคิดในการตรวจสอบระดับแรงดันนี้ขึ้นมาโดยใช้ค่าตามกราฟ โดยจากผลสรุปของกราฟจะได้ว่า สถานะการจ่ายกระแสได้ต่อเนื่องจะอยู่ที่ 11-12 โวลต์ โดยที่ระดับ 11 โวลต์ เป็นจุดที่กราฟเริ่มตกเหมือนกับสถานะแบตเตอรี่เริ่มจะหมดจึงกำหนด ระดับที่ 11 โวลต์ว่า เป็นระดับที่แบตเตอรี่ LOW ส่วนสถานะที่เหมือนกับแบตเตอรี่เต็มนั้นปรับตั้งไว้ที่ระดับแรงดัน 14.5 โวลต์

จากวงจรไดโอด D1-D10 จะทำหน้าที่ในการช่วยลดระดับแรงดัน 24 โวลต์ จากแบตเตอรี่ ให้เหลือ 18 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับไอซีเบอร์ LM7812 โดยเอาที่พุดที่ได้จะจ่ายให้กับไอซี LM358 และ ไอซี LM3914 ในส่วนของวงจรอปแอมป์จะต่อวงจรในลักษณะวงจรขยายคิฟเฟอเรนเชียล โดยที่ขาอินเวอร์ตติ้ง จะใช้แรงดันอ้างอิง 11 โวลต์มาจากการปรับ VR2 ส่วน VR1 ใช้สำหรับในการลดอัตราส่วนของแบตเตอรี่ทั้งหมดให้มีค่าระดับเหมือนที่ระดับแรงดันเพียง 1 ก้อน โดยความแตกต่างของแรงดันอินพุตจะถูกขยายขึ้นเป็น 2.5 เท่า เพื่อเป็นอินพุตนำไปป้อนให้กับไอซี LM3914 สำหรับย่านการวัดของระดับแรงดันของ ไอซี LM 3914 กำหนดให้เท่ากับ 2.5 โวลต์ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad R_1, R_2 &= 2K\Omega \\
 \text{Ref out V} &= 1.25 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \\
 &= 1.25 \left(1 + \frac{2K}{2K} \right) \\
 &= 2.5 \text{ โวลต์}
 \end{aligned}$$

เมื่อระดับแรงดันที่ป้อนให้กับไอซี LM3914 เท่ากับ 2.5 โวลต์ LED จะติดหมดทุกดวง และจะค่อยดับทีละดวงตามระดับย่านของแรงดัน 2.5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



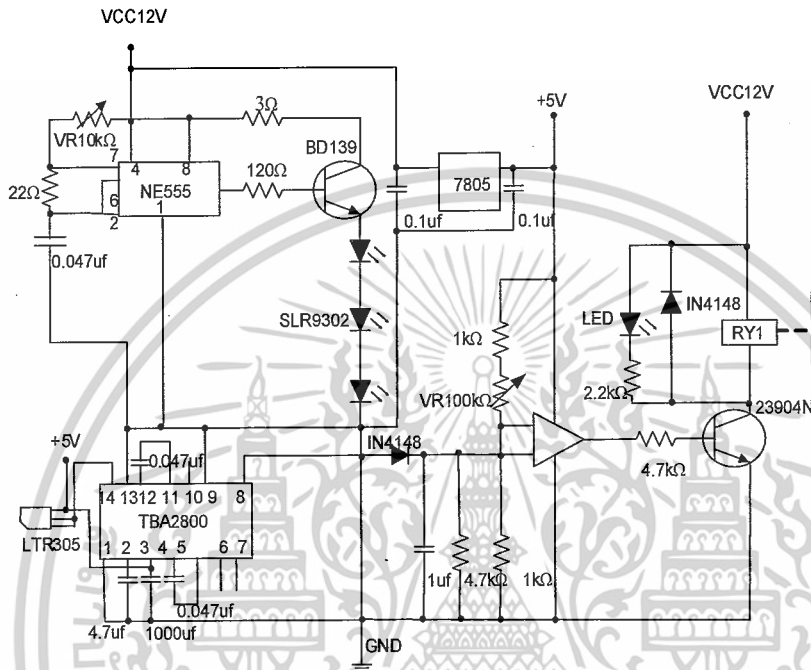
รูปที่ 3.7 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

3.8 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เริ่มจากภาคส่งภาคส่งอินฟราเรด ภาคส่งอินฟราเรดใช้ IC ตัวหลักเบอร์ NE555 จัดวงจรแบบสเตเบิลมัลติ-ไวเบรเตอร์ ซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรสร้างวงจรถ่ายสี่เหลี่ยม (Square Wave) โดยมีความต้านทานเก็ทมีค่า 10K ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ตามความต้องการได้ เอาต์พุตที่ได้จะออกมาอยู่ที่ขา 3 ของ IC และผ่านมายังที่ขาเบสของ TR เบอร์ BD139 ส่งต่อมายังขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ และผ่านอินฟราเรดส่งออกไป และเนื่องจากที่ใช้อินฟราเรด 3 ตัวเพื่อให้ระยะส่งเพิ่มขึ้นแล้ได้ระยะไกลออกไป ส่วนภาครับอินฟราเรดจากวงจรที่มีความถี่สูงส่งมาจากตัวส่งอินฟราเรดผ่านเข้ามายังตัวรับอินฟราเรด ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยตรงเนื่องจากตัวรับอินฟราเรดมีความสามารถรับแสงได้หลากหลาย โดยเฉพาะแสงที่มาจากนีออน (50HZ) หรือแสงทั่วไปซึ่งมีความไวมากจึงจำเป็นที่จะต้องมียวงจรกรองความถี่ (กรองความถี่ที่ต้องการใช้งาน) โดยในวงจรนี้ได้ใช้ IC เบอร์ TBA2800 เนื่องจากมีการใช้งานง่ายเพียงแต่ปรับเปลี่ยนค่า C ที่ต่อระหว่างขา 10,11 และขา 3,4 ของ IC ก็สามรถได้ความถี่ที่ต้องการใช้งาน สัญญาณจะถูก Rectifier ครึ่ง CYCLE สัญญาณที่ได้จะถูกเปลี่ยนโดย C ค่า 1uf จากพัลส์ที่มีอลตุเรด แล้วมาเป็นระดับแรงดันซึ่งระดับแรงดันจะมีมากหรือน้อยก็จะขึ้นอยู่กับระยะของวัตถุที่สะท้อนตามระยะห่างจากอินฟราเรด แรงดันที่ได้มาจาก C ค่า 1uf ก็จะผ่านมายัง IC ออปแอมป์เบอร์ ศว358 ขาที่ 3 มาเปรียบเทียบกับแรงดันระหว่างขา 2 เก็ทมีค่า 100K จะเป็นตัวกำหนดแรงดันที่ขา 2 ที่เราต้องการสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อแรงดันขาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 มากกว่าขา 2 เมื่อใดขาที่ 1 จะมีเอาต์พุตออกจาก Trig จะเป็น High (+4VDC) เพื่อจะนำกระแสสู่ TR เบอร์ 2N3904 ให้ทำงานจากนั้นรีเลย์จะทำงาน (ON)



รูปที่ 3.8 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

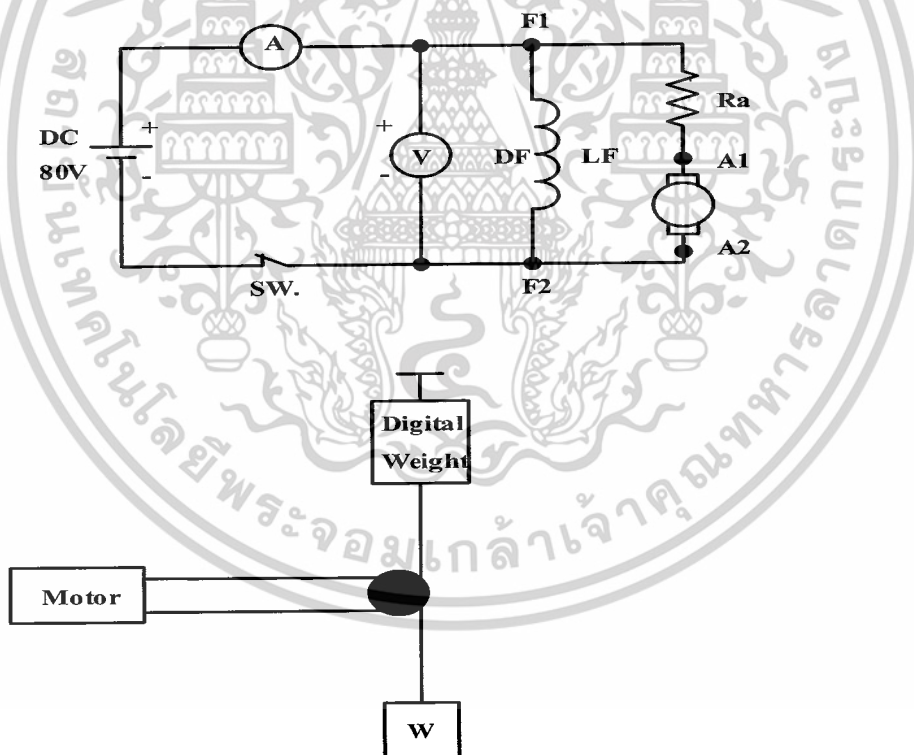
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองมอเตอร์

4.1.1 การทดลอง

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการทำงานของมอเตอร์

1. เครื่องวัดความเร็วรอบ
2. DC Voltmeter และ Ammeter
3. Battery 12V อนุกรมกัน 4 ก้อน



รูปที่ 4.1 รูปแบบการทดลองมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งมอเตอร์และต่อวงจรตามรูปที่ 4.1

2) นำน้ำหนักมาวางบนจานรับน้ำหนักแล้วอ่านค่าน้ำหนักจากตารางดิจิตอล ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตารางบันทึกผล

3) ทำการสตาร์ทมอเตอร์เพื่อรับน้ำหนักจากจานรับน้ำหนัก ขณะที่มอเตอร์ทำงานทำการบันทึกค่าน้ำหนักจากตารางดิจิตอล โดยอ่านค่าแรงดันจากโวลต์มิเตอร์ กระแสจากแอมป์มิเตอร์ และอ่านค่าความเร็วรอบจากเทค โคมิเตอร์

4) เปลี่ยนน้ำหนักไปเรื่อยๆ แล้วทำซ้ำข้อ 2

เมื่อ W_g คือ น้ำหนักที่อ่านได้ก่อนจะใส่น้ำหนักลงในจานรับน้ำหนักก่อนที่มอเตอร์ทำงาน

W_s คือ น้ำหนักที่อ่านได้เมื่อใส่น้ำหนักลงในจานรับน้ำหนักขณะมอเตอร์ทำงาน

4.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางการทดลองมอเตอร์

น้ำหนัก ทดสอบ (Kg)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง ดิจิตอล (Kg)		ความเร็ว รอบ (rpm)	กระแส มอเตอร์ (A)	แรงดันตกคร่อม มอเตอร์ (V)
	ขณะมอเตอร์ หยุดนิ่ง (Wg)	ขณะมอเตอร์ หมุน (Ws)			
1	2.3	0.4	1,410	3.63	50
2	3.3	0.7	1,350	4.7	50
3	4.3	0.9	1,325	6.1	50
4	5.3	1.2	1,215	7.3	50
5	6.3	1.5	1,267	9.0	50
6	7.1	1.75	1,140	9.8	50
7	8.1	2.0	1,100	10.9	50
8	9.2	2.3	1,050	12.2	50

หมายเหตุ : น้ำหนักที่ตาชั่งอ่านได้ คือ น้ำหนักที่ใช้ในการทดลองรวมน้ำหนักของถาดรอง

น้ำหนักอีก 1.3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองรถสามล้อไฟฟ้า

4.2.1 การทดลอง

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรถสามล้อไฟฟ้า

1. รถสามล้อไฟฟ้า
2. ตลับเมตร
3. รถมอเตอร์ไซค์ที่มีเข็มวัดไมล์ความเร็วรถ
4. นาฬิกาจับเวลา

2) การทดลองความเร็วสูงสุดโดยใช้คันโยกหรือมอเตอร์ในการขับเคลื่อน

ทำการทดลองโดยการวิ่งคู่กับมอเตอร์ไซค์เพื่อวัดความเร็วสูงสุดโดยใช้คนขับคนเดียวแล้วทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆ จะได้ผลออกมาดังนี้



รูปที่ 4.2 การทดลองรถวิ่งทางตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การทดลองรถเดี่ยวขวา



รูปที่ 4.4 การทดลองรถเดี่ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.5 การทดลองกัลป์รถ



รูปที่4.6 การทดลองขับขึ้นสู่ที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 การทดลองความเร็วสูงสุดโดยใช้คันโยกกับมอเตอร์

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความเร็วสูงสุดโดยใช้คัน โยกในการขับเคลื่อน (km/hr)	ความเร็วสูงสุดโดยใช้ มอเตอร์ในการขับเคลื่อน (km/hr)
60	7.53	11.59
70	7.02	10.46
80	6.27	9.38

ผลการทดลองที่ได้คือน้ำหนักเยอะความเร็วรถก็ยิ่งลดลงทดสอบที่สูงสุดที่ 80 กิโลกรัม ได้ความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความลาดเอียงที่รถสามารถไต่ขึ้นได้ที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัมคือ 45 องศาที่ความเร็วสูงสุด

4.3 การทดลองระยะทางกับการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง

4.3.1 การทดลอง

ทำการทดลองวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 10 km. /hr วิ่งจนกว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลงจนเกือบใช้งานไม่ได้ จับเวลาและระยะทางที่ใช้ไปประจุใหม่ จากนั้นเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นแล้วทำการทดลองอีกครั้งนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนตารางเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 การทดลองระยะทางกับเวลาต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะทาง (km)	เวลาที่ใช้ (hr)
60	30.88	3.48
70	28.48	3.08
80	23.44	2.24

การประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้งใช้กับการบรรทุกที่ 80 กิโลกรัมได้ประมาณ 24 กิโลเมตร

4.4 การทดลองเซ็นเซอร์กันชนตอนถอยหลัง

4.4.1 การทดลอง

ทำการทดลองโดยการเปิดสวิทช์เซ็นเซอร์แล้วถอยหลังรถสามล้อไฟฟ้าไปเรื่อยๆจนกว่าจะเข้าใกล้สิ่งขีดขวาง

4.4.2 ผลการทดลอง

เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ระยะสูงสุดที่ 100 ซม.ขณะที่รถเคลื่อนที่ถอยหลังเข้าใกล้กับสิ่งขีดขวางในระยะ 100 ซม.เซ็นเซอร์ก็จะทำงานมีเสียงเตือนเป็นเสียงไซเรนและจะมีเสียงไปจนกว่าจะเคลื่อนที่รถห่างจากสิ่งขีดขวาง 100 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

ระบบขับเคลื่อนของรถสามล้อไฟฟ้า จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวต้นกำลัง เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดได้ง่าย มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วการควบคุมความเร็วนิยมใช้การควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ (Armature Control) เพราะจะทำให้แรงบิดคงที่สำหรับย่านความเร็วสูงกว่าพิกัดจะอาศัยการควบคุมสนามแม่เหล็ก (Field Control) แต่ไม่นิยมทำกันเพราะจะทำให้แรงบิดลดลง ประสิทธิภาพของมอเตอร์ต่ำลง สำหรับวงจรควบคุมของรถสามล้อไฟฟ้าจะใช้วงจรดีซีชอปเปอร์ 4 ควอดแดรนต์

การควบคุมแบบดีซีชอปเปอร์เป็นวิธีที่ทำให้เกิดค่าสูญเสียน้อยอีกทั้งยังสามารถควบคุมควอดแดรนต์ จึงได้จัดสร้างชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 4 ควอดแดรนต์ โดยใช้มอสเฟตเป็นตัวสวิตช์ควบคุมแรงดันที่จ่ายให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ ชุดขับนำเทคโนโลยี IC แบบ Hybrid IC Drive เบอร์ IR2110 เป็นตัวขับเคลื่อนของมอสเฟต ส่วนภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) จะใช้ TL494 เป็นตัวสร้างสัญญาณที่ระบบควบคุม โดยระบบควบคุมที่สร้างขึ้นนี้เป็นรูปเปิด

ผลการทดลองสามารถนำไปควบคุมความเร็วของรถสามล้อไฟฟ้าได้ โดยสามารถควบคุมความเร็วในย่านพิกัดความเร็วมอเตอร์ในทิศทางเดินรถไปข้างหน้า และในกรณีเบตเตอร์ทั้งหมดเราก็สามารถขับเคลื่อนตัวรถต่อไปได้ทันทีโดยใช้ระบบขับเคลื่อนสำรองแทน ซึ่งระบบสำรองนี้จะเป็นระบบทางกลใช้คันโยกเป็นตัวควบคุมสั่งงานให้รถไปหน้าหรือถอยหลัง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินงานสร้างและทดสอบโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา ความถี่ที่ใช้ในวงจรชอปเปอร์ทำให้เกิดเสียงที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง เนื่องจากเกิดอาการออสซิลเลชันในขดลวดอาร์เมเจอร์

แนวทางแก้ปัญหา ความถี่ในการสวิตช์ควรปรับความถี่ในการสวิตช์ให้สูงกว่านี้ประมาณ 20 Hz ขึ้นไป เพื่อลดปัญหาเรื่องเสียง ในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหา ในการออกตัวเนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้แรงบิดไม่ค้ำยดีจึงออกตัวช้า
แนวทางแก้ปัญหา ใช้มอเตอร์ที่แรงบิดดีกว่านี้ถ้าลดน้ำหนักกรรณได้จะทำให้เร็วขึ้น
3. ปัญหา ตอนปรับความเร็วยังมีการกระตุกแรง
แนวทางแก้ปัญหา ปรับซ้ำๆ สม่่าเสมออย่าปรับรวดเดียว

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ในการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จะทำให้น้ำหนักแบตเตอรี่มีมาถ่วงให้รลิ่งช้าลง การพัฒนาใช้ระบบ โซลาร์เซลล์ในการจ่ายไฟฟ้าแต่ใช้ได้เฉพาะตอนมีแสงอาทิตย์แต่จะทำให้น้ำหนักลดลงและวิ่งได้เร็วขึ้นประหยัดพลังงานกว่าเดิม
2. การใช้คันโยกในการถอยหลังยังไม่ดีเท่าที่ควรและไม่ค้ำยสะดวกในการประกอบใส่เข้า ถอดออก ควรพัฒนาให้มีการถอยหลังโดยใช้มอเตอร์อีกชุดหนึ่งสำหรับควบคุมการถอยหลัง
3. ควรพัฒนาระบบควบคุมเป็นแบบลูปปิดเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

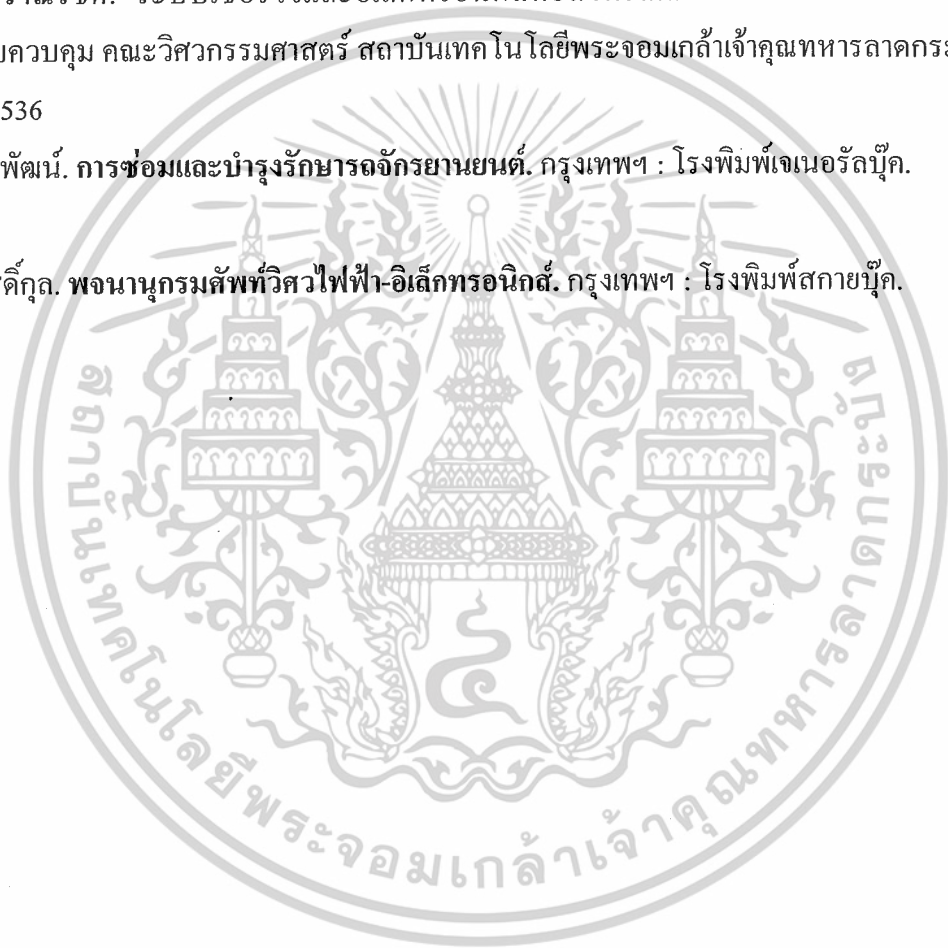
เทพดินทร์ บริรักษ์อรวัฒน์และคณะ “ชุดทดลองการควบคุมดีซีมอเตอร์ด้วยสัญญาณพัลซ์.”

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543

โยธิน เปรมปราณีรัชต์. “ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอลโทรลเลอร์.” ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2536

ธวัชชัย นาคพิพัฒน์. การซ่อมและบำรุงรักษารถจักรยานยนต์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจเนอรัลบุ๊ค. 2532

สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล. พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สกายบุ๊ก. 2539

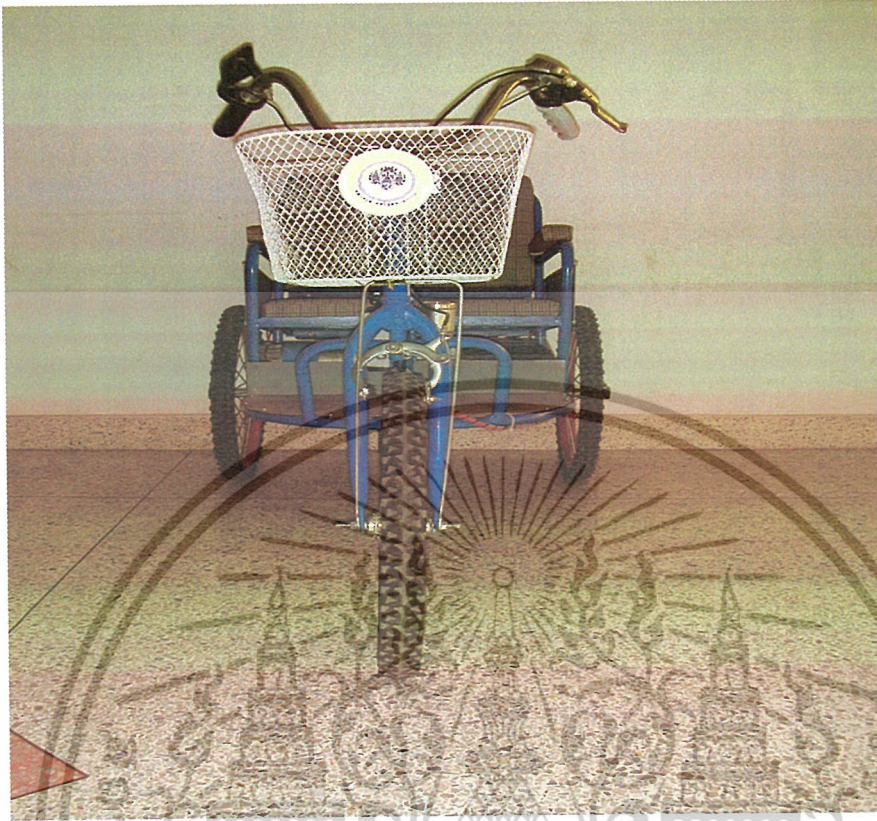


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพด้านหน้ารถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ ก.2 ภาพด้านข้างรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

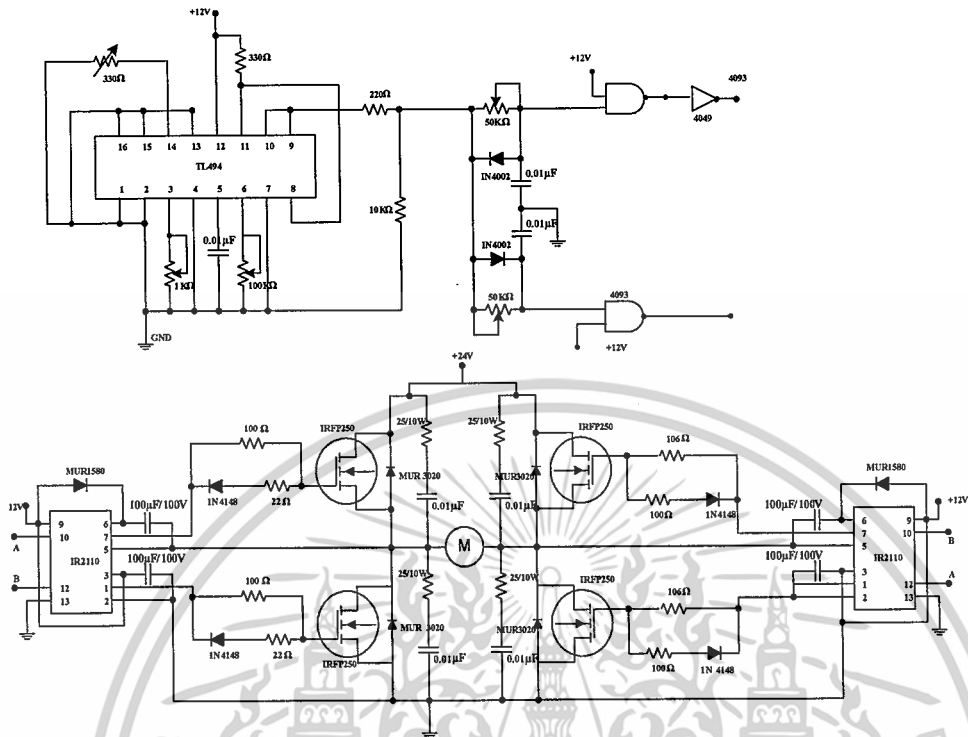


รูปที่ ก.3 ภาพด้านหลังของรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง

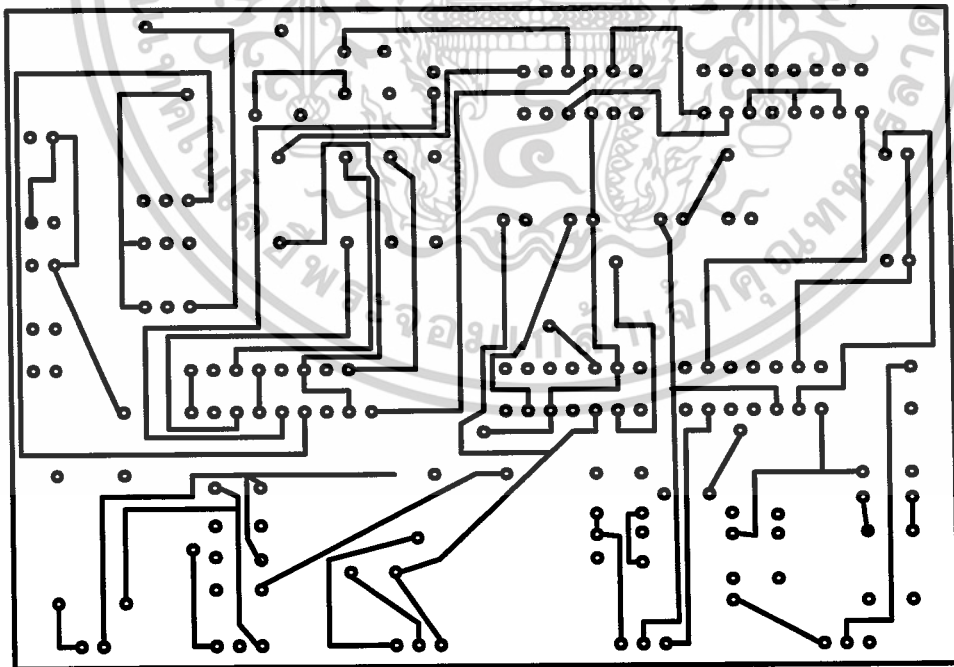
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

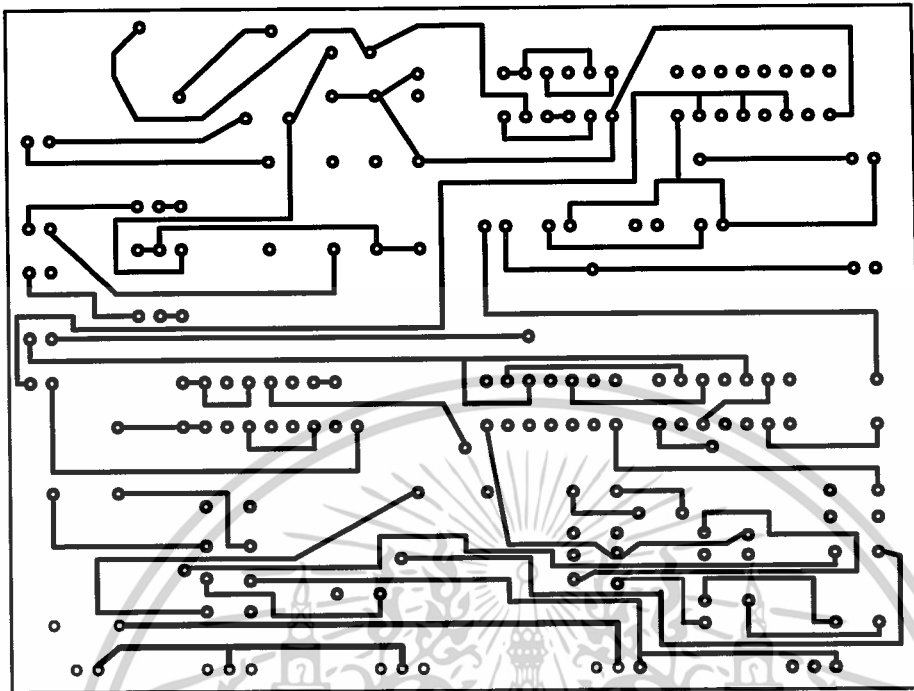


รูปที่ ข.1 วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

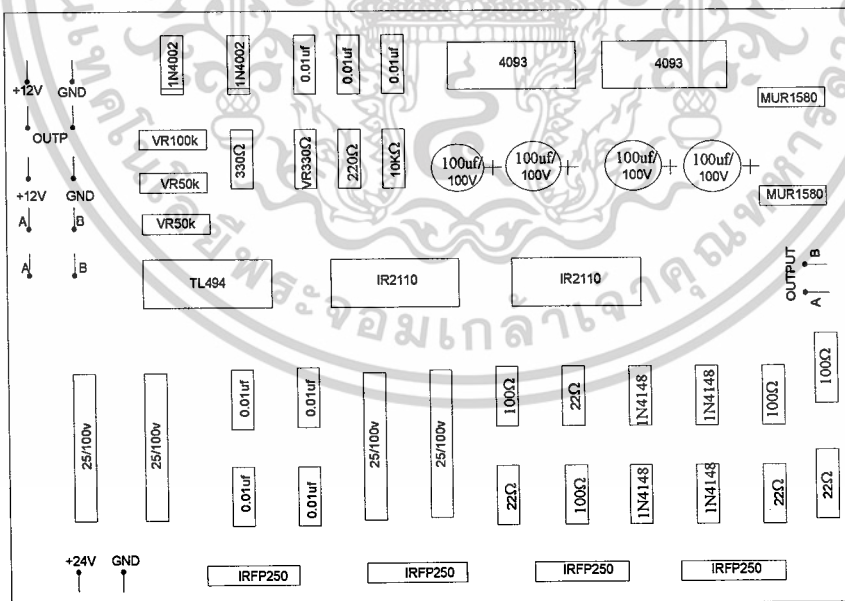


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมมอเตอร์ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

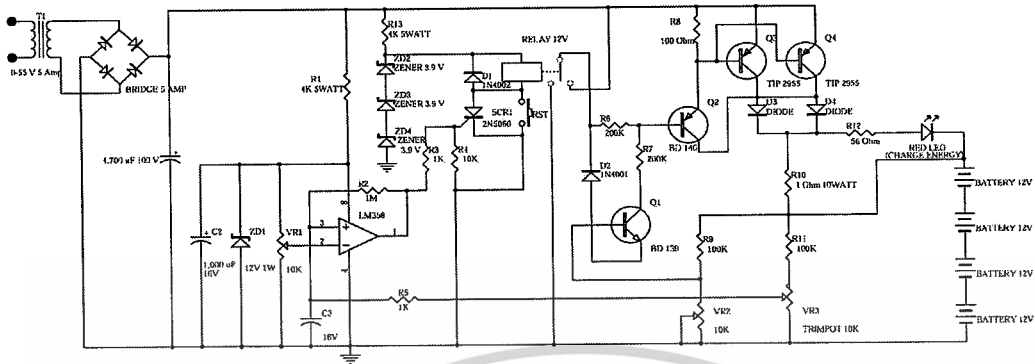


รูปที่ ข.3 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมมอเตอร์ด้านล่าง

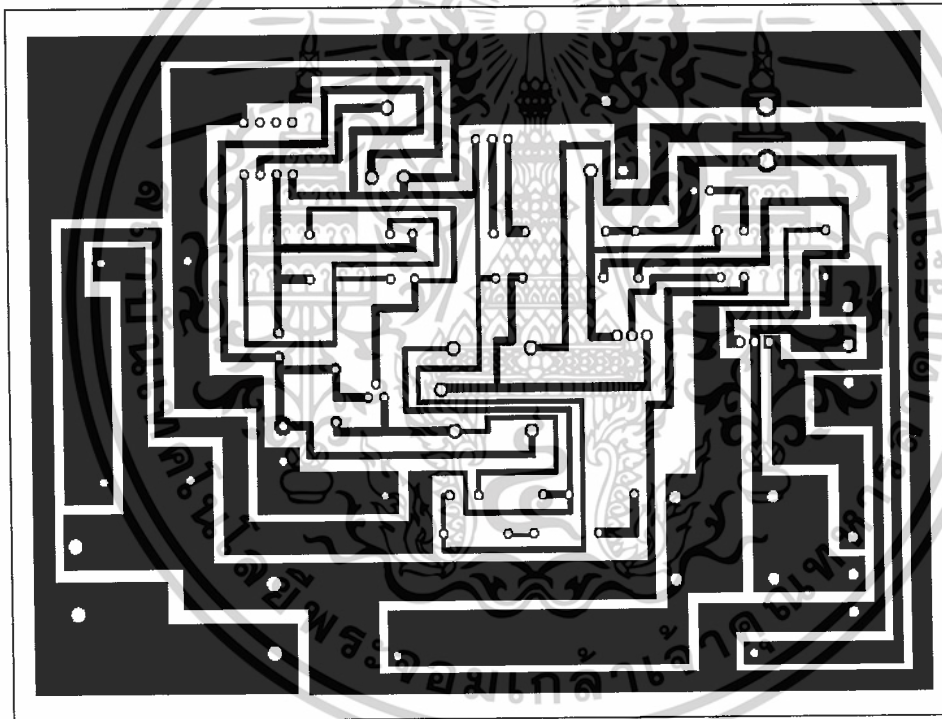


รูปที่ ข.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

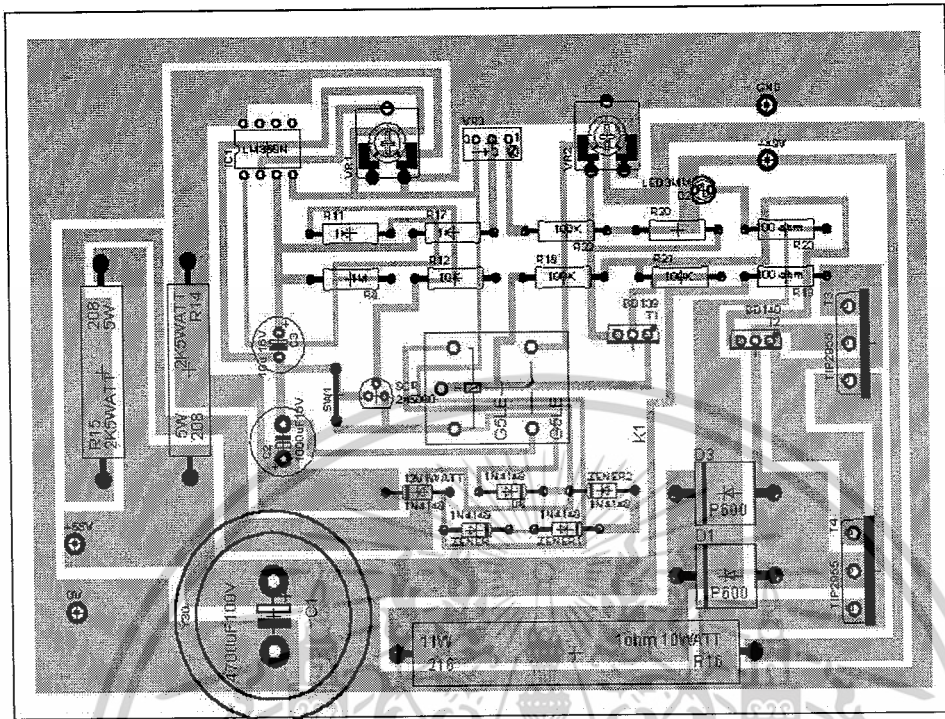


รูปที่ ข.5 วงจรประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 ก้อน

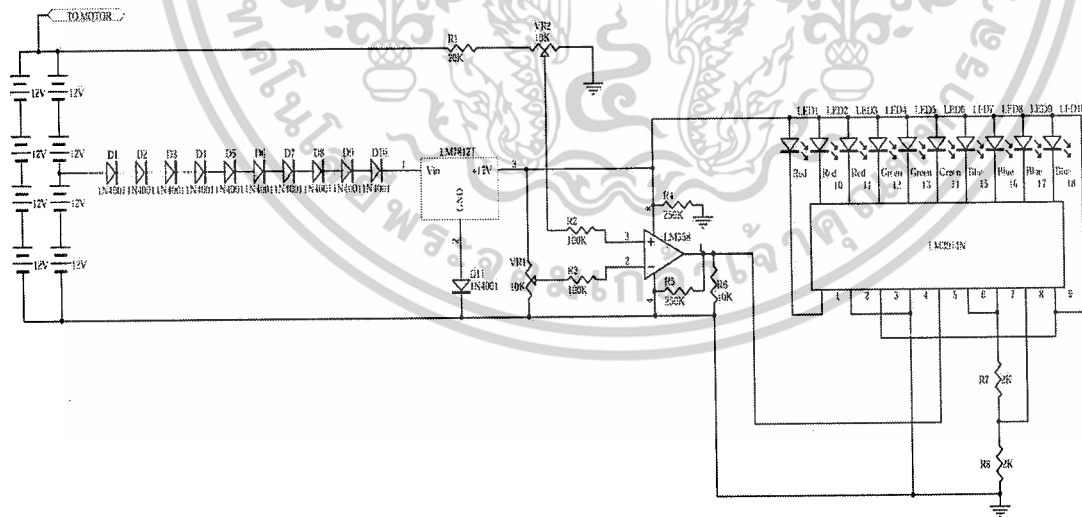


รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

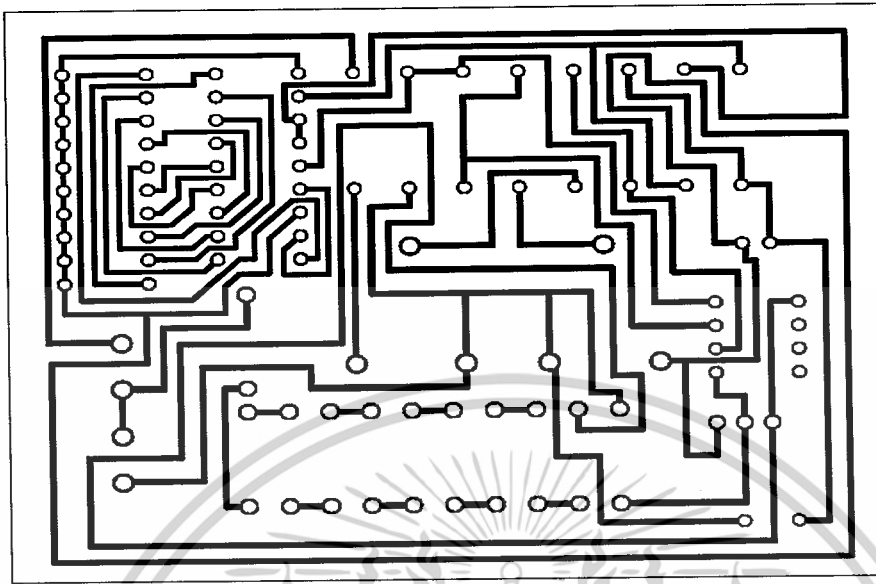


รูปที่ ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ จำนวน 4 ก้อน

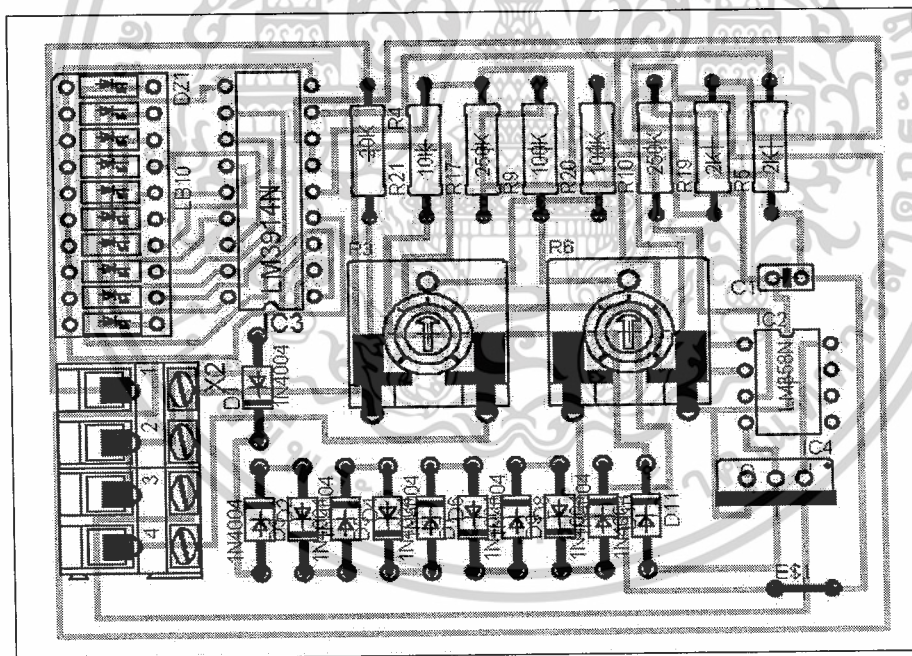


รูปที่ ข.8 วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

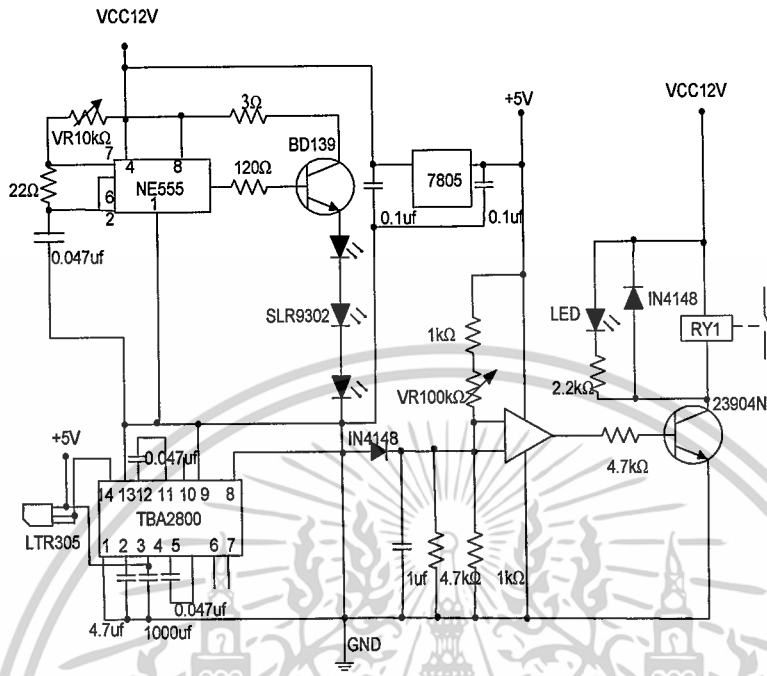


รูปที่ ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

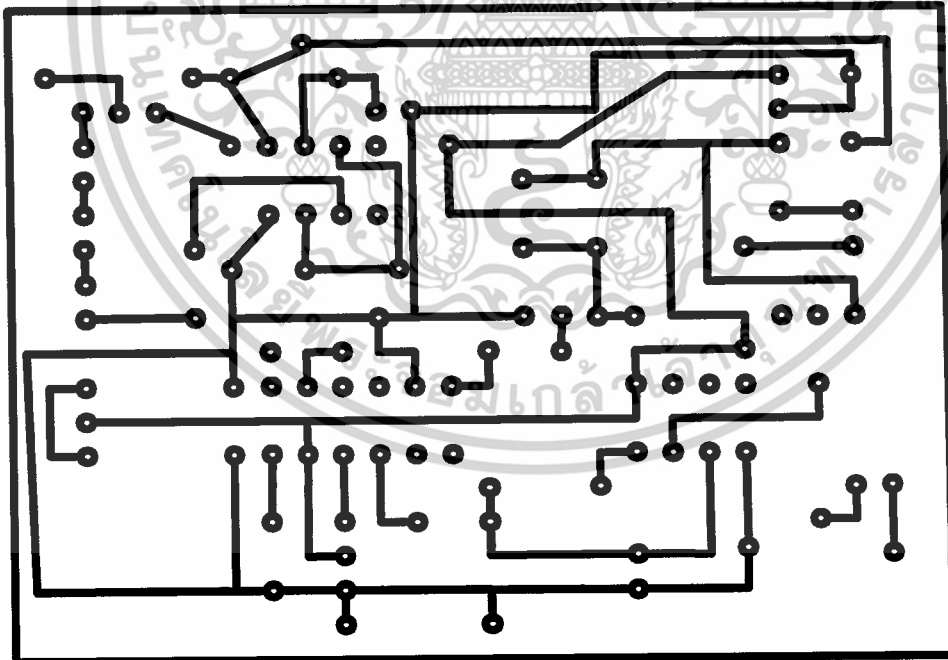


รูปที่ ข.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

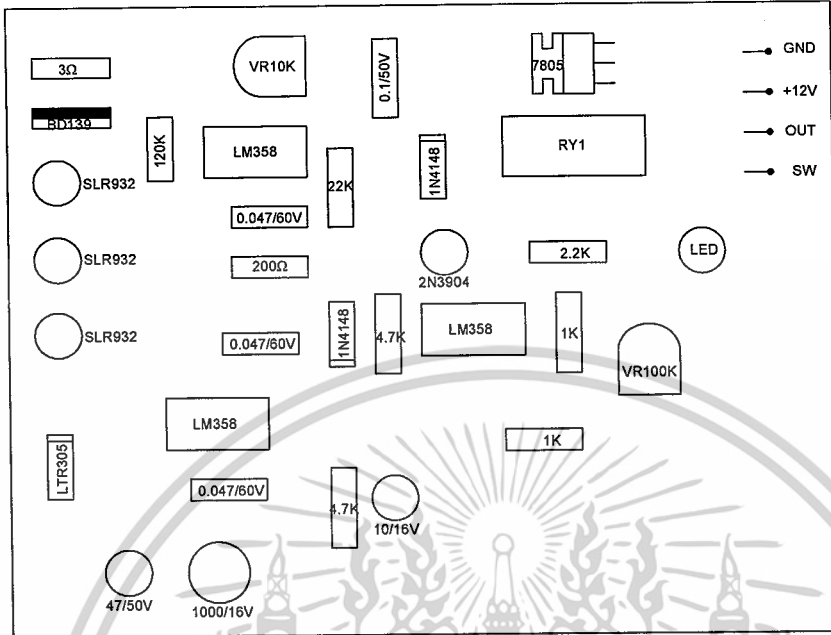


รูปที่ ข.11 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด



รูปที่ ข.12 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมมอเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	TL494	1 ตัว
IR1,IR2	IR2110	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1-Q4	IRFP250	4 ตัว
D1,D2	IN4002	2 ตัว
D3,D4	ไดโอด 25/10V	4 ตัว
D5-D8	IN4148	4 ตัว
D9	แนนเกด 4049	1 ตัว
D10	บัพเฟอร์ 4049	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1-C7	0.01 uf	7 ตัว
C8-C11	100 uf/100V	4 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1,R2	330 Ω	2 ตัว
R3	220 Ω	1 ตัว
R4	10 KΩ	1 ตัว
R5-R14	100 Ω	10 ตัว
R15,R16	22 Ω	2 ตัว
VR1	1 KΩ	1 ตัว
VR2	100 KΩ	1 ตัว
VR3,VR4	50 KΩ	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	Socket 16 pin	1 ตัว
J2,J3	Socket 14 pin	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรประจุแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM358	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1	BD139	1 ตัว
Q2	BD140	1 ตัว
Q3,Q4	TIP2955	2 ตัว
D1	IN4002	1 ตัว
D2	IN4001	1 ตัว
D3,D4	DIODE	2 ตัว
ZD1	12V/1W	1 ตัว
ZD2-ZD4	ZENER 3.9V	3 ตัว
SCR1	ZN5060	1 ตัว
LED	สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	4700 uf	1 ตัว
C2,C3	1000uf/16v	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	4 K Ω /5V	1 ตัว
R2	1 M Ω	1 ตัว
R3,R5	1 K Ω	2 ตัว
R4	10 K Ω	1 ตัว
R6,R7	200 K Ω	2 ตัว
R8,R9,R11	100 Ω	3 ตัว
R10,	1 Ω /10W	1 ตัว
R12,	56 K Ω	1 ตัว
R13	4 K Ω /5W	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรประจุแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
VR1,VR2	10 K Ω	1 ตัว
VR3	TRIMPOT	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
T1	หม้อแปลง 220/0-50 V 5 A	3 ตัว
S1	สวิตช์ RST	2 ตัว
RY1	RELAY 12V	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM3914N	1 ตัว
IC2	LM358	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1	ทรานซิสเตอร์ LM7812T	1 ตัว
D1-D11	IN4001	11 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	20 K Ω	1 ตัว
R2,R3	100 K Ω	2 ตัว
R4,R5	250 K Ω	2 ตัว
R6	10 K Ω	1 ตัว
R7	72 K Ω	1 ตัว
R8	82 K Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	Socket 16 pin	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
LED1-LED3	สีแดง	3 ตัว
LED4-LED6	สีเขียว	3 ตัว
LED7-LED10	สีน้ำเงิน	3 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	NE555	1 ตัว
IC2	TBA2800	1 ตัว
IC3	LM358	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1	BD139	1 ตัว
Q2	2N9304	1 ตัว
Q3	7805	1 ตัว
D1-D3	SLR932	3 ตัว
D4-D5	1N4148	2 ตัว
LED1	3MM สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1-C3	0.047/63V	3 ตัว
C4	E47/50V	1 ตัว
C5	E1000/16V	1 ตัว
C6	E10/16V	1 ตัว
C7	CM0.1/50V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R1	3 Ω	1 ตัว
R2	120 Ω	1 ตัว
R3	22 K Ω	1 ตัว
R4	200 Ω 1/2W	1 ตัว
R5	4.7 K Ω	1 ตัว
R6	47 K Ω	1 ตัว
R7-R8	1 K Ω	2 ตัว
R9	2.2 K Ω	1 ตัว
VR1	10 K Ω	1 ตัว
VR2	100 K Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
IR	LTR305	1 ตัว
RY1	ME 12 V 4P	1 ตัว

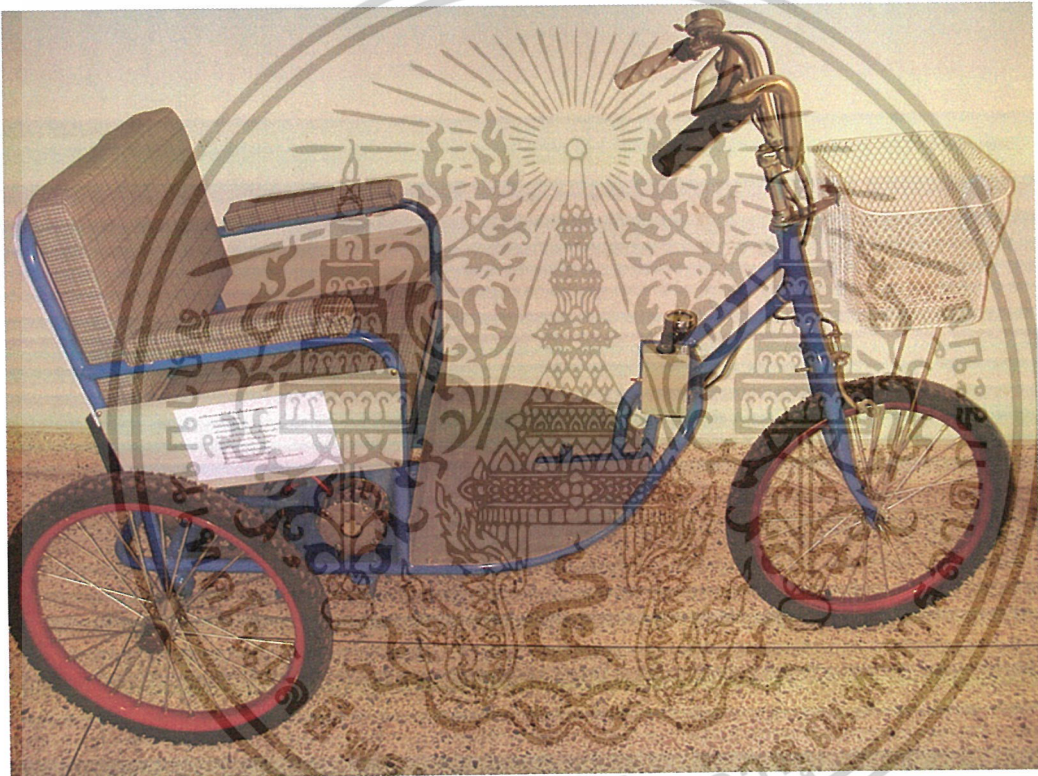
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

รถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อยืดอายุการใช้งานของรถและเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่

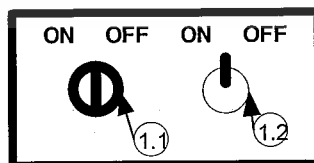
2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูป ง.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูป ง.1 มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

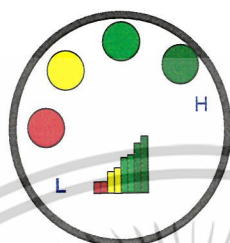
1. สวิตช์



รูป ง.2 ปุ่มสวิตช์ควบคุมรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

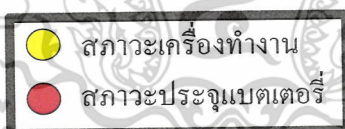
1.1 สวิตช์กุญแจเปิดเปิดเครื่องควบคุมมอเตอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.1 สวิตช์กัญญแจปิดเปิดเครื่องควบคุมมอเตอร์
- 1.2 สวิตช์โยกปิดเปิดเซนเซอร์กันชนตอนถอยหลัง
2. ตัวตรวจวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่



รูป ง.3 หน้าปัทม์ตัวตรวจวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

- 2.1 หลอดแอลอีดีสีแดงแบตเตอรี่น้อยมาก
- 2.2 หลอดแอลอีดีสีเหลืองแบตเตอรี่น้อย
- 2.3 หลอดแอลอีดีสีเขียวแบตเตอรี่ปานกลาง
- 2.4 หลอดแอลอีดีสีเขียวเข้มแบตเตอรี่เต็ม
3. เครื่องประจุแบตเตอรี่



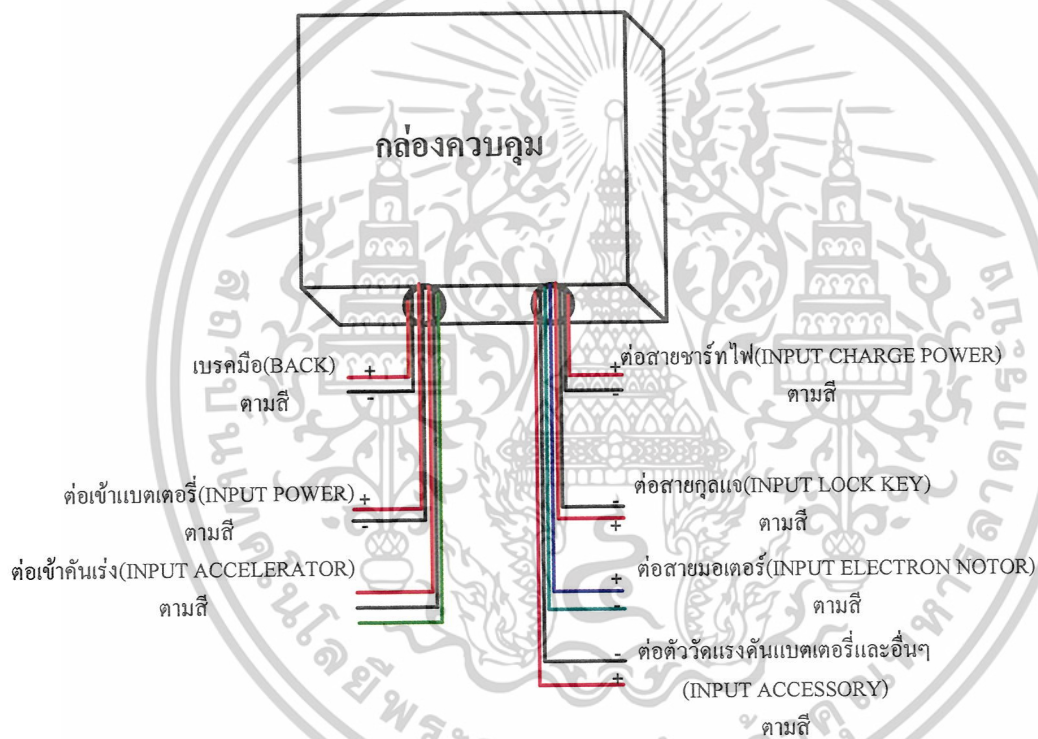
รูป ง.4 ไฟแสดงการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

- 3.1 หลอดแอลอีดีสีเหลืองแสดงสถานะตอนเครื่องทำงาน
- 3.2 หลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะประจุแบตเตอรี่
4. กถ้องควบคุม
5. เซนเซอร์อินฟาเรดกันชนตอนถอยหลัง
6. เบรค
7. คันเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กระจกมองหลังและกริ่ง
9. ล้อหน้า
10. ล้อหลัง
11. เบาะคนนั่ง
12. คันโยกสำรองตอนเบตเตอร์หมด

3. การติดตั้งและการใช้งาน



รูป ง.5 การต่อใช้งานจากชุดควบคุม

- 3.1 ต่อสายอุปกรณ์ตามรูป
- 3.2 ติดตั้งเบรคมือและกริ่งที่มือจับด้านซ้ายมือ
- 3.3 ติดตั้งคันเร่งกับกระจกที่มือจับด้านขวามือ
- 3.4 ติดตั้งเซนเซอร์แยกจากกล่องควบคุมใช้ไฟ 12 โวลต์พร้อมติดตั้งสวิตช์เปิดสวิตช์ตอน

ถอยหลัง

- 3.5 ติดตั้งเสร็จเปิดสวิตช์ใช้งานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานรถสามล้อไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ปัญหาเบื้องต้นจากตารางนี้

ตารางที่ ง.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้นในการใช้รถสามล้อ

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ปัญหา
มอเตอร์ไม่ทำงาน	ตรวจสอบสวิตช์ไฟ, สายต่อต่างๆ
ความเร็วน้อยลง	ตรวจสอบแบตเตอรี่อาจมีไฟน้อย, น้ำหนักเยอะเกินไป
หลอดไฟไม่แสดงผล	ตรวจหาหลอด, หลอดอาจจะขาด, ไม่มีไฟเลี้ยง

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ทำความสะอาดรถต้องถอดชุดควบคุมออกก่อนล้าง
- ทำความสะอาดชุดควบคุมด้วยการปิดฝุ่น
- เติมน้ำมันแบตเตอรี่ให้เต็มทุกครั้งก่อนใช้งาน

5.2 ข้อควรระวัง

- อย่าเปิดสวิตช์ทิ้งไว้
- อย่าให้น้ำเข้าสู่ชุดควบคุม
- อย่าวางแบตเตอรี่ที่ที่อากาศร้อนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หลักการควบคุมมอเตอร์	ใช้ ICเบอร์ TL494 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ แล้วใช้มอสเฟสเบอร์ IRF250 เป็นตัวขับมอเตอร์
ส่วนแสดงผล	ใช้ตัวแอลอีดีเป็นตัวแสดงผล
มอเตอร์	1 แรงม้า 60 โวลต์ 12 แอมแปร์
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 12 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

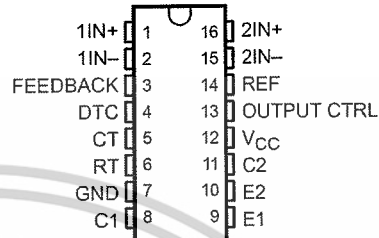
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)

description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

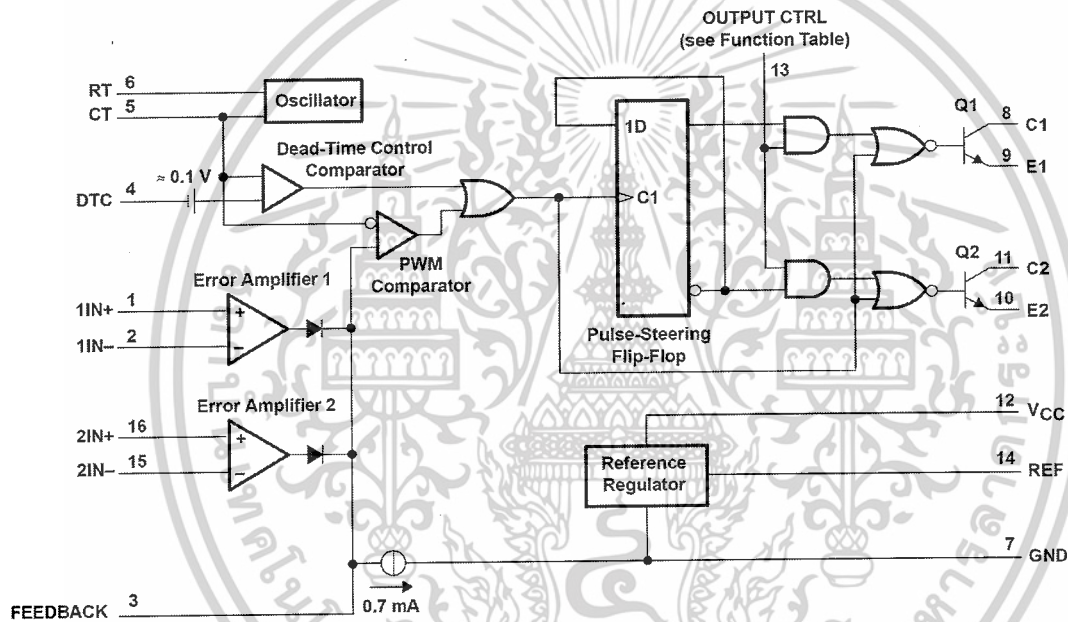
TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

T _A	AVAILABLE OPTIONS				CHIP FORM (Y)
	PACKAGED DEVICES				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)	
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

		TL494	UNIT	
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		41	V	
Amplifier input voltage, V_I		$V_{CC}+0.3$	V	
Collector output voltage, V_O		41	V	
Collector output current, I_O		250	mA	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3)	D package	73	°C	
	N package	88		
	NS package	64		
	PW package	108		
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		D, N, or PW package	260	°C
Storage temperature range, T_{stg}			-65 to 150	°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.
 2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
 3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

	TL494		UNIT
	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	7	40	V
Amplifier input voltage, V_I	-0.3	$V_{CC}-2$	V
Collector output voltage, V_O		40	V
Collector output current (each transistor)		200	mA
Current into feedback terminal		0.3	mA
Oscillator frequency, f_{osc}	1	300	kHz
Timing capacitor, C_T	0.47	10000	nF
Timing resistor, R_T	1.8	500	k Ω
Operating free-air temperature, T_A	TL494C	0	°C
	TL494I	-40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$,
 $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC}-2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$		-2		mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITION†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		1		Hz/kHz

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		2		mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25		nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2		μA
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V		0.7		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter $V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$		1.1	1.3	V
	Emitter follower $V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$		1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45%		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	V
	Maximum duty cycle		0		

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3		100	200	ns
Fall time			25	100	
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4		100	200	ns
Fall time			40	100	

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

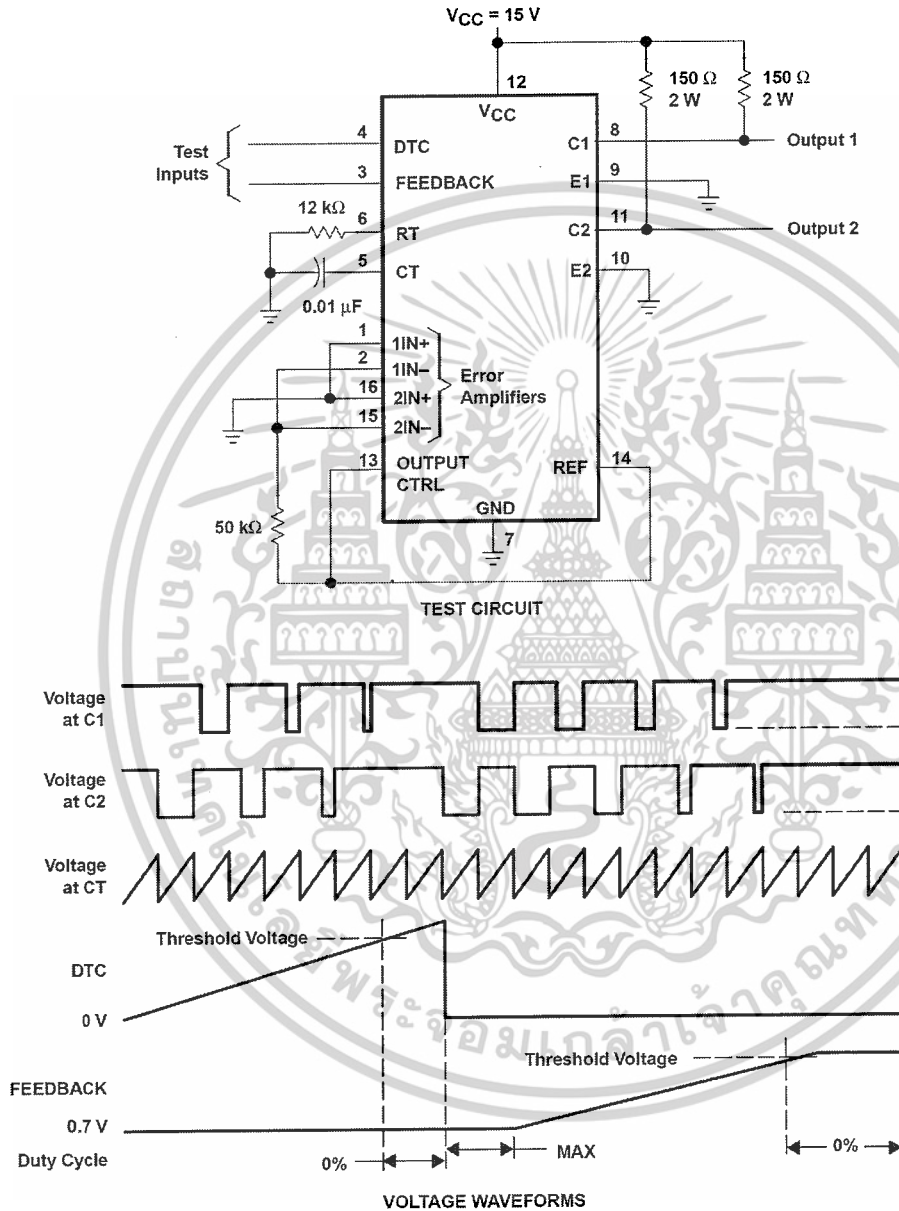


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

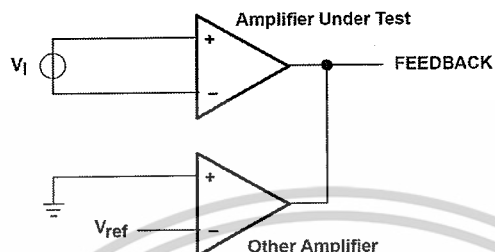
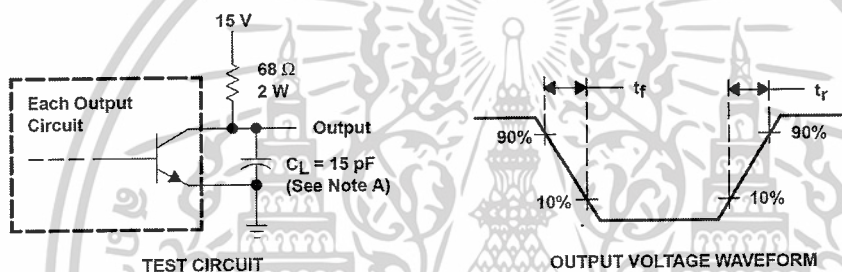
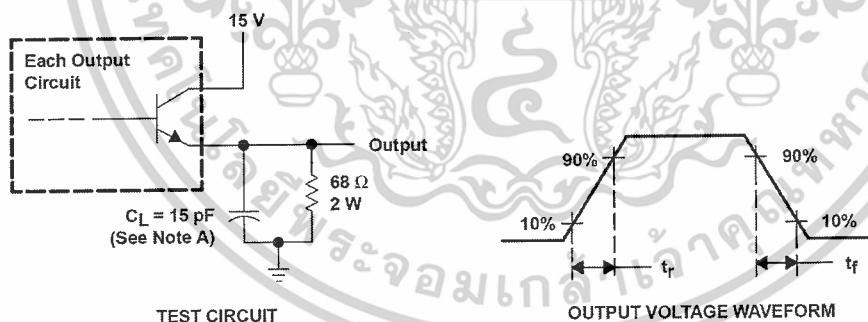


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

TYPICAL CHARACTERISTICS

**OSCILLATOR FREQUENCY AND
FREQUENCY VARIATION†
VS
TIMING RESISTANCE**

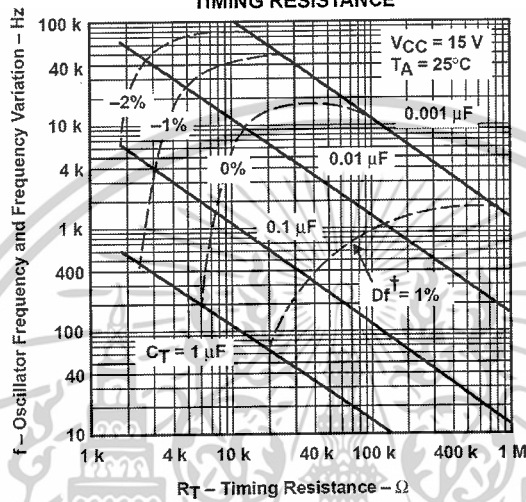


Figure 5

**AMPLIFIER VOLTAGE AMPLIFICATION
VS
FREQUENCY**

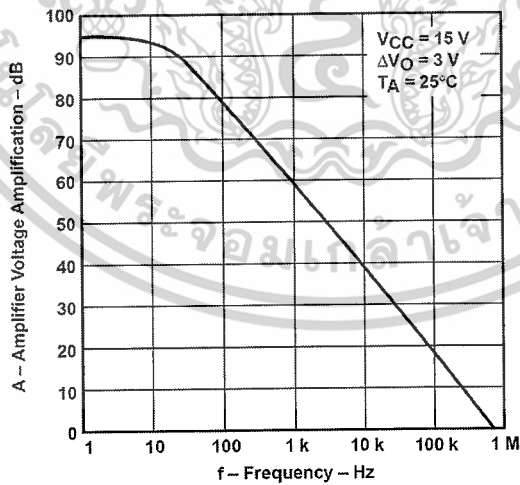


Figure 6



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33A, 200V, 0.085 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA9295.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP250	TO-247	IRFP250

NOTE: When ordering, use the entire part number.

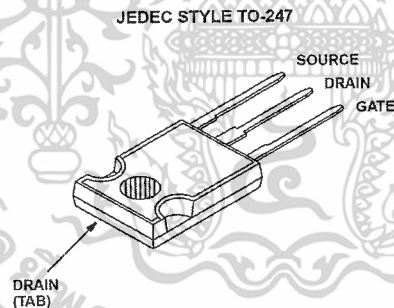
Features

- 33A, 200V
- $r_{DS(ON)} = 0.085\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRFP250

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

	IRFP250	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1).....	200	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1).....	200	V
Continuous Drain Current.....	33	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	21	A
Pulsed Drain Current (Note 3).....	130	A
Gate to Source Voltage.....	± 20	V
Maximum Power Dissipation.....	180	W
Linear Derating Factor.....	1.44	$\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4).....	810	mJ
Operating and Storage Temperature.....	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.....	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334.....	260	$^\circ\text{C}$

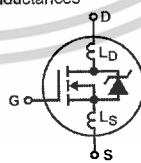
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C .

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	200	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, $V_{GS} = 10\text{V}$	33	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 17\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.07	0.085	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50\text{V}$, $I_D = 17\text{A}$ (Figure 12)	13	19	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 100\text{V}$, $I_D = 30\text{A}$, $R_{GS} = 6.2\Omega$, $V_{GS} = 10\text{V}$, $R_L = 3.2\Omega$	-	18	30	ns
Rise Time	t_r	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	125	180	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	70	100	ns
Fall Time	t_f		-	80	120	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10\text{V}$, $I_D = 30\text{A}$, $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, $I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14)	-	79	120	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	12	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	42	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$ (Figure 11)	-	2000	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	800	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	300	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Contact Screw on Header Closer to Source and Gate Pins to Center of Die	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6.0mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad	-	12.5	-	nH
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.70	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C}/\text{W}$

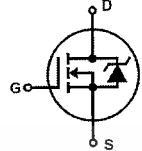


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP250

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	33	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	130	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 33\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.0	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 30\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	140	-	630	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 30\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	1.8	-	8.1	μC



NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 1.1\text{mH}$, $R_G = 50\Omega$, peak $I_{AS} = 33\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

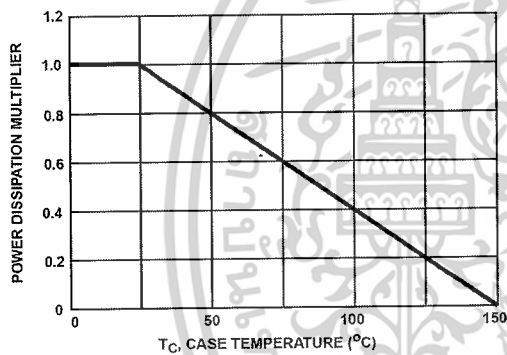


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

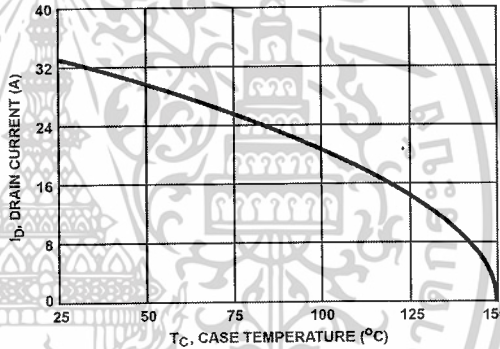


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

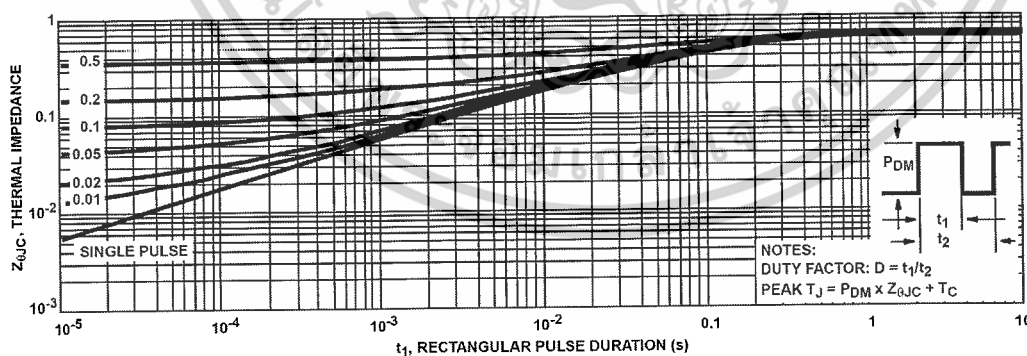


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP250

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

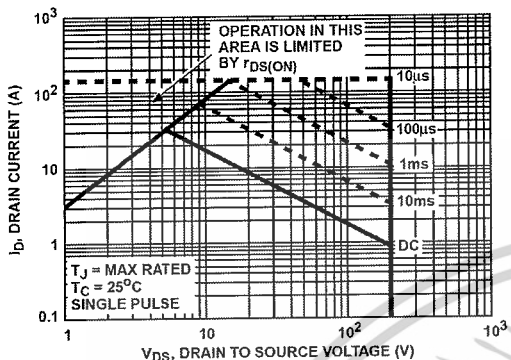


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

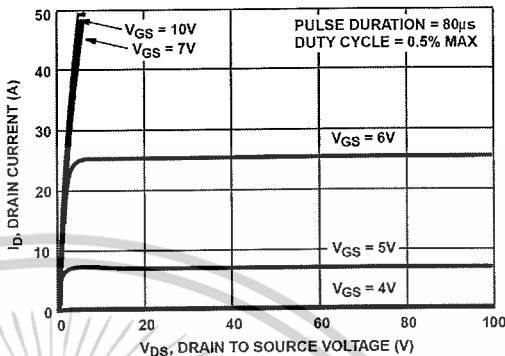


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

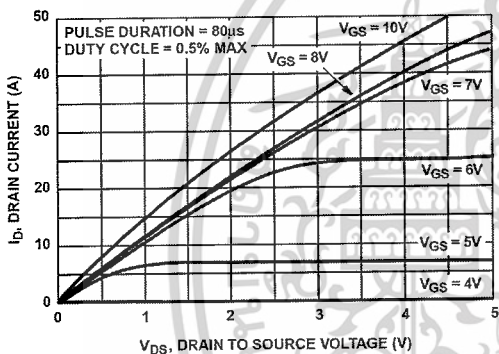


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

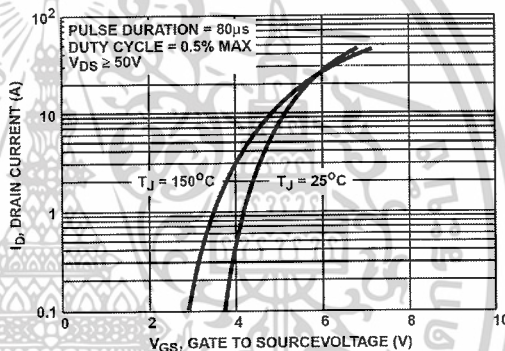
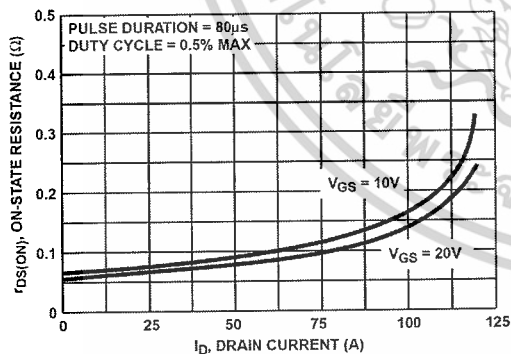


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS



NOTE: Heating effect of 2µs pulse is minimal.
FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

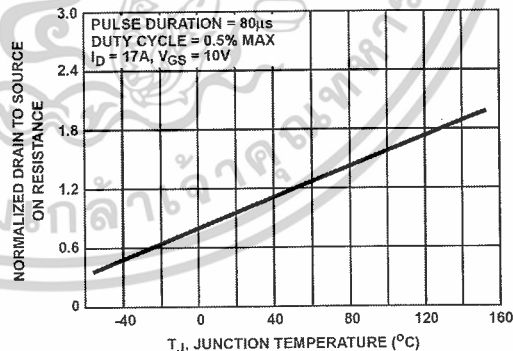


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP250

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

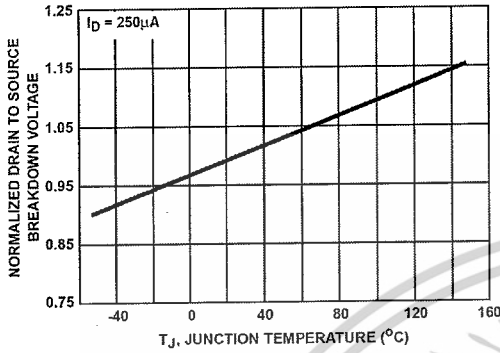


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

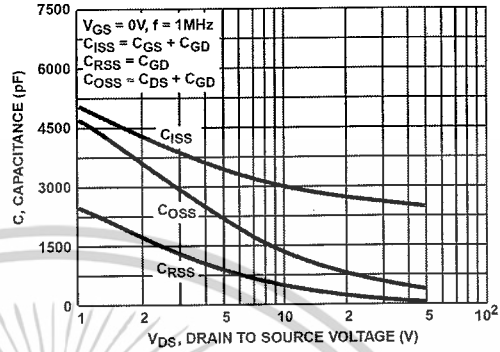


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

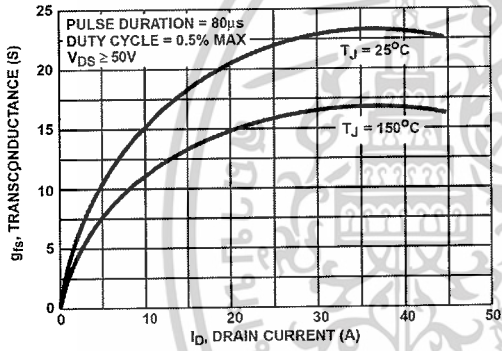


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

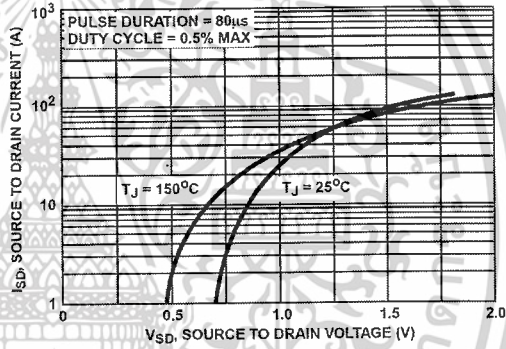


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

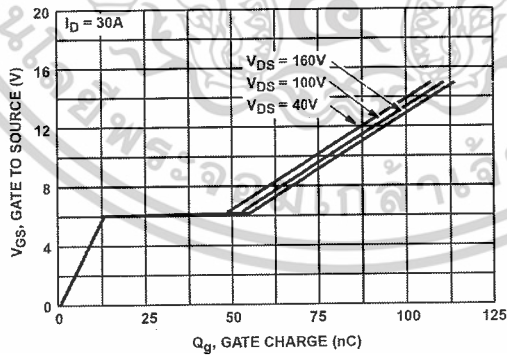


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP250

Test Circuits and Waveforms

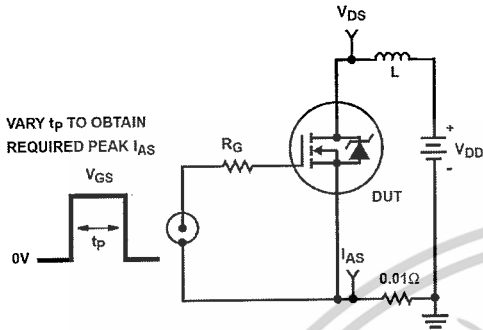


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

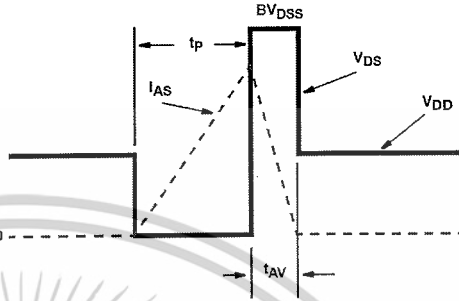


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

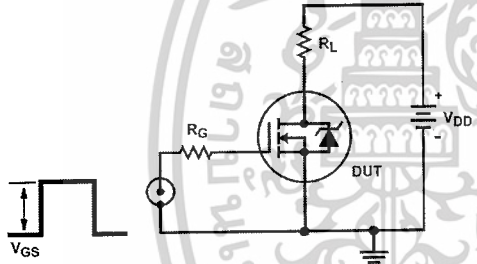


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

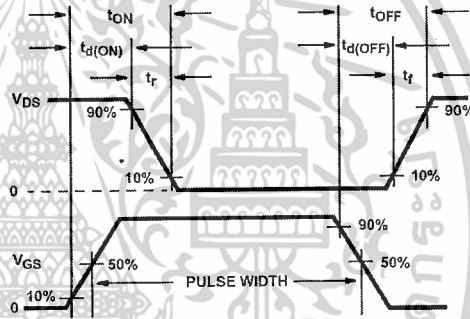


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

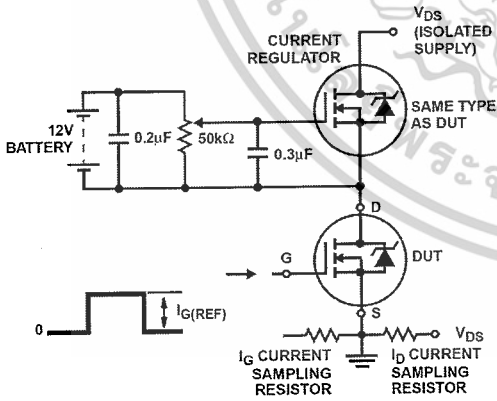


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

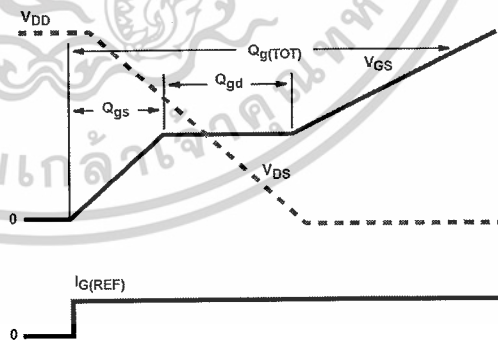


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)
HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

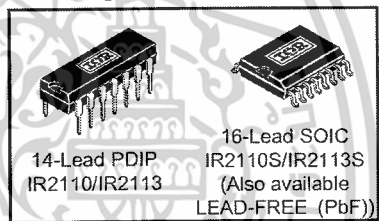
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

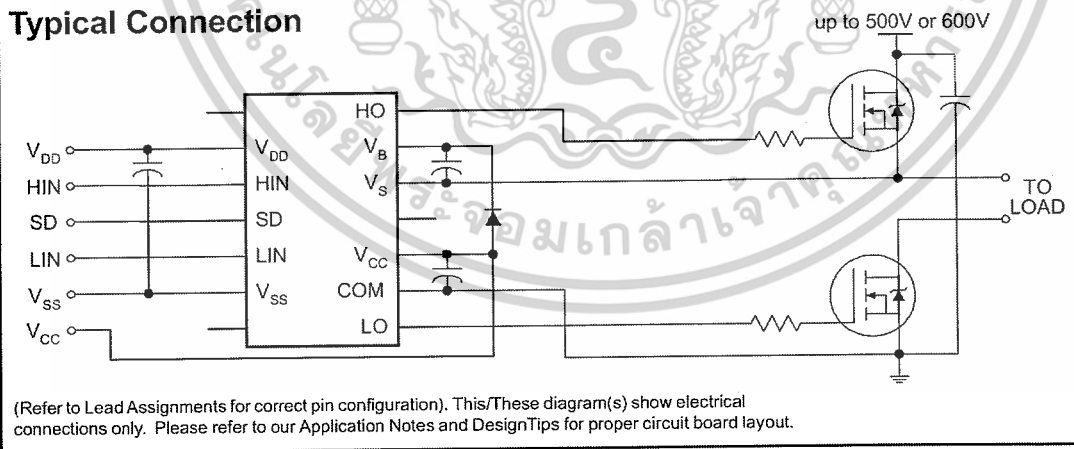
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

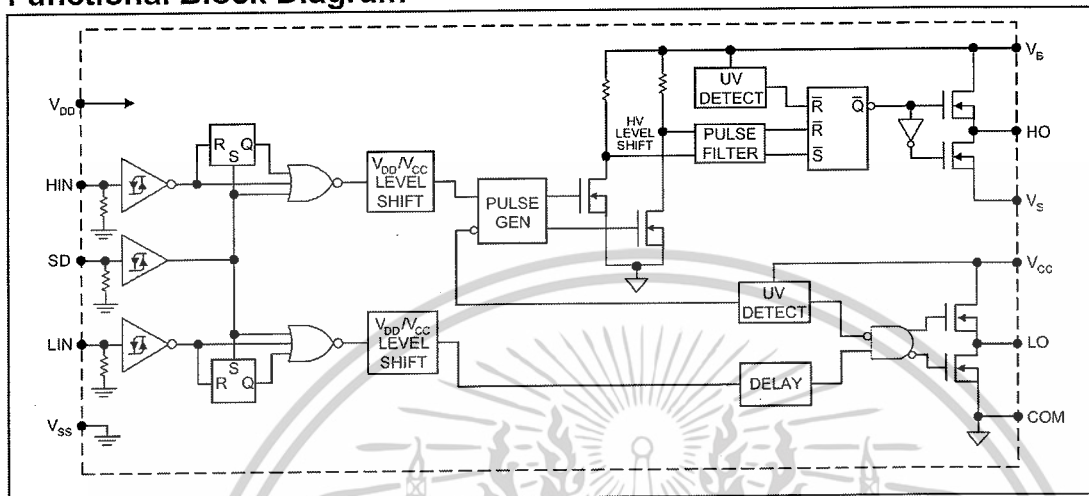
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(s)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments

<p>14 Lead PDIP</p>	<p>16 Lead SOIC (Wide Body) (Also available LEAD-FREE (PbF))</p>
IR2110/IR2113	IR2110S/IR2113S
Part Number	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

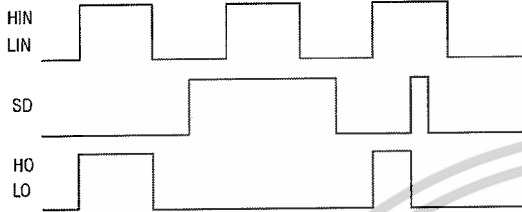


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

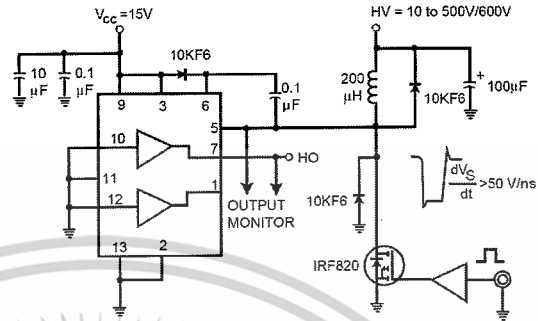


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

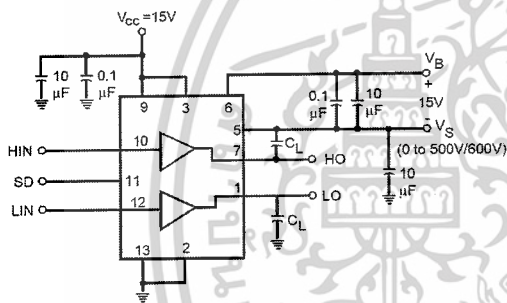


Figure 3. Switching Time Test Circuit

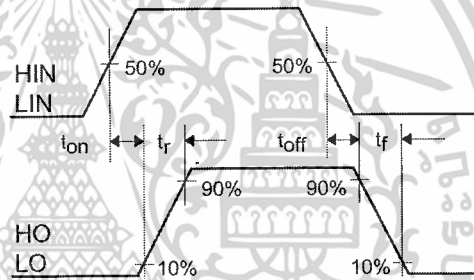


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

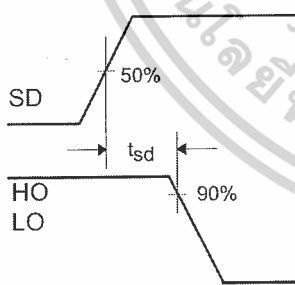


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

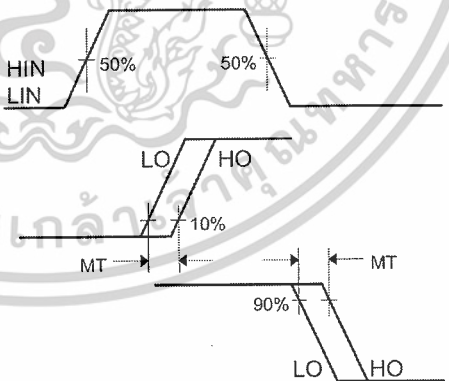


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

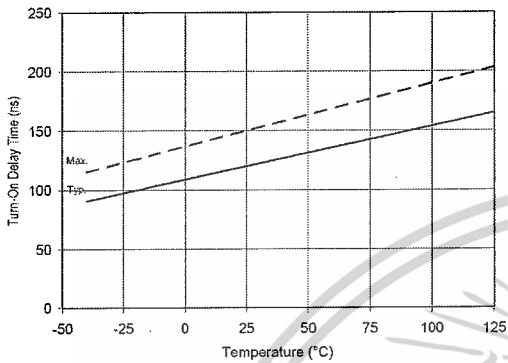


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

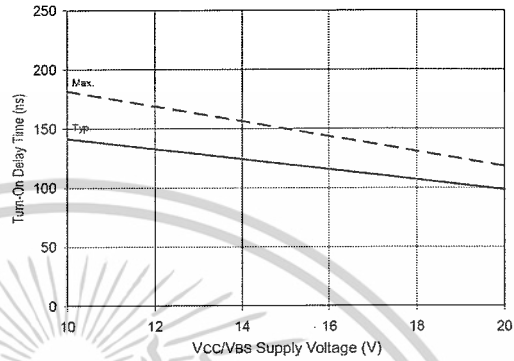


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

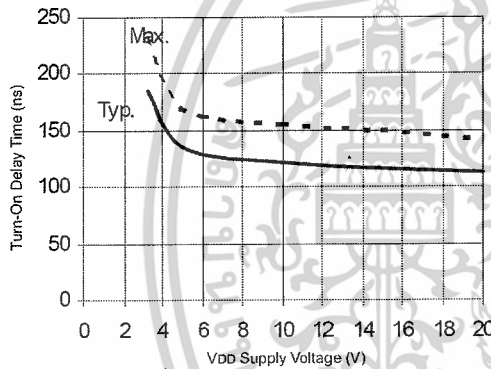


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

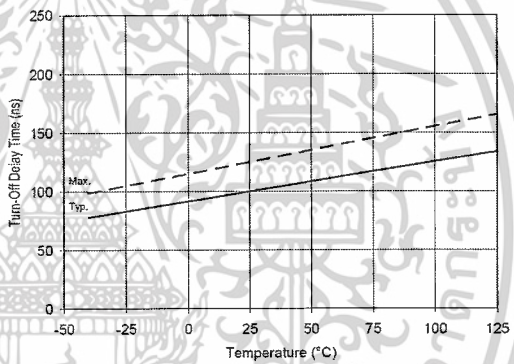


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

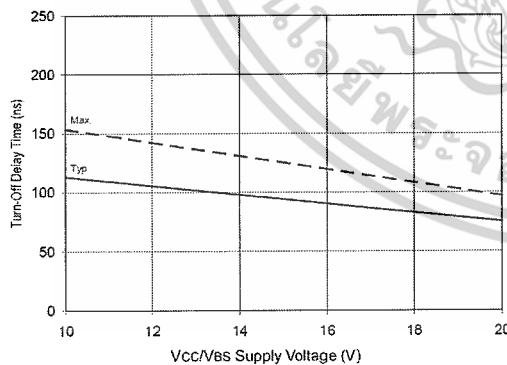


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

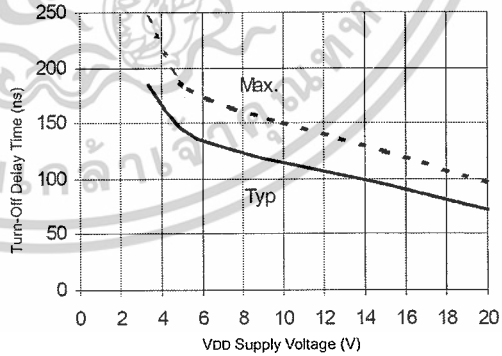


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

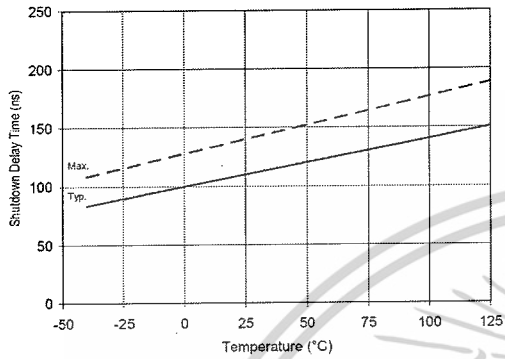


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

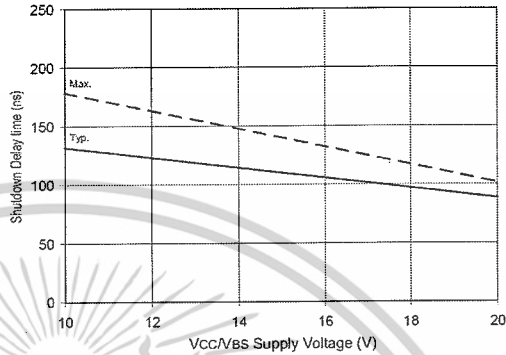


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

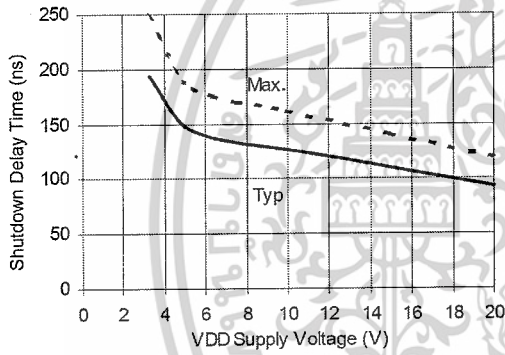


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

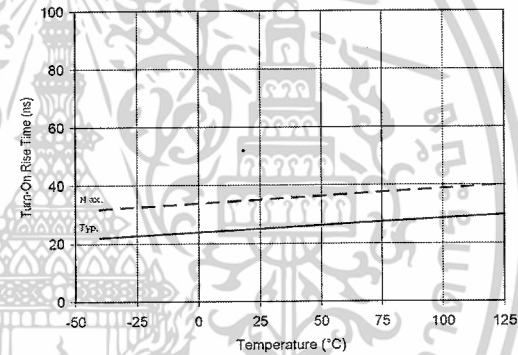


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

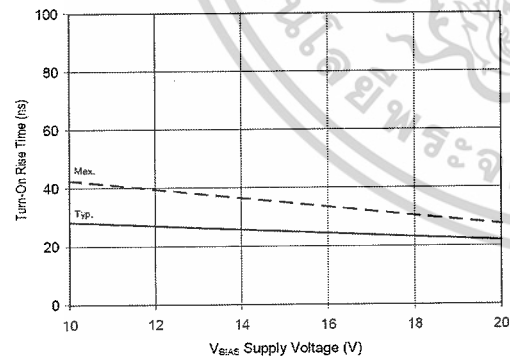


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

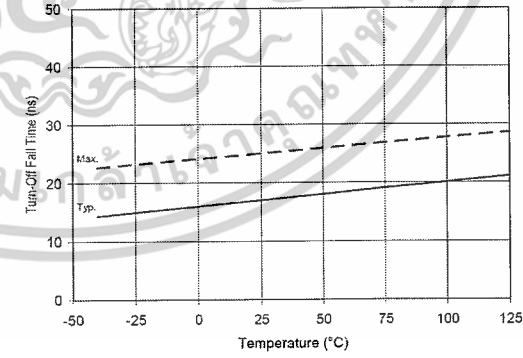


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R2110(s)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

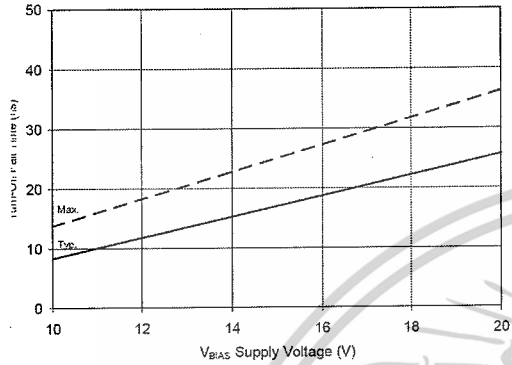


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

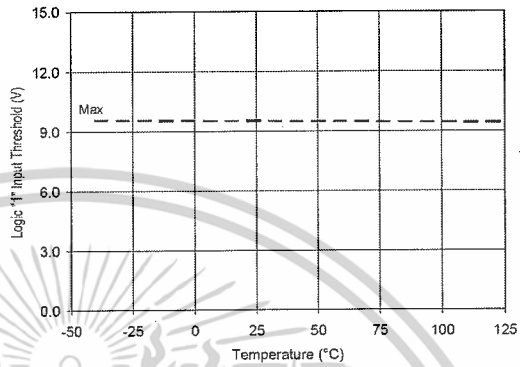


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

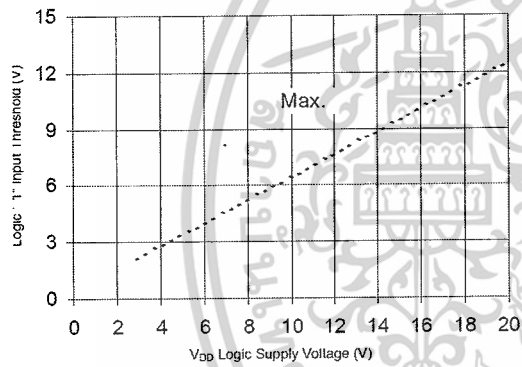


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

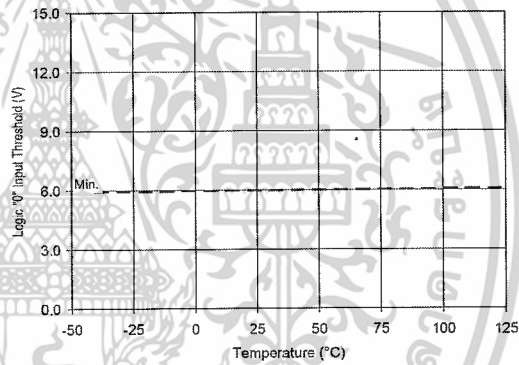


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

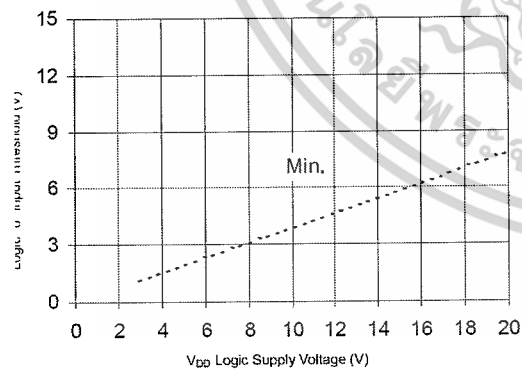


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

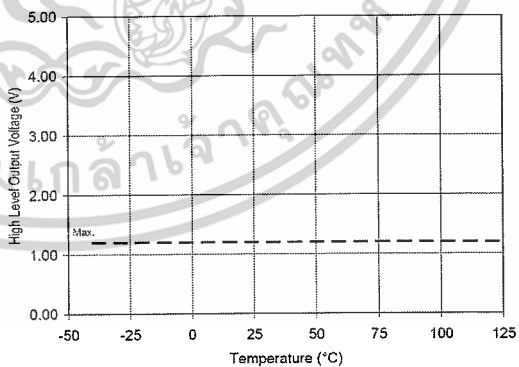


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

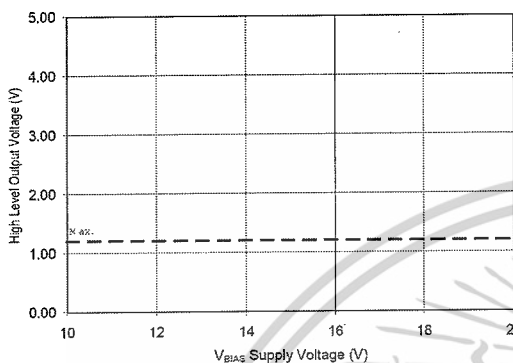


Figure 14B. High Level Output vs. Voltage

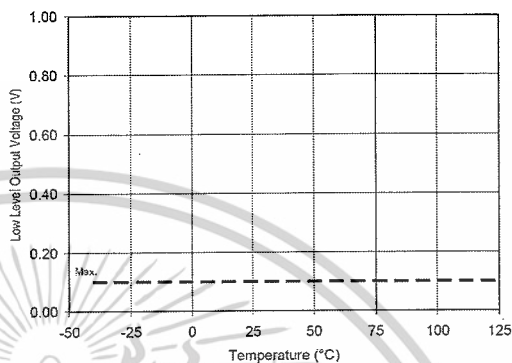


Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature

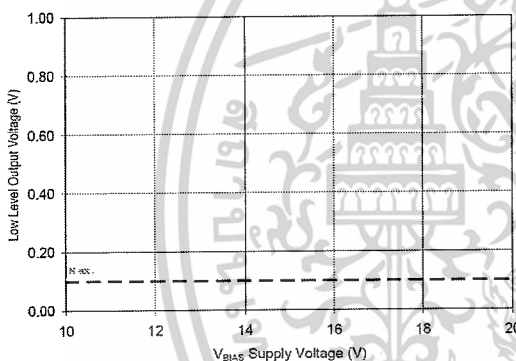


Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage

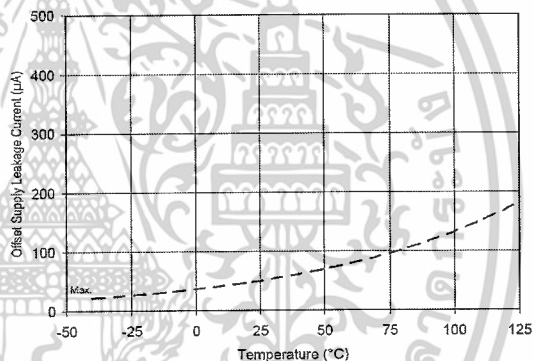


Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature

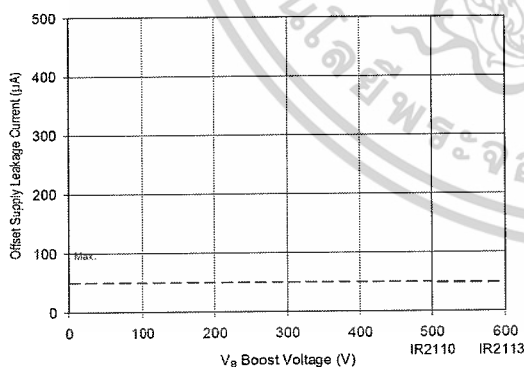


Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage

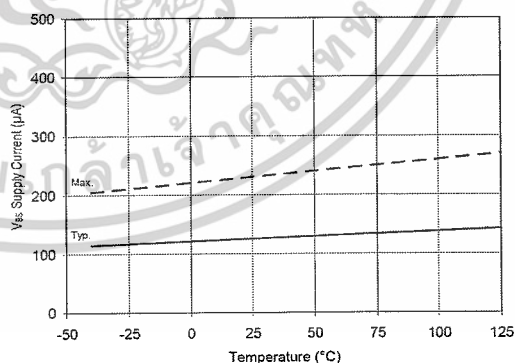


Figure 17A. VBS Supply Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

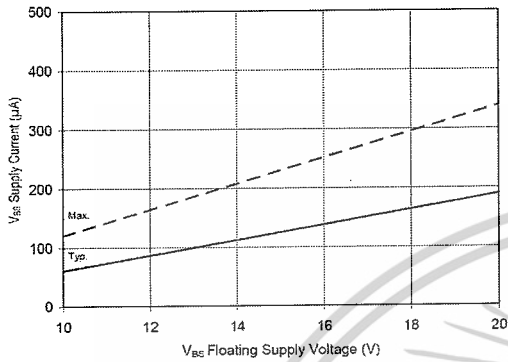


Figure 17B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

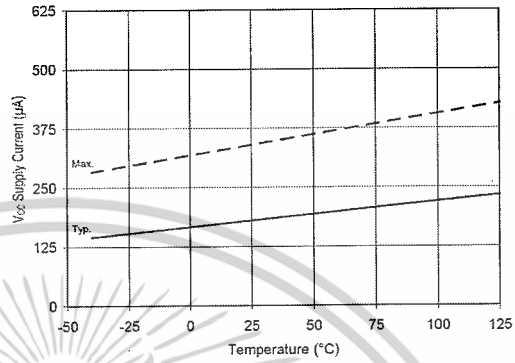


Figure 18A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

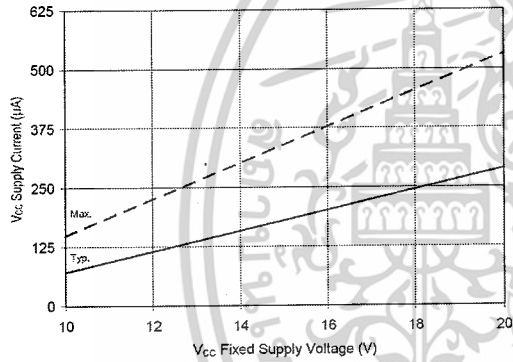


Figure 18B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

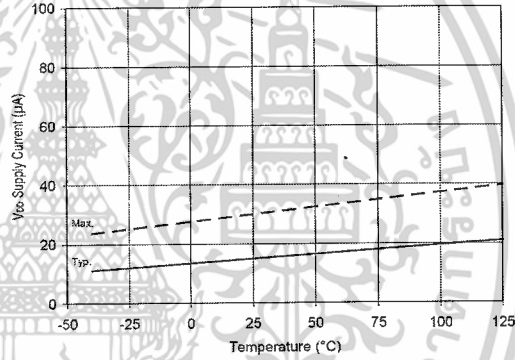


Figure 19A. V_{DD} Supply Current vs. Temperature

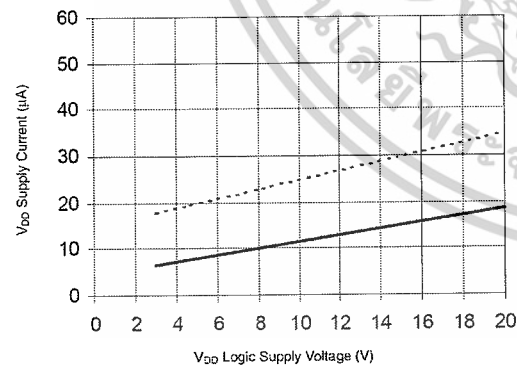


Figure 19B. V_{DD} Supply Current vs. V_{DD} Voltage

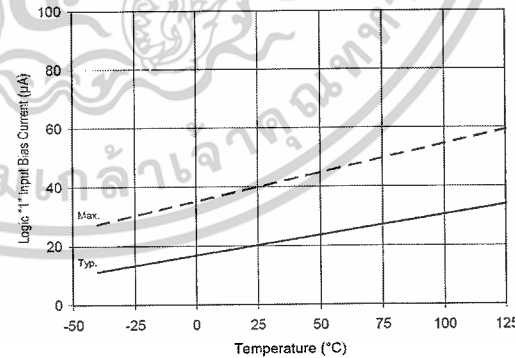


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

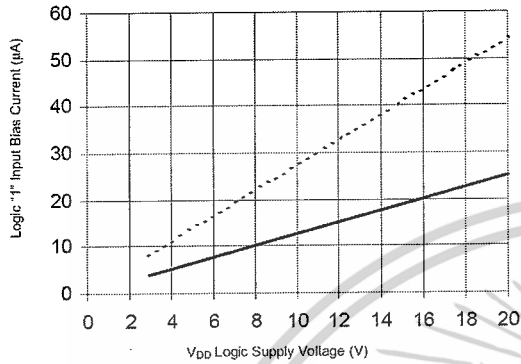


Figure 20B. Logic "1" Input Current vs. VDD Voltage

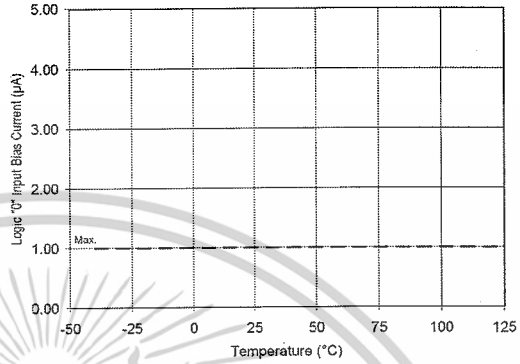


Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

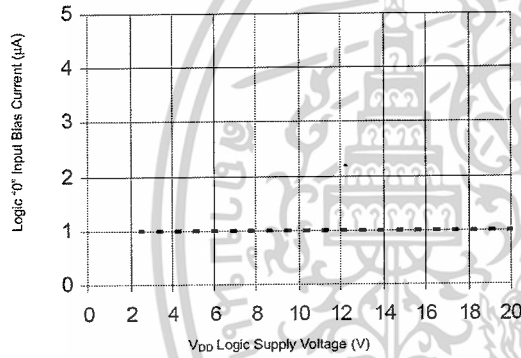


Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. VDD Voltage

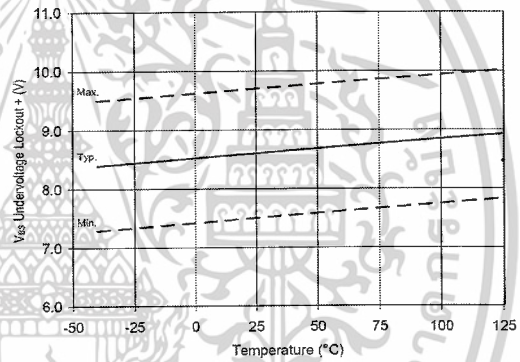


Figure 22. VBS Undervoltage (+) vs. Temperature

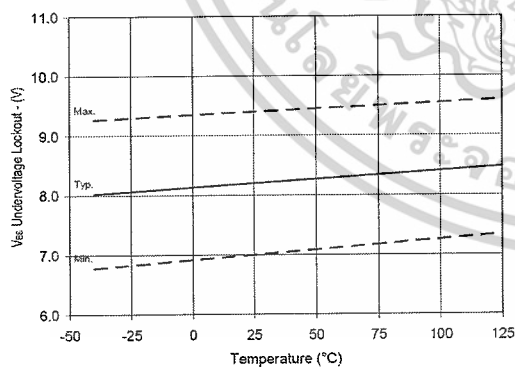


Figure 23. VBS Undervoltage (-) vs. Temperature

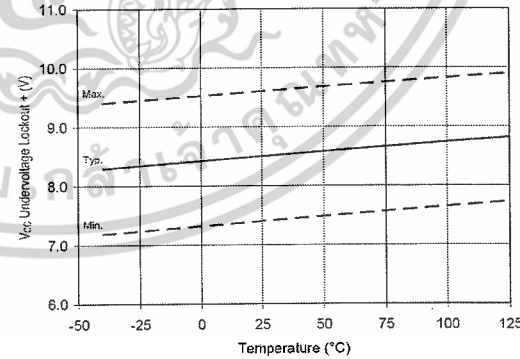


Figure 24. VCC Undervoltage (+) vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(s)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

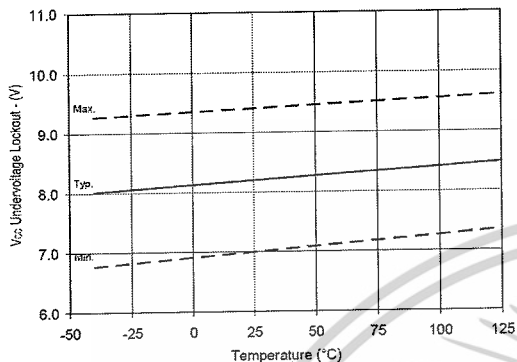


Figure 25. V_{CC} Undervoltage Lockout (-) vs. Temperature

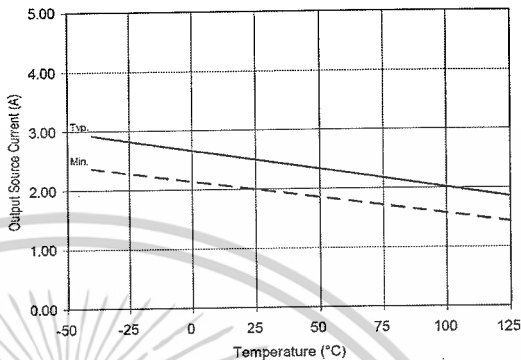


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

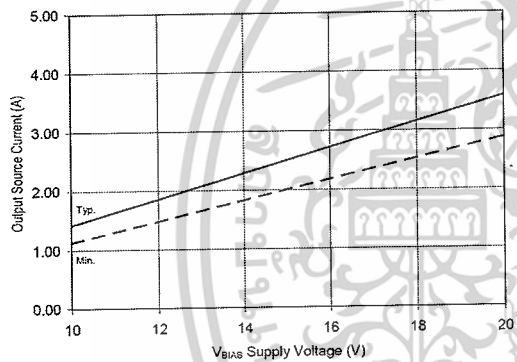


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

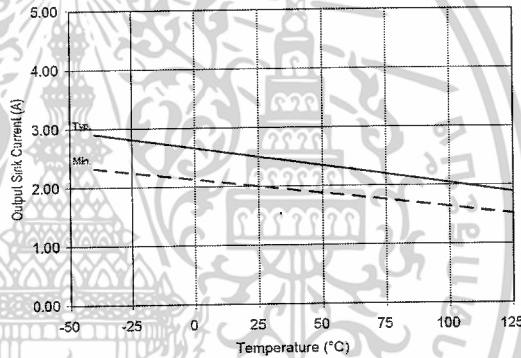


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

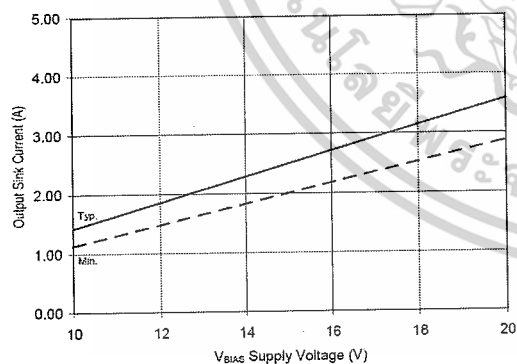


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

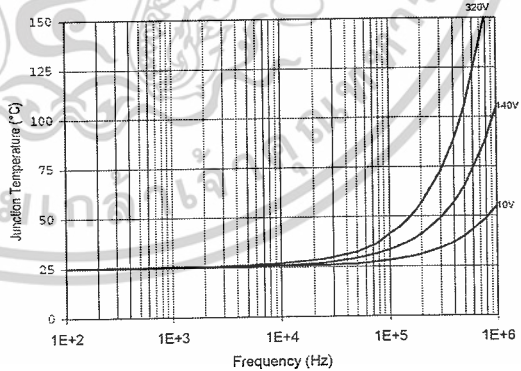


Figure 28. IR2110/IR2113 T_j vs. Frequency
(IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

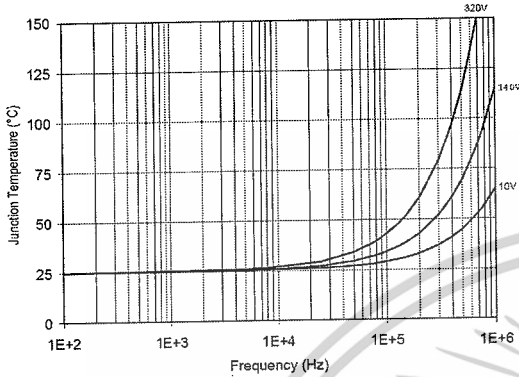


Figure 29. IR2110/IT2113 T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

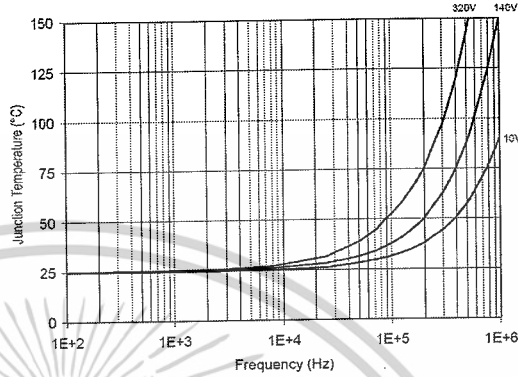


Figure 30. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

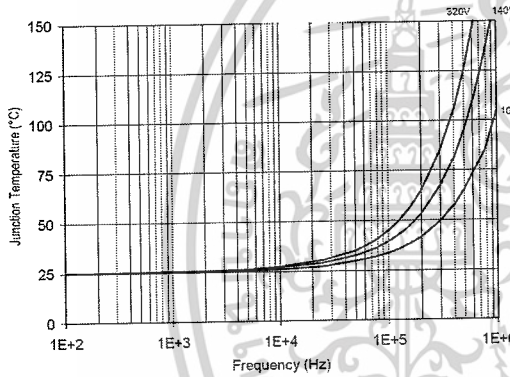


Figure 31. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFPE50) R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

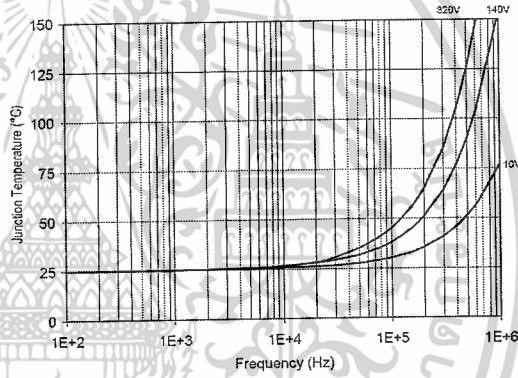


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

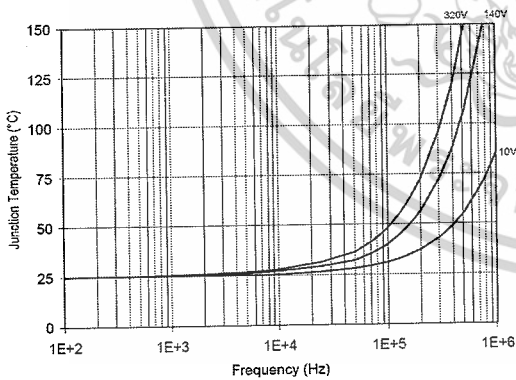


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

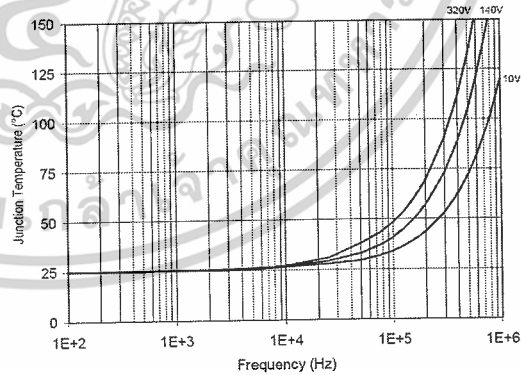


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

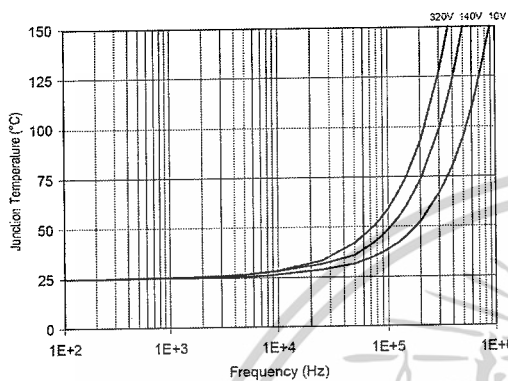


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFPE50)
 $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

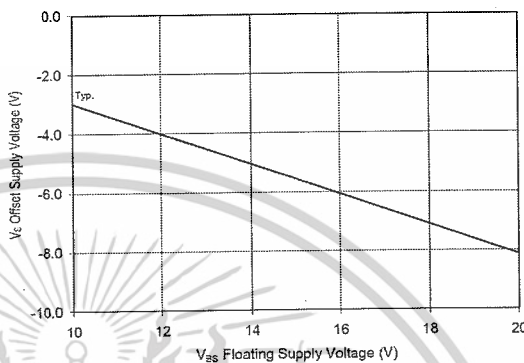


Figure 36. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{BS} Supply Voltage

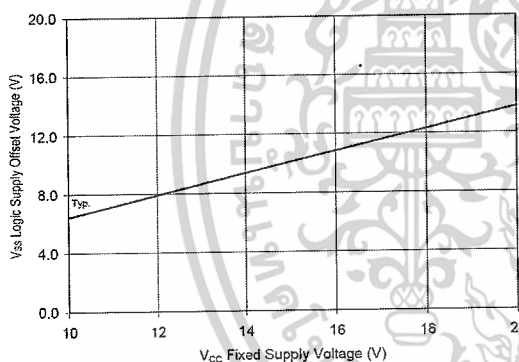
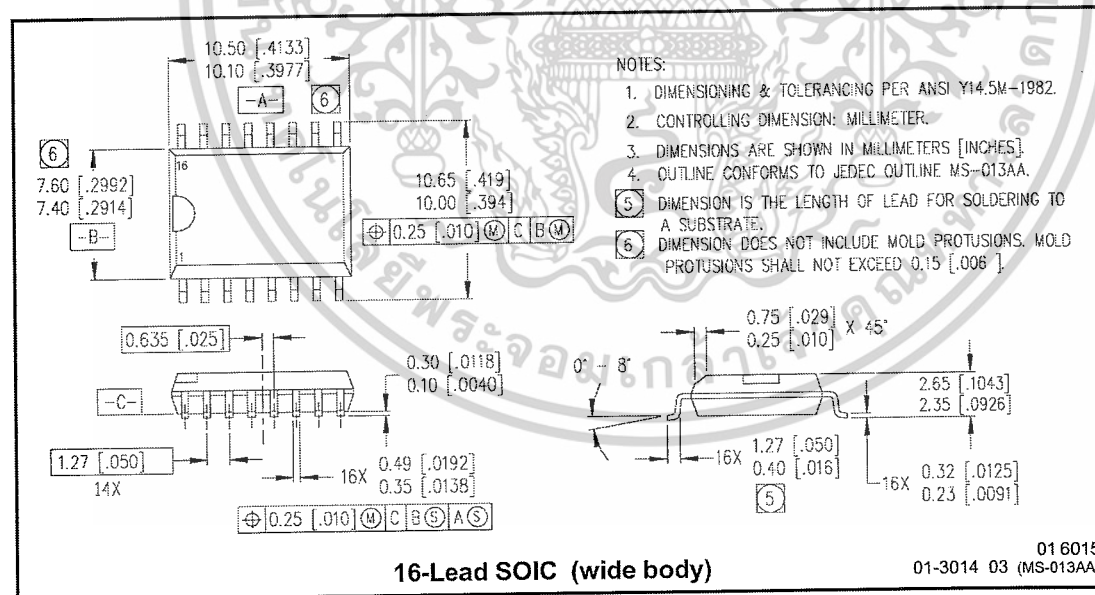
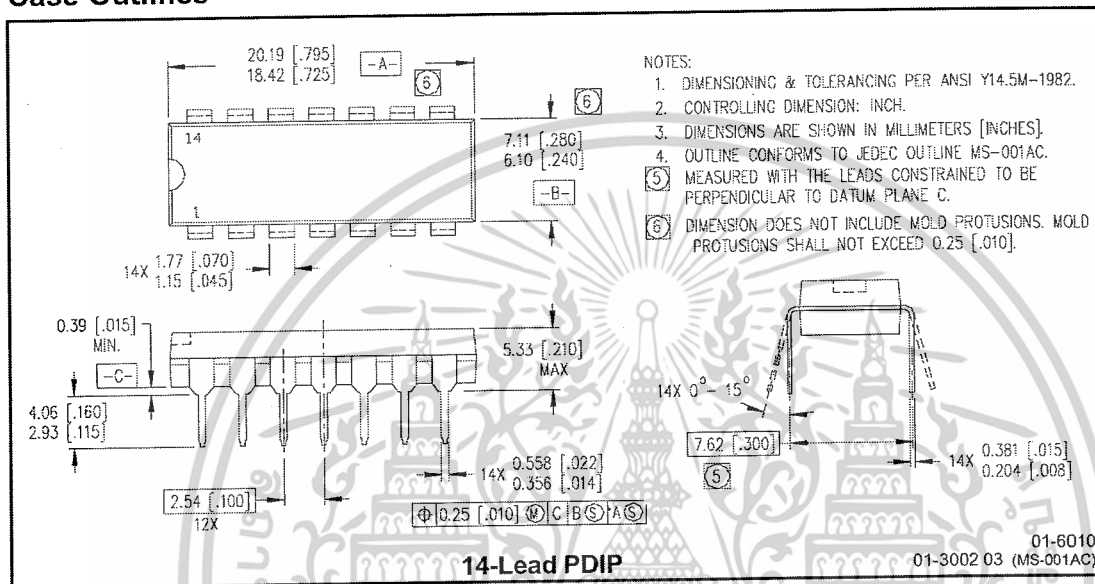


Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

Case Outlines

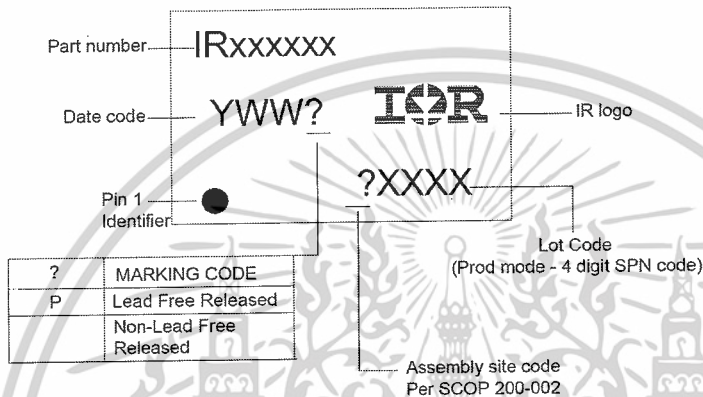


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

LEADFREE PART MARKING INFORMATION



ORDER INFORMATION

Basic Part (Non-Lead Free)

14-Lead PDIP IR2110 order IR2110
 14-Lead PDIP IR2113 order IR2113
 16-Lead SOIC IR2110S order IR2110S
 16-Lead SOIC IR2113S order IR2113S

Leadfree Part

14-Lead PDIP IR2110 order IR2110PbF
 14-Lead PDIP IR2113 order IR2113PbF
 16-Lead SOIC IR2110S order IR2110SPbF
 16-Lead SOIC IR2113S order IR2113SPbF

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245 Tel: (310) 252-7105
 This product has been qualified per industrial level
 Data and specifications subject to change without notice. 4/2/2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล

นายบรรจง ทองเหลือ

วัน เดือน ปีเกิด

26 สิงหาคม พ.ศ.2522

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 017 หมู่ที่ 1 ตำบลเลื่องข้าว อำเภอศรีรัตนะ
จังหวัดศรีสะเกษ 33240

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านเลื่องข้าว จังหวัดศรีสะเกษ

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนบ้านเลื่องข้าว จังหวัดศรีสะเกษ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

โง่ไม่เป็น เป็นใหญ่ลำบาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล

นายสาธิต เจียรชัย

วัน เดือน ปีเกิด

6 มีนาคม 2524

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 247 หมู่ที่ 3 ซอยประชาสงเคราะห์ 24
เขตดินแดง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 92130

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนสตรีพร้อมพรรณวิทยา

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนพร้อมพรรณวิทยา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

โรงเรียนกองทัพปกอูปถัมภ์ ช่างกล

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล

นายสุคนธ์ ก้าธร

วัน เดือน ปีเกิด

3 กรกฎาคม พ.ศ.2525

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 111 หมู่ที่ 3 ตำบลเขาปูน อำเภอห้วยยอด
จังหวัดตรัง 92130

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านไพรงาม จังหวัดตรัง

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนห้วยยอด จังหวัดตรัง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคตรัง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคตรัง

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ศึกษาก่อนพูด

คติพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล

นายทวีศักดิ์ ชูคง

วัน เดือน ปีเกิด

3 สิงหาคม พ.ศ.2525

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 43 หมู่ที่ 7 ตำบลป่าพะยอม อำเภอป่าพะยอม
จังหวัดพัทลุง 93110

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านไสกุน จังหวัดพัทลุง

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนป่าพะยอมพิทยาคม จังหวัดพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

ทำดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้