

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า

DC ELECTRIC VEHICLE PULL SHOPPING CART



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2/ท.

2/2545

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....49.8.8.4

วัน,เดือน,ปี.....2..12..ย..2547

Box with labels .b..... and .i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า
DC ELECTRIC VEHICLE PULL SHOPPING CART

โดย

นาย ประดิษฐ์ มีเกิด

นาย พิเชษฐ ทองแก้ว

นาย สุธี ปรีชาเขียว

นาย เอกชัย เหมหอมวงษ์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า

DC ELECTRIC VEHICLE PULL SHOPPING CART

ผู้จัดทำ

1. นาย ประดิษฐ์ มีเกิด รหัสประจำตัว 43015123
2. นาย พิเชษฐ ทองแก้ว รหัสประจำตัว 43015128
3. นาย สุธี ปรีชาเขียว รหัสประจำตัว 43015187
4. นาย เอกชัย เหมหอมวงษ์ รหัสประจำตัว 43015197



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ประภาพร ไพรสุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟฟ้าสำหรับลากจูงรถจักรยานยนต์

นายประดิษฐ มีเกิด 43015123
 นายพิเชษฐ ทองแก้ว 43015128
 นายสุธี ปรีชาเจี้ยว 43015187
 นายเอกชัย เหมหอมวงษ์ 43015197
 รศ.ประภาส ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กชนิด 3 ล้อ ใช้งานสำหรับลากจูงจักรยานยนต์ เพื่อลดภาระการทำงานของพนักงานซึ่ง สามารถรับภาระงานได้ครั้งละ 20 คัน โดยใช้คนควบคุมเพียง 1 คน การทำงานจะใช้ DC Series Motor ขนาดพิกัด 700 วัตต์ 70 โวลต์ 13 แอมป์ 2 ตัว เป็นตัวขับเคลื่อนการเดินหน้า-ถอยหลัง โดยใช้ 2 ล้อหลังเป็นตัวขับเคลื่อนและมี 1 ล้อหน้าต่อกับคันบังคับเป็นตัวควบคุมทิศทาง, ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้คือได้เรียนรู้และเข้าใจหลักการการทำงานของอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และสามารถนำความรู้ที่ได้จากโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRIC VEHICLE PULL SHOPPING CART

Mr. Pradit Meekerd 43015123

Mr. Pichet Thongkaew 43015128

Mr. Sutee Preechachaiw 43015187

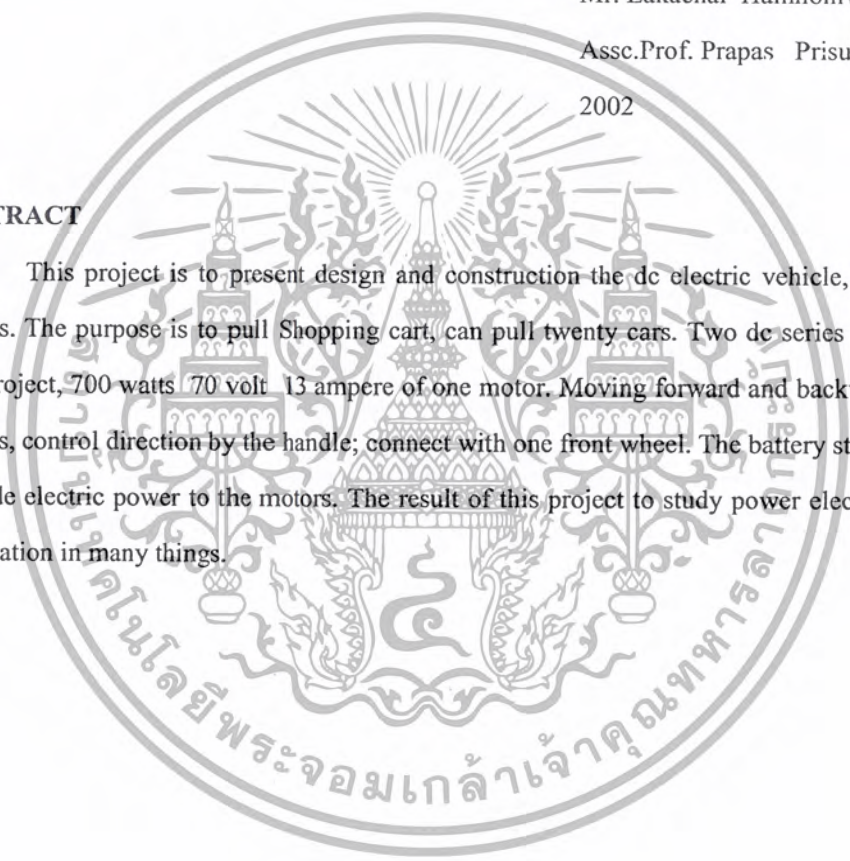
Mr. Eakachai Hamhomvong 43015197

Assc.Prof. Prapas Prisuwanna Advisor

2002

ABSTRACT

This project is to present design and construction the dc electric vehicle, small type, three wheels. The purpose is to pull Shopping cart, can pull twenty cars. Two dc series motors is used in this project, 700 watts 70 volt 13 ampere of one motor. Moving forward and backward by two back wheels, control direction by the handle; connect with one front wheel. The battery stores the energy to provide electric power to the motors. The result of this project to study power electronics and could application in many things.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ กับกำลังแรงใจ แรงกาย และโอกาสที่ได้รับ เป็นความสำเร็จที่ลุล่วงมาได้ ซึ่งทั้งหมดมาจากผู้มีพระคุณที่ขอเอ่ยนามดังต่อไปนี้

บิดา มารดา ผู้เป็นทุกสิ่งทุกอย่าง อบรมคุณ กำลังใจที่ยิ่งใหญ่ มอบโอกาสให้ในวันนี้

รศ.ประภาส ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านคำปรึกษา เงินทุน และอุปกรณ์ ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการ

อ.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้ความช่วยเหลือและดูแลในการเริ่มต้นทำโครงการให้ เป็นไปด้วยดี

ผศ.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ผู้ให้คำแนะนำด้านโครงสร้าง และระบบ ขับเคลื่อน

นายบุญมี นิมนวล พี่แก้ว ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านพาหนะในการขนอุปกรณ์ประกอบ โครงการ

นายนครศักดิ์ แสงศรี พี่ตัวเล็ก ผู้อำนวยการความสะดวกในการขี้อุปกรณ์ตลอดเวลา

พี่มิลล์ พี่ติ พี่ต๋อ พี่ต๋อง พี่โก้ และพี่ๆปริญญานิพนธ์ทุกคนที่ไม่ได้เอ่ยนาม ผู้ให้คำปรึกษาด้านวงจร มอเตอร์ และอื่นๆอีกมากมาย

ห้างเทสโก โลตัส สาขาเมืงบุรี ผู้ให้ยืมรถจับจ่ายสินค้า (Shopping cart) ใช้ประกอบการทำโครงการ เพื่อนๆวิศวกรรมไฟฟ้า รุ่น 12 เพื่อนผู้ร่วมรุ่น ร่วมปรึกษา แก้ปัญหา ช่วยเหลือ แบ่งปันอุปกรณ์ต่างๆ ห้องประชุมแดง ห้องที่รวมทุกสิ่งทุกอย่างในการดำเนินการทำโครงการ ห้องประชุมปรึกษา หารี้อ ห้องค้นคว้าข้อมูล ห้องนอน ห้องอาหาร และห้องบันเทิง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอีกครั้งสำหรับรายชื่อที่กล่าวมาแล้วถ้ามีรายชื่อท่านใดที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ต้องขออภัยเป็นอย่างสูง

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์	
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มอเตอร์ไฟที่กระแสตรง	3
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบร็อบเปอร์	8
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ไอจีบีที	17
2.4 แบตเตอรี่	22
บทที่ 3 หลักการที่นำมาใช้	
3.1 การขับนำเกตของ ไอจีบีที	32
3.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง	35
3.3 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน	39
บทที่ 4 วงจรที่ใช้ทั้งหมด	
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM Generator)	46
4.2 วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive)	50
4.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection)	52

4.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply)	53
4.5 วงจรเดินหน้า ถอยหลัง	54
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ และ คุณสมบัติต่างๆมอเตอร์	55
5.2 การทดสอบหาความเร็วขณะขับ โหลดในระดับต่างๆ	59
บทที่ 6 โครงสร้าง	
6.1 ลักษณะภายนอกของรถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า	61
6.2 ลักษณะภายในของรถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า	62
6.3 การใช้งาน	63
6.4 แบตเตอรี่ และการชาร์จแบตเตอรี่	64
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	66
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	4
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์	5
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์	6
รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด	7
รูปที่ 2.5 แสดงการนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.6 แรงดันที่เกิดจากการสวิตช์ในช่วงเวลา on และ off	8
รูปที่ 2.7 วงจร Buck dc-dc converter	8
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลย์ขณะสวิตช์ on	9
รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลย์ขณะสวิตช์ off	9
รูปที่ 2.10 หลักการของวงจร buck converter	10
รูปที่ 2.11 การสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ต่างกัน	10
รูปที่ 2.12 การทำงานแบบ Pulse width control	12
รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมดการนำกระแสต่อเนื่อง	13
รูปที่ 2.14 กระแสในตัวเหนี่ยวนำที่ช่วงรอยต่อของโหมดการนำกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง จะได้ว่า กระแสเฉลี่ยใน L	14
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง I_{LB} ในฟังก์ชันของ D	15
รูปที่ 2.16 รีปเปิ้ลในแรงดันเอาต์พุตของวงจร Step-down converter	16
รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ไอจีบีทีในลักษณะของไปโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต	17
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของไอจีบีทีชนิดอื่นเช่นแนตเป็นภาพตัดขวาง	18
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนของ ไอจีบีที	18
รูปที่ 2.20 กราฟลักษณะคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของ ไอจีบีที	19
รูปที่ 2.21 ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลในขณะนำกระแส	20
รูปที่ 2.22 การป้องกันแรงดันสไปค์คร่อม เกต-ซอร์สโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดคร่อมเกต - ซอร์ส	21
รูปที่ 2.23 การป้องกันแรงดันสไปค์คร่อม เกต-ซอร์สโดยใช้ฟิวส์ไดโอด	22

รูปที่ 2.24 ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี	24
รูปที่ 2.25 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่	25
รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่	27
รูปที่ 2.27 ค่าแรงดัน และกระแสของเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่	28
รูปที่ 2.28 กราฟผลกระแสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีร่วม	29
รูปที่ 3.1 บล็อกไดโอดแกรมของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าอย่างคร่าวๆ	32
รูปที่ 3.2 บล็อกไดโอดแกรมแสดงการทำงานของระบบต่างๆ ทั้งหมดในโครงการนี้	32
รูปที่ 3.3 วงจรพื้นฐานที่ใช้ไอซีทำหน้าที่ขับนำเกต	33
รูปที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพและบล็อกไดโอดแกรมของ TLP 250	34
รูปที่ 3.5 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	38
รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	39
รูปที่ 3.7 วงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน	40
รูปที่ 3.8 วงจรขยายไม่กลับเฟส	41
รูปที่ 3.9 วงจรคัมแรงดัน	42
รูปที่ 4.1 รายละเอียดวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	47
รูปที่ 4.2 ผลของรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้	47
รูปที่ 4.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณสามเหลี่ยม	48
รูปที่ 4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม (PWM Generator)	48
รูปที่ 4.5 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ที่ duty cycle ขนาดต่างๆ	49
รูปที่ 4.6 วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive)	50
รูปที่ 4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ที่ duty cycle ต่างๆ	51
รูปที่ 4.8 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection)	52
รูปที่ 4.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ชิ่ง	53
รูปที่ 4.10 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	54

รูปที่ 4.11 การกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	54
รูปที่ 5.1 การหาค่าความต้านทานของขดลวด โดยวิธี Volt-Amp Method	55
รูปที่ 5.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์	56
รูปที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ตัวที่ 1	58
รูปที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ตัวที่ 2	59
รูปที่ 6.1 ลักษณะภายนอกที่จัดทำขึ้น	61
รูปที่ 6.2 ชุดควบคุม	62
รูปที่ 6.3 ลักษณะมอเตอร์และเกียร์ทดที่ใช้	62
รูปที่ 6.4 แสดงการวางตำแหน่งและการต่อเบตเตอร์	62
รูปที่ 6.5 ลักษณะส่วนควบคุม	63
รูปที่ 6.6 แสดงการใช้งาน	64
รูปที่ 6.7 ลักษณะเบตเตอร์และการชาร์จ	64



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบลิเนียร์กับแบบสวิตซ์ซิ่ง	36
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวด	56
ตารางที่ 5.2 การทดสอบหาคูณสมบัติของมอเตอร์ (ตัวที่ 1)	57
ตารางที่ 5.3 การทดสอบหาคูณสมบัติของมอเตอร์ (ตัวที่ 2)	58
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบหาความเร็วขณะขับโหลดในระดับต่างๆ	60
ตารางที่ 6.1 แสดงคุณลักษณะของรถไฟฟ้าสำหรับรถจักรยานยนต์	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของแนวความคิด

ในอดีตที่ผ่านมาการลากหรือเข็นสิ่งของ มีความจำเป็นต้องใช้แรงงานคนหรือกำลังของสัตว์เป็นจำนวนมาก แต่ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันจึงได้มีการนำเครื่องจักรต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงในการลากหรือเข็นสิ่งของนั้นๆ เครื่องจักรต่างๆที่นำมาใช้ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ในห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ มีการจัดเก็บรถ Shopping cart (รถจับจ่ายสินค้า) โดยใช้พนักงานเป็นจำนวนมากในการจัดเก็บ ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในส่วนนี้จึงได้มีการนำ เชาว์รถไฟฟ้าสำหรับลากสิ่งของจากต่างประเทศมาใช้ในการจัดเก็บรถ Shopping cart แต่ราคาของรถไฟฟ้าเหล่านี้มีราคาแพงมากทำให้ต้นทุนในการผลิตยังสูงอยู่

เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนการผลิตและลดการขาดดุลการค้าของประเทศ โครงการนี้จึงนำเสนอ “รถไฟฟ้าต้นแบบสำหรับจัดเก็บรถ Shopping cart” โดยได้มีการออกแบบโครงสร้างของรถให้มีลักษณะกะทัดรัด นำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถและอาศัยการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับมอเตอร์ผ่านชุดควบคุม ชุดป้องกันกระแสเกิน ชุดควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่และระบบเดินหน้าถอยหลังของรถ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ รถไฟฟ้าต้นแบบนี้สามารถควบคุมได้ง่าย สะดวกในการขับเคลื่อนและจัดเก็บรถ Shopping cart ซึ่งเป็นการลดจำนวนแรงงานในการทำงานให้น้อยลงรวมถึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำเข้ารถไฟฟ้าชนิดนี้จากต่างประเทศ ทั้งนี้ยังเป็นการประหยัดพลังงานในการทำงานอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของเครื่องประจุแบตเตอรี่
- 1.2.3 เพื่อนำพลังงานสะอาดมาใช้แทนพลังงานน้ำมันที่มีราคาแพงและมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ
- 1.2.4 เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สามารถออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าโดยใช้ DC Series motor พิกัดกำลัง 700 วัตต์ 70 โวลต์ 13 แอมแปร์ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน โครงสร้างรถมี 3 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อหลัง และควบคุมด้วยรีเลย์ 2 ตัว ขวาคว้าง 1 ล้อหน้า สำหรับลากจูงรถ Shopping cart ได้ 20 คัน

1.3.2 สามารถประจุแบตเตอรี่ให้สามารถควบคุมการประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 Volt 18 Ah จำนวน 12 ลูกได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญาโท

1.4.1 ได้เรียนรู้และเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

1.4.2 แนวความคิดในการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงต่างๆ

1.4.3 แนวความคิดในการใช้วัสดุที่หาได้ในประเทศ มาทำการออกแบบ และจัดสร้างเป็นรถไฟฟ้า สำหรับลากจูงจ่ายสินค้า เพื่อลดการนำเข้าในต้นทุนที่สูง

ซึ่งรายละเอียดเนื้อหาต่างๆ ของปริญญาโทฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็น ในการทำโครงการนี้ เช่น ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, ทฤษฎีเบื้องต้นของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบซีโอบเปอร์, ทฤษฎีเกี่ยวกับไอจีบีที, แบตเตอรี่ และการประจุแบตเตอรี่

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการที่นำมาใช้ การขับนำเกตของไอจีบีที, แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง และวงจรอปแอมป์พื้นฐาน

บทที่ 4 กล่าวถึงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในโครงการนี้ ดังนี้ ส่วนของวงจรควบคุม, วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive), วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection), วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply) และ วงจรเดินหน้า ถอยหลัง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองในส่วนของมอเตอร์ และในส่วนของการขับโหลดใช้งาน

บทที่ 6 กล่าวถึง โครงสร้าง การออกแบบ และการใช้งานรถไฟฟ้าสำหรับลากจูงจ่ายสินค้า

บทที่ 7 กล่าวถึงการสรุป วิเคราะห์การทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ใช้ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์กำลังและมอเตอร์จะขับเคลื่อนวงล้อในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปเราอาจจะเข้าใจว่า มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแม่เหล็กเพื่อผลิตพลังงานเชิงกล หลักการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยากับสนามแม่เหล็กสองสนาม หลักการที่ง่ายสามารถสรุปได้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานด้วยหลักการที่ว่าสนามแม่เหล็กสองสนามจะมีอันตรกิริยาเพื่อทำให้เกิดความเคลื่อนที่ จุดประสงค์ หลักการใช้มอเตอร์ คือ การผลิตแรงของการหมุน (ค่าทอลค์) ในปกติในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะอุปกรณ์ทั้งหลายออกแบบไว้สำหรับการใช้มอเตอร์กระแสสลับ แต่ในโครงการนี้ได้สังเกตเห็นคุณสมบัติเด่นของมอเตอร์กระแสตรงและการใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนพลังงานน้ำมัน จึงเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในโครงการนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง เพราะตำแหน่งที่มุมระหว่างสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก กับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมเท่ากับ 90 องศาทางไฟฟ้าซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปจะไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนี้ได้

ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะมีซี่คอมมิวเตเตอร์ (commutator) กับแปรงถ่าน (carbon brush) ทำหน้าจัดเรียงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักรจึงเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแต่เมื่อศักดาที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาที่เกิดขึ้นภายในจะทำให้กระแสไหลจากภายนอกเข้าตัวเครื่องจักรซึ่งซี่คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันก็จะมีกระแสไหลในทิศทางตรงกันข้ามก็จะทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งสามารถเป็นได้ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงมากจึงเหมาะกับงานยกของหรืองานประเภทขับเคลื่อน
2. ควบคุมง่ายกว่าและนุ่มนวลกว่ามอเตอร์กระแสสลับที่ทำงานแบบเดียวกัน
3. ช่วงความเร็วที่ควบคุมได้กว้าง สามารถเพิ่มความเร็วให้สูงหรือต่ำกว่าปกติได้

ข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไว้ใช้งาน
2. มีวิธีการสารถที่ยุ่งยากกว่ามอเตอร์กระแสสลับในมอเตอร์ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าบำรุงรักษามากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากการสึกหรอของคอมมิวเตเตอร์ที่เกิดจากอาร์ค การขัดสีกับแปรงถ่าน
4. มีราคาแพงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน

2.1.1 สมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

สมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงไม่ว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฟฟ้า จะมีสมการหลักอยู่ 2 สมการ คือ

$$E_a = K_a \cdot \phi_p \cdot \omega \quad (2-1)$$

และ

$$T_e = K_a \cdot \phi_p \cdot I_a \quad (2-2)$$

เมื่อ

E_a คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

T_e คือ แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (N-m)

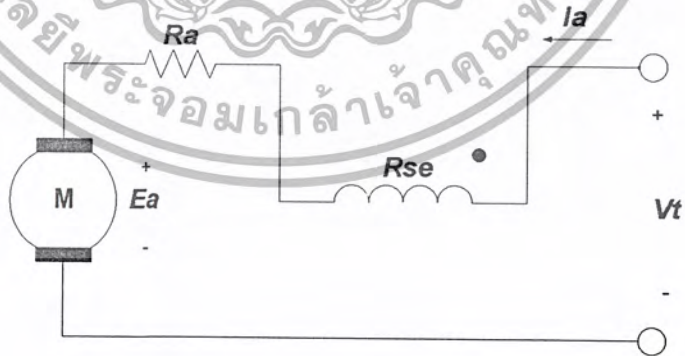
ϕ_p คือ เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)

ω คือ ความเร็วของอานเจอร์ (rad/sec)

I_a คือ กระแสไฟฟ้าของอานเจอร์ (A)

K_a คือ ค่าคงที่ของอานเจอร์

ถ้านำสมการที่ 2-1 และ 2-2 มาพิจารณากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ซึ่งมีวงจรสมมูลทางไฟฟ้าง่ายรูป กระแสไฟฟ้า I_a เป็นกระแสไฟฟ้าตัวเดียวกันที่นำไปสร้างสนามแม่เหล็กและพิจารณาในช่วงที่แกนเหล็กยังไม่อิ่มตัว (saturated) ดังนั้น



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

V_t คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V)

R_a คือ ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Ω)

R_{sc} คือ ค่าความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็ก (Ω)

$$E_a = K_a \cdot K I_a \cdot \omega = K_m \cdot I_a \cdot \omega \quad (2-3)$$

$$T_c = K_a \cdot K I_a \cdot I_a = K_m \cdot I_a^2 \quad (2-4)$$

สมการที่ 2-4 แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดขณะสตาร์ท (starting torque) ที่สูง ซึ่งแปรตามกระแสอาร์เมเจอร์ยกกำลังสอง

2.1.2 คุณสมบัติของ DC Series Motor (Characteristics Of Series Motor)

1. คุณสมบัติของแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์ (T/I_a characteristics)

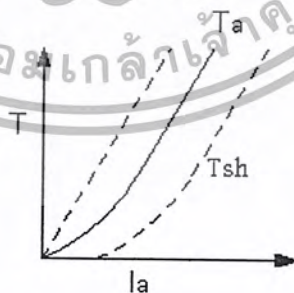
เนื่องจากอาร์เมเจอร์และขดลวดซีรีส์ฟิลด์ของซีรีส์มอเตอร์ต่ออนุกรมกันดังนั้นกระแสอาร์เมเจอร์ I_a จึงเป็นกระแสกระตุ้นของขดลวดซีรีส์ฟิลด์จากสมการของแรงบิด คือ

$$T \propto \omega I_a \text{ แต่ } \omega \propto I_a \text{ (ก่อนที่แกนเหล็กจะถึงจุดอิ่มตัว)}$$

เพราะฉะนั้น $T \propto I_a^2$ หลังจากแกนเหล็กเริ่มอิ่มตัวจะได้

$$T \propto I_a \text{ (เพราะว่า } \omega \text{ เริ่มคงที่)}$$

ขณะที่มอเตอร์มีโหลดน้อยทั้งกระแส I_a และ ω จะมีค่าน้อยด้วย แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นกระแสอาร์เมเจอร์จะเพิ่มขึ้น แรงบิดของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของกระแส ($T \propto I_a^2$) จะได้เส้นกราฟดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแกนเหล็กถึงจุดอิ่มตัวแรงบิดของมอเตอร์ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ กระแสอาร์เมเจอร์ ($T \propto I_a$) ดังนั้นจึงได้เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ส่วนแรงบิดที่ปลายเพลลา (T_{sh})จะมีค่าน้อยกว่า แรงบิดของอาร์เมเจอร์ (T)เนื่องจากการสูญเสียในแกนเหล็ก ความฝืดและแรงต้านลม (stray loss)

2.คุณลักษณะของความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์ (N/Ia characteristic)
จากสมการของความเร็ว

$$N \propto Eb/\phi \text{ หรือ } N \propto (V - I_a(R_a + R_{se})) \tag{2-5}$$

เนื่องจากความต้านทานของอาร์เมเจอร์และขดลวดซีรีฟิลด์มีค่าน้อยมากดังนั้นจึงถือได้ว่า $I_a(R_a + R_{se})$ มีค่าน้อยมากจึงอาจตัดทิ้งได้ถ้าไม่คำนึงถึงค่าของ $I_a(R_a + R_{se})$

จะได้สมการของความเร็ว $N \propto V/\phi$ เมื่อแรงดันป้อนมีค่าคงที่จะได้ความเร็วรอบของซีรีสมอเตอร์ $N \propto 1/\phi$ ถ้าพิจารณาในช่วงที่แกนเหล็กยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว จะได้ $\phi \propto I_a$ ดังนั้นจะได้ความเร็วรอบของซีรีสมอเตอร์เป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์เมเจอร์ดังสมการ $N \propto 1/I_a$ จะได้เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 2.3

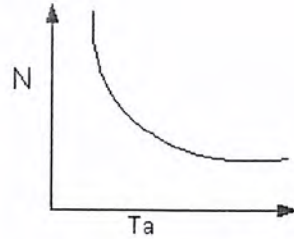


รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์

3. คุณลักษณะทางกลหรือความเร็วกับแรงบิด (mechanical or N/T characteristic)

การพิจารณาความสัมพันธ์ในกรณีนี้จะอาศัยคุณสมบัติจากข้อ 1 และ 2 ที่ผ่านมาจะได้เส้นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วน ผกผันกับความเร็วรอบกล่าวคือแรงบิดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อความเร็วรอบน้อยที่สุด ดังนั้นขณะที่ซีรีสมอเตอร์ หมุนขั้วโหลดหนักๆความเร็วรอบจะลดลงทำให้ทั้งกระแสอาร์เมเจอร์ I_a และ ϕ จะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงบิด เพิ่มขึ้นอย่างมาก (เพราะว่า $T \propto \phi I_a$)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับโหลดหนักๆที่ต้องใช้แรงบิดเริ่มหมุนสูงมาก เช่น กว้าน (hoists) หัวรถจักร (locomotives) รถไฟฟ้า (electric train)

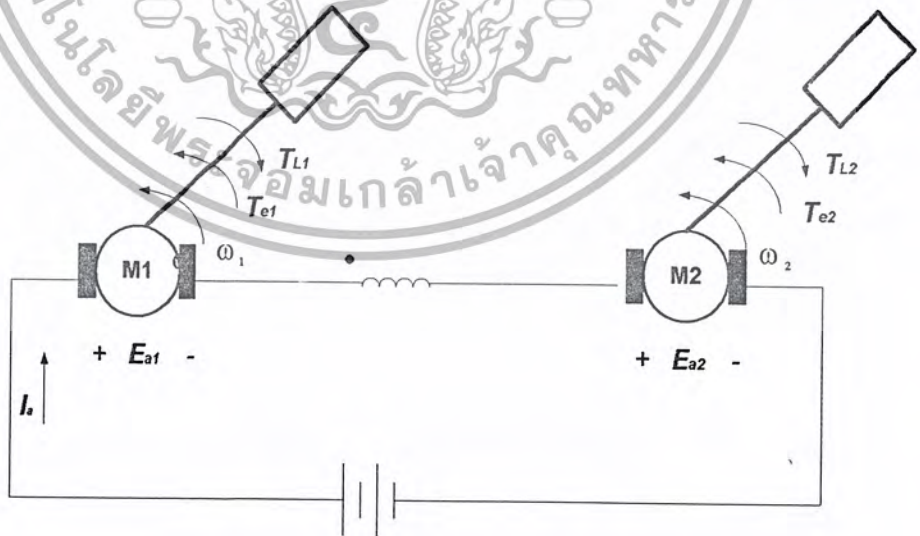


รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด

2.1.3 ผลของการนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า

โดยจุดสำคัญของการขับเคลื่อน คือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม มาต่ออนุกรมทางไฟฟ้า เพื่อที่จะใช้แทนชุดคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ (differential gear) แต่มีจุดด้อยของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบอนุกรม นั้น คือ มีเรกิวเลชันของความเร็ว (speed regulations) ไม่ดี นั่นคือ ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อภาระเปลี่ยนไป

ในโครงงานนี้จะใช้มอเตอร์ 2 ตัวแยกขับเคลื่อนล้อซ้ายล้อขวา ซึ่งทำหน้าที่แทนชุดคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ จากรูป ถ้าสมมุติให้มอเตอร์ M1 ขับล้อซ้ายและมอเตอร์ M2 ขับล้อขวา ถ้าล้อซ้ายของมอเตอร์ M1 จะรับภาระเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็ว ω_1 ลดลงและ E_{a1} ลดลงด้วย ดังนั้น E_{a2} ของมอเตอร์ M2 จะเพิ่มขึ้น มีผลให้ความเร็ว ω_2 เพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือ ขณะเดียวกันล้อซ้ายและล้อขวามันไม่เท่ากัน ทำให้เวลาที่ล้อซ้ายรถจึงไม่ปิด แต่เวลาวิ่งทางตรง ความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้ถ้าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของมอเตอร์ทั้งสองต้องมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.5 แสดงการนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

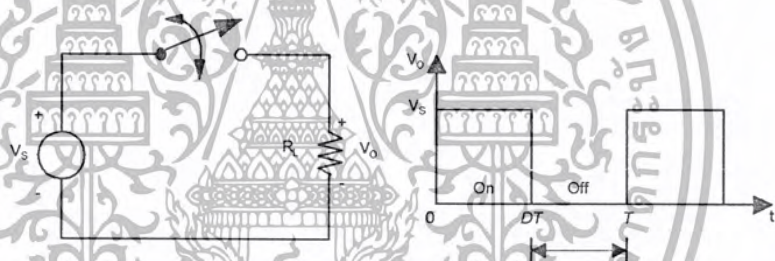
$$\text{จาก} \quad \omega = \frac{V_t - I_a (R_a + R_{se})}{K_s \cdot \phi_p} \quad (2-6)$$

พิจารณาจากสมการที่ สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้หลายวิธี แต่ที่ใช้ในโครงการนี้ คือ การควบคุมความเร็วโดยปรับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า V_t นั่นคือ $\omega \propto V_t$ การปรับ V_t นั้นจะใช้วงจรบัคคอนเวอเตอร์ ซึ่งแรงดันที่คร่อมมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าคิวตี้ไซเคิล (duty cycle ; D)

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบช็อบเปอร์

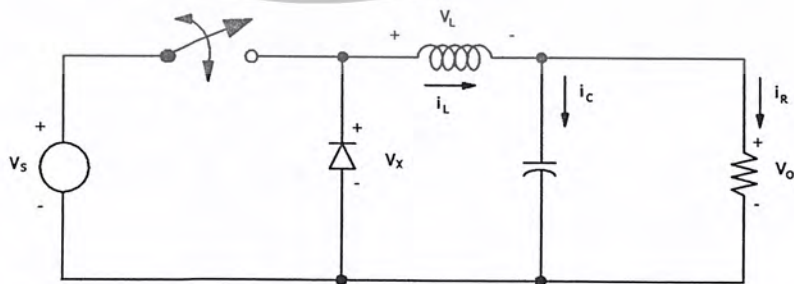
2.2.1 วงจรลดระดับแรงดัน (Buck Converter)

เป็นวงจรที่ใช้ลดระดับแรงดันไฟตรง โดยอาศัยหลักการของการเปิดและปิดสวิตซ์ทำให้ได้ระดับแรงดันดังรูปที่ 2.6 โดยจะมีข้อกำหนดคือค่า Duty = $T_{on} / (T_{on} + T_{off}) = T_{on} / T$ จึงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ซึ่งค่านี้จะใช้เป็นตัวกำหนดระดับแรงดัน output ที่ต้องการ



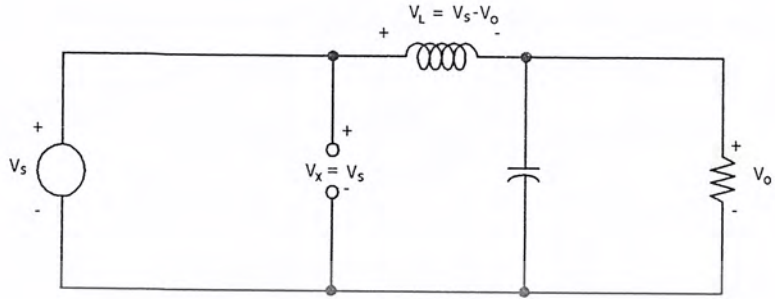
รูปที่ 2.6 แรงดันที่เกิดจากการสวิตซ์ในช่วงเวลา on และ off

จากหลักการของการสวิตซ์เราสามารถที่จะทำให้กระแสต่อเนื่องได้โดยการใช้ Inductor เป็นตัวเชื่อมต่อพลังงาน และ ใช้ไดโอดเป็นทางผ่านของกระแสขณะสวิตซ์ off ทำให้เราได้วงจรการลดระดับแรงดันดังรูปที่ 2.7

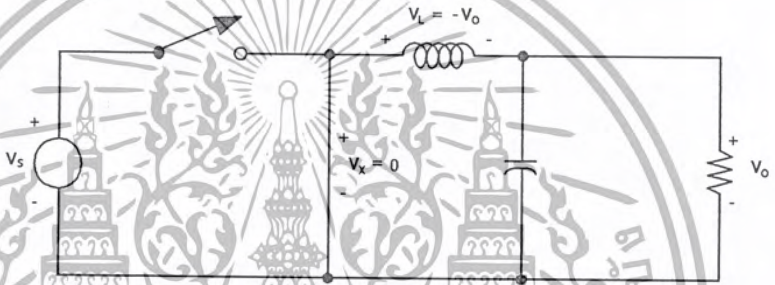


รูปที่ 2.7 วงจร Buck dc-dc converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลขณะสวิตช์ on



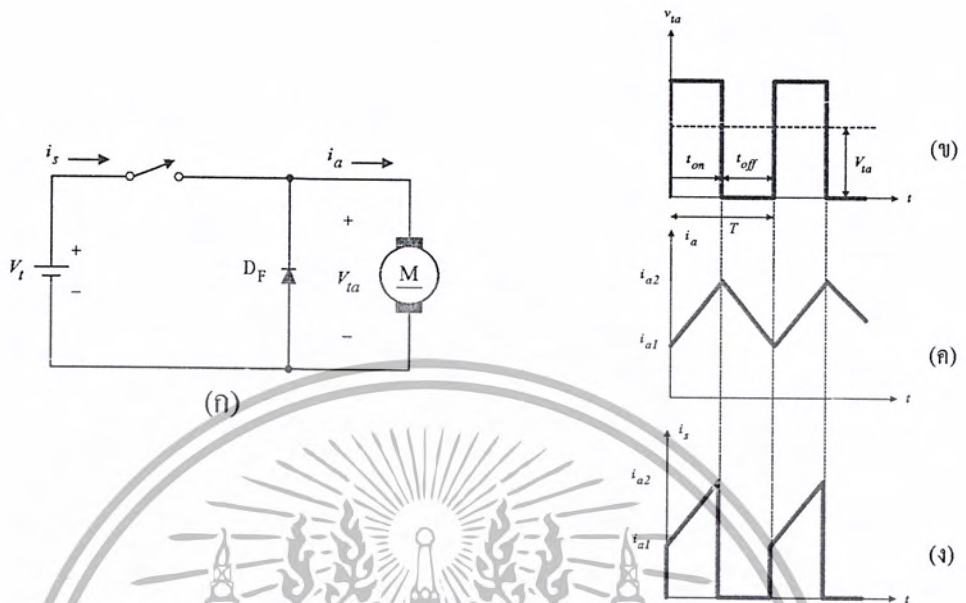
รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลขณะสวิตช์ off

ในรูปที่ 2.10 สวิตช์จะถูกควบคุมให้ตัดและต่อแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงๆ ทำให้ได้แรงดันเฉลี่ยที่คร่อมมอเตอร์ (V_{ta}) เปลี่ยนแปลงตามต้องการซึ่งขนาดของแรงดัน V_{ta} ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา on (turn on time; t_{on}) และช่วงเวลา off (turn off time; t_{off}) วิธีการหนึ่งที่จะควบคุมแรงดัน V_{ta} ที่มีความถี่ในการสวิตช์คงที่และเปลี่ยนแปลงช่วงเวลา off วิธีการนี้เรียกว่า “พัลส์วิด-มอดูเลชัน” ดังนั้นค่าเฉลี่ย V_{ta} จะสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{ta} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} v_{ta} dt = \frac{t_{on}}{T} V_t \tag{2-7}$$

แรงดันเฉลี่ย V_{ta} สามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 0 ถึง V_t โดยการควบคุมความถี่ไซเคิล ($D = t_{on}/T$) วิธีการสร้างสัญญาณ PWM เบื้องต้นเพื่อที่จะนำไปควบคุมการสวิตช์ แสดงดังรูปที่ 2.11 รายละเอียดต่างๆ ของทฤษฎีบัคคอนเวอร์เตอร์ และการสร้างสัญญาณ PWM จะขอกว่าในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 หลักการของวงจรขับเคลื่อนเวอร์เตอร์ ก.) วงจรขับเคลื่อนเวอร์เตอร์พื้นฐาน
 ข.) ถึง ง.) ลักษณะรูปคลื่นที่ได้



รูปที่ 2.11 การสร้างสัญญาณ PWM ที่ดิวิตีไอเกิ้ลต่างๆ ก.) บล็อกไดอะแกรม
 ข.) ดิวิตีไอเกิ้ล 10% ค.) ดิวิตีไอเกิ้ล 50% ง.) ดิวิตีไอเกิ้ล 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เทคนิคในการควบคุมแบบ Chopper มี 2 วิธี คือ

1.) Time Ratio Control (TRC)

วิธีนี้รู้จักในชื่อของ Pulse width modulation control ซึ่งเทคนิคการควบคุมแบบ TRC ยังแบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อยๆ คือ

ก. Constant frequency TRC : คาบการทำงาน T_s คงที่แต่จะปรับช่วง on ของ switch เพื่อควบคุม duty ratio D

ข. Variable frequency TRC : จะปรับ duty ratio D โดย

- ให้ t_{on} คงที่ ปรับ T_s
- ปรับทั้ง t_{on} และ T_s

ในการควบคุมแบบ Variable frequency โดยให้ t_{on} คงที่นั้นจะได้ output voltage คงที่ frequency การทำงานของ chopper ใน mode chopper ที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จึงไม่ดี นอกจากนั้นการทำงานของ chopper ใน mode variable frequency ยังทำให้ออกแบบ input filter ยากอีกด้วยเพราะฉะนั้น variable frequency control จึงไม่เป็นที่นิยม

2.) Current Limit Control (CLC)

วิธีนี้เรียกอีกอย่างว่า point by point control เราจะควบคุม duty ratio โดยควบคุม load current ให้อยู่ระหว่างค่า min กับ max ที่เรากำหนดเมื่อ load current ขึ้นไปถึงค่า max switch จะ off และ on อีกทีเมื่อ load current ลงมาสู่ค่า min

เทคนิคการควบคุมแบบ Constant frequency TRC

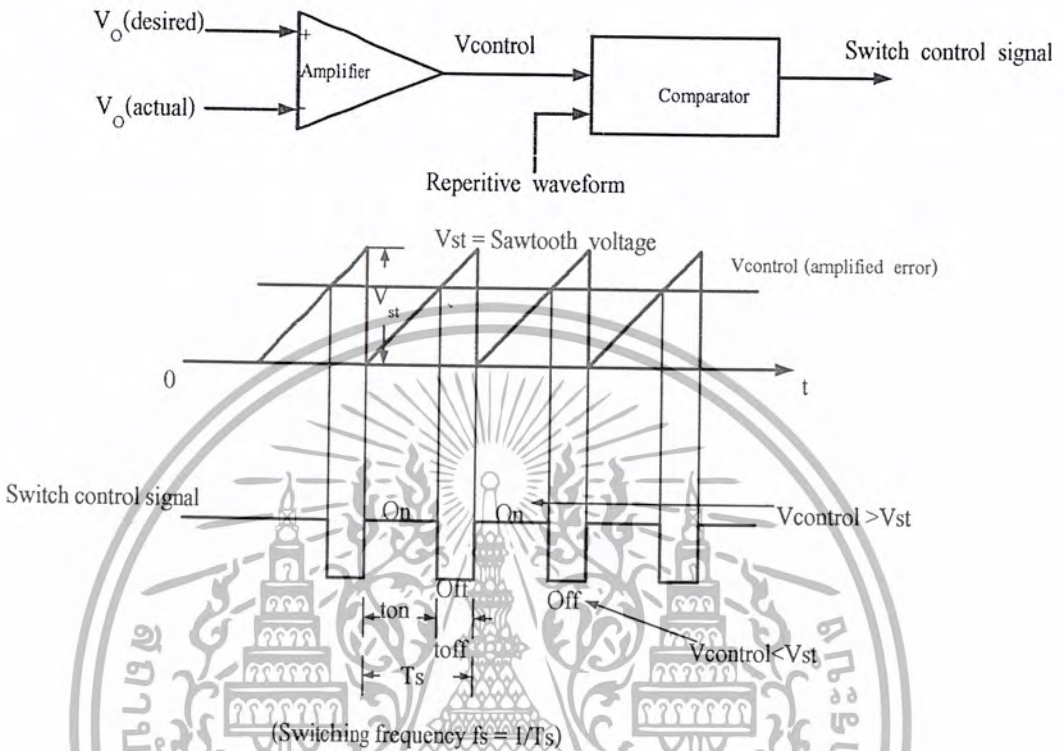
จากรูปที่ 2.12 ในการทำงานแบบ Pulse width control นั้นสัญญาณการควบคุม switch ซึ่งจะควบคุมการ on, off ได้จากการเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุม $V_{control}$ กับ waveform รูปฟันเลื่อยซึ่ง $V_{control}$ ได้จากการขยายค่าแตกต่างระหว่าง V_o (actual) กับ V_o ที่ต้องการ ความถี่ของคลื่นรูปฟันเลื่อยจะเป็นตัวกำหนดความถี่ของการ switching ซึ่งในการควบคุมแบบ Pulse width ความถี่การ switching จะคงที่ และมักมีค่าตั้งแต่ 1 KHz ถึง 100 KHz ความสัมพันธ์ในการทำงานคือ

- เมื่อ $V_{control} > V_{st}$: switch control signal จะ high ทำให้ switch on
- เมื่อ $V_{control} < V_{st}$: switch control signal จะ low ทำให้ switch off

ซึ่งเราจะได้ duty ratio ดังนี้

$$D = \left(\frac{t_{on}}{T_s} \right) = \left(\frac{V_{control}}{V_{ts}} \right) \quad (2-8)$$

โดยที่ V_{ts} = peak value ของคลื่นฟันเลื่อย



รูปที่ 2.12 การทำงานแบบ Pulse width control

ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าการปรับค่า t_{on}/T_s ก็สามารถควบคุม V_o ได้จากรูปที่ 2.7 เราต่อ diode เข้าไปเพื่อให้เป็นทางไหลของ load current ในช่วงที่ switch off และ load current ไหลเองจากพลังงานสะสมใน L ซึ่งเราเรียก diode นี้ว่า freewheel diode ส่วน L และ C นั้นเป็น low pass filter มีประโยชน์ คือ ขจัด ripple เนื่องจาก harmonic ลำดับสูงๆ ออก ซึ่ง V_{on} ซึ่งเป็นอินพุตของ low pass filter ค่า corner frequency (f_c) ของ filter จะต้องต่ำกว่า f_s มากๆ เพื่อที่จะกำจัด switch frequency ripple ใน output voltage

ในการวิเคราะห์ทาง steady state ถือว่าตัว C ใน low pass filter มีค่ามากพอที่จะทำให้ $V_o(t) = V_o$ และกระแสเฉลี่ยของ inductor จะเท่ากับ output current เฉลี่ย I_o โดยที่กระแส capacitor เฉลี่ยในช่วง steady state เป็นศูนย์

การวิเคราะห์ในโหมดการนำกระแสต่อเนื่อง

ในสภาวะอยู่ตัวค่าเฉลี่ยแรงดันที่ตกคร่อม L จะเท่ากับศูนย์ในหนึ่งคาบเวลา

จากรูปที่ 2.13 ก. จะได้ว่า พื้นที่ A + พื้นที่ B = 0

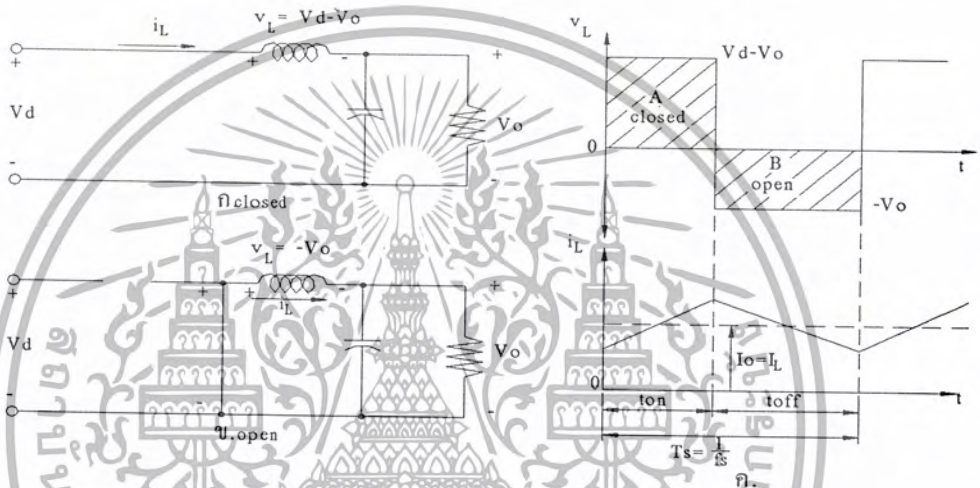
$$\int_0^{T_s} (v_L) dt = \int_0^{ton} (v_L) dt + \int_{ton}^{T_s} (v_L) dt = 0 \tag{2-9}$$

$$(Vd - Vo)DT = Vo(1 - D)T$$

$$Vo = DVd$$

หรือ (duty ratio)

$$\frac{Vo}{Vd} = D \tag{2-10}$$



รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมดการนำกระแสต่อเนื่อง

ดังนั้นในโหมดนี้แรงดันทางดักเอาต์พุตจะแปรผันอย่างลิเนียร์กับค่า Duty ratio ของสวิตช์ที่ใช้ในการเปิด-ปิดแรงดันทางดักอินพุต โดยแรงดันทางดักเอาต์พุตจะไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ใดๆ ของวงจร และถ้าเราไม่ใส่ใจหรือละทิ้งการสูญเสียภายในวงจรแล้ว(เพราะมีค่าต่ำ) กำลังทางดักอินพุต(P_d) จะเท่ากับกำลังทางดักเอาต์พุต(P_o)

$$P_d = P_o$$

$$Vd I_d = Vo I_o$$

จะได้

$$\frac{Vd}{Vo} = \frac{I_o}{I_d} = \frac{1}{D} \tag{2-11}$$

ดังนั้นในโหมดของการนำกระแสต่อเนื่องนี้วงจร Step-down Converter จะทำหน้าที่คล้ายๆกันกับหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ Turn ratio สมมูลย์ของหม้อแปลงตัวนี้สามารถที่จะปรับได้ในย่าน 0-1 โดยการควบคุมที่ Duty ratio ของสวิตช์

เราสามารถที่จะหากระแสเฉลี่ยทางด้านอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ได้จากความสัมพันธ์เดียวกับหม้อแปลง รูปคลื่นของกระแสทางด้านอินพุทจะเป็นลักษณะที่สวิงไปมาระหว่างค่าPeakกับศูนย์ ทุกๆช่วงเวลาที่มีสวิทซ์ OFF ดังนั้นบางครั้งก็อาจต้องจรฟิลเตอร์เข้ากับทางด้านอินพุทเพื่อกำจัดในเรื่องของฮาร์มอนิกส์ได้

ช่วงรอยต่อระหว่างโหมดการนำกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

ในหัวข้อนี้จะพูดถึงช่วงรอยต่อระหว่างโหมดการนำกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องโดยสามารถแสดงรูปคลื่นของ v_L และ i_L ได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กระแสในตัวเหนี่ยวนำในช่วงรอยต่อของโหมดการนำกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ตรงช่วงรอยต่อนี้จะได้ว่า กระแสเฉลี่ยใน L

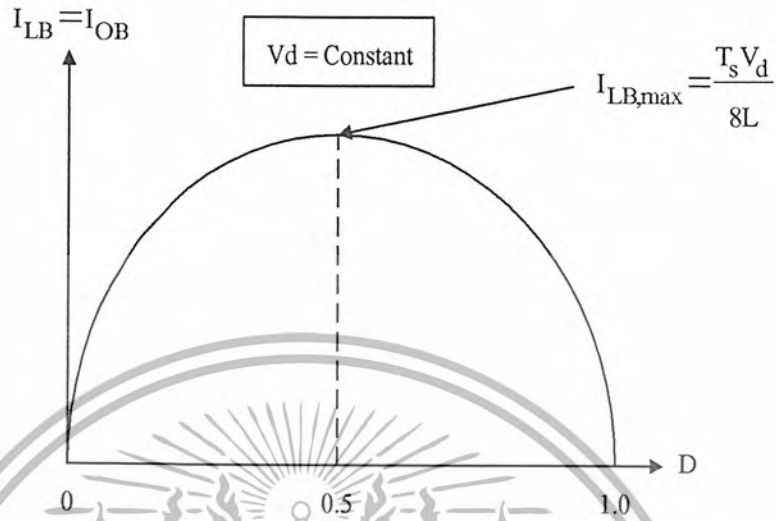
$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L,peak}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{L} (Vd - Vo) ton$$

$$I_{LB} = \frac{DTs}{2L} (Vd - Vo) \tag{2-12}$$

$$I_{LB} = I_{OB} \tag{2-13}$$

เมื่อนำสมการที่ (2-13) ไป plot graph โดยให้ I_{LB} อยู่ในฟังก์ชันของ D จะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง I_{LB} ในฟังก์ชันของ D

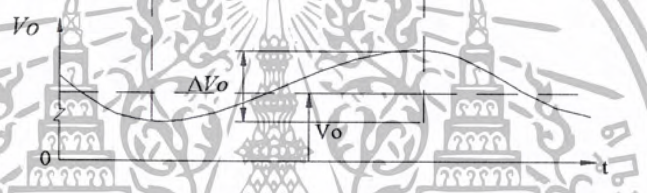
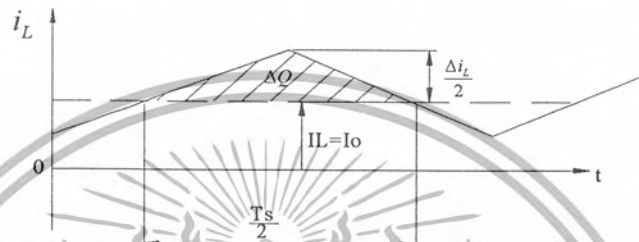
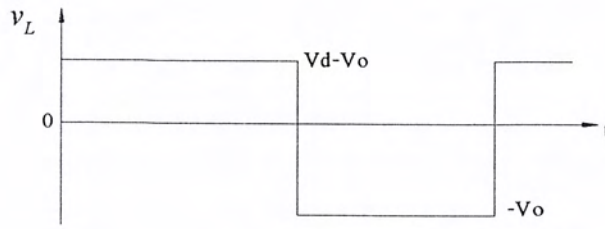
ดังนั้นช่วงเวลาในการควบคุมสถานะนี้ (โดยกำหนดให้ค่า T_s, V_d, V_o, L และ D มีค่าคงที่) ถ้ากระแสเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุต (ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของกระแส i_L ด้วย) มีค่าต่ำกว่า I_{LB} ตามที่ได้กำหนดไว้ในสมการที่ 2-13 แล้ว สถานะการทำงานก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในโหมดของการนำกระแสไม่ต่อเนื่องทันที

ช่วงรอยต่อระหว่างโหมดการนำกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องนี้จะมีประโยชน์สำหรับการคำนวณหาค่า L ต่ำสุดที่ใช้ในวงจรที่ซึ่งสามารถให้กระแสที่ไหลผ่านตัวมันยังมีความต่อเนื่องอยู่ได้ โดยถ้านำกราฟในรูปที่ 2.14 ไปวิเคราะห์หาค่า L_{min} จะได้สมการหาค่า L ต่ำสุดดังสมการที่ 2-14

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{2-14}$$

ริบเปิ้ลของแรงดันทางด้านเอาต์พุต

ในหัวข้อข้างต้นที่ได้กล่าวไปนั้นเราได้สมมุติให้ $v_o(t) = V_o$ แต่ในทางปฏิบัติ แล้วจะมีริบเปิ้ลในแรงดันทางด้านเอาต์พุตอยู่ และค่าของตัวเก็บประจุ (C-filter) จะสามารถคำนวณหาได้จากรูปคลื่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นโหมดของการนำกระแสต่อเนื่อง โดยการสมมุติให้ริบเปิ้ลใน i_L ไหลผ่าน C ทั้งหมด ส่วนค่ากระแสเฉลี่ยจะเป็นกระแสที่ไหลผ่านโหลดตัวต้านทาน



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจร Step-down converter

จากรูปจะได้ว่า

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I}{C} \times \left[\frac{1}{2} \times \frac{\Delta i_L}{2} \times \frac{T_s}{2} \right]$$

$$\Delta i_L \text{ ขณะ OFF} = \frac{L}{L} (1-D) T_s$$

$$\therefore \Delta V_o = \frac{L}{8C} \cdot \frac{V_o}{L} (1-D) T_s \cdot T_s$$

นั่นคือ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{8} \cdot \frac{T_s^2}{LC} (1-D)$$

(2-15)

ดังนั้นขนาดของ C-filter จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-15 โดยกำหนดคริปเปิ้ลของแรงดันได้ตามที่ต้องการซึ่งปกติจะกำหนดให้มีค่าต่ำกว่า 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับไอจีบีที

2.3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไอจีบีที

อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรล ได้แก่ เอสซีอาร์ (SCR), ไตรแอก (TRIAC), ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์(BJT)และมอสเฟต (MOSFET) โดยเฉพาะไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ที่จะเป็นจุดพัฒนาการของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ

ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำมีอัตราทนแรงดันและขยายกระแสได้สูงแต่ความเร็วในการสวิตซ์ทำงานยังต่ำอยู่โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่า ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับมอสเฟต ที่มีความเร็วในการสวิตซ์ทำงานนำกระแส และหยุดนำกระแสได้เร็วกว่ามาก แต่ก็มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูงมากเช่นกัน

จากเหตุผลที่กล่าวมาของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟตจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้จนสามารถได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพาเวอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา โดยคุณสมบัติต่างๆจะรวมเอาข้อได้เปรียบของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟตเข้ามารวมไว้ในอุปกรณ์ชนิดใหม่นี้โดยมีการตั้งชื่อว่า ไอจีบีที (Insulate Gate Bipolar Transister:IGBT)

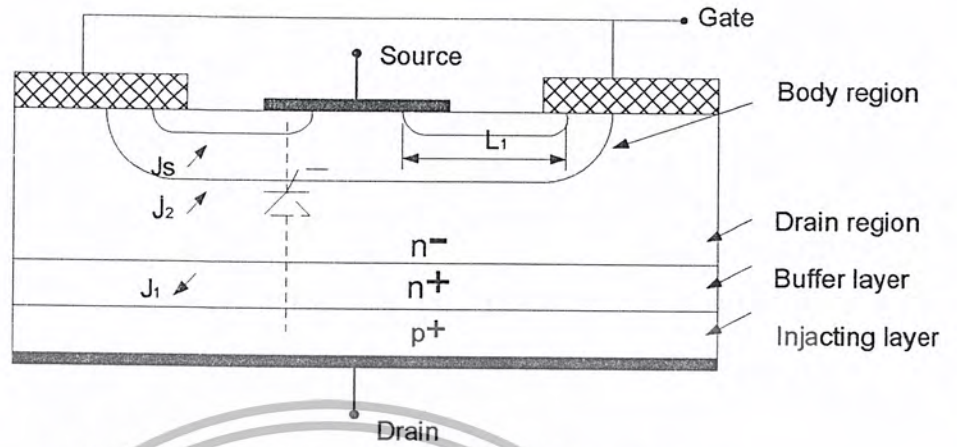
2.3.2 สัญลักษณ์และโครงสร้างของไอจีบีที

ไอจีบีทีก่อนข้างจะเป็นอุปกรณ์ชนิดใหม่ สัญลักษณ์แทนชนิดและตัวไอจีบีที มี 2 ชนิดคือ แบบเอ็นแชนเนลและแบบพีแชนเนล นอกจากนี้สามารถเขียนอยู่ในลักษณะของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟตได้ ดังแสดงในรูป 2.17 เป็นลักษณะไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนเนลที่นิยมใช้กันมาก



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ไอจีบีทีในลักษณะของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต

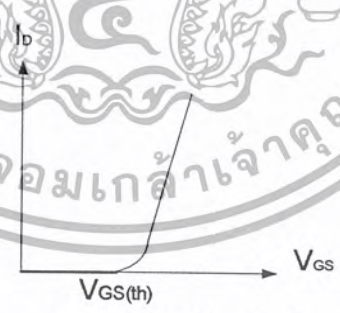
จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าสัญลักษณ์คล้ายกับสัญลักษณ์ของมอสเฟตมาก เพียงแต่ว่าสัญลักษณ์ของไอจีบีทีนั้นจะมีลูกศรเพิ่มขึ้นมาตรงขาเดรน ลักษณะของลูกศรจะชี้เข้าหาตัวหรือชี้เข้าหาชั้นของซิลิคอนภายในตัวไอจีบีที ใช้สัญลักษณ์ในรูป ก. นี้ ส่วนสัญลักษณ์ในรูป ข. จะเหมือนกับสัญลักษณ์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ แต่ตรงขาเกต(หรือเบสของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์) จะเพิ่มขีดขึ้นมาอีกหนึ่งขีด เพื่อชี้ให้เห็นว่าขีดที่เพิ่มมานี้ไม่ได้ต่อดึงกัน โดยตรงกับขาที่ต่อออกมาภายนอก



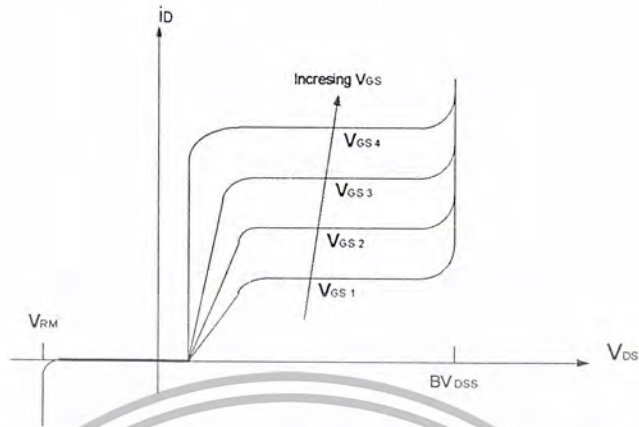
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนแนลเป็นภาพตัดขวาง

โครงสร้างของไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนแนลแสดงเป็นภาพตัดขวางได้ดังรูป 2.18 โครงสร้างโดยรวมส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกันกับโครงสร้างของมอสเฟตมาก จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีทีจะมีชั้น P⁺ หรือชั้นอินเจ็คติงตั้งต่ออยู่ระหว่างขาเดรน ซึ่งในมอสเฟตนั้นไม่มีจากการที่ขาคอนตักถูกกันด้วยชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์เป็นผลทำให้ความต้านทานอินพุทที่ขาเกตมีค่าสูงมากเหมือนกับเพาเวอร์มอสเฟต โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 10⁹ โอห์ม

จากผลดังกล่าว ทำให้ลักษณะของกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของไอจีบีทีมีลักษณะคล้ายกับกราฟของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ แต่การควบคุมกระแสเดรนจะอาศัยการควบคุมแรงดันระหว่างขาเกตกับขาเบสมากกว่า การควบคุมกระแสที่ขาเบสเหมือนกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของไอจีบีที



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนของไอจีบีที



รูปที่ 2.20 กราฟลักษณะคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของไอจีบีที

รูปข้างบนแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ของเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงแต่จะโค้งที่กระแสทราน มีค่าต่ำๆ นั่นก็คือจุดที่แรงดันระหว่างขาเกตและขาซอสต่ำลงใกล้แรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนสถานะการทำงาน (จุด Threshold voltage : $V_{GS(th)}$) โดยถ้าแรงดันระหว่างเกตและซอสมีต่ำกว่าแรงดันที่จุด $V_{GS(th)}$ แล้วไอจีบีทีจะอยู่ในสถานะหยุดนำกระแส หรือคัทออฟในกรณีของไอจีบีทีชนิดพีแชนแนลนั้นคุณสมบัติจะคล้ายกับเอ็นแชนแนล แต่โครงสร้างและสัญลักษณ์จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับเอ็นแชนแนล เช่น ชนิดของสารที่โด๊ปจากเอ็นแชนแนลก็จะเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม สัญลักษณ์ของลูกศรก็จะกลับเอาหัวลูกศรกลับไปทางตรงกันข้าม

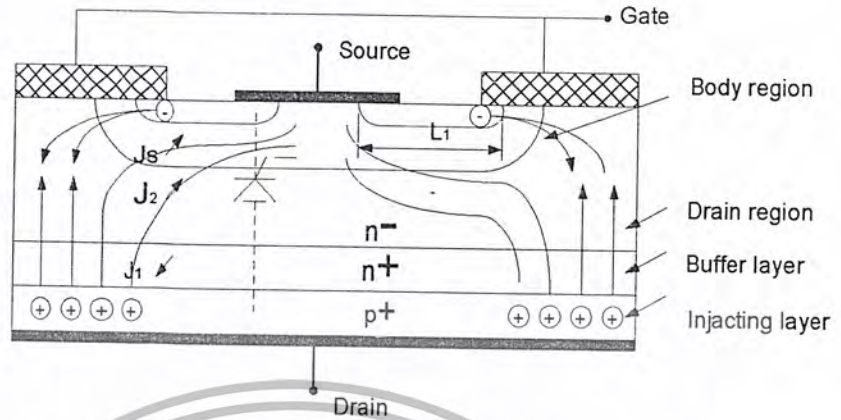
สถานะนำกระแส

เมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบแอสตรง ก็ เป็นบวกเมื่อเทียบกับซอส และแรงดันระหว่างเกตกับซอส มีค่าเกิน $V_{GS(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกตจะดึงเอาอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่ในบริเวณภายใต้เกต ทำให้ชั้นบอดี้ตรงส่วนใต้เกตแปรสภาพเป็น n ทำให้เกิดการคอคอกกันของบริเวณ n (drift region) เข้ากับบริเวณซอส n^+ (source region) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต

กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอสผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณลอยเลื่อน n^- จะรวมกับโฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้นอินเจ็คชั่น P^+ เพราะรอยต่อ J_1 ได้รับแรงดันไบแอสตรง ทำให้ไอจีบีทีอยู่ในสถานะนำกระแส เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากทรานซิสเตอร์ไปซอสได้ การรวมตัวของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n^- เรียกว่า การมอดดูเลตสภาพนำ (conductivity modulation)

ผลของการมอดดูเลตนี้จะทำให้ความต้านทานของบริเวณ n^- มีค่าต่ำลง เป็นการเพิ่มความสามารถในการขับผ่านกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลัง ผลของความต้านทานที่ลดลง ทำให้แรงดันตกคร่อมที่สถานะนำกระแสลดต่ำลง การสูญเสียกำลังงานขณะนำกระแสจึงลดลงด้วย ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลแสดงไว้ในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลในขณะนำกระแส

สถานะหยุดนำกระแส

เมื่อแรงดันระหว่างเกตและซอร์สต่ำกว่าแรงดัน $V_{GS(th)}$ จะทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n ไม่ต่อกับบริเวณซอร์ส n^+ ไอจีบีที ในสภาวะนี้รอยต่อ J_2 ที่ได้รับแรงดันไบแอสกลับจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (depletion region) ขึ้นที่รอยต่อ J_2 ด้วย

บริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนกินเข้ามายังบริเวณ n^- มากกว่าที่จะขยายไปยังบริเวณชั้นบอดี้ p ทั้งนี้เพราะชั้นบอดี้ p มีความหนาแน่นในการได้ปสารมากกว่า ถ้าความหนาของสารที่ได้ปในบริเวณลอยเลื่อน n^- มากเพียงพอก็จะทำให้การขยายขอบบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจ็คติ่ง p^+ ได้ชั้นบัฟเฟอร์ n^+ ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้นหรือไม่จำเป็นต้องได้ปสาร

ทั้งนี้เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองจะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรง สำหรับไอจีบีทีที่ไม่มีการได้ปสารในชั้นบัฟเฟอร์ n^+ นี้ จะเรียกว่าไอจีบีทีแบบสมมาตร ซึ่งจะมีอัตราทนแรงดันย้อนกลับ (V_{RM} หรือ BV_{SDS}) สูงพอๆ กับค่าอัตราทนแรงดันไหลตรง (BV_{SDS}) เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ การลดความหนาบริเวณ n^- ลงแต่ยังคงความสามารถของอัตราทนแรงดันไหลตรงไว้สามารถทำได้โดยเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ n^+ เข้าไป เพื่อป้องกันการแตะกันของบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณอินเจ็คติ่ง p^+ ซึ่งจะเรียกชนิดนี้ว่า ไอจีบีทีแบบไม่สมมาตร และจากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน n^- ลงจะช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการคือ

- ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลง เป็นผลให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลงด้วย
- ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้สั้นลงด้วย

แต่ข้อเสียของการเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ n^+ ก็มี คือจะลดความสามารถของอัตราทนแรงดันย้อนกลับให้น้อยลงเหลือเพียงไม่กี่สิบลโวลท์ ทั้งนี้เพราะเมื่อไอจีบีทีที่ได้รับแรงดันไบแอสกลับที่ขาแครน รอยต่อ J_1 ซึ่งทั้ง

สองข้างมีความหนาแน่นในการโต้ปของสารมาก จะไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูงดังนั้น ไอจีบีทีชนิดนี้ จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

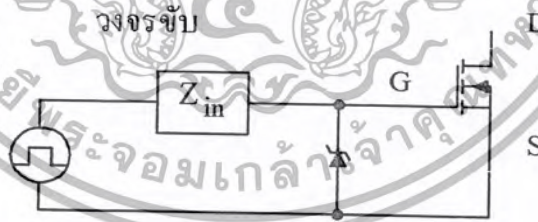
ลักษณะการสวิตช์

ช่วงเวลาในการนำกระแสของไอจีบีทีจะมีลักษณะคล้ายกับการนำกระแสของมอสเฟต คือจะมีเวลา ก่อนนำกระแส ($t_{d(on)}$) นับตั้งแต่เวลาที่แรงดันระหว่างเกตกับซอสอยู่ในช่วง V_{GG-} จนถึง $V_{GS(th)}$ ความจริงแล้ว การป้อนแรงดันนี้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากค่า V_{GG-} เป็น V_{GG+} แต่กลับมีลักษณะเป็นเอ็กซ์โปเนนเชียล เหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากผลการชาร์ตประจุของตัวเก็บประจุระหว่างเกตกับซอส และเกตกับเดรนภายในไอจีบีทีแรงดันที่ขาเดรนจะอยู่คงที่ในช่วงเวลาขาขึ้น (t_{r1}) หรือในช่วงเวลาที่กระแสเดรนยังไม่ถึงค่ากระแสทำงาน (I_o) หลังจากนั้นกระแสเดรนก็จะคงที่ แต่แรงดันจะตกลงสู่ค่า $V_{DS(on)}$ โดยแบ่งช่วงเวลาคือ ช่วง t_{fv1} เป็นช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานสูง ส่วน t_{fv2} ช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานต่ำ (R channel)

แรงดันสไปค์

แรงดันสไปค์ (spike voltage) ที่เกิดขึ้นส่วนมากจะเกิดมาจาก การคายพลังงานของค่าความเหนี่ยวนำที่แฝงอยู่ในระบบ แรงดันสไปค์ที่ทำให้ไอจีบีทีเสียหายอย่างถาวร คือ แรงดันสไปค์คร่อม เกต-ซอร์ส และแรงดันสไปค์คร่อม เดรน-ซอร์ส

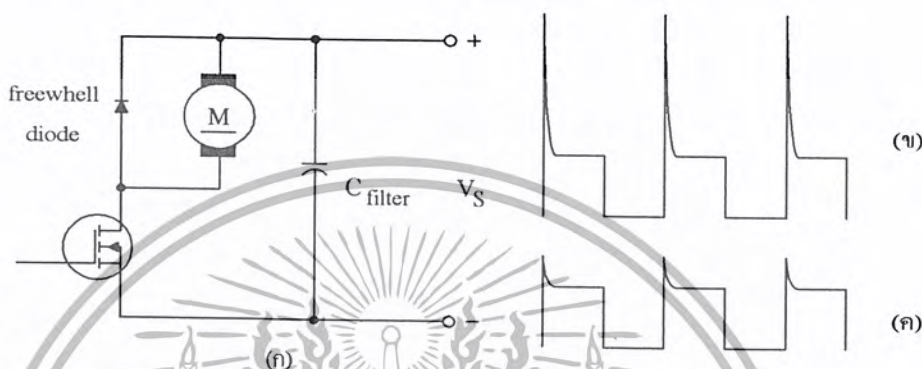
แรงดันสไปค์ เกต-ซอร์ส สามารถป้องกันได้โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดมาต่อคร่อม เกต-ซอร์ส ดังรูป 2.22



รูปที่ 2.22 การป้องกันแรงดันสไปค์คร่อม เกต-ซอร์สโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดมาต่อคร่อมเกต-ซอร์ส

แรงดันสไปค์คร่อม เกต-ซอร์ส เป็นส่วนที่รุนแรงที่สุด เพราะโหลดเป็นมอเตอร์ นั่นคือเป็นพวกค่าความเหนี่ยวนำ ในเวลาที่ไอจีบีทีตัดต่อทำงานจากต่อมาเป็นตัด ทำให้แรงดันตกคร่อมขั้วของไอจีบีทีเพิ่มจากศูนย์ (หรือเกือบศูนย์) ไปเป็นแรงดันระดับไฟเลี้ยงในทันที (จากรูป 2.23 ก.) แม้ว่าแรงดันไฟเลี้ยงจะมีค่าต่ำกว่าอัตราทนแรงดัน ไอจีบีทีก็ตาม แต่ด้วยแรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดทำให้แรงดันตกคร่อม ไอจีบีที

สูงขึ้นอย่างมากเป็นแรงดันสไปด์ ถ้าไอจีบีทีทำงานตัดต่อเร็วเท่าใด แรงดันนี้ก็จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น วิธีแก้ปัญหานี้โดยทั่วไปจะใช้ ฟีลวีลไดโอด (freewheel diode) ต่อคร่อมโหลด และไดโอดนี้จะต้องมีคุณสมบัติของการรีคัพเวอรี่ (recovery) ที่ดีพอ นั่นคือเป็นไดโอดประเภทฟาสตรีคัพเวอรี่ (fast recovery) แต่การใช้ไดโอดอาจแก้แรงดันส่วนนี้ได้ไม่เพียงพอ จึงต้องมีคาปาซิเตอร์ (Capacitor) ต่อคร่อม แหล่งจ่ายไฟอีกส่วนหนึ่ง



รูปที่ 2.23 ก.) การป้องกันแรงดันสไปด์คร่อม เครื่อง-ขอร์ส.ข) ไม่ได้ต่อคาปาซิเตอร์
ค.) เมื่อต่อคาปาซิเตอร์และไดโอด

2.4 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งในรถไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์และระบบควบคุม และแบตเตอรี่ยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการใช้งานและอายุการใช้งานในแต่ละรอบของการอัดประจุของรถไฟฟ้า

2.4.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “ อิเล็กโทรไลต์ ” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้ระบายได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งๆ อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบวางอยู่หลายๆชุด วางขนานกันเป็นคู่ๆเพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุลบและแผ่นธาตุบวก ระยะห่างระหว่างแผ่น ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Amperehour- Ah) การวัดความจุโดยให้เวลาเวลาที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว

2.4.2 การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นแบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอรี่ แบบตะกั่ว - กรดชนิดต่างๆ อย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

1.) แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดโดยที่ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Non spill lead - acid Battery) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

ก. แบตเตอรี่แบบมาตรฐาน (Standard Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้มีการคายประจุด้วยตนเอง (Self-discharge) ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ ทุก ๆ 4-6 สัปดาห์ เพื่อชดเชยค่าการคายประจุด้วยตนเอง แบตเตอรี่นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

ข. แบตเตอรี่ถาวร (Permanent Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือน โดยไม่ต้องมีการดูแลรักษา และสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ทุก ๆ 10 เดือนและ มีการคายประจุด้วยตนเองต่ำ เนื่องจาก ใช้ตะกั่วผสม (Lead Alloy) ชนิดพิเศษ เหมาะสำหรับการใช้งานพิเศษที่ต้องการใช้งานสูงกว่า แบบแบตเตอรี่มาตรฐาน (Standard Battery)

2.) แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก (Recombining seal lead - acid Battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับที่อัดประจุสูงกว่าปกติ (Overcharge) กรดฟลูอริกที่เป็นอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นเราต้องมีการเติมน้ำกลั่นมีฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดวงในการใช้งานของแบตเตอรี่ ฉะนั้นเราจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ใช้งาน โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. แบตเตอรี่แบบไม่ต้องรวม (Non - Recombining) หรือรวมบางส่วน (Partially Recombining)

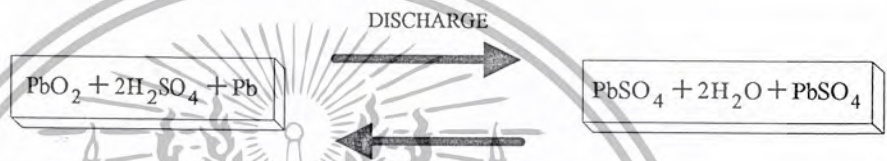
แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใด ๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับ Over charge เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมาก ๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วคอยเปิดให้ก๊าซออกไปในที่ที่ และวาล์วจะปิดโดยอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้แบตเตอรี่แบบนี้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ ซึ่งภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซอีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษา ระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุสูงๆ ในตอนเริ่มต้น และในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นและต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่โดยลดกระแสให้เหลือน้อย เพื่อไม่ให้เกิด Over voltage และป้องกัน electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่มีขนาดความจุเดียวกัน สามารถต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนานใช้แรงดันต่ำ และกระแสสูงๆ แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิเกิล-แคดเมียม (Nikel-Cadmium)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แบตเตอรี่ แบบรวมสมบูรณ์ (Fully Recombining)

โครงสร้างคล้าย ๆ กับแบบ Standard Cylindrical Ni-cad เหมาะสำหรับใช้งาน Standby มีการรวมตัวของออกซิเจน (O_2) ที่ดี ก๊าซเกิดขึ้น คือ H_2 และ O_2 จะรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการ discharge สูง ใช้ Alloy grid ชนิดพิเศษ การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบ constant voltage, constant current, pulse charging และอื่นๆ

ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 2-24 ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

2.4.3 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

- 1.) การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับแต่งค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิ โดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม
- 2.) เวลาที่อัดประจุเสร็จ เวลาที่แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสภาวะการคิซซาร์จ และลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย
- 3.) อุณหภูมิในขณะการอัดประจุ ควรทำการอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการอัดประจุจะมีประสิทธิภาพที่ดี ก็คือในช่วง 5 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มาก หรือร้อนเกินไป
- 4.) การชาร์จประจุเกิน การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีกหลังจากแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้ว เรียกว่าโอเวอร์ชาร์จ (Overcharge) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

2.4.4 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.25 จากรูปวงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แสดงให้เห็นว่าการประจุเราต้องพิจารณาถึงตัว

ต้านทาน 2 ตัวภายในแบตเตอรี่คือ R1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่โดยจะมีค่าน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีค่ามากเมื่อเป็นแบตเตอรี่ชนิด Low Rated Charge - Discharge เมื่อเราใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในอัตรากระแสที่สูงจะทำให้เกิดความสูญเสียมากเนื่องจาก $Loss = I^2 \times R$ แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิด High Rate ค่าความต้านทานตัวนี้จะมิต่ำน้อยมากทำให้สามารถใช้กระแสสูงๆได้โดยกำลังสูญเสียไม่มาก ส่วน R2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานการณ์การหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมิต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุจนเต็มที่แล้วค่าความต้านทาน R2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง



รูปที่ 2.25 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มี 2 ชนิดคือ

- ประสิทธิภาพจากแอมแปร์ชั่วโมง (Ah efficiency) ซึ่งคำนวณโดยบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมาให้

โดยปกติจะมีค่าประมาณ 90 % หาได้จาก

$$\begin{aligned} \% \text{ Ah Eff} &= \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่อัดเข้าไป} \\ &= 90 \% \end{aligned}$$

- ประสิทธิภาพ Watt-hour ซึ่งผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง หาได้โดย

$$\% \text{ Watt-hour} = (\% \text{ Ah Eff})(V_{\text{discharge}} / V_{\text{charge}})$$

โดย V_{charge} สำหรับเซลล์ตะกั่ว-กรดมีค่าเท่ากับ 2.25 V/Cell

นอกจากนี้สิ่งที่ควรทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) ระดับแรงดันที่ใช้ประจุ

Float Charge คือ การประจุแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันแบบธรรมดาที่มีค่าไม่สูงอยู่ที่ค่าประมาณ 2.13 - 2.25 V/Cell ในภาวะปกติของการประจุจะใช้ระดับแรงดันนี้

Equalizing Charge ในบางครั้งแบตเตอรี่ที่โซ่ยังไม่ถูกใช้งานหรือใช้งานน้อยทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเสื่อมลงจึงควรมีการกระตุ้นแบตเตอรี่บ้างประมาณ 72 ชม.ต่อปี โดยระดับแรงดันที่ใช้ประจุประมาณ 2.3 - 2.55 V/Cell

2.) End of Cell Voltage

คือจุดต่ำสุดของแรงดันในการพิจารณาว่าแบตเตอรี่คายประจุหมดแล้ว มีค่าไม่แน่นอนประมาณ 1.5 - 1.8V/Cell ถ้าหากปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนต่ำกว่าค่า End of Cell แล้วจะทำให้แบตเตอรี่คายไม่สามารักอัดประจุด้วยวิธีธรรมดาได้ ต้องประจุแบบรุนแรงเป็นจังหวะแบบการบีบหัวใจเพื่อให้แบตเตอรี่ฟื้น

3.) ขนาดกระแสประจุสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้

ขนาดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้ปกติจะกำหนดมาให้ในคู่มือแบตเตอรี่นั้น แต่สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดทั่วไปมีค่าประมาณ 0.15 c-rate

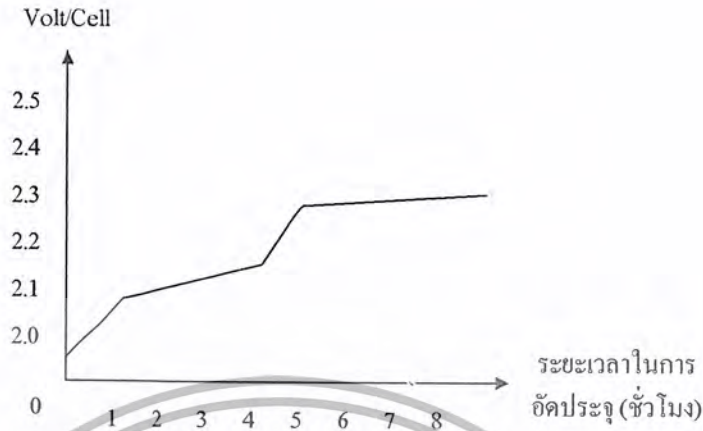
2.4.5 วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่

แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1.) การอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือนกับการชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charging) แต่ก็มีข้อเสียคือต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ซึ่งแบตเตอรี่จะเต็มภายในระยะเวลาอันสั้นๆ เท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูงมีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงเกินไป น้ำจะเกิดแตกตัวและมีความร้อนเกิดขึ้น การอัดประจุแบบนี้อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ทีเดียวหลายๆลูก

การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นี้ จะใช้เวลาการประจุมากกว่าแบบแรงดันคงที่ ทั้งนี้การประจุแบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการประจุกระแสจากเครื่องประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งให้กระแสในการประจุสูงขึ้น จะทำการให้เวลาในการประจุน้อยลง แต่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุ และในที่สุดแผ่นเพลทของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active Material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคอง แดก หรือเกิดการร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก ๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนด จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดการระเบิดขึ้นได้



รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่

2.) การอัดประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)

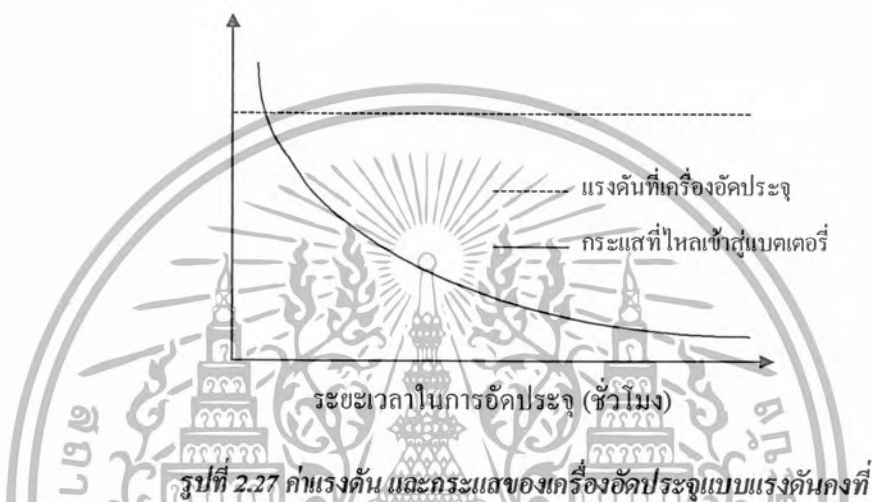
อาจจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะประจุเต็ม (Fully charge) เสมอ โดยต้องระวังเรื่องอัตราการใช้ประจุสูงเกินไป ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีเสถียรภาพพร้อมทั้งมีความจุกระแสสูง สำหรับในช่วงที่แรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำๆ ความต้านของแบตเตอรี่มีค่าน้อยมาก ฉะนั้นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลทำให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่ และราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ซึ่งปกติเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่นี้ จะมีอุปกรณ์ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้นโดยใช้ Constant current regulation ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ กระแสจะถูกลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสลายตัว

จากที่เราได้ทราบมาแล้วว่าการประจุแบบกระแสคงที่ เราจะทำการประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ในการประจุแบบนี้จะใช้เวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุแบบกระแส คงที่ระยะเวลาในการประจุจะใช้น้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของการประจุว่าจ่ายกระแสออกมาซึ่งวงจรแบตเตอรี่มีมากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องประจุจะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้ 50% ของค่าความจุแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุเช่นแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ 2 ชั่วโมง

การประจุแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำเอาพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่มีประจุเต็มดั้งเดิม การประจุโดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยใช้เครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดโวลต์เตจขึ้นมา แล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลต์เตจจากเครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีโวลต์เตจที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีตัวควบคุมโวลต์เตจที่นำเข้ามาประจุแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาของการประจุซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่วไปว่า วงจรเร็กกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้นวงจรเร็กกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่คงที่ และนับเป็นวงจรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากแรงดันเร็กกูเลเตอร์นี้เสียดจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลต์เตจที่ไม่ถูกต้องซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การใช้วงจรเร็กกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นจะต้องดูที่คู่มือของแบตเตอรี่นั้น ๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือคู่มือใช้หลักการดังนี้ คือให้ใช้จำนวนแรงดันในการประจูดต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับระดับแรงดันของเครื่องประจุเท่ากับ 2.15 คูณ 24 เท่ากับ 51.3 โวลต์ ขณะที่ทำการประจุปกติ



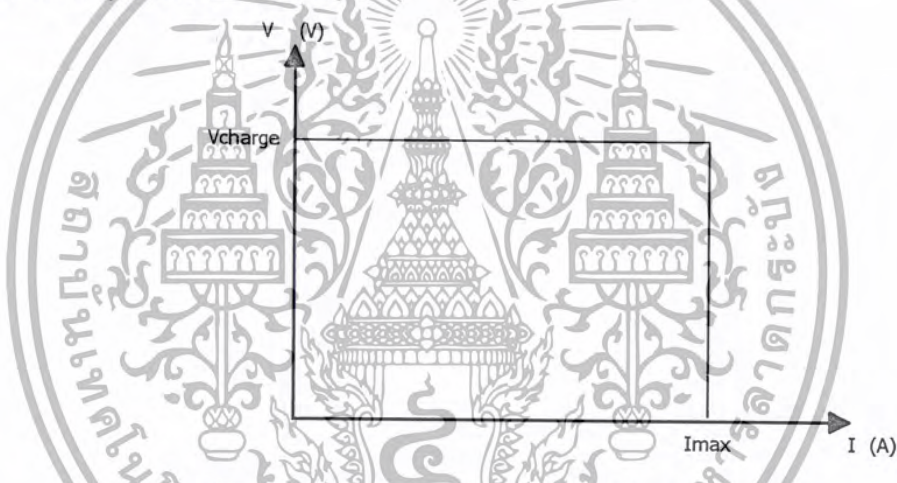
3.) การอัดประจุแบบลดค่ากระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อนและราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง, วงจรเร็กกูเลเตอร์ และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไฟไลน์ (แรงดันไฟของระบบ) ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ก็สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช่ม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการกำจัดกระแส โดยที่การอัดประจุแบบนี้สามารถใช้แทนแบบการอัดประจุแบบกระแสคงที่ได้ไม่เพียงเฉพาะการอัดประจุแบตเตอรี่หลายๆ ลูกในครั้งเดียวเท่านั้น ยังสามารถใช้ในระบบ Trickle charge ได้อีกด้วย

4.) การอัดประจุแบบรวม (Combination Charging or Two - step)

วิธีนี้บางที่เราเรียกว่า “two - step” หรือ “two - rate” เกิดจากการรวม 2 วิธี คือ การประจุแบบกระแสคงที่ กับการประจุแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่ที่จะจำกัดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้ไว้ และขั้นตอนที่สองเราจะอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ การสวิตช์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองอาจทำได้หลายวิธีเช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ หรือ ควบคุมเวลาในการอัดประจุหรือ ตรวจสอบกระแสในการอัดประจุเป็นต้น โดยลักษณะการอัดประจุแสดงได้จากรูปที่ 2.28

จากกราฟในช่วงแรกจะควบคุมให้กระแสคงที่โดยไม่เกินค่ากระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่จะทนได้เพราะค่าความต้านทานในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุหมดจะมีค่าต่ำมากทำให้กระแสสูง ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นว่าแรงดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งแรงดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนดในการชาร์จก็จะทำการเปลี่ยนมารักษาระดับแรงดันที่แทนในช่วงนี้กระแสจะค่อยๆลดลงจนใกล้เป็นศูนย์ แสดงว่าการประจุแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้ว



รูปที่ 2.28 กราฟผลกระแสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีรวม

การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดโดยทั่วไป

ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีการจำกัดกระแสที่ใช้อัดประจุและแรงดันต้องพยายามให้คงที่มากที่สุด ปริมาณกระแสที่ใช้อัดประจุโดยปกติจะจำกัดอยู่ที่ 0.1 C สำหรับ Lead - antimony Battery และ 0.3 C สำหรับ Lead - calcium Battery เมื่อ C คือความจุแบตเตอรี่ หน่วย Ampere - hour (Ah) ถ้าหากการอัดประจุโดยใช้กระแสมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง และถ้าหากอัดประจุที่กระแสน้อยเกินไปจะทำให้มี Lead - sulfate เกาะหลงเหลืออยู่ในแผ่นเพลท (plate) ของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้การจ่าย Ampere - hour ไม่ได้เท่ากับพิกัดของแบตเตอรี่ และถ้าต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนาน แรงดันที่คิกูพิก (peak to peak) ซึ่งเป็นแรงดันเอาต์พุตของอุปกรณ์อัดประจุ

แบตเตอรี่ ควรมีค่าไม่เกิน 0.5 % ของแรงดันคิซี พึงระลึกเสมอว่า การอัดประจุแบตเตอรี่ที่ค่าพิคคของแบตเตอรี่ จะสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ยาวนานขึ้น

2.4.6 ลักษณะการประยุक्तिใช้งาน

ลักษณะในการประยุक्तिใช้งานการประจุแบตเตอรี่ของ Seal lead – acid Battery สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1.) การใช้งานแบบเป็นวนรอบ (Cyclic Operation)

การทำงานเป็นรอบๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้นๆ และต้องป้องกันการอัดประจุ และคิซาร์จเกิน (คายประจุเกิน) สิ่งที่สำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ คือ การรักษาแรงดันเอาท์พุท (Charging Voltage) ให้คงที่เท่ากับที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุแบตเตอรี่ (Final Terminal Voltage) ซึ่งเป็นแรงดันเมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว และจะจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุอาจสูงไป หรือต่ำไปในที่ที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

2.) การใช้งานแบบชั่วคราวชั่วคราว (Standby / Backup Operation)

ใช้งานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ยามที่ต้องการ ปกติจะเก็บในสถานะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจะจ่ายพลังงานไปที่ภาระเมื่อระบบผิดปกติ ซึ่งการทำงานแบบนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ

ก. Trickle Charge โดยปกติระบบของการไฟฟ้าฯ ทำการจ่ายพลังงานให้ภาระ หรืออุปกรณ์ ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่ออยู่กับภาระ ถ้าหากเกิดความผิดปกติขึ้นที่ระบบนั้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับภาระเพื่อจ่ายพลังงาน โดยจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับ Self discharge โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กระแสคงที่ค่าต่ำๆ เพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็มตลอดเวลา ในกรณี Deep discharge จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ดังนั้นวิธีอัดประจุแบบ two – rate และแบบแรงดันคงที่ จะเหมาะสมมากในการอัดประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากมีโหมดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่แบบ two – rate charger จะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิ

ข. Float Charge โดยในแบบนี้ ทั้งภาระ และแบตเตอรี่จะต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติไฟล์ ระบบนี้ จะใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีประสิทธิภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลทำให้แบตเตอรี่คิซาร์จเพียงเล็กน้อย ซึ่งการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ จะต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่ภาระมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง โดยปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่มีการอัดประจุแบบ Float จะสั้นกว่าการอัดประจุแบบ Trickle

2.4.7 แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้

การหาขนาดของแบตเตอรี่

จากการทดสอบมอเตอร์วัดขนาดกระแสไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์ได้ 13 แอมแปร์ และออกแบบให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟต่อเนื่องที่กักในเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ความจุของแบตเตอรี่จากสมการ

$$\begin{aligned} C &= I \cdot t \\ &= 13(1) \\ &= 13 \text{ A-h} \end{aligned}$$

แต่ในขณะที่ใช้งานจริงโดยการขับล้อรถไฟฟ้ามอเตอร์จะขับโหลดสูงกว่าตอนทดสอบ เป็นผลให้มอเตอร์ดึงกระแสสูงขึ้น จึงต้องทำการเผื่อขนาดความจุของแบตเตอรี่อีก 50 % ของ 13 A-h ได้ความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้

$$\begin{aligned} C &= (13)(0.5) + 13 \\ &= 19.5 \text{ A-h} \end{aligned}$$

ในโครงการนี้ใช้มอเตอร์ 2 ตัว ขนาดที่กักแรงดันตัวละ 70 โวลต์ ต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า และจาก Dimension ของแบตเตอรี่ จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 18 A-h , 12 โวลต์ ชนิด Sealed Lead-acid จำนวน 12 ลูก ต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าในการจ่ายพลังงาน

ลักษณะการต่อแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่เข้าด้วยกัน เพื่อจุดประสงค์ในการปรับค่าแรงดัน หรือค่า AH ให้เกิดความเหมาะสมกับการใช้งาน โดยวิธีการต่อแบตเตอรี่นั้น สามารถแยกได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ดังนี้ คือ

1. แบบอนุกรม การต่อแบบนี้จะใช้เพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นแต่จะให้ค่า AH เท่าเดิม
2. แบบขนาน การต่อแบบนี้จะให้ค่า AH สูงขึ้น ตามจำนวนของแบตเตอรี่ แต่จะมีค่าแรงดันเท่าเดิม
3. แบบผสม เป็นการแก้ปัญหา ทั้งเรื่อง AH และแรงดันต่ำเกินไป

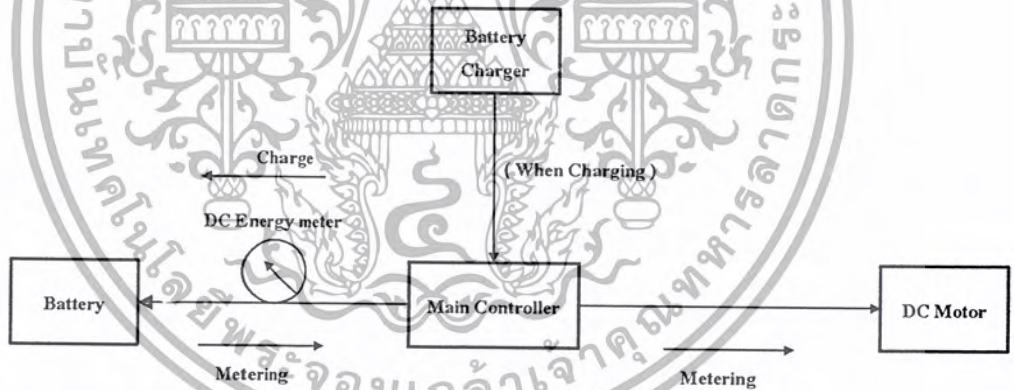
ในโครงการนี้ใช้การต่อแบตเตอรี่จำนวน 12 ลูก เข้าด้วยกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มค่าแรงดันให้สูงขึ้น แต่ค่า AH ยังคงเดิม

บทที่ 3 หลักการที่นำมาใช้

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ของโครงงาน ซึ่งส่วนประกอบหลักๆ สำหรับโครงงานนี้ สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงงานทั้งหมด และบล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนอย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าอย่างคร่าวๆ



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบต่างๆ ทั้งหมดในโครงงานนี้

3.1 การขับเคลื่อนของไอจีบีที

ในคุณลักษณะการทำงานทางไฟฟ้ากระแสตรงของไอจีบีทีที่ไม่ต้องการกระแสเหนี่ยวนำเนื่องจากการทำงานของไอจีบีที จะต้องอาศัยแรงดันเป็นตัวควบคุมการทำงาน แต่การนำกระแสหรือไม่นำกระแสของ ไอจีบีทีในระยะเวลาช่วงสั้นๆ ยังต้องอาศัยสัญญาณกระแสพัลส์ที่เกิดจากการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุอินพุต

การให้อิทธิพลที่ไม่นำกระแสที่กระทำได้โดยการใช้สัญญาณควบคุมแบบกลับ (พัลส์กลับ) หรือ กำหนดแรงดันระหว่างเกตกับ ซอร์สเท่ากับศูนย์โดยปกติทั่วไปแล้วประโยชน์ที่จะได้จากการควบคุมการทำงานของอิทธิพลที่ นั้น จะได้จากการกำหนดให้แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สเป็นลบ ซึ่งจะทำให้เกิดการชดเชยการทำงานของอิทธิพลที่

วงจรที่ใช้ในการขับนำเกตของอิทธิพลที่มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดดังนี้

1. วงจรขับนำเกตโดยใช้อิทธิพล
2. วงจรขับนำเกตโดยทรานซิสเตอร์ต่อแบบคอมพลิเมนต์ารี (complementary)
3. วงจรขับนำเกตโดยวิธีบูทแสตรป

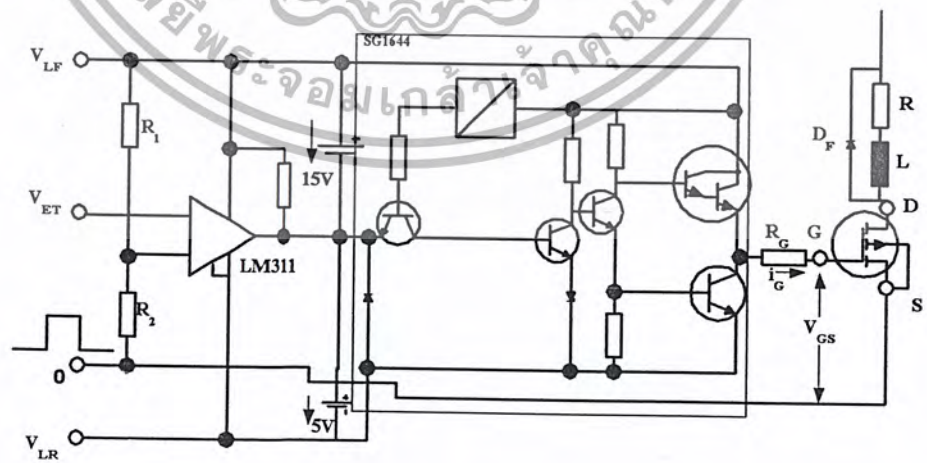
โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้วิธีขับนำเกตโดยใช้อิทธิพลขับนำเกตโดยใช้อิทธิพล ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวถึงในตอนต้นแล้ว

3.1.1 วงจรขับนำเกต โดยใช้อิทธิพล

ความสัมพันธ์ของค่ากระแสต่างๆ ทำให้กำลังงานที่ปรากฏที่ขาเกตมีค่าต่ำด้วยเมื่ออิทธิพลที่ไม่นำกระแสที่แรงดันไม่มีโหลด V_{LR} จะมีแรงดันจาก 5 ถึง 10 V จะทำให้เกิดแรงดันลบปรากฏที่ขาเกตของอิทธิพลที่ ดังนั้นถ้าใช้อิทธิพลที่มาทำหน้าที่ควบคุมจะต้องมีแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} มีความสัมพันธ์กับแรงดันเมื่อไม่มีโหลดสำหรับพัลส์บวกหรือพัลส์ลบที่จะใช้ขับนำเกตของอิทธิพลที่ คือ

$$V_{CC} \geq V_{LF} + V_{LR} \tag{3-1}$$

วงจรพื้นฐานที่ใช้อิทธิพลทำหน้าที่ขับนำเกต ที่ขาเกตของอิทธิพลที่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรพื้นฐานที่ใช้อิทธิพลทำหน้าที่ขับนำเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การใช้ไอซีเบอร์ TLP 250 ในการขับนำเกตของไอจีบีที

ปัจจุบัน ไอจีบีทีกำลังยังคงเป็นที่นิยมในการใช้เป็นสวิตช์กำลังสูงในระบบการควบคุมทั้ง อินเวอร์เตอร์, คอนเวอร์เตอร์, การควบคุมมอเตอร์ และ ระบบจ่ายกำลังสำรอง (UPS)

IGBT ต้องการแรงดันมาขับเคลื่อนเพื่อให้สามารถทำงานในสภาวะนำกระแส (On) และหยุดนำกระแส (Off) ได้ในระบบที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของไอจีบีที ซึ่ง IC ขับนำเกตเบอร์ TLP250 จัดเป็นอุปกรณ์ไฮบริดจ์ ได้ถูกออกแบบมาสำหรับขับนำเกตของไอจีบีที และมอสเฟต ลักษณะโดยรวมเป็นวงจรรสำเร็จรูป รวมอยู่ในชุดเดียว ไฟเลี้ยงไอซี TLP250 เป็นแบบ Single supply สัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต โดยแยกออกจากกันด้วยตัว Opto couple ภายใน ทำให้ช่วยลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนในระบบควบคุม TLP250 และไอซี TLP250 ยังสามารถทำงานในย่านความถี่ สูงได้

(TLP250)
 TRANSISTOR INVERTER
 INVERTER FOR AIR CONDITIONOR
 IGBT GATE DRIVE
 POWER MOS FET GATE DRIVE

The Toshiba TLP250 consists of a GaAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

Input Threshold Current : $I_F = 5\text{mA}$ (Max.)
 Supply Current (I_{CC}) : 11mA (Max.)
 Supply Voltage (V_{CC}) : $10\text{--}35\text{V}$
 Output Current (I_O) : $\pm 0.5\text{A}$ (Min.)
 Switching Time (t_{PLH}, t_{PHL}) : $0.5\mu\text{s}$ (Max.)
 Isolation Voltage : 2500V_{rms} (Min.)
 UL Recognized : UL1577, File No.E67349

Option (D4) type
 VDE Approved : DIN VDE0884/06.92, Certificate No.76323
 Maximum Operating Insulation Voltage : 630V_{PK}
 Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

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

Creepage Distance : 6.4mm (Min.)
 Clearance : 6.4mm (Min.)

Unit in mm

JEDEC	-
FIAJ	-
TOSHIBA	11-10C4

Weight : 0.54g

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See more 5).

TRUTH TABLE

	Tr1	Tr2
Input LED ON	ON	OFF
Input LED OFF	OFF	ON

1 : N.C.
 2 : ANODE
 3 : CATHODE
 4 : N.C.
 5 : GND
 6 : V_O (OUTPUT)
 7 : V_O
 8 : V_{CC}

รูปที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพและบล็อกไดอะแกรมของ TLP 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 บล็อกโคจรแอมป์ของไอซี TLP250

จากภาพบล็อกโคจรแอมป์ของไอซี TLP250 แสดงถึงรายละเอียดต่างๆ ภายในไอซี และแสดงการต่อใช้งานของไอซี โดยอินพุตของไอซี TLP250 เป็น PN photodiode และเอาต์พุตของ TLP250 เป็น NPN, PNP ต่อแบบคอมพลิเมนทารี (complementary) ดังภาพของบล็อกโคจรแอมป์ของ TLP250 ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จึงมีลักษณะเป็นไปตามสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาแต่ ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ต้องการแรงดันในการควบคุมให้ ไอจีบีที ทำงาน ดังนั้นสัญญาณที่มาควบคุมจะต้องเป็นสัญญาณพัลส์ที่สามารถทำให้ ไอจีบีที ทำงาน “On” และ “Off” ได้รวดเร็วตามความต้องการ ซึ่งจะต้องเป็นสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยม (square wave)

ในการที่จะให้ TLP250 เป็นตัวขับนำ GATE ให้ ไอจีบีที ทำงานตามความต้องการนั้น ก็ จะต้องมียุโรปกรณ์ที่สามารถกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อเป็นสัญญาณอินพุต(input signal)อันเป็นสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยม (square wave) ดังนั้นในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้ ไอซี TLP250 จึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 ในการกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangular signal) มาตัดกับแรงดันอ้างอิง (Reference signal) ที่เป็นแรงดันไฟตรง เพื่อให้ได้สัญญาณพีคดับลิแอมตามต้องการ ส่วนสาเหตุที่ใช้หลักการสร้างสัญญาณพีคดับลิแอมด้วยวิธีนี้ก็เพราะว่าสามารถทำการปรับระดับสัญญาณพีคดับลิแอมได้ในย่านการทำงานที่กว้างกว่าการใช้ไอซีสำเร็จรูปต่างๆ ไป และยังสะดวกต่อการทำงานจริงเบื้องต้นต่างๆ แต่ก็มีข้อเสียคือ อาจจะทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไอซีสำเร็จรูปในการกำเนิดสัญญาณพีคดับลิแอม

3.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

ในปัจจุบันนี้ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงสวิตซ์ซิ่ง (Switching power supply) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง มีข้อได้เปรียบกว่าแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ (linear regular power supply) ตรงที่มีขนาดเล็กกว่ามีน้ำหนักเบากว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่า ในขณะที่จ่ายกำลังเท่ากัน

แหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์จะประกอบด้วยหม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็น ไฟสลับแรงดันสูงให้มีแรงดันต่ำลงตามต้องการ จากนั้นส่งต่อเข้ากับวงจรเรกติฟาย และฟิลเตอร์ ขึ้นสุดท้ายก็จะผ่านวงจรเรกติฟายเตอร์ เพื่อรักษาเสถียรของแรงดัน ส่วนแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่งนั้น ไม่ต้องใช้จากนั้นจะผ่านวงจรสวิตซ์ซิ่งเพื่อแปลงกลับเป็นไฟสลับความถี่สูง และแรงดันไฟสลับนี้จะผ่านวงจรเรกติฟาย และฟิลเตอร์สะสมพลังงานไว้ในตัวเก็บประจุทางเอาต์พุตให้พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

3.2.1 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

1.) ข้อดีของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

ข้อดีของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงสวิตซ์ซิ่ง คือ มีประสิทธิภาพสูง และมีขนาดเล็ก ซึ่งในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบลิเนียร์ การทำงานจะอยู่ในแอคทีฟโหมด คือมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลาทำให้เกิดการสูญเสียมากทำให้มีประสิทธิภาพประมาณ 40% - 50% และหากอินพุตและเอาต์พุตต่างกันมาก ประสิทธิภาพอาจจะต่ำกว่า 40% แต่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่งจะมีประสิทธิภาพสูงอันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ

1. อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งจะทำงานเป็นสวิตซ์ คือ On หรือ Off ตลอดเวลาซึ่งทั้งสองสภาวะนี้คือมีโวลต์เตจตกคร่อมต่ำมาก และในช่วง Off จะมีกระแสไหลผ่านตัวมันต่ำ ทำให้ POWER ที่สูญเสียในตัวมันต่ำ
2. มีค่า regulation ดี และสามารถใช้กับอินพุตที่มีค่ากว้าง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่งซึ่งใช้หลักการสวิตซ์ซิ่งที่มีความถี่สูง ดังนั้นหม้อแปลง ไซค์ และตัวเก็บประจุจะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาถูก การที่อุปกรณ์ต่างๆ มีขนาดเล็กจะทำให้กำลังที่สูญเสียในแต่ละตัวน้อยกว่าอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบลิเนียร์

2.) ข้อเสียของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

1. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference (EMI) noise) ระหว่างช่วงการสวิตซ์ความเร็วสูง
2. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่งนั้น มีความซับซ้อนกว่าแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์มาก ทำให้การเข้าใจวงจรค่อนข้างยากทั้งการออกแบบและซ่อม

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบลิเนียร์กับแบบสวิตซ์ซิ่ง

แบบลิเนียร์	แบบสวิตซ์ซิ่ง
1. มีประสิทธิภาพต่ำ	1. มีประสิทธิภาพสูง
2. มีการสูญเสียกำลังในรูปของความร้อน	2. มีกำลังสูญเสียต่ำ
3. วงจรไม่ซับซ้อน ออกแบบและซ่อมง่าย	3. วงจรซับซ้อนมาก
4. มีค่ากำลังค่อนน้ำหนักต่ำ	4. มีค่ากำลังค่อนน้ำหนักสูง
5. มีแรงดันกระแสเพิ่มต่ำ	5. มีแรงดันกระแสเพิ่มสูง
6. ให้สัญญาณรบกวน EMI/ RFI ต่ำ	6. ให้สัญญาณรบกวน EMI/ RFI สูง

3.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

ในสภาวะปกติแรงดันไฟตรงที่เข้าสู่ภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency Inverter) จะได้มาจากภาคเรกติฟายและฟิลเตอร์ด้านอินพุต ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง แต่ในสภาวะผิดปกติเช่นไฟดับหรือไฟตกถึงระดับที่ไดโอดถูกฟอร์เวิร์ดไบแอสแรงดันไฟตรงจะถูกจ่ายโดยแบตเตอรี่ จากนั้นภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงจะทำการสวิตซ์เปลี่ยนแรงดันไฟตรงเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูงช่วง 20 kHz - 500 kHz ซึ่งในวงจรสวิตซ์ซิ่งนี้อาจจะสร้างได้จากอุปกรณ์หลายชนิดเช่น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์มอสเฟต เอสซีอาร์และอื่นๆ พัลส์สี่เหลี่ยมแรงดันสูงจากวงจรสวิตซ์ซิ่งจะส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการและแยกกราวด์ไปในตัว แรงดันที่ได้นี้จะส่งเข้าภาคเรกติฟายและฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุตอีกครั้ง เป็นระดับแรงดันที่ต้องการ ส่วนหนึ่งจะถูกส่งกลับมาเข้าวงจรควบคุมเพื่อคอยตรวจสอบและควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ไม่ว่าแรงดันไฟสลับด้านอินพุตหรือโหลดที่เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม

ในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วยวงจรกำเนิดความถี่เพื่อป้อนกลับแก่วงจรพัลส์วีดมอดดูแลเตอร์ (PWM) วงจรขยายความผิดพลาด และแรงดันอ้างอิงที่เที่ยงตรง เมื่อแรงดันเอาต์พุต เปลี่ยนแปลง วงจรขยายความผิดพลาดจะทำการเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอ้างอิง แล้วส่งค่าความผิดพลาดนั้นไปทำการปรับความกว้างของพัลส์ของ PWM ขบวนการพัลส์ที่ได้จะส่งมาควบคุมวงจรสวิตซ์ซิ่ง - เปิด ปล่อยให้กำลังไฟไหลลื่นไปสู่โหลดให้มีความเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ทั้งหมดจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

3.2.3 ส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1.) ภาคเรกติฟาย และฟิลเตอร์ด้านอินพุต (Input rectifier and filter)

ในส่วนนี้มีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ทั้งหมดได้ถูกกล่าวไว้แล้วในส่วนของภาค Rectifier ที่ผ่านไปแล้ว

2.) ภาคคอนเวอร์เตอร์

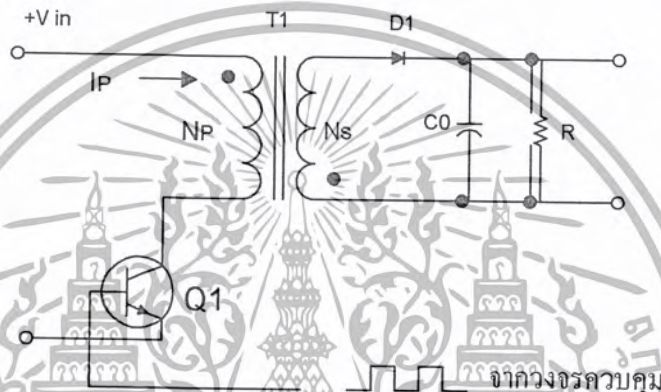
ซึ่งจะประกอบด้วย High Frequency inverter และ Output rectifier and filter คอนเวอร์เตอร์นี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด ซึ่งทำหน้าที่ตัดทอนสัญญาณแรงดันไฟตรงค่าสูงให้เป็นสัญญาณไฟตรงค่าต่ำ ซึ่งการตัดต่อจะเกิดจากการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งถูกควบคุมช่วงนำกระแส โดยพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมคงค่าแรงดัน วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันมี 5 แบบด้วยกัน ดังนี้

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Fly back converter)
2. ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward converter)
3. พูช - พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push - Pull converter)

4. ฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-bridge converter)
5. ฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full- bridge converter)

3.2.4 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Fly - Back Converter)

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ เป็นคอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำเหมาะสำหรับ สวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่มีกำลังขาออกในช่วง 50 - 150 วัตต์ แต่คอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าแรงดันกระเพื่อม (Ripple) ก่อนข้างสูง วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



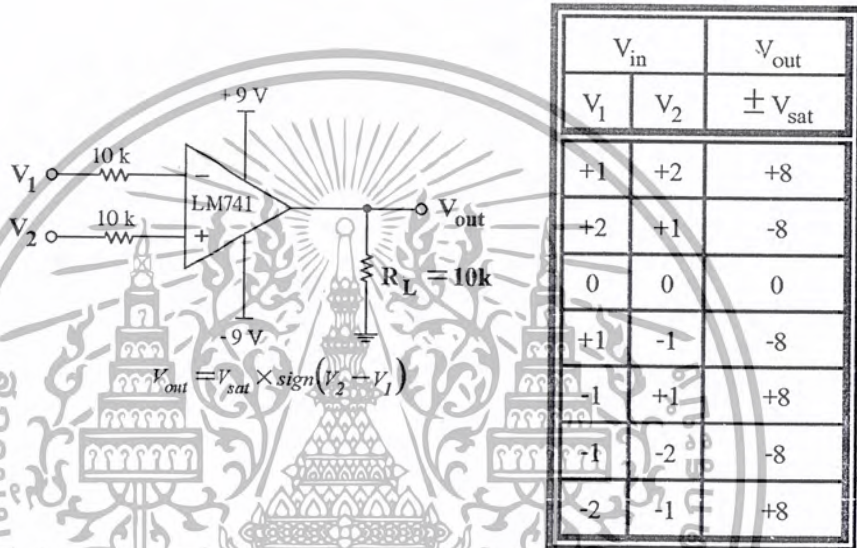
รูปที่ 3.5 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรจะเป็นได้ดังนี้ ใโจบีทีจะนำกระแส (On) และหยุดนำกระแส (Off) สลับกันไป เมื่อ Q1 นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดลวด primary แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขด primary และขด secondary พันอยู่ลักษณะกลับทิศทาง ดังนั้นขณะที่ Q1 นำกระแสอยู่นั้น ไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับ และไม่มีการไหลผ่านโหลด R พลังงานจึงถูกสะสมที่ขด primary ของหม้อแปลง เมื่อ ใโจบีทีหยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัวนำทำให้มีการกลับขั้วของหม้อแปลงของแรงดันที่ขดลวด secondary ไดโอด D1จึงอยู่ในลักษณะไบอัสตรง พลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวด primary จะถูกถ่ายเทไปยังขดลวด secondary และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและตัวเก็บประจุได้

3.3 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

3.3.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Amp)

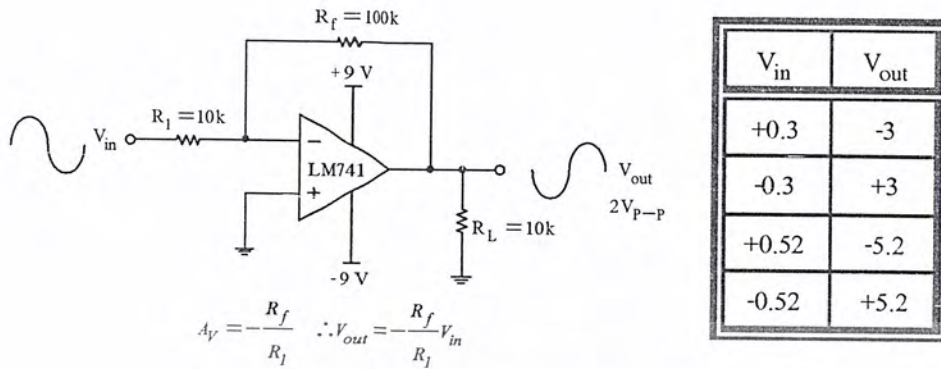
การทำงานเป็นคอมพาราเตอร์ในขณะเปิดคูปนั้น ออปแอมป์จะสามารถเปรียบเทียบระดับสัญญาณระหว่างขั้วอินพุตที่ขั้วบวกซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวก สัญญาณที่เอาต์พุตจะเป็นลบและมีค่าเกือบเท่า $-V_{cc}$ จากแหล่งจ่ายไฟดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.3.2 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amp)

โดยทั่วไปวงจรขยายจะหมายถึงความถี่ วงจรที่เปลี่ยนอินพุตน้อย ๆ มาเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีขนาดสูงขึ้นกว่าเดิมซึ่งสัญญาณที่ว่าอาจเป็นได้ทั้งแรงดัน หรือกระแส ในลักษณะเดียวกันวงจรขยายของออปแอมป์ก็คือวงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคืออัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ (ในอุดมคติ) และนอกจากนี้เรายังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัว



รูปที่ 3.7 วงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน

จากรูปที่ 3.7 วิธีที่ใช้เป็นแบบรูปปิด เรียกว่า “การป้อนกลับแบบลบ” โดยนำเอาที่พุทซึ่งกลับเฟสกับอินพุทมาป้อนที่จุดอินพุทอีกที ผลก็คือวงจรภายในออปแอมป์จะพยายามปรับเอาที่พุทจนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่างอินพุทมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (แต่ต้องเข้าใจว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุทจะต้องไม่เท่ากับศูนย์โวลต์ด้วย กล่าวคือ ผลต่างระหว่าง V_{in} และบางส่วนของ V_{out} ที่ขั้วอินพุทลบเพียงมีค่าต่ำพอที่จะทำให้เกิดแรงดันเอาที่พุทได้พอดีเท่านั้น)

จากสมการของอัตราขยายแรงดัน A_V

$$A_V = \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

(3-2)

เราจะพิสูจน์ให้เห็นว่าค่าขยายแรงดัน A_V ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของรูปปิดจะสามารถหาได้จากสมการ

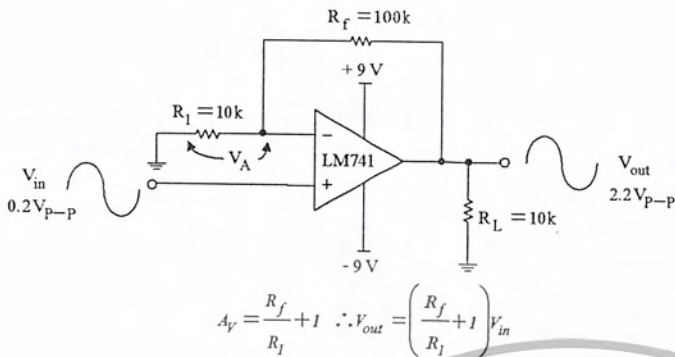
$$A_V = -\frac{R_f}{R_{in}}$$

(3-3)

3.3.3 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amp)

วงจรขยายไม่กลับเฟสหรือนันอินเวอร์ติงแอมป์จะแตกต่างกับอินเวอร์ติงแอมป์ในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาที่พุท แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรมันอินเวอร์ติงก็ยังคงควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยเราจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V _{in}	V _{out}
+0.3	+3.3
-0.3	-3.3
+0.52	+5.72
-0.52	-5.72

$$A_v = \frac{R_f}{R_1} + 1 \therefore V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_{in}$$

รูปที่ 3.8 วงจรขยายไม่กลับเฟส

จากรูปที่ 3.8 แรงดันอินพุตจะถูกป้อนที่ขั้วบวก (ในขณะที่สัญญาณอินพุตในวงจรชนิดอินเวอร์ตึงจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน V_A ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุตที่จุดต่อตัวต้านทาน R_1 จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า ศักดิ์ค่าที่ขั้วอินพุตลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้ศักย์ค่าที่ขั้วอินพุตบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A$$

ดังนั้นเราสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน A_v ได้เท่ากับ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

และเนื่องจาก V_A เกิดจากการแบ่งแรงดัน V_{out} จะได้

$$V_A = \frac{R_{in}}{R_F + R_{in}} V_{out}$$

จัดสมการใหม่ได้เป็น

$$V_{out} = \left(\frac{R_F}{R_{in}} + 1 \right) V_{in}$$

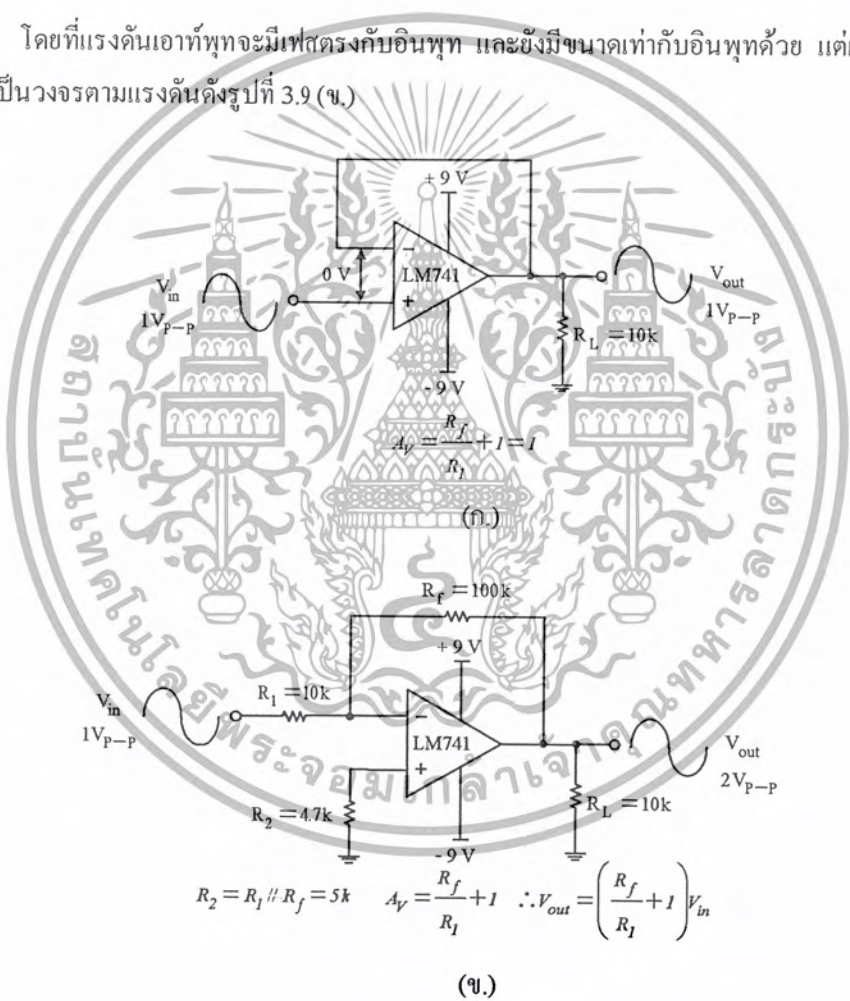
(3-4)

3.3.4 วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower)

ในบางครั้งเราอาจต้องการวงจรออปแอมป์ซึ่งให้อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง เพื่อนำไปใช้เป็นบัฟเฟอร์ ในกรณีนี้สามารถใช้วงจรอินเวอร์ตติ้ง หรือ ชนิดอินเวอร์ตติ้งก็ได้ดังในรูปที่ 3.9 ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากรูปเมื่อ R_f มีค่าเป็นศูนย์ อัตราขยายแรงดันจะมีค่าเป็น

$$A = \frac{R_f}{R_{in}} + 1 = \frac{0}{R_{in}} + 1 = 1 \tag{3-5}$$

โดยที่แรงดันเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุต และยังมีขนาดเท่ากับอินพุตด้วย แต่เมื่อวงจรอินเวอร์ตติ้งออปแอมป์เป็นวงจรตามแรงดันดังรูปที่ 3.9 (ข.)



รูปที่ 3.9 วงจรตามแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตจะกลับเฟส 180 องศาเทียบกับอินพุต แต่จะมีขนาดเท่ากัน อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้วงจรอินเวอร์ตคืออินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าลดลงเหลือเพียงเท่ากับความต้านทานของ R_{in} (10 K) ส่วนตัวต้านทาน R_X ที่ขั้วบวก มีไว้เพื่อลดกระแสฮอสเฟสที่อินพุต (ทำให้เกิดสมดุลที่ขั้วอินพุตทั้งสอง) ค่า R_X นี้ควรมีขนาดประมาณ R_{in} ขนานกับ $R_F (R_{in} // R_F)$

การคำนวณหาพิคกิ้งกำลังของมอเตอร์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาขนาดพิคกิ้งของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถ DC Electric Vehicle Pull Shopping Cart มีดังนี้

- W = น้ำหนักของรถ (kg)
- V = อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว (m / s)
- μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนน (ton / Kg)
- η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์
- η = ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง
- P_m = ค่าขนาดกำลังของมอเตอร์ (kW)

เมื่อทราบค่าตัวแปรทั้งหมดแล้วสามารถหาขนาดมอเตอร์ได้จากสมการ

$$P_m = \{(\mu W V) / 102\} \times (100 / \eta) \tag{3-6}$$

ในการกำหนดค่า V กำหนดจากอัตราความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้าที่ต้องการให้สามารถวิ่งได้ (max speed)

พิคกิ้งตัวมอเตอร์

มอเตอร์ที่เรานำมาใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขนาดพิคกิ้ง 70 โวลท์ 13 แอมป์และความเร็ว 1000 รอบ/นาที

P	=	13 × 70	
	=	910	watt
มีจำนวน 2 ตัว	=	910 × 2	
	=	1.82	kw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

V คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว (m/s) ในที่นี้คิดที่อัตราความเร็ว 5 km/hr (1.38m/s)

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางรถ กับพื้นผิวถนนโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.04-0.06 ในที่นี้ เลือกใช้ค่า 0.04 เนื่องจากเป็นรถ 3 ล้อ (ton/kg)

η_m คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 80 %

η คือ ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง 80 %

$$\begin{aligned} P_m &= P \times \eta_m \\ &= 1.82 \times .8 \\ &= 1.456 \quad \text{Kw} \end{aligned}$$

จากสมการ (3-6)

$$P_m = \left\{ \frac{Lwv}{102} \right\} \times \left(\frac{100}{\eta} \right)$$

$$1.456 = \left\{ \frac{0.04 \times w \times 1.38}{102} \right\} \times \left(\frac{100}{80} \right)$$

$$w = 2152 \quad \text{Kg}$$

w คือ น้ำหนักรถ + น้ำหนักโหลด

$$\text{น้ำหนักรถ} = 250 \quad \text{Kg}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น น้ำหนักโหลด} = \text{น้ำหนักรวม} - \text{น้ำหนักรถ}$$

$$= 2152 - 250$$

$$= 1902 \quad \text{Kg}$$

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor) ขนาด 70 โวลต์ 13 แอมป์ จำนวน สองตัวโดยจะสามารถรับน้ำหนักโหลดได้ประมาณ 1902 Kg

การทศรอบของมอเตอร์โดยใช้เกียร์ทด

$$\text{รัศมีของล้อ (r)} = 0.14 \quad \text{m}$$

$$\text{ระยะทางใน 1 รอบ} = 2\pi \times 0.14$$

$$= 0.879 \quad \text{m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์มีพิกัดความเร็ว 1000 รอบต่อนาที

ดังนั้นในหนึ่งนาทีจะได้ระยะทาง = 1000×0.879

= 879 m

เพราะฉะนั้น 60 นาที ได้ = 879×60

= 52740 m

จะได้ความเร็ว = 52.74 km/hr

เนื่องจากเกียร์ทดมีอัตราทด = 1:10

จะได้ความเร็ว = 5.274 km/hr

จากการคำนวณจะเห็นว่าพิกัดความเร็วของมอเตอร์ 1000 รอบต่อนาทีเมื่อเปรียบเทียบกับรัศมีของล้อรถ 0.14 m มีเส้นรอบวงเท่ากับ 0.879 m จะได้ความเร็วเท่ากับ 52.74 km/hr เพื่อให้รถมีความเร็วลดลงจึงใช้เกียร์ทดอัตรา 1:10 จะทำให้ความเร็วลดลงเหลือ 5.274 km/hr

จาก $P = T_{out} \omega$ kw

โดยที่

T_{out} คือแรงบิดที่ปลายเพลา (n-m)

ω คือความเร็วรอบ (rad/sec)

และเมื่อความเร็วลดลงจะได้ 10 เท่า แรงบิดที่ปลายเพลาจะเพิ่มขึ้น 10 เท่าด้วยจึงทำให้รถคันนี้สามารถออกตัวได้ดีขึ้นเมื่อดึงโหดที่มีน้ำหนักมาก



บทที่ 4

วงจรทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ

ส่วนประกอบโดยรวม

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถ DC Electric Vehicle Pull Shopping Cart รวมทั้งการควบคุมการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยแบ่งส่วนประกอบของวงจรได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของวงจรควบคุม และส่วนของวงจรถูกำลัง ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. วงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM Generator)
2. วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive)
3. วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection)
4. วงจรแหล่งจ่ายไฟที่กระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply)
5. วงจรเดินหน้า ถอยหลัง

ส่วนของวงจรควบคุม

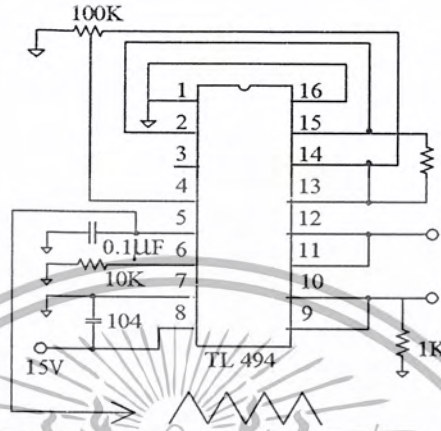
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM Generator)

ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะอาศัยการควบคุมระดับสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วยการปรับ Duty Cycle ของพัลส์โดยการที่จะสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มได้นั้นจะต้องมีสัญญาณพาหะ (carrier signal) ในที่นี้คือสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณอ้างอิง (reference signal) ในที่นี้ก็คือแรงดันคิซี ซึ่งการกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบ่งออกเป็นสองอย่างคือ วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณสามเหลี่ยม

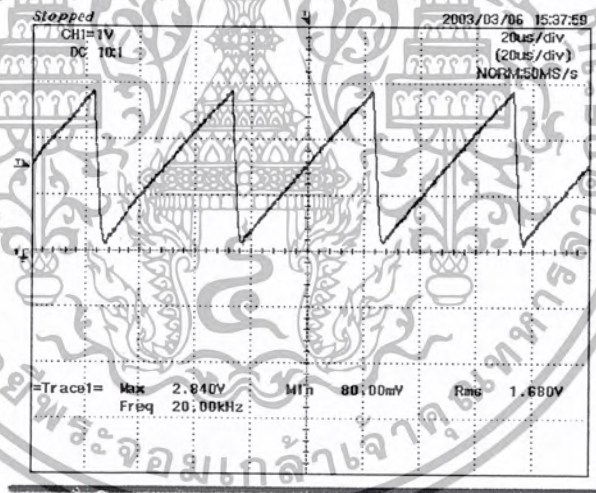
1. วงจรสร้างสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle wave form circuit)

ในส่วนของการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมจะเป็นตัวควบคุมความถี่ของการสวิตซ์ซิ่งของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม สำหรับโครงการนี้ได้เลือกความถี่ที่เหมาะสม คือ 20 KHz โดยที่ความถี่ในการสวิตซ์ซิ่งคงที่ที่ 20 KHz เนื่องจากที่ความถี่เท่านี้ เป็นจุดที่เหมาะสมในการขับเคลื่อนมอเตอร์ครั้งนี้ ถ้าหากใช้ความถี่ในการสวิตซ์ซิ่งสูงเกินกว่านี้ จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียจากการสวิตซ์ซิ่งสูง จนทำให้อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งเสียหายได้และถ้าเลือกความถี่ที่ต่ำเกินไปก็จะทำให้มอเตอร์ร้อน เกิดเสียงคราง มอเตอร์หมุนไม่เรียบเพราะมีรีปเปิลมากดังนั้นจึงควรเลือกความถี่ในการสวิตซ์ซิ่งที่เหมาะสม ในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมจะใช้ไอซี

สำเร็จ รูปเบอร์ TL 494 โดยจะดึงแต่สัญญาณสามเหลี่ยมออกมาใช้งานเท่านั้น รายละเอียดเพิ่มเติมต่างๆของ ไอซี TL 494 สามารถดูได้จากคาต้าล๊อกในภาคผนวก



รูปที่ 4.1 รายละเอียดวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม



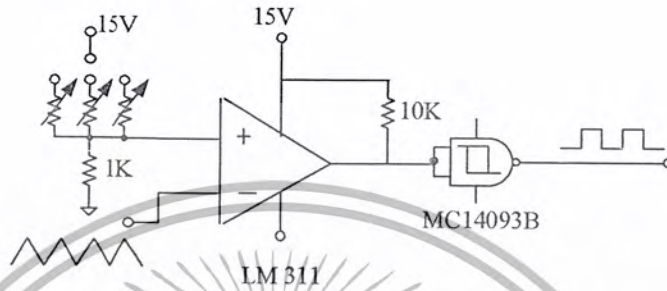
รูปที่ 4.2 ผลของรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้

จากรูปที่ 4.1 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากไอซี TL494 ที่ขา 5 นั้นจะมีค่าประมาณ 3 v ดังแสดงใน รูปที่ 4.2 ซึ่งมีแอมพลิจูดของสัญญาณเท่ากับ 3 V และความถี่ 20 KHz วงจรนี้สามารถปรับความถี่ของรูปคลื่น ได้จากการปรับ VR 10 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณสามเหลี่ยม

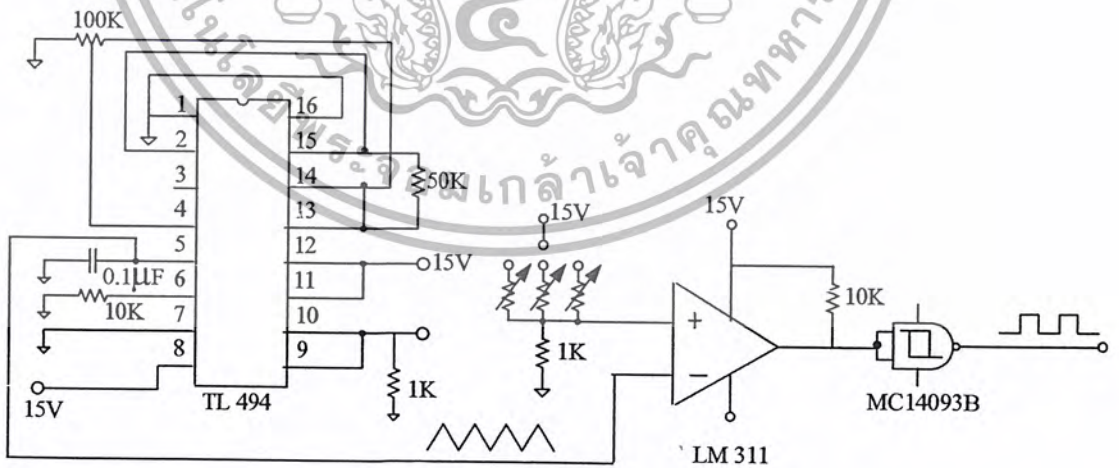
ในส่วนนี้จะเป็นการนำเอาสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากไอซี TL494 มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ได้จากการปรับตั้งแรงดันคิตซ์ไว้ซึ่งจะมีแรงดันคิตซ์ปรับตั้งไว้ 3 ค่าด้วยกันซึ่งวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะใช้ ไอซี LM 311 แสดงได้ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 4.3 จะสังเกตเห็นได้ว่านอกจากไอซี LM 311 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณแล้ว ยังมีไอซี MC14093B อีกตัวหนึ่งซึ่งจะเป็นไอซี NAND GATE โดยมันจะทำหน้าที่กลับเฟสสัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของไอซี LM 311 เพื่อที่จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์บิตวี่เอ็มที่เรียบขึ้น และสวยงามขึ้น ทางด้านเอาต์พุตของวงจร เพราะไอซี NAND GATE ตัวนี้จะให้ลอจิกเป็น 0 กับ 1 เท่านั้น

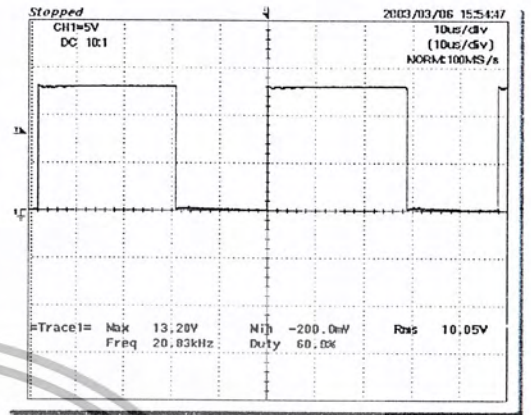
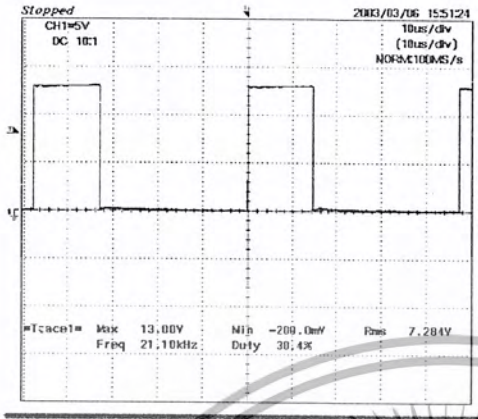
3. วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์บิตวี่เอ็มที่ใช้ในโครงงาน



รูปที่ 4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์บิตวี่เอ็ม (PWM Generator)

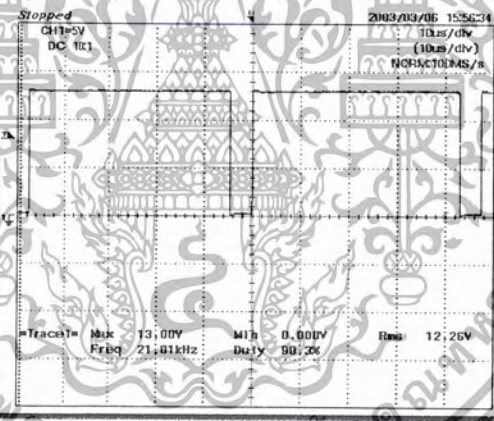
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับลิ้วเอ็ม



(ก) Duty cycle ประมาณ 30 %

(ข) Duty cycle ประมาณ 60 %

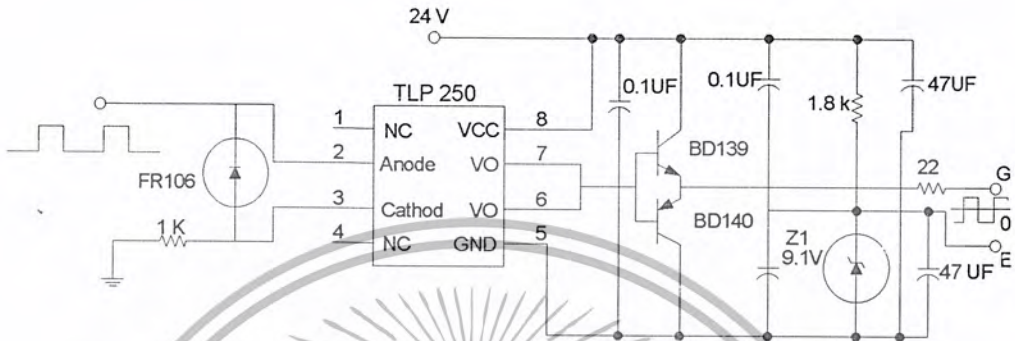


(ค) Duty cycle ประมาณ 90 %

รูปที่ 4.5 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับลิ้วเอ็ม ที่ duty cycle ขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive)

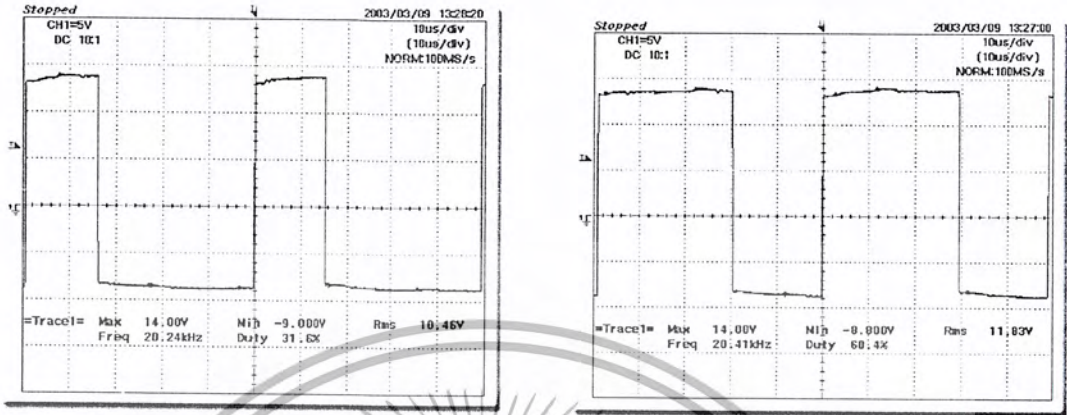


รูปที่ 4.6 วงจรขับนำเกต และแยกกราวด์ (Isolate Gate Drive)

หลักการทำงานของวงจร

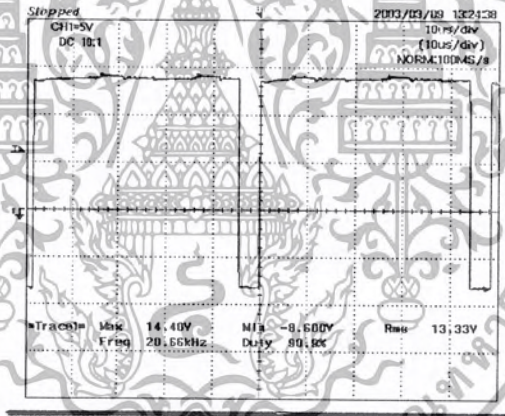
เมื่อสัญญาณเฟล็คับลิวิตีที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณเฟล็คับลิวิตี ถูกส่งผ่านมาทางขา Anode ทำให้ ไอซี TLP 250 ทำงาน และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากไอซี TLP 250 นั้นจะได้ตามคุณสมบัติของไอซี TLP 250 คือ ไอซี TLP 250 ต้องการไฟเลี้ยง +24 โวลต์ที่ขา 8 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาที่ขา 6 และขา 7 ของ ไอซี เมื่อเทียบกับกราวด์ที่ ขา 5 สัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นพัลส์ที่มีระดับสัญญาณอยู่ที่ 24 โวลต์ ตามแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนให้กับ TLP 250 แต่เนื่องจากไอซี TLP 250 ไม่สามารถที่จะจ่ายกระแสได้เพียงพอต่อความต้องการของ IGBT จึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 139 และ BD 140 ทำการต่อแบบคอมพลีเมนทารี (Complementary) เพื่อช่วยจ่ายกระแสในการทริกขาเกตของ IGBT แต่เมื่อวัดทำการระดับสัญญาณที่ได้ที่ขาเกต และขาซอร์ทของ IGBT จะได้ระดับสัญญาณที่ 14 โวลต์ โดยระดับของสัญญาณที่ออกมานี้จะถูกควบคุมโดย Z1 ซึ่งระดับของสัญญาณที่ได้จะมีความเหมาะสมกับความต้องการของ IGBT ที่จะสามารถทำงานเป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งได้

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรจับนำแกด และแยกกราวด์



(ก) Duty cycle ประมาณ 30 %

(ข) Duty cycle ประมาณ 60 %

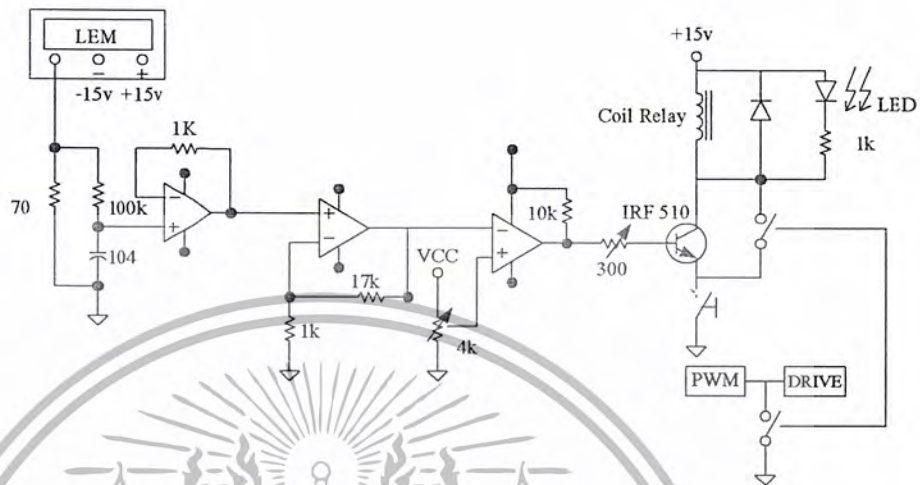


(ค) Duty cycle ประมาณ 90 %

รูปที่ 4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับสวิทช์ ที่ duty cycle ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection)



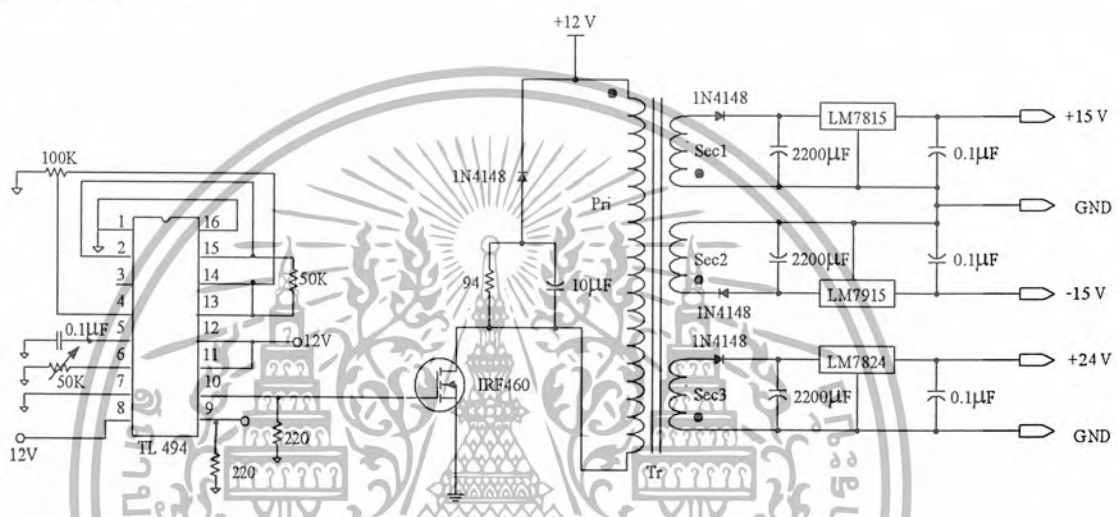
รูปที่ 4.8 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection)

เนื่องจากการนำ IGBT มาทำเป็นอุปกรณ์สวิตช์นั้น ตัว IGBT จะมีความแพงมาก เราจึงต้องทำการป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดการเสียหายขึ้น จึงได้นำ LEM มาใช้ในการสร้างวงจรป้องกันซึ่ง LEM ซึ่งมีข้อดีคือสัญญาณที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนต่ำและสามารถใช้งานกับความถี่สูงได้ ดังนั้นวงจรป้องกันกระแสเกินที่ตอบสนองได้รวดเร็วเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการป้องกันด้วยฟิวส์เป็นการป้องกันที่กระแสเกินเป็นเวลานานเมื่อเทียบกับกระแสเพื่อที่มีขนาดใหญ่ มักจะเป็นรูปคลื่นความถี่สูงๆ อุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือรีเลย์และหน้าสัมผัสแม่เหล็ก (Relay and Magnatic contactors) โดยที่หน้าสัมผัสจะทำการตัดวงจรตามแรงดันควบคุมขดลวด (Coil voltage) การต่อวงจรป้องกันต้องทำการออกแบบวิธีที่จะดึงสัญญาณกระแสมาควบคุมหน้าสัมผัสแม่เหล็กให้ได้ โดยวิธีที่ใช้ก็คือการ sense กระแสไฟให้เป็นสัญญาณแรงดัน แล้วนำแรงดันที่ได้มาเปรียบเทียบกับแรงดันเปรียบเทียบคงที่ (Constant Reference Voltage) เมื่อแรงดันที่วัดกระแสมีค่าเกินซึ่งหมายความว่ามีการเสกเกิน ก็จะทำให้เกิดแรงดันควบคุมขดลวดของรีเลย์และทำการตัดวงจรที่หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Closed Contact) ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดจะทำการรักษาสภาพหน้าสัมผัสไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจรอีกเมื่อตัดกระแสไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบไปด้วยรีเลย์สองหน้าสัมผัส (Two contact) ไอจีบีทีส่งสัญญาณไปควบคุมไปยังขดลวด ออกแบบที่หน้าที่ยเปรียบเทียบสัญญาณไดโอด ความต้านทานตัวเก็บประจุต่างๆ สำหรับการต่อสวิตช์รีเซต และ LED เพื่อแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

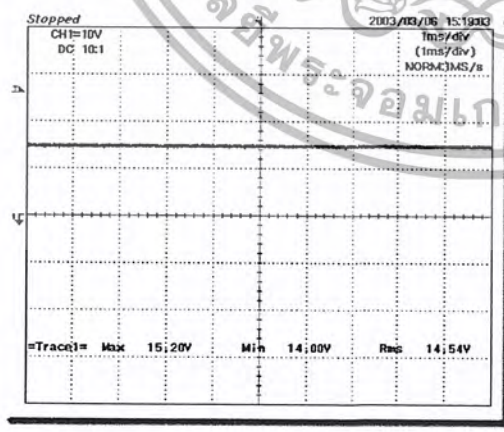
4.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่กระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply)

สำหรับโครงการนี้ได้เลือกใช้วงจรแหล่งจ่ายไฟที่กระแสตรงแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Fly Back Converter) ซึ่งเป็นคอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่ง เนื่องจากโครงการนี้เป็นระบบ Stand Alone ดังนั้นจึงต้องมีวงจรไฟเลี้ยงให้กับไอซีต่างๆ และวงจรที่ใช้นี้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำเหมาะสำหรับสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่มีกำลังขาออกในช่วง 50 - 150 วัตต์ แต่คอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าแรงดันกระเพื่อม (Ripple) ค่อนข้างสูง วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่ได้เลือกใช้ในโครงการนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

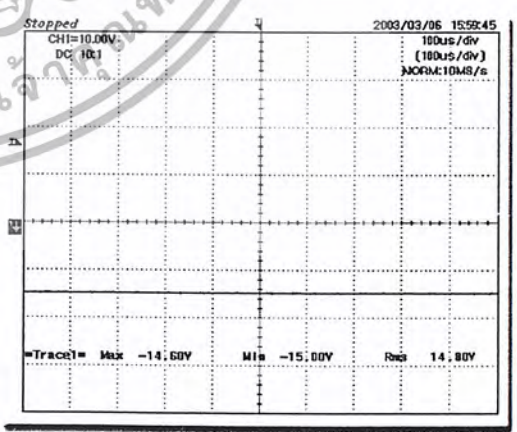


รูปที่ 4.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่กระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

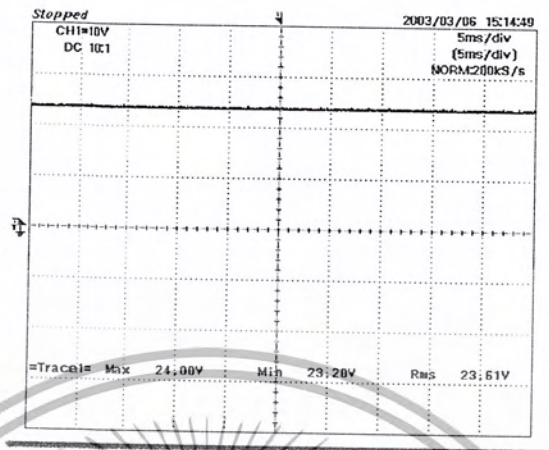


(ก.) แรงดันเอาต์พุต +15 V



(ข.) แรงดันเอาต์พุต -15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ด.) แรงดันเอาต์พุต +24 V

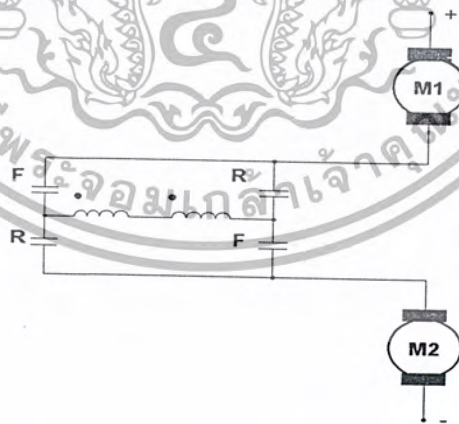
รูปที่ 4.10 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

4.5 วงจรเดินหน้า ถอยหลัง

การกลับทางหมุนของมอเตอร์

การกลับทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำได้ 2 วิธี คือ

1. เปลี่ยนทิศทางกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์
2. เปลี่ยนทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก



รูป 4.11 การกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

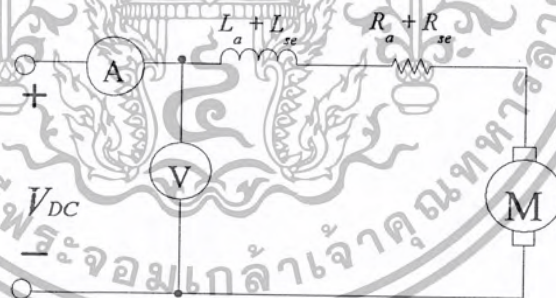
บทนี้เป็นการเก็บผลการทดลองในส่วนต่างๆของโรงงาน อย่างเช่น การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ และคุณสมบัติของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ที่ได้รับมานั้นเป็น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (DC Shunt Motor) และทำการแปลงเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor) จึงจำเป็นต้องทดสอบ

5.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ และ คุณสมบัติต่างๆมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานนี้มีจำนวน 2 ตัว หลังจากทำการดัดแปลงมาเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม จะต้องมีพารามิเตอร์และคุณสมบัติของมอเตอร์ที่มีค่าใกล้เคียงกันเพื่อที่จะได้ช่วยรับโหลดเท่าๆกัน

5.1.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

พารามิเตอร์ที่สำคัญของมอเตอร์ คือ ค่าความต้านทานของขดลวด ($R_a + R_{se}$) และค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด



รูปที่ 5.1 การหาค่าความต้านทานของขดลวดโดยวิธี Volt-Amp Method

การหาค่าความต้านทานของขดลวด ถ้าไม่คิดผลของกระแสไหลที่ผิว (Skin Effect) จะหาได้โดยวิธี Volt-Amp Method แล้วพิจารณาลักษณะกระแสที่ไหลว่ามอเตอร์ทั้งสองตัวมีลักษณะใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวด

มอเตอร์ตัวที่ 1

V(V)	I(A)	R(Ω)
1	0.9	1.1
2	1.8	1.167
3	2.6	1.154
4	3.5	1.143
5	4.3	1.163
Average = 1.145 Ω		

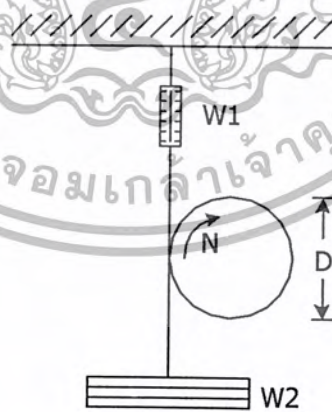
มอเตอร์ตัวที่ 2

V(V)	I(A)	R(Ω)
1	0.9	1.1
2	1.6	1.25
3	2.3	1.3
4	2.5	1.6
5	3.6	1.39
Average = 1.3 Ω		

จากตารางที่ 5.1 จะพบว่าค่าความต้านทานของขดลวดโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.1 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์

การทดสอบนี้เพื่อจะดูแนวโน้มว่าคุณสมบัติแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ และ Plot graph เปรียบเทียบกับกราฟคุณสมบัติของ DC Series Motor ว่าคล้ายกันหรือไม่ จากแผ่นป้ายพิกัด (Name plate) มอเตอร์ที่ใช้มีพิกัด 700 Watt; 70 Volt; 13 Amp



รูปที่ 5.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์

โดยที่แรงบิดส่งออก (T_{out}) หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้คำนวณแรงบิดของมอเตอร์

$$T_{ou} = 9.8(W_2 - W_1)(D/2) \quad (\text{N.M}) \quad (5.1)$$

$$P_0 = TL\omega \quad (\text{W}) \quad (5.2)$$

$$\omega = 2\pi N/60 \quad (5.3)$$

เมื่อ W_2 เป็นน้ำหนักของลูกตางค์ (kg)

D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทุลเล่ย์ (m) ในที่นี้มีค่า 0.0325 m

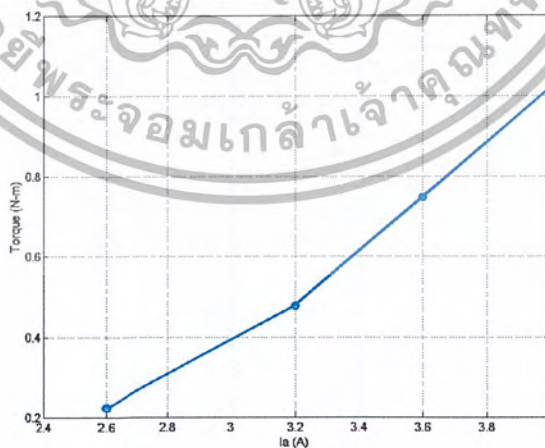
N เป็นความเร็วของมอเตอร์ (rpm)

จากการทดสอบมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ด้วยวิธีข้างต้น จะได้ค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์ (ตัวที่ 1)

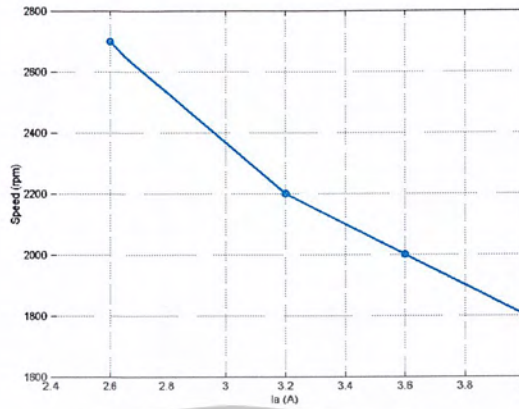
ครั้งที่	W_1 (kg)	W_2 (kg)	N (rpm)	I_o (A)	T_{ou} (N.m)
1	0.6	2	2700	2.6	0.223
2	1	4	2200	3.2	0.478
3	1.3	6	2000	3.6	0.748
4	1.6	8	1800	4	1.019

นำค่าที่ได้จากตารางมา Plot graph หาความสัมพันธ์ได้ดังนี้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

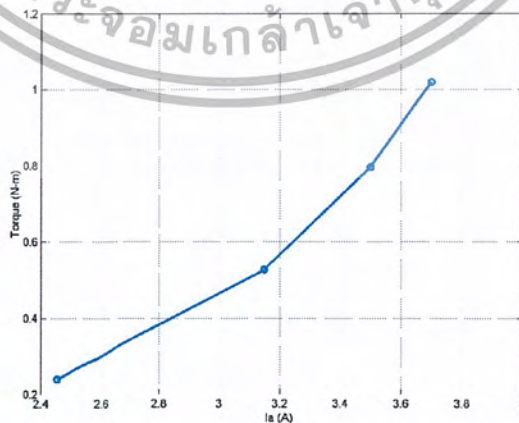
รูปที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ตัวที่ 1

(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแส (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแส

ตารางที่ 5.3 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์ (ตัวที่ 2)

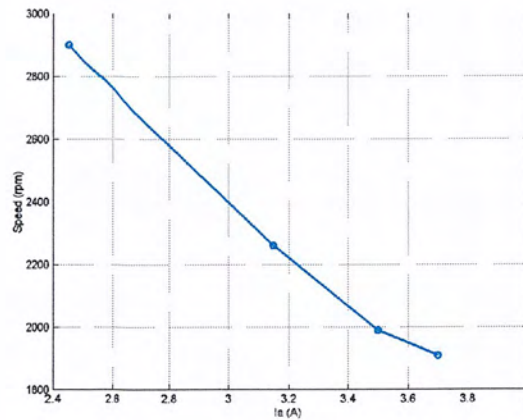
ครั้งที่	W_1 (kg)	W_2 (kg)	N (rpm)	I_a (A)	T_{out} (N.m)
1	0.5	2	2900	2.45	0.239
2	0.7	4	2260	3.15	0.526
3	1	6	1990	3.5	0.796
4	1.6	8	1910	3.7	1.019

นำค่าที่ได้จากตารางมา Plot graph หาค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ตัวที่ 2

(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแส (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแส

จากกราฟการทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำมอเตอร์ทั้งสองตัวมาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าได้

5.2 การทดสอบหาความเร็ว ขณะขับโหลดในระดับต่างๆ

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ตรวจสอบแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ ว่าอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานหรือไม่
- 2) ทำการเปิดสวิตช์ POWER , สวิตช์ CONTROL และหมุนสวิตช์เลือกทิศทางว่าต้องการเดินหน้าหรือถอยหลัง
- 3) นำด้ามตะขอเกี่ยวต่อเข้ากับรถ Shopping cart ครั้งละ 10 คัน , 15 คัน และ 20 คัน
- 4) จากนั้นก็เลือกทดสอบระดับแรงดันที่ระดับคือ Low , Medium และ High
- 5) บันทึกผลการทดสอบที่ได้ดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบหาความเร็วขณะขับโหลดในระดับต่างๆ

จำนวนรถจัมพ์ย่ำ สินค้า 25 kg/คัน	ระดับ ความเร็วของ รถ	ความเร็ว (km/hr)	กระแสที่วัด ได้ (Amp)	แรงดันที่วัด ได้ (Volt)	กำลังงาน (Watt)
(10 คัน) 250 kg	LOW	1.358	2	46	90
	MEDIUM	2.78	3	90	270
	HIGH	4.3	4	133	540
(15 คัน) 375 kg	LOW	0.73	2	45	90
	MEDIUM	1.99	2.5	90	225
	HIGH	3.6	3	135	405
(20 คัน) 500 kg	LOW	-	-	-	-
	MEDIUM	2.58	4	90	360
	HIGH	3.43	4	135	540

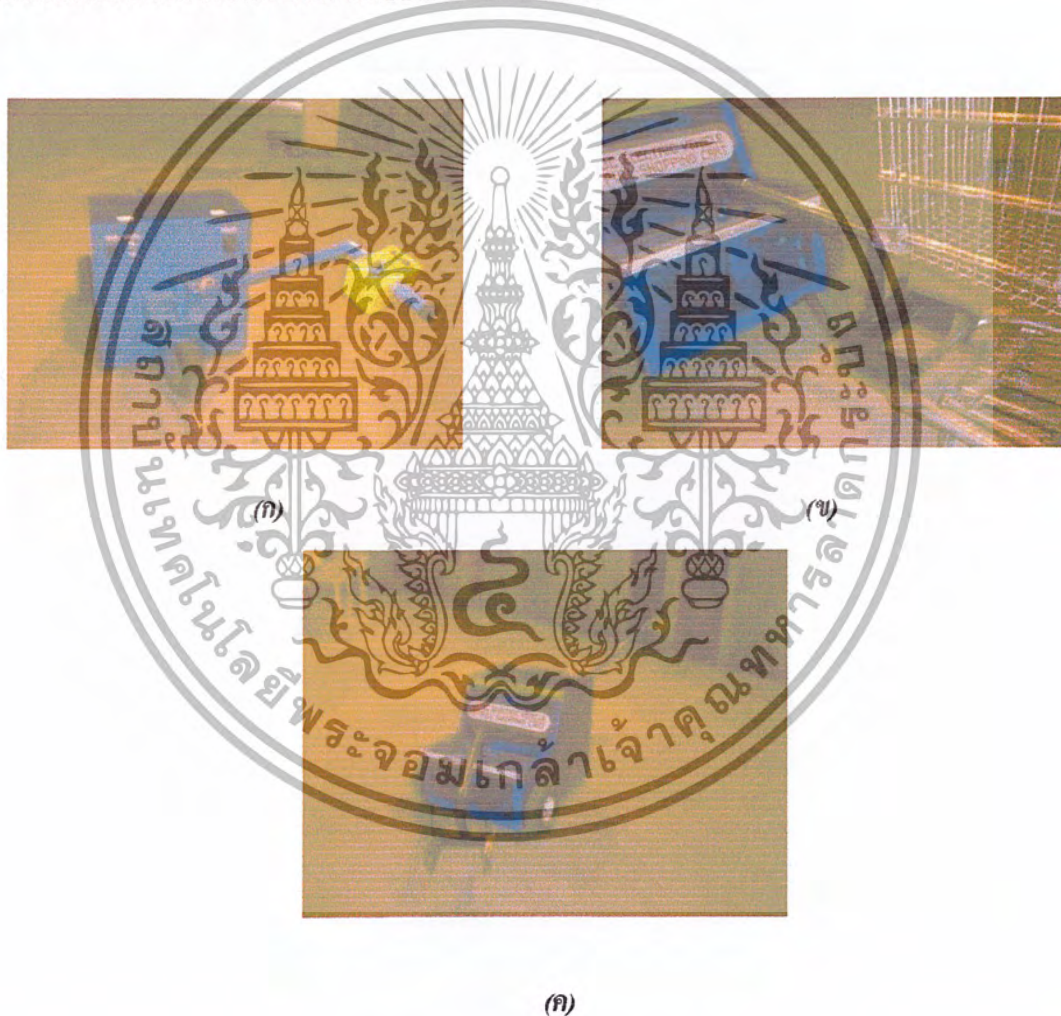
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่แรงดันระดับหนึ่งเมื่อเราเพิ่มโหลด (รถจัมพ์ย่ำสินค้า) มากขึ้นจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงซึ่งก็จะทำให้ความเร็วของรถตกลงด้วย และเวลาที่ใช้ในการดึงโหลดก็จะใช้เวลานานขึ้นด้วย แต่ถ้าเราปรับแรงดันเพิ่มมากขึ้นจะทำให้รถมีความเร็วเพิ่มขึ้นและความเร็วที่ใช้ในการลากก็จะน้อยลงด้วยซึ่งคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ จะเป็นไปตามทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor) ดังที่ได้ข้างอิงไว้ในบทที่ 2

บทที่ 6

โครงสร้าง

บทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างการออกแบบ และการใช้งานรถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า เพื่อที่จะได้เห็นถึงองค์ประกอบของ โครงสร้างทั้งหมด และสามารถใช้งานได้ถูกต้อง

6.1 ลักษณะภายนอกของรถไฟฟ้าสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า

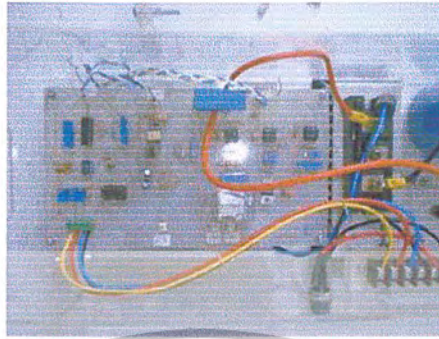


รูปที่ 6.1 ลักษณะภายนอกที่จัดทำขึ้น

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง (ค) ภาพโดยรวม คันบังคับ ค้ำตะขอเกี่ยวรถจับจ่ายสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ลักษณะภายในของรถไฟฟ้าสำหรับถลากรถจ่ายสินค้า



รูปที่ 6.2 ชุดควบคุม

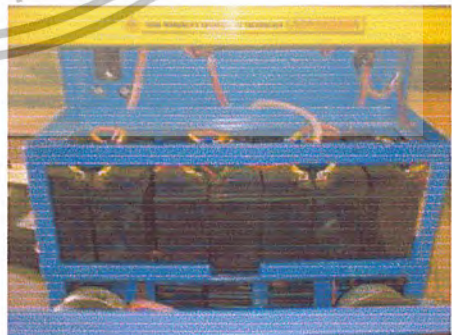
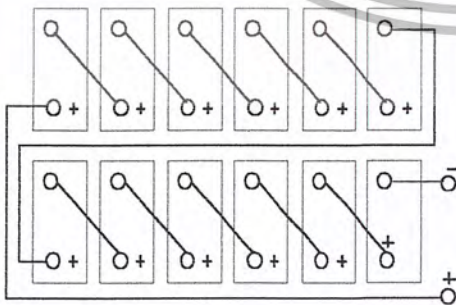


(ก)

(ข)

รูปที่ 6.3 ลักษณะมอเตอร์และเกียร์ทดที่ใช้

(ก) มอเตอร์ที่ใช้ (ข) เกียร์ทดรอบ อัตราทด 1: 10



รูปที่ 6.4 แสดงการวางตำแหน่งและการต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การใช้งาน

รายละเอียดต่างๆที่ใช้ควบคุมมีดังนี้

6.3.1 ส่วนควบคุม



(ก)

(ข)

รูปที่ 6.5 ลักษณะส่วนควบคุม (ก) สวิตช์เปิดใช้งานและสวิตช์ควบคุม

(ข) Selector Switch และ สวิตช์เลือกทิศทางเดินหน้า-ถอยหลัง

จากรูปประกอบไปด้วย

1. POWER สวิตช์เปิด-ปิด จ่ายไฟเข้าระบบ
2. CONTROL สวิตช์เปิด-ปิด วงจรควบคุม
3. CHARGER สวิตช์เปิด-ปิด ชarger ไฟเข้าแบตเตอรี่
4. LOW, MEDIUM, HIGH สวิตช์เลือกระดับความเร็ว
5. สวิตช์เลือกทิศทางเดินหน้า-ถอยหลัง

6.3.2 เริ่มการใช้งาน

สำหรับการใช้งานมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตรวจสอบแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ ว่าอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานหรือไม่
- 2) ทำการเปิดสวิตช์ POWER , สวิตช์ CONTROL และหมุนสวิตช์เลือกทิศทางว่าต้องการเดินหน้าหรือถอยหลัง
- 3) นำค้ำตะขอเชื่อมต่อเข้ากับรถ Shopping cart
- 4) เลือกระดับความเร็วในการขับเคลื่อน ซึ่งมีด้วยกัน 3 ระดับ สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับปริมาณของโหลดในการลากจูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 แสดงการใช้งาน

6.4 แบตเตอรี่ และการชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 6.7 ลักษณะแบตเตอรี่และการชาร์จ (ก) แบตเตอรี่ (ข) การชาร์จแบตเตอรี่

เมื่อแบตเตอรี่หมดหรือมีแรงดันต่ำจนรถไฟฟ้าไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ ควรมีการชาร์จแบตเตอรี่ โดยจะต้องทำการชาร์จในบริเวณที่สะอาด แห้ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก และห่างจากวัสดุไวไฟ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ตามปกติแล้วการชาร์จแบตเตอรี่รถไฟฟ้าทั่วไป จะต้องใช้เครื่องประจุแบตเตอรี่(Battery Charger) แต่ในโครงการนี้ไม่มีการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่จึงต้องทำการชาร์จโดยใช้ Variacจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่าน Bridge Diode เข้าแบตเตอรี่ ที่ต่ออนุกรมกัน 12 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการชาร์จแบตเตอรี่

1. ต่อวงจรโดยผ่าน Variac ,Bridge Diode และ Ammeter เข้า Battery ซึ่งต่ออนุกรมกัน 12 ลูกๆ ละ 12 โวลท์
2. จ่ายไฟเข้าและค่อยๆปรับ Variac เพื่อเพิ่มแรงดันไปเรื่อยๆจนถึง 160 โวลท์
3. จากนั้นก็ชาร์ตไปเรื่อยๆจนกระทั่งระดับกระแสที่อ่านได้จาก Ammeter คงที่ (0 amp)

ตารางที่ 6.1 แสดงคุณลักษณะของรถไฟฟ้าสำหรับสาครถจับจ่ายสินค้า

Specifications	DC Electric Vehicle Pull Shopping Cart
ความยาว	0.76 m
ความกว้าง	0.60 m
ความสูง	0.65 m
รัศมีล้อ	0.14 m
รัศมีวงเลี้ยว	0.70 m
ระบบไฟฟ้า	Battery 12 v x 12 =144 v, 18 Ah
ระบบส่งกำลัง	เกียร์ทดรอบ 1 :10
โครงตัวถัง	เหล็กฉากหนา 5 mm.
มอเตอร์	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2x700W, 70 V, 13 A, 1000 rpm
สูงจากพื้น	0.04 m

บทที่ 7

วิจารณ์และสรุปผล

บทสรุป

จากการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจริงที่สร้างขึ้น โดยอาศัยหลักการของคิฟเฟอเรนเชียลมอเตอร์ นำมาแทนชุดคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ สามารถทดแทนกันได้จริง ขณะทำการเลี้ยวความเร็วของล้อทั้งสองข้างไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้ว ไม่มีอาการท้ายปัดเวลาเลี้ยวโค้ง และสามารถออกตัวได้อย่างราบเรียบนุ่มนวลกว่ารถไฟฟ้าทั่วไป จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า หรือการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสนั้น จะมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ ว่าอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานหรือไม่
2. ทำการเปิดสวิตช์ POWER, สวิตช์ CONTROL และหมุนสวิตช์เลือกทิศทางว่าต้องการ เดินหน้าหรือถอยหลัง
3. นำค้ำตะขอเกี่ยวคอกเข้ากับรถ Shopping cart
4. เลือกระดับความเร็วในการขับเคลื่อน ซึ่งมีด้วยกัน 3 ระดับ สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับปริมาณของโหลดในการลากจูง

จากการใช้งานจะเห็นได้ว่ารถไฟฟ้านี้สามารถลากรถ Shopping cart ได้ตามวัตถุประสงค์

วิจารณ์

จากการทดสอบในห้องทดลอง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์ทั้งสองตัวที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกันก็จริง แต่เมื่อนำมาติดตั้งบนตัวรถไฟฟ้า และทำการทดสอบ ปรากฏว่า มอเตอร์ตัวหนึ่งไม่ช่วยในการขับเคลื่อน เสมือนเป็นโหลด แต่จะมีผลช่วยในช่วงที่มีการเลี้ยว คือทำให้การคิฟเฟอเรนเชียลดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ทั้งสองที่ใช้เป็นมอเตอร์มือสอง ที่เป็นแบบซัน แล้วนำมาพันขดลวดใหม่เป็นแบบซีรี่ส์ เวลาใช้งานจริงจึงไม่เหมือนกันทุกประการ แคร่รถไฟฟ้านี้ไม่ต้องการความเร็วสูงในการขับเคลื่อน รถจึงวิ่งได้โดยไม่มีปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนไม่เหมือนกันทุกประการ
2. ขาดความรู้ความเข้าใจในการออกแบบโครงสร้าง ของรถทำให้รถมีน้ำหนักมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเชื่อมต่อ (Coupling) ระหว่างชุดเกียร์ทรอบ กับ มอเตอร์ และ ระหว่างชุดเกียร์ทรอบ กับ ล้อ ต้องออกแบบให้ดี ถ้าการ Coupling ไม่ดีจะทำให้เกิดอันตรายต่อมอเตอร์ได้
4. ค้ำตะขอเกี่ยว ออกแบบมีน้ำหนักมากเกินไป

แนวทางในการพัฒนา

จากการทดสอบจะเห็นว่ารถไฟสำหรับลากรถจับจ่ายสินค้า ที่สร้างขึ้นนี้ ยังมีส่วนที่ไม่สมบูรณ์อีกมาก ควรที่จะได้รับการแก้ไข และพัฒนาต่อไปในอนาคต ดังนี้

- ในส่วนของมอเตอร์ถ้าสามารถใช้มอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดเดียวกันจะทำให้รถไฟคันนี้มีการทำงานที่ดีขึ้น
- ควรเพิ่มระบบป้องกันอุณหภูมิเกินในการประจุแบตเตอรี่และควรเพิ่มวงจรในส่วนที่แสดงสถานะระดับแรงดันของแบตเตอรี่ หรือมีการเตือนก่อนที่แบตเตอรี่จะหมด
- ควรมีจัดทำในด้านของตัวถังภายนอกให้มีลักษณะเบา กะทัดรัด แข็งแรง และอาจเพิ่มอุปกรณ์บางอย่างตามความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น สัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงานของรถ





ภาคผนวก
Data Sheet

มหาวิทยาลัยราชภัฏบรียัง
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

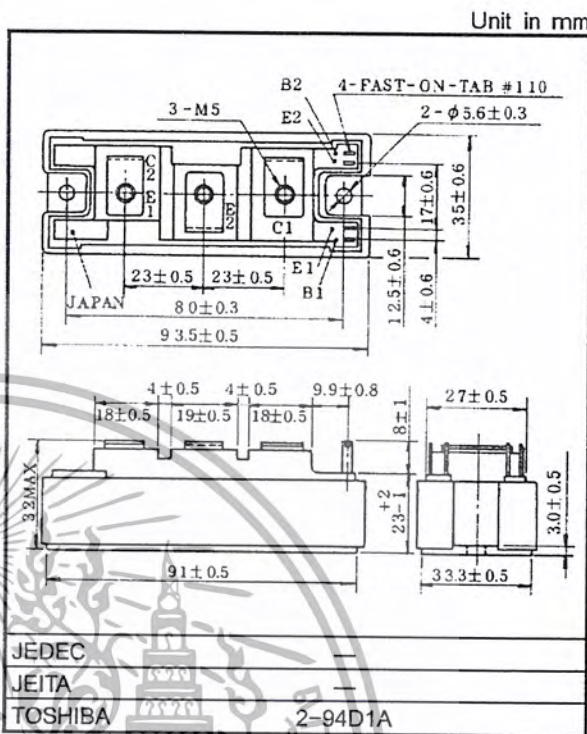
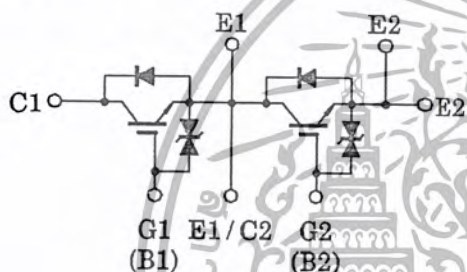
TOSHIBA GTR Module Silicon N Channel IGBT

MG50Q2YS40

High Power Switching Applications.
Motor Control Applications.

- High input impedance
- High speed: $t_f = 0.5\mu s$ (max.)
 $t_{rr} = 0.5\mu s$ (max.)
- Low saturation voltage
: $V_{CE(sat)} = 4.0V$ (max.)
- Enhancement-mode
- Includes a complete half bridge in one package.
- The electrodes are isolated from case.

Equivalent Circuit



Weight: 202g

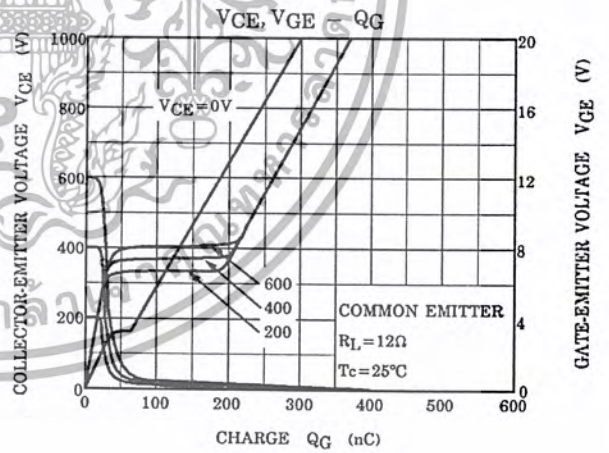
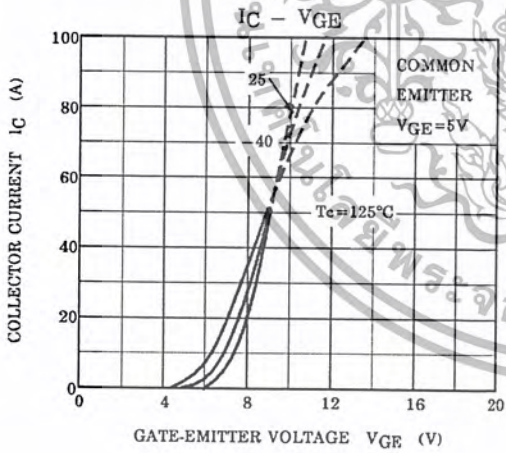
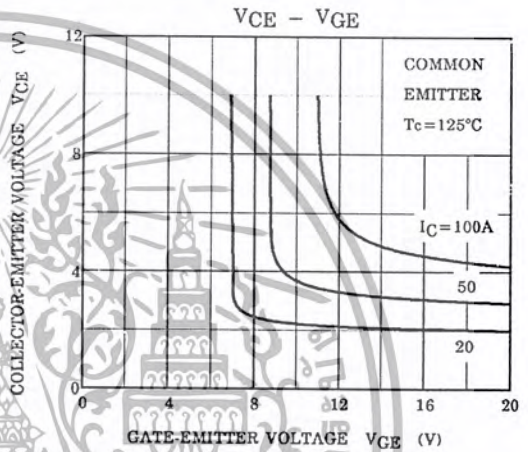
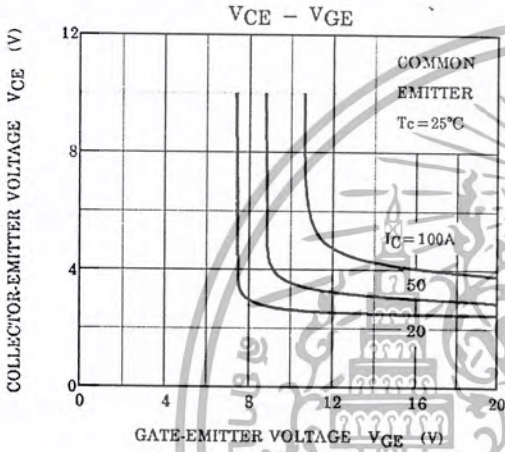
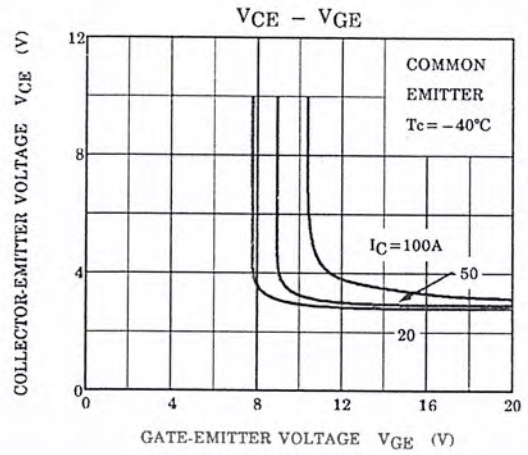
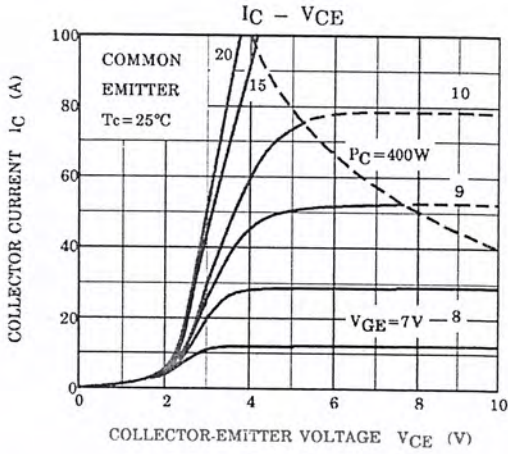
Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ C$)

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-emitter voltage	V_{CES}	1200	V
Gate-emitter voltage	V_{GES}	± 20	V
Collector current	DC	I_C	50
	1ms	I_{CP}	100
Forward current	DC	I_F	50
	1ms	I_{FM}	100
Collector power dissipation ($T_c = 25^\circ C$)	P_C	400	W
Junction temperature	T_j	150	$^\circ C$
Storage temperature range	T_{stg}	-40~125	$^\circ C$
Isolation voltage	V_{isol}	2500 (AC 1 minute)	V
Screw torque (terminal / mounting)	—	3 / 3	N·m

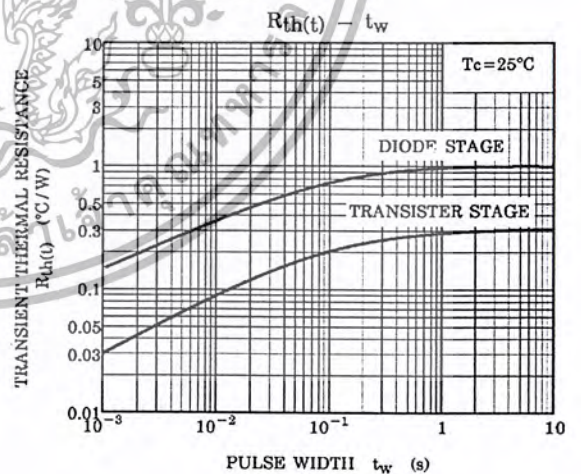
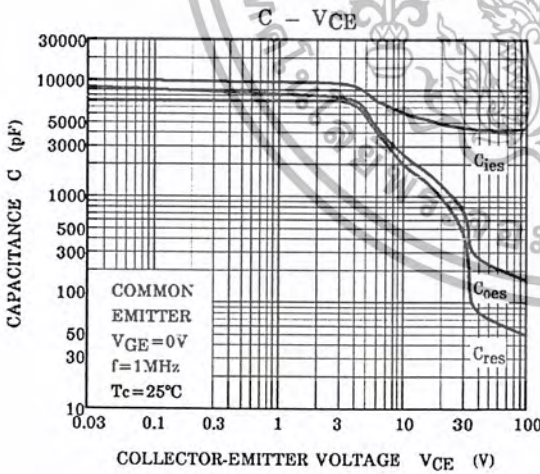
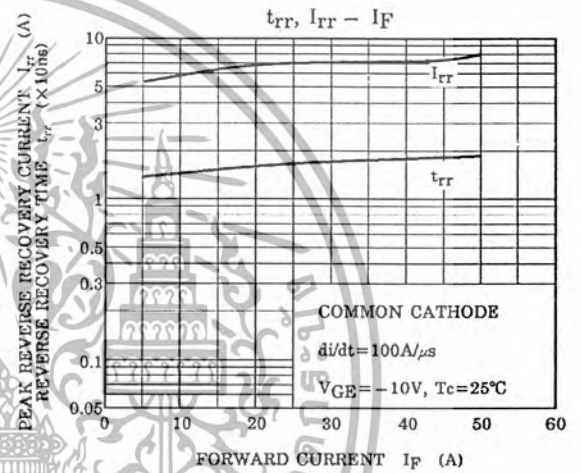
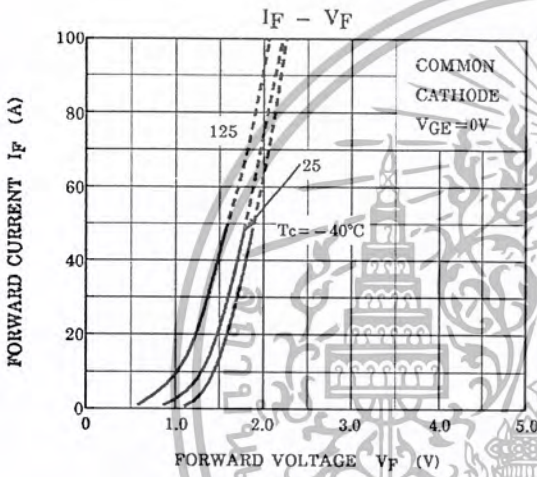
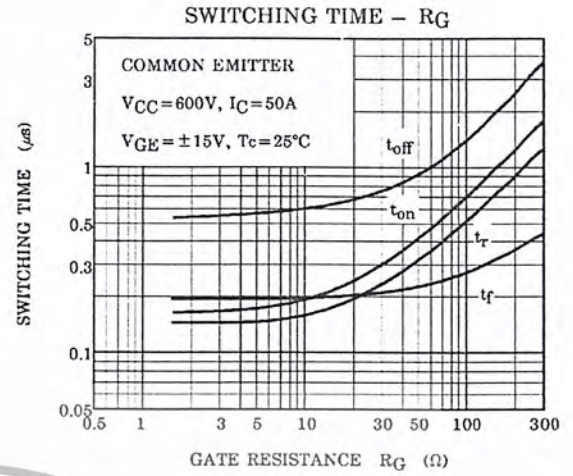
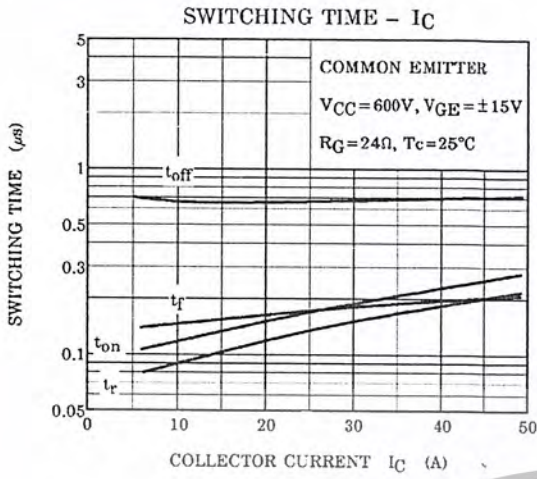
Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

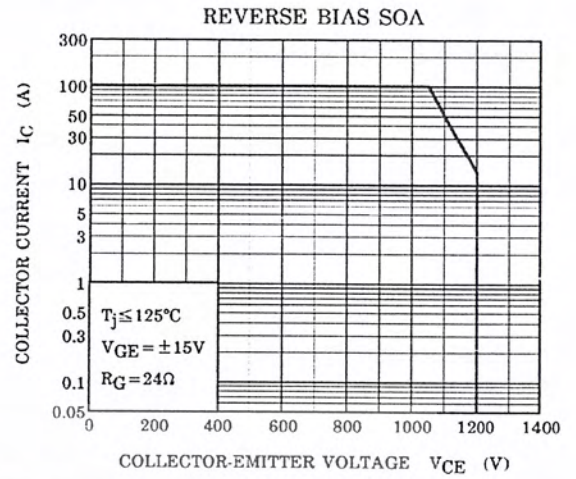
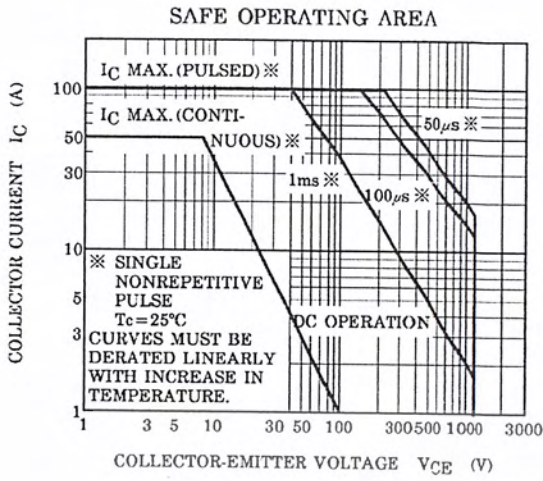
Characteristic		Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Gate leakage current		I_{GES}	$V_{GE} = \pm 20V, V_{CE} = 0$	—	—	± 10	μA
Collector cut-off current		I_{CES}	$V_{CE} = 1200V, V_{GE} = 0$	—	—	1.0	mA
Gate-emitter cut-off voltage		$V_{GE(off)}$	$I_C = 50mA, V_{CE} = 5V$	3.0	—	6.0	V
Collector-emitter saturation voltage		$V_{CE(sat)}$	$I_C = 50A, V_{GE} = 15V$	—	3.0	4.0	V
Input capacitance		C_{ies}	$V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0, f = 1MHz$	—	6000	—	pF
Switching time	Rise time	t_r		—	0.3	0.6	μs
	Turn-on time	t_{on}		—	0.4	0.8	
	Fall time	t_f		—	0.2	0.5	
	Turn-off time	t_{off}		—	0.8	1.5	
Forward voltage		V_F	$I_F = 50A, V_{GE} = 0$	—	2.0	2.5	V
Reverse recovery time		t_{rr}	$I_F = 50A, V_{GE} = -10V, di/dt = 100A/\mu s$	—	0.25	0.5	μs
Thermal resistance		$R_{th(j-c)}$	Transistor	—	—	0.31	$^{\circ}C/W$
			Diode	—	—	1.0	





GATE-EMITTER VOLTAGE V_{GE} (V)







RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EAA

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

TL494

SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

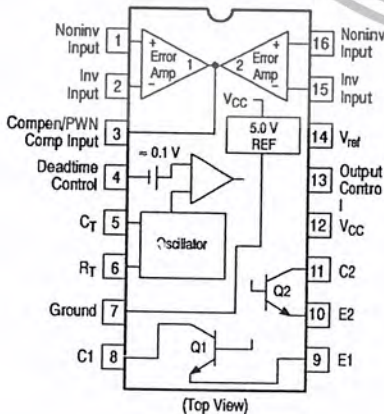
- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	42		V
Collector Output Voltage	V_{C1} , V_{C2}	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1.)	I_{C1} , I_{C2}	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V_{IR}	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ $T_A \leq 45^\circ\text{C}$	P_D	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	80		$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating Junction Temperature	T_J	125		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T_A	0 to +70 -40 to +85		$^\circ\text{C}$
Derating Ambient Temperature	T_A	45		$^\circ\text{C}$

1. Maximum thermal limits must be observed.

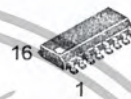
PIN CONNECTIONS



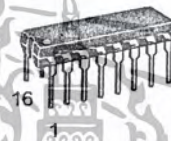
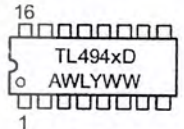
ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

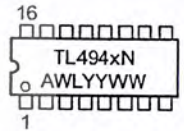
MARKING DIAGRAMS



SO-16
D SUFFIX
CASE 751B



PDIP-16
N SUFFIX
CASE 648



x = C or I
A = Assembly Location
WL, L = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TL494CD	SO-16	48 Units/Rail
TL494CDR2	SO-16	2500 Tape & Reel
TL494CN	PDIP-16	500 Units/Rail
TL494IN	PDIP-16	500 Units/Rail

TL494

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	–0.3	–	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	–	–	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μ F
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω , unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Voltage ($I_O = 1.0$ mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	Reg_{line}	–	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Reg_{load}	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION					
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	μ A
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	μ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2.) Common-Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	–	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	–	10 0.2	– 3.5	μ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	–	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	–	25 40	100 100	ns

2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

TL494

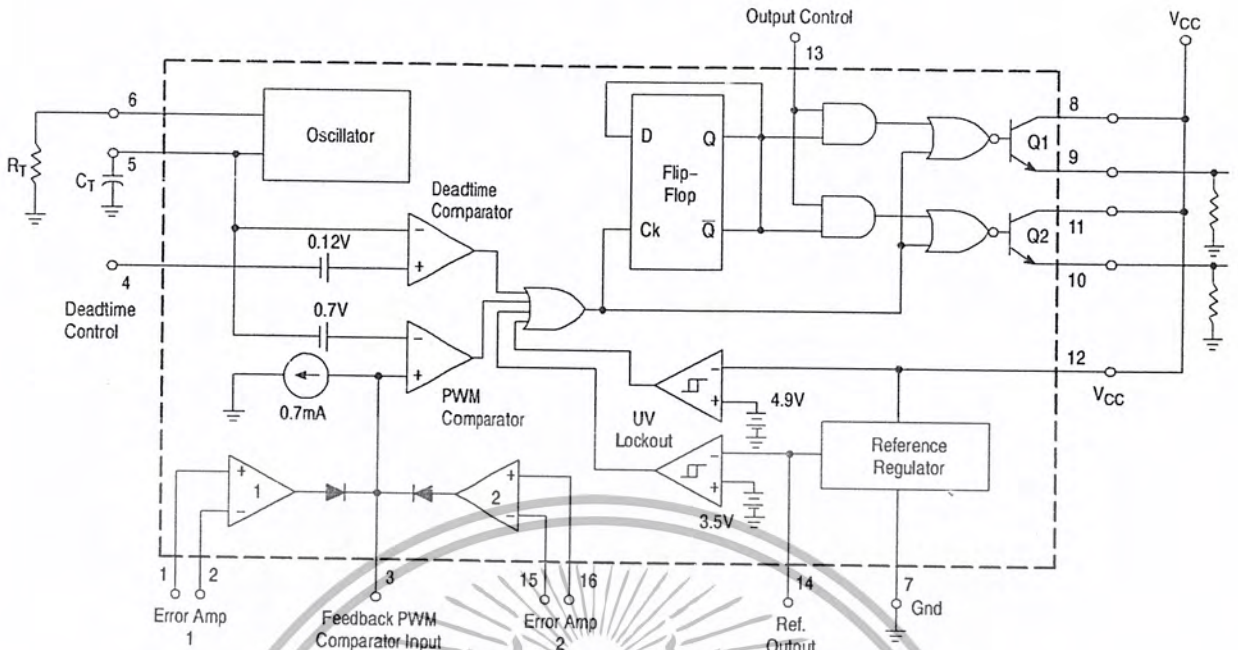
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, unless otherwise noted.)

For typical values T_A = 25°C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage (V _O (Pin 3) = 2.5 V)	V _{IO}	–	2.0	10	mV
Input Offset Current (V _O (Pin 3) = 2.5 V)	I _{IO}	–	5.0	250	nA
Input Bias Current (V _O (Pin 3) = 2.5 V)	I _{IB}	–	–0.1	–1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range (V _{CC} = 40 V, T _A = 25°C)	V _{ICR}	–0.3 to V _{CC} –2.0			V
Open Loop Voltage Gain (ΔV _O = 3.0 V, V _O = 0.5 V to 3.5 V, R _L = 2.0 kΩ)	A _{VOL}	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency (V _O = 0.5 V to 3.5 V, R _L = 2.0 kΩ)	f _c	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain (V _O = 0.5 V to 3.5 V, R _L = 2.0 kΩ)	φ _m	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio (V _{CC} = 40 V)	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV _{CC} = 33 V, V _O = 2.5 V, R _L = 2.0 kΩ)	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current (V _O (Pin 3) = 0.7 V)	I _O –	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current (V _O (Pin 3) = 3.5 V)	I _O +	2.0	–4.0	–	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V _{TH}	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current (V _O (Pin 3) = 0.7 V)	I _L	0.3	0.7	–	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) (V _{Pin 4} = 0 V to 5.25 V)	I _{IB} (DT)	–	–2.0	–10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode (V _{Pin 4} = 0 V, C _T = 0.01 μF, R _T = 12 kΩ) (V _{Pin 4} = 0 V, C _T = 0.001 μF, R _T = 30 kΩ)	DC _{max}	45	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V _{th}	–	2.8	3.3	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency (C _T = 0.001 μF, R _T = 30 kΩ)	f _{osc}	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* (C _T = 0.001 μF, R _T = 30 kΩ)	σ _{fosc}	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage (V _{CC} = 7.0 V to 40 V, T _A = 25°C)	Δf _{osc} (ΔV)	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature (ΔT _A = T _{low} to T _{high}) (C _T = 0.01 μF, R _T = 12 kΩ)	Δf _{osc} (ΔT)	–	–	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V _{CC} increasing, I _{ref} = 1.0 mA)	V _{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V _{ref} , All other inputs and outputs open) (V _{CC} = 15 V) (V _{CC} = 40 V)	I _{CC}	–	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current (C _T = 0.01 μF, R _T = 12 kΩ, V _{Pin 4} = 2.0 V) (V _{CC} = 15 V) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$

TL494



This device contains 46 active transistors.

Figure 1. Representative Block Diagram

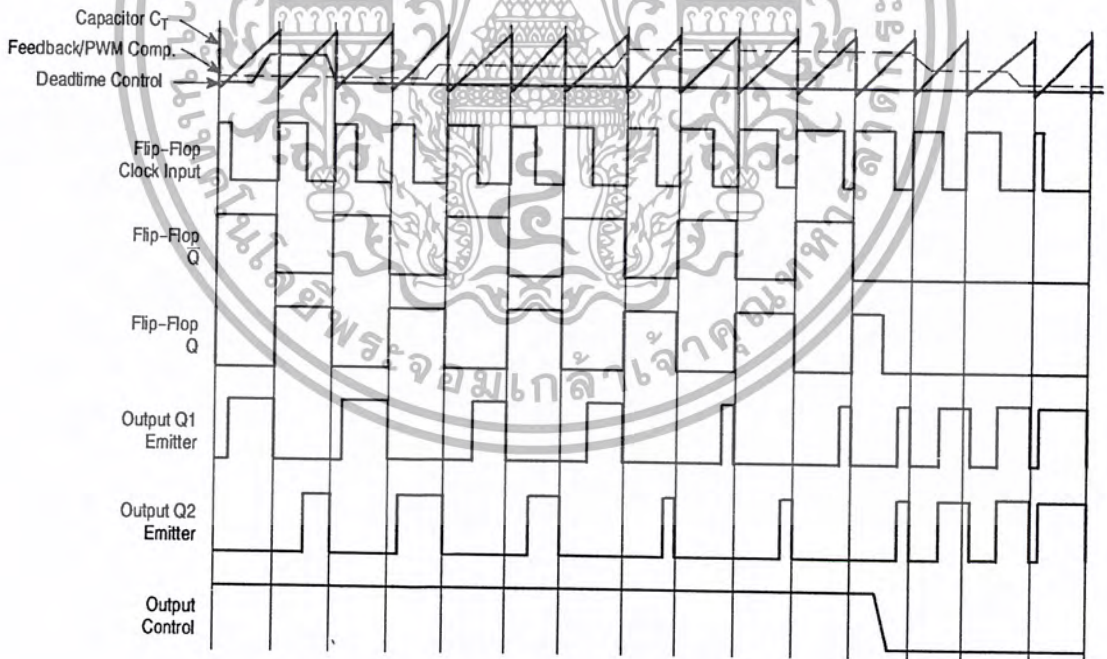


Figure 2. Timing Diagram

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ V_{ref}	Push-pull Operation	0.5

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a

common mode input range from -0.3 V to ($V_{CC} - 2V$), and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 5.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

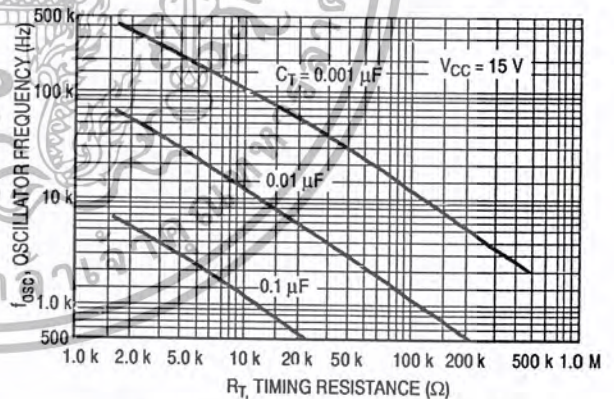


Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

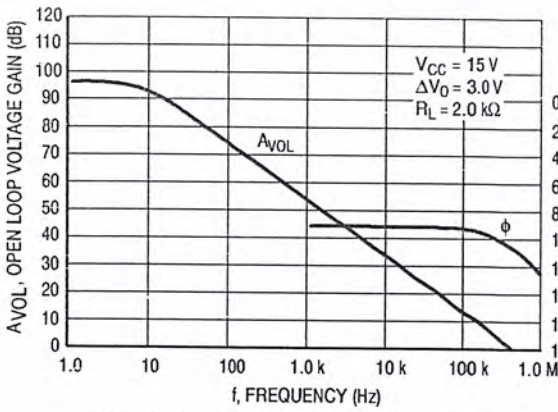


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

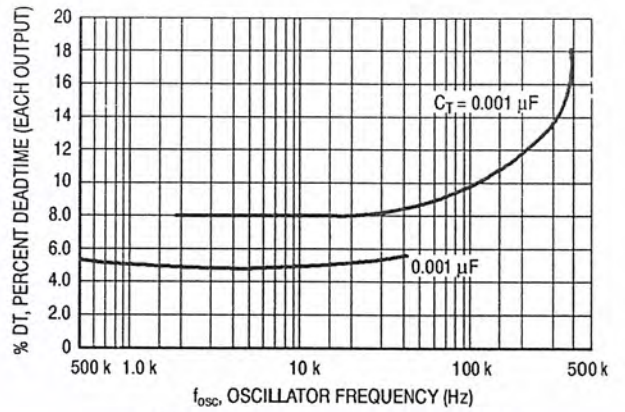


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

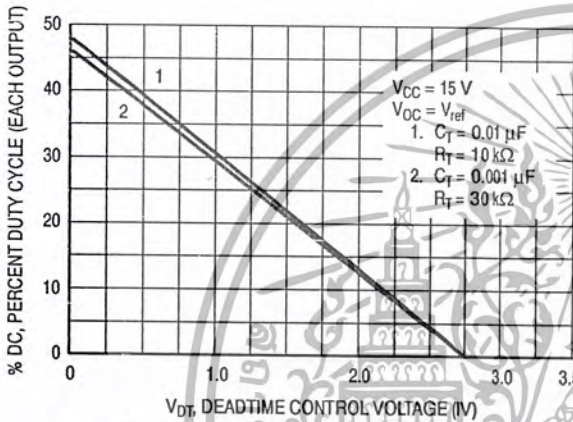


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

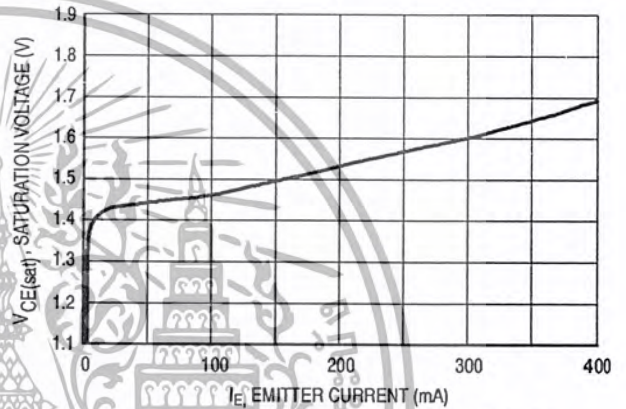


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

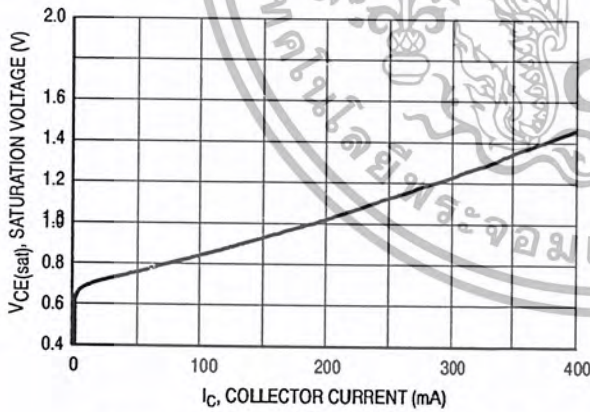


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

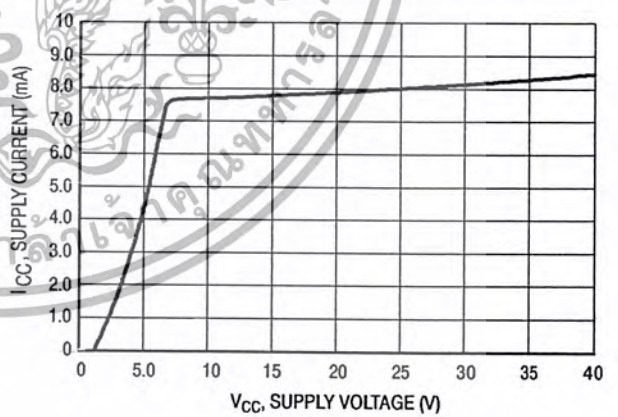


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

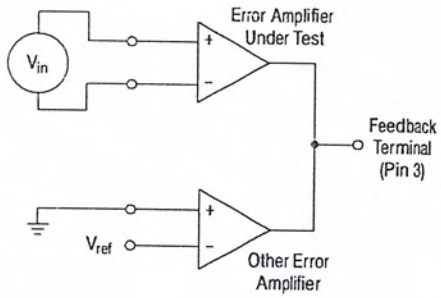


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

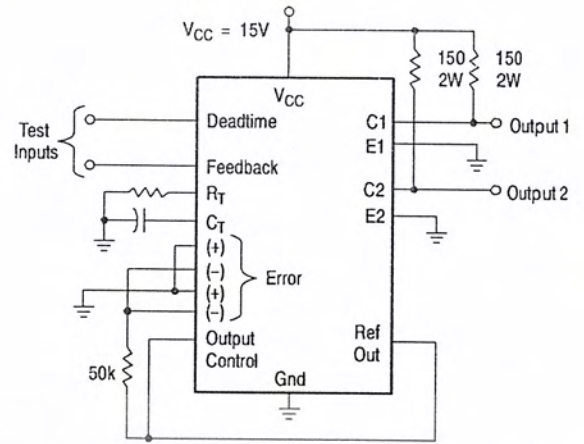


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

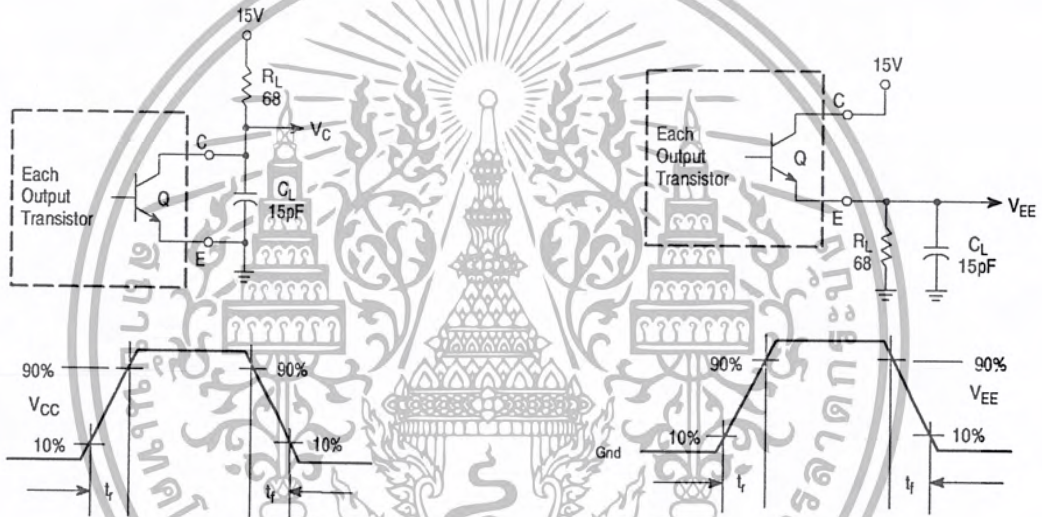


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

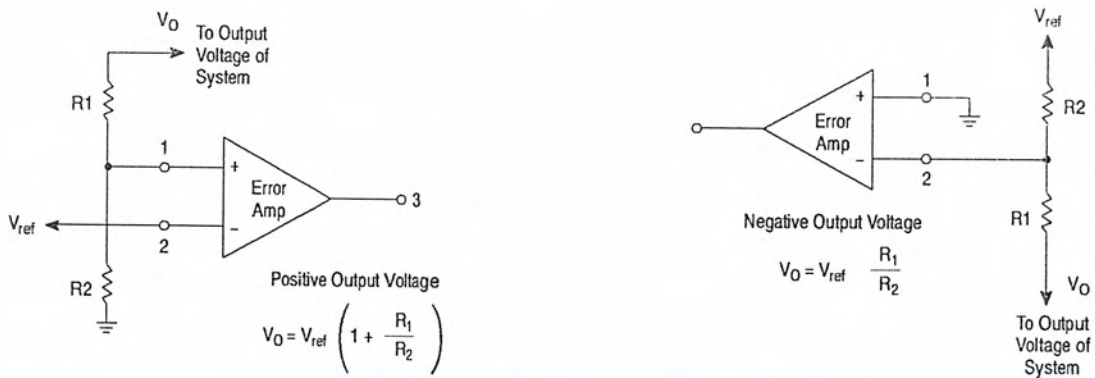


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

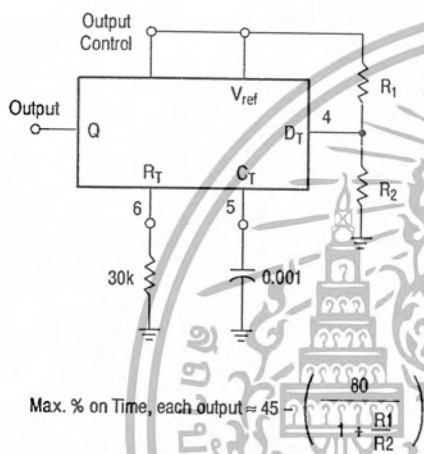


Figure 15. Deadtime Control Circuit

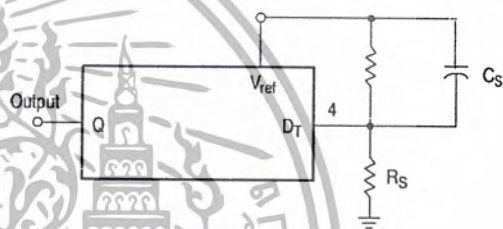


Figure 16. Soft-Start Circuit

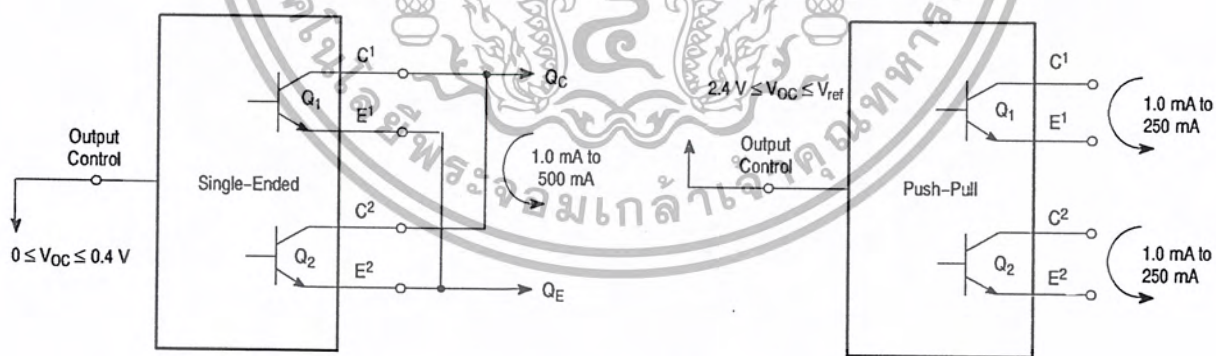


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

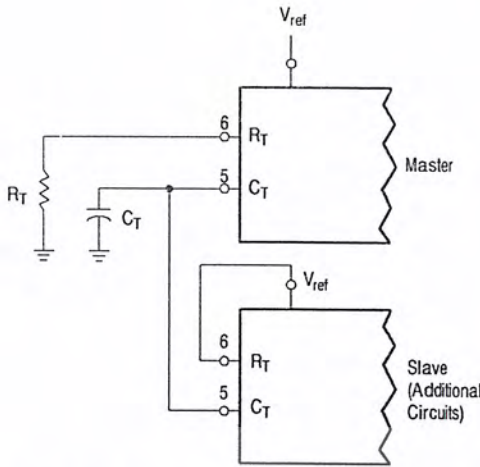


Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

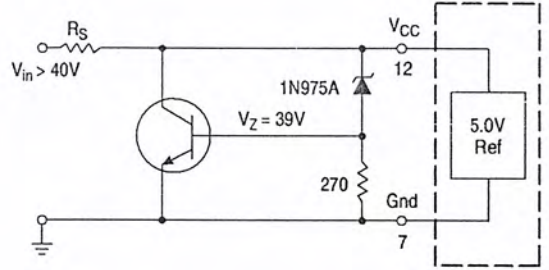


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

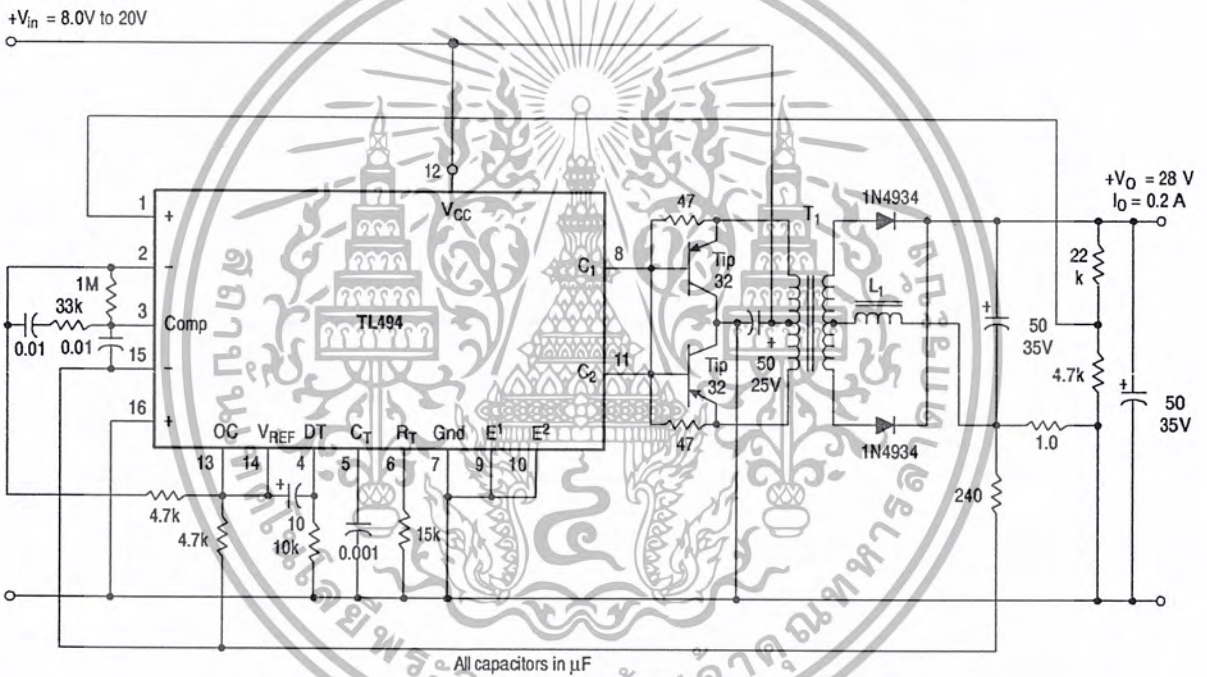


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to } 40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ mA to } 1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V}, R_L = 0.1\ \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

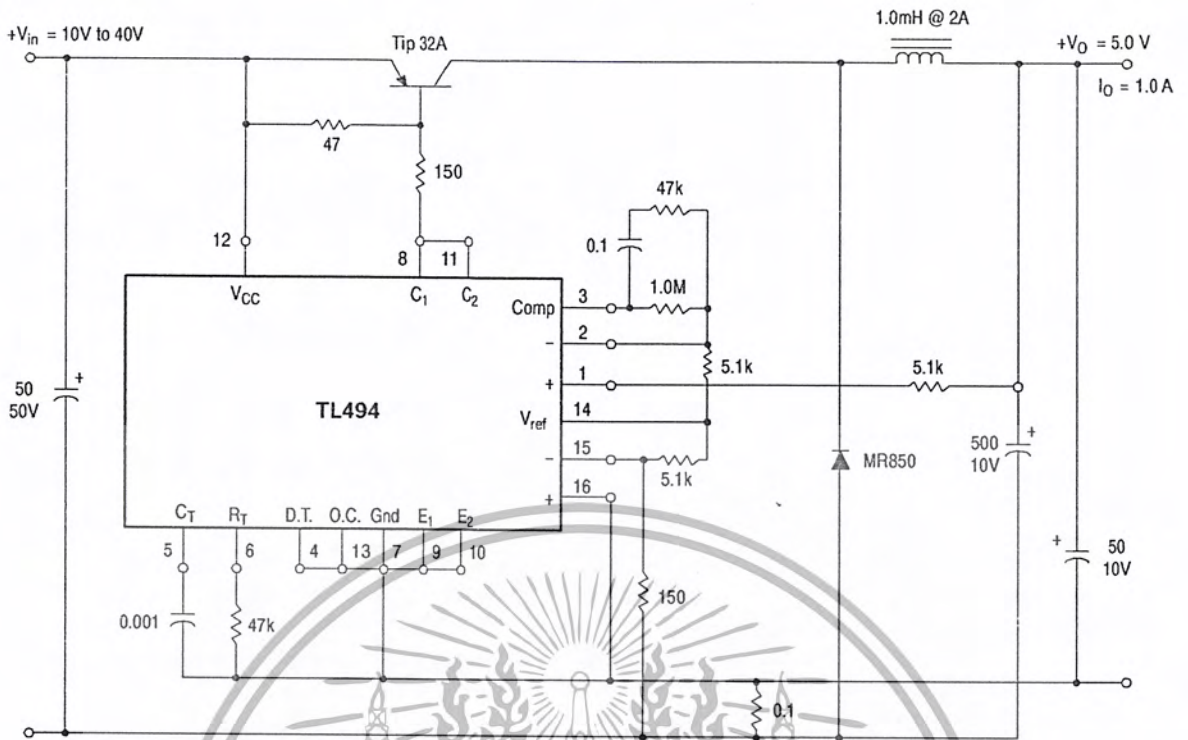


Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter

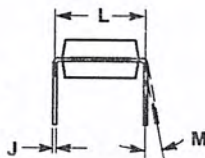
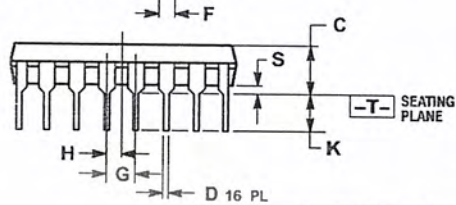
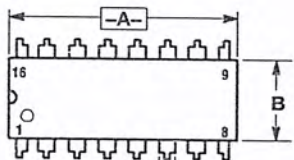
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-16
N SUFFIX
CASE 648-08
ISSUE R



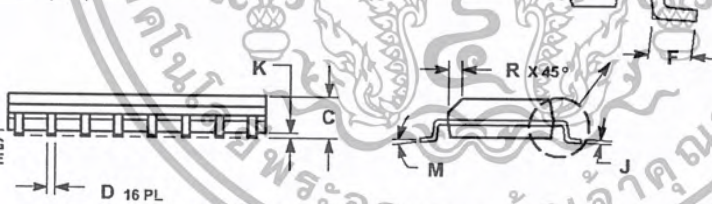
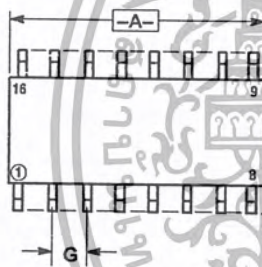
$\oplus 0.25 (0.010) \text{ (M) T A (M)}$

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

SO-16
D SUFFIX
CASE 751B-05
ISSUE J



$\oplus 0.25 (0.010) \text{ (M) T B (S) A (S)}$


NOTES:

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

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

NORTH AMERICA Literature Fulfillment:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
 P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com
Fax Response Line: 303-675-2167 or 800-344-3810 Toll Free USA/Canada

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

EUROPE: LDC for ON Semiconductor – European Support

German Phone: (+1) 303-308-7140 (Mon-Fri 2:30pm to 7:00pm CET)
Email: ONlit-german@hibbertco.com
French Phone: (+1) 303-308-7141 (Mon-Fri 2:00pm to 7:00pm CET)
Email: ONlit-french@hibbertco.com
English Phone: (+1) 303-308-7142 (Mon-Fri 12:00pm to 5:00pm GMT)
Email: ONlit@hibbertco.com

EUROPEAN TOLL-FREE ACCESS*: 00-800-4422-3781

*Available from Germany, France, Italy, England, Ireland

CENTRAL/SOUTH AMERICA:

Spanish Phone: 303-308-7143 (Mon-Fri 8:00am to 5:00pm MST)
Email: ONlit-spanish@hibbertco.com

ASIA/PACIFIC: LDC for ON Semiconductor – Asia Support

Phone: 303-675-2121 (Tue-Fri 9:00am to 1:00pm, Hong Kong Time)
Toll Free from Hong Kong & Singapore:
001-800-4422-3781
Email: ONlit-asia@hibbertco.com

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center

4-32-1 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan 141-0031
Phone: 81-3-5740-2745
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current	I_F	20	mA	
	Forward Current Derating ($T_a \geq 70^\circ\text{C}$)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA/ $^\circ\text{C}$	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
DETECTOR	Reverse Voltage	V_R	5	V	
	Junction Temperature	(T_j)	125	$^\circ\text{C}$	
	"H" Peak Output Current ($P_{W} \leq 2.5\mu\text{s}$, $f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" Peak Output Current ($P_{W} \leq 2.5\mu\text{s}$, $f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output Voltage	V_O	($T_a \leq 70^\circ\text{C}$)	35	V
			($T_a \leq 85^\circ\text{C}$)	24	V
	Supply Voltage	V_{CC}	($T_a \leq 70^\circ\text{C}$)	35	V
			($T_a \leq 85^\circ\text{C}$)	24	V
	Output Voltage Derating ($T_a \geq 70^\circ\text{C}$)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V/ $^\circ\text{C}$	
	Supply Voltage Derating ($T_a \geq 70^\circ\text{C}$)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V/ $^\circ\text{C}$	
Junction Temperature	(T_j)	125	$^\circ\text{C}$		
Operating Frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating Temperature Range	T_{opr}	-20~70	$^\circ\text{C}$		
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55~125	$^\circ\text{C}$		
Lead Solder Temperature (10s)	T_{sol}	260	$^\circ\text{C}$		
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. $\geq 60\%$, $T_a = 25^\circ\text{C}$) (Note 4)	BV_{is}	2500	Vrms		

Note 1 : Pulse width $P_W \leq 1\mu\text{s}$, 300pps.

Note 2 : Exponential Waveform.

Note 3 : Exponential Waveform, $I_{OPH} = -1.0\text{A}$ ($\leq 2.5\mu\text{s}$), $I_{OPL} = +1.0\text{A}$ ($\leq 2.5\mu\text{s}$).

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

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

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Current, ON	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.6	V
Supply Voltage	V_{CC}	15	—	30	V
Peak Output Current	I_{OPH} / I_{OPL}	—	—	± 0.5	A
Operating Temperature	T_{opr}	-20	25	70	$^\circ\text{C}$

TLP250 - 2
1995 - 4 - 8
TOSHIBA CORPORATION

(TLP250)
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT	
Input Forward Voltage	V _F	—	I _F =10mA, T _a =25°C	—	1.6	1.8	V	
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV _F /ΔT _a	—	I _F =10mA	—	-2.0	—	mV/°C	
Input Reverse Current	I _R	—	V _R =5V, T _a =25°C	—	—	10	μA	
Input Capacitance	C _T	—	V=0, f=1MHz, T _a =25°C	—	45	250	pF	
Output Current	"H" Level	I _{OPH}	3	V _{CC} =30V I _F =10mA V _{B-β} =4V (*1)	-0.5	-1.5	—	A
	"L" Level	I _{OPL}	2	I _F =0 V _{B-β} =2.5V	0.5	2	—	
Output Voltage	"H" Level	V _{OHH}	4	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, I _F =5mA	11	12.8	—	V
	"L" Level	V _{OOL}	6	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _F =0.8V	—	-14.3	-12.6	
Supply Current	"H" Level	I _{CCH}	—	V _{CC} =30V, I _F =10mA T _a =25°C	—	7	—	mA
	"L" Level	I _{CCL}	—	V _{CC} =30V, I _F =10mA	—	—	11	
	"L" Level	I _{CGL}	—	V _{CC} =30V, I _F =0mA T _a =25°C	—	—	7.5	
Threshold Input Current	"Output L→H"	I _{FHL}	—	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _O >0V	—	1.2	5	mA
Threshold Input Voltage	"Output H→L"	V _{FHL}	—	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _O ≤0V	0.8	—	—	V
Supply Voltage	V _{CC}	—	—	10	—	35	V	
Capacitance (Input-Output)	C _S	—	V _S =0, f=1MHz T _a =25°C	—	1.0	2.0	pF	
Resistance (Input-Output)	R _S	—	V _S =500V, T _a =25°C R.H.≤60%	5×10 ¹¹	10 ¹⁴	—	Ω	

* All typical values are at T_a=25°C (*1) : Duration of I_O time=50μs

TLP250-3
1996-4-8
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250
 SWITCHING CHARACTERISTICS ($T_a = -20 \sim 70^\circ\text{C}$, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Propagation Delay Time	L-H	t_{PLH}	$I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC1} = +15\text{V}, V_{EE1} = -15\text{V}$	—	0.15	0.5	μs
	H-L	t_{PHL}		—	0.15	0.5	
Output Rise Time		t_r	$R_L = 2100\Omega$	—	—	—	μs
Output Fall Time		t_f		—	—	—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		C_{MH}	$V_{CM} = 800\text{V}, I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	-5000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		C_{ML}	$V_{CM} = 600\text{V}, I_F = 6\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	-5000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$

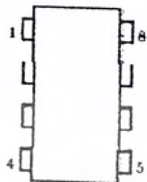
* All typical values are at $T_a = 25^\circ\text{C}$



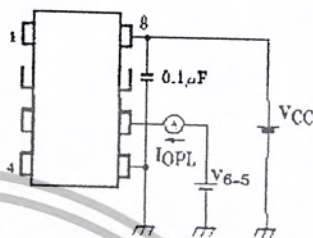
TLP250-4
 1994-4-28
 TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)
 TEST CIRCUIT 1 :



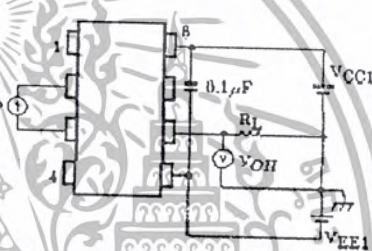
TEST CIRCUIT 2 : IOPL



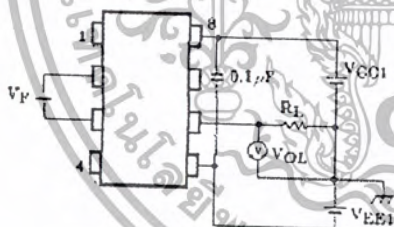
TEST CIRCUIT 3 : IOPH



TEST CIRCUIT 4 : VOH



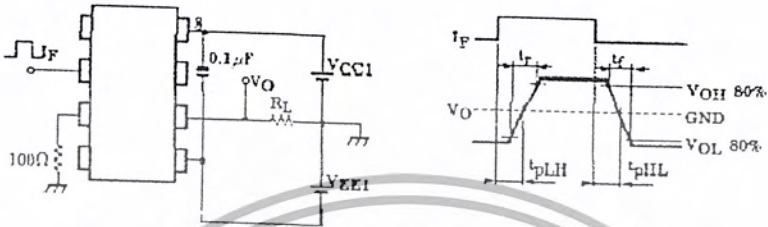
TEST CIRCUIT 5 : VOL



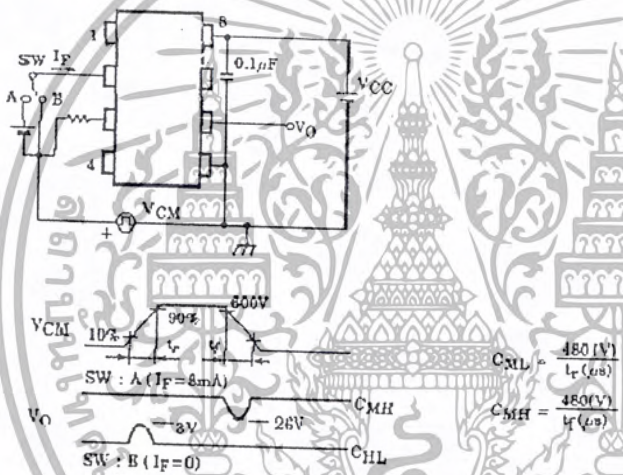
TLP250-5
1996-4-X
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUIT 6 : t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



TEST CIRCUIT 7 : C_{MH} , C_{ML}



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

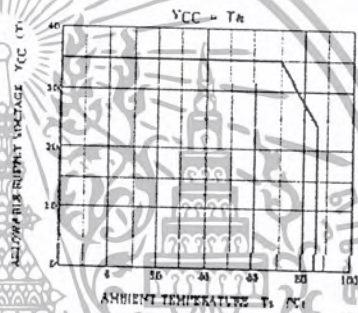
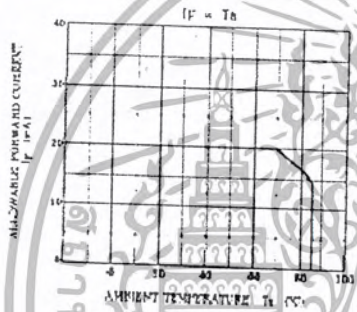
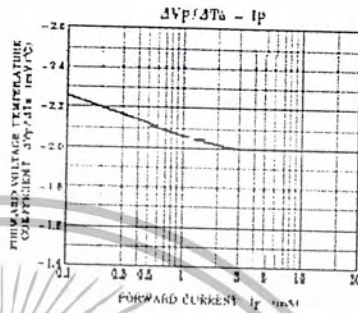
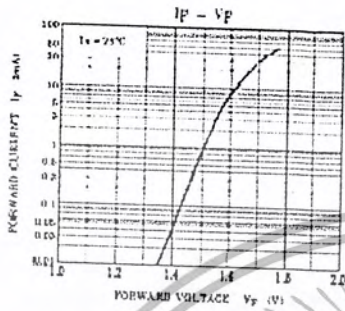
$$C_{MH} = \frac{480(V)}{t_r(\mu s)}$$

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

TLP250 - 6
1996 - 4 - 8
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250



TLP250-7*
 1974-4-8
 TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1]. พิชิต ล้ำยอง, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังลาดกระบัง, 2537
- [2]. สุวัฒน์ ดัน, “สวิตซ์เชิงเพาเวอร์ซัพพลาย”, ฝ่ายวิจัย และพัฒนา บริษัทเอนเทลไทยจำกัด, 2538.
- [3]. มงคล เชนครินทร์,ชาตรี ศรีไฟวรรณ, “อิเล็กทรอนิกส์”, คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
- [4]. ปรินุญานินพนธ์ การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแดรนต์โดยใช้ไอจีบีที (4 Quadrant IGBT dc drives), ชนินทร์ สิริชาญชัยกุล, ชาตรี กิจวรรณจักร์, โชคอำนวย อัสวพรทิพัฒน์, 2542
- [5]. ปรินุญานินพนธ์ รถไฟฟ้าสนามกอล์ฟ (Electric Golf Car), กรยุทธ เล็กชอุ่ม, จิรศักดิ์ ศรีรัตนะ, ธวัชชัย ศรีไชย, มนตรี มะริค, อมฤต ฤทธิราช, อรรถวุฒิ คีตาภิรมย์, 2542
- [6]. ปรินุญานินพนธ์ แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง (Uninterruptible Power Supply), ก้องเกียรติ บุญวัฒนกุล, ณัฐฐ์ หาญอธิปไตยยะ, ปณิษฐ์ สิมปกาญจน์, 2543
- [7]. ปรินุญานินพนธ์ เครื่องประจุแบตเตอรี่, พิรุฬห์ ช่วยเต็ม, อรรถพล ถัดตสุริยเดช, วัลลภ คีใจ, สนั่น รื่นเรืองฤทธิ์, 2543
- [8]. ปรินุญานินพนธ์ รถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้า, จตุรงค์ ญาดีสูง, จรูญ ประคำทอง, บุรินทร์ มุหาหมัด, สุรเชษฐ์ พุ่มมะปราง, สันติ บุญชัย, 2543
- [6]. ปรินุญานินพนธ์ รถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้า (Electric Tuk-Tuk), จิรยุทธ ทองสา, ชีระศักดิ์ พัฒน์เจริญ, สุรียา โพธิมณี, วรวุฒิ พงศ์ชัยศรีกุล, สุทธิศักดิ์ แก้วทอง, 2544
- [9]. Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, “Power Electronics Converters, Applications, and Design”, Second Edition, John Wiley & Sons, INC., New York, 1995
- [10]. Rashid M.H, “Power Electronic”, pentice-Hall, Inc, USA, 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้