



รถไฟฟ้ากระแสตรง  
DC ELECTRIC CAR



เลขหม.....  
เลขทะเบียน 42600  
วัน, เดือน, ปี 4 ส.ค. 2545

.....  
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

รถไฟฟ้ากระแสตรง

DC ELECTRIC CAR



รศ. มณฑล ทีลาจินดาไกรฤกษ์

รศ. ศุติ บรรจงจิตร

อ. เจาว์ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถไฟฟ้ากระแสตรง

ผู้จัดทำ



\_\_\_\_\_ อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ )

\_\_\_\_\_ อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ. ศุติ บรรจงจิตร )

\_\_\_\_\_ อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อ. เซาว์ ชมภูอินไหว )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รถไฟฟ้ากระแสตรง

นาย หัตถพล อุดมอ่าง

นาย ออมร วัฒนะกุลบุญเลิศ

นาย อรรถวิทย์ บุญพิพัฒนกุล

รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศุภี บรรจงจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. เชาวน์ ชมภูอินไหว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอแนวคิดใหม่ของการสร้างรถไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว พิกัดแรงดัน 24 โวลต์ ขนาด 1000 วัตต์ ทำเป็นระบบคิฟเฟอเรนเชียลมอเตอร์แยกขับเคลื่อนอิสระสองล้อหลังของรถไฟฟ้า แทนการใช้ระบบเพลลาขับหรือคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ซึ่งใช้ในรถโดยทั่วไป โดยมอเตอร์ทั้งสองตัวจะต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าแต่แยกอิสระกันทางกล ในส่วนการควบคุมความเร็วของรถประกอบด้วยวงจรตีชู้ทูดิซีคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC Converter) แบบบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) และใช้มอสเฟตกำลังเป็นสวิทช์ ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งหลังจากการทดสอบขับเคลื่อนจริงจะสรุปได้ว่า การใช้คิฟเฟอเรนเชียลมอเตอร์สามารถทดแทนระบบคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ที่ใช้กับรถทั่วๆ ไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC Electric Car

Mr. Huttapol Ut-ang

Mr. Amorn Wattanakoonboonlerd

Mr. Athawit Boonpipattanagul

Assoc.Prof. Monthon Leelachindakrailerk Advisor

Assoc.Prof. Sulee Banjongjit Advisor

Lecturer Chow Chomphoo-inwai Advisor

2000

### Abstract

This project presents new concepts of a DC electric car using 2 DC motors, 24 volts 1000 watts, as a differential motor system for independent driving 2 wheels instead of a differential gear system used in others car. Both motors are connected in series in the electrical system but separated in the mechanical system. The speed controller employs a DC to DC converter circuit, Buck converter type, using mosfets as switches, The electrical energy is supplied by batteries. It is concluded that the differential motor proposed in the thesis can be used for driving the electric car efficiently

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ.....   | I    |
| ABSTRACT.....   | II   |
| สารบัญ.....   | III  |
| สารบัญรูป.....  | V    |
| สารบัญตาราง.....  | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....                           | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....                                     | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ.....   | 1    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ.....                   | 2    |
| 1.5 เนื้อหาของปริิณญาณินพนธ์.....                                   | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                                     | 4    |
| 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....                              | 4    |
| 2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์.....                                   | 6    |
| 2.3 การนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าและการกลับทางหมุนมอเตอร์..... | 6    |
| 2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....                 | 8    |
| 2.5 วงจรปรับแรงดันแบบลดแรงดันเมื่อใช้มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์.....     | 10   |
| 2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นของเบตเตอร์และการอัดประจุเบตเตอร์.....            | 12   |
| บทที่ 3 วงจรควบคุมความเร็วรถไฟฟ้ากระแสตรงและระบบป้องกัน.....        | 14   |
| 3.1 ภาควงจรควบคุมสัญญาณขับ.....                                     | 15   |
| 3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์.....  | 15   |
| 3.1.2 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง.....                                   | 17   |
| 3.1.3 วงจรขับเคลื่อน.....   | 19   |
| 3.1.4 วงจรป้องกันกระแสเกิน.....                                     | 21   |
| 3.2 ภาควงจรกำลัง.....   | 22   |
| 3.3 แผนผังการ Wiring ระบบไฟภายในรถไฟฟ้า.....                        | 27   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| บทที่ 4         | โครงสร้างของรถไฟฟ้าและตัวถังภายนอก.....                          | 30 |
| 4.1             | ลักษณะโครงสร้าง.....   | 30 |
| 4.1.1           | Chassis.....   | 30 |
| 4.1.2           | ระบบบังคับเลี้ยว.....  | 30 |
| 4.1.3           | ระบบกันสะเทือน.....  | 31 |
| 4.1.4           | ระบบเบรก.....  | 31 |
| 4.1.5           | ระบบขับเคลื่อน.....  | 31 |
| 4.2             | การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและพิกัดกำลังของมอเตอร์..... | 32 |
| 4.2.1           | การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน.....                        | 32 |
| 4.2.2           | การคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ใช้กับรถในโครงการ.....          | 33 |
| 4.2.3           | การทดสอบของมอเตอร์โดยใช้เฟืองทด.....                             | 34 |
| 4.3             | ตัวถังของรถไฟฟ้า.....  | 35 |
| 4.3.1           | วัสดุที่ใช้ในการทำ.....  | 35 |
| 4.3.2           | อุปกรณ์และเครื่องมือ.....  | 38 |
| 4.4             | กรรมวิธีการผลิตไฟเบอร์กลาส.....                                  | 38 |
| 4.5             | คุณลักษณะเฉพาะของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น.....                        | 44 |
| บทที่ 5         | แบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่.....                            | 45 |
| 5.1             | แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการ.....                                    | 45 |
| 5.2             | การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่.....                                   | 46 |
| บทที่ 6         | ผลการทดลอง.....  | 48 |
| 6.1             | การทดสอบหาพารามิเตอร์และคุณสมบัติของมอเตอร์.....                 | 48 |
| 6.2             | การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์.....                               | 50 |
| 6.3             | ผลการทดสอบวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กับรถไฟฟ้า.....               | 54 |
| 6.4             | การทดสอบในการวิ่ง.....   | 57 |
| บทที่ 7         | สรุปผลและวิจารณ์.....  | 62 |
| ภาคผนวก ก       |  |    |
| ภาคผนวก ข       |  |    |
| กิตติกรรมประกาศ |  |    |
| เอกสารอ้างอิง   |  |    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

|             | หน้า   |
|-------------|--|
| รูปที่ 2.1  | วงจรมวลคู่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....4   |
| รูปที่ 2.2  | คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม<br>แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วกับกระแสอาร์มเจอร์.....5 |
| รูปที่ 2.3  | การต่ออนุกรมทางไฟฟ้าและการกลับทิศทางหมุนมอเตอร์.....6  |
| รูปที่ 2.4  | วงจรถ่วงของมอเตอร์กลับทิศกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก.....7                                  |
| รูปที่ 2.5  | วงจรถ่วงการกลับทิศกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก.....8   |
| รูปที่ 2.6  | ชนิดของวงจรรีบเร่งดันไฟฟ้ากระแสตรง.....9   |
| รูปที่ 2.7  | ก) วงจรรีบเร่งดันพื้นฐานแบบลดแรงดัน<br>ข) รูปคลื่นแรงดันที่เกิดจากการตัดต่อวงจรของสวิตช์.....9   |
| รูปที่ 2.8  | ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ..... 10                                 |
| รูปที่ 2.9  | วงจรมวลคู่ของมอเตอร์เฟดและสัญลักษณ์ของมอเตอร์เฟด.....11  |
| รูปที่ 2.10 | การต่อขานามอเตอร์เฟด.....12  |
| รูปที่ 3.1  | Block Diagram แสดงหลักการการควบคุมความเร็วมอเตอร์<br>และระบบป้องกันกระแสเกิน..... 14             |
| รูปที่ 3.2  | Block Diagram แสดงการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เฟด.....15  |
| รูปที่ 3.3  | วงจรรอสซิลเลเตอร์.....16   |
| รูปที่ 3.4  | สัญญาณสี่เหลี่ยมซีกบวกที่ได้จากส่วนที่ 1 ของวงจรรอสซิลเลเตอร์..... 17                            |
| รูปที่ 3.5  | สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากวงจรรอสซิลเลเตอร์..... 17   |
| รูปที่ 3.6  | วงจรรีบอัตราเร่งและการคอมพาราเตอร์.....18  |
| รูปที่ 3.7  | วงจรรีบเกิดที่มีการแยกกราวด์ระหว่างวงจรถ่วงและวงจรถ่วง.....19                                    |
| รูปที่ 3.8  | สัญญาณซีกบวกที่คิวดีไอเคิล 53.6%.....20  |
| รูปที่ 3.9  | สัญญาณซีกบวกที่คิวดีไอเคิล 89.3%..... 20   |
| รูปที่ 3.10 | Block Diagram แสดงหลักการการทำงานของวงจรรีบป้องกันกระแสเกิน.....21                               |
| รูปที่ 3.11 | วงจรรีบป้องกันกระแสเกิน.....22   |
| รูปที่ 3.12 | วงจรถ่วง.....23  |
| รูปที่ 3.13 | แรงดันคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะยังไม่ต่อตัวเก็บประจุ.....23   |
| รูปที่ 3.14 | แรงดันคร่อมทรานซิสเตอร์เมื่อต่อตัวเก็บประจุ.....24   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 3.15 | แรงดันคร่อมเดรน-ซอร์สที่ควิตซ์ไชเกิด 50%.....                 | 24 |
| รูปที่ 3.16 | แรงดันคร่อมเดรน-ซอร์สที่ควิตซ์ไชเกิดเกือบเป็น 0%.....         | 25 |
| รูปที่ 3.17 | ภาพถ่ายจริงของการติดตั้งตัวเก็บประจุบนลายทองแดงสองหน้า.....   | 25 |
| รูปที่ 3.18 | ภาพถ่ายชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว..... | 26 |
| รูปที่ 3.19 | แผนผังการ wiring ระบบไฟภายในรถไฟฟ้า.....                      | 27 |
| รูปที่ 3.20 | แสดงการ wiring สายในการกลับทิศทางของ มอเตอร์.....             | 28 |
| รูปที่ 4.1  | โครงสร้างของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น.....                          | 30 |
| รูปที่ 4.2  | โครงสร้างสำหรับวางมอเตอร์.....                                | 31 |
| รูปที่ 4.3  | ตำแหน่งในการวางมอเตอร์.....                                   | 32 |
| รูปที่ 4.4  | ตัวถังด้านข้างของรถไฟฟ้าโดยใช้โพลีเอทิลีน.....                | 40 |
| รูปที่ 4.5  | ตัวถังด้านข้างโดยมองจากด้านหลัง.....                          | 40 |
| รูปที่ 4.6  | การติดตั้งตัวถังด้านข้างของรถไฟฟ้า.....                       | 41 |
| รูปที่ 4.7  | ตัวถังภายนอกของรถไฟฟ้าที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์.....             | 41 |
| รูปที่ 4.8  | แผงควบคุมของรถไฟฟ้า.....                                      | 42 |
| รูปที่ 4.9  | รถไฟฟ้าที่ตกแต่งเสร็จสมบูรณ์.....                             | 43 |
| รูปที่ 5.1  | เบตเตอร์ที่เลือกใช้และตำแหน่งการวางเบตเตอร์ในรถ.....          | 46 |
| รูปที่ 5.2  | Charger.....  | 46 |
| รูปที่ 6.1  | การหาค่าความต้านทานของขดลวด.....                              | 48 |
| รูปที่ 6.2  | กราฟแสดงค่า R ของมอเตอร์ตัวที่ 1.....                         | 49 |
| รูปที่ 6.3  | กราฟแสดงค่า R ของมอเตอร์ตัวที่ 2.....                         | 50 |
| รูปที่ 6.4  | การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์.....                            | 50 |
| รูปที่ 6.5  | ความสัมพันธ์ระหว่าง Torque และ $I_a$ ของมอเตอร์ตัวที่ 1.....  | 51 |
| รูปที่ 6.6  | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N และ $I_a$ ของมอเตอร์ตัวที่ 1.....   | 52 |
| รูปที่ 6.7  | ความสัมพันธ์ระหว่าง Torque และ $I_a$ ของมอเตอร์ตัวที่ 2.....  | 53 |
| รูปที่ 6.8  | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N และ $I_a$ ของมอเตอร์ตัวที่ 2.....   | 53 |
| รูปที่ 6.9  | สัญญาณขั้วเบตที่ควิตซ์ไชเกิด 25.4% และ 51.8%.....             | 54 |
| รูปที่ 6.10 | สัญญาณขั้วเบตที่ควิตซ์ไชเกิด 72.5% และ 98.5%.....             | 54 |
| รูปที่ 6.11 | สัญญาณขั้วเบตขณะยกถือลอย duty cycle 25.5% และ 51.1%.....      | 55 |
| รูปที่ 6.12 | สัญญาณขั้วเบตขณะยกถือลอย duty cycle 69.1% และ 97%.....        | 55 |
| รูปที่ 6.13 | สัญญาณ $V_{ds}$ ที่ควิตซ์ไชเกิด 73.7% และ 50.7%.....          | 56 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 6.14 | สัญญาณ $v_{ds}$ ที่คิวตี้ไจเกิด 29% และ 0.7%.....                                     | 56 |
| รูปที่ 6.15 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างคิวตี้ไจเกิดและกระแส.....                                      | 57 |
| รูปที่ 6.16 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{peak}$ และ Load.....                                      | 58 |
| รูปที่ 6.17 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{peak}$ และ Load เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์.....              | 59 |
| รูปที่ 6.18 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ Load .....  | 59 |
| รูปที่ 6.19 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ Load เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์.....                       | 60 |
| รูปที่ 6.20 | กราฟเปรียบเทียบระยะทางการควบคุมแบบ Control และ Direct.....                            | 60 |
| รูปที่ 6.21 | กราฟเปรียบเทียบระยะทางการควบคุมแบบ Control และ Direct<br>เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์..... | 61 |



## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะเฉพาะ ( Specification ) ของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น..... | 44   |
| ตารางที่ 6.1 ผลทดสอบการหาความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ตัวที่ 1.....          | 48   |
| ตารางที่ 6.2 ผลทดสอบการหาความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ตัวที่ 2.....          | 49   |
| ตารางที่ 6.3 การทดสอบคุณสมบัติมอเตอร์ตัวที่ 1.....                        | 51   |
| ตารางที่ 6.4 การทดสอบคุณสมบัติมอเตอร์ตัวที่ 2.....                        | 52   |
| ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบแบบยกสล็อต.....                                    | 57   |
| ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบเมื่อทำการวิ่งแบบมี load.....                      | 58   |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

รถไฟฟ้ากระแสตรงแนวคิดใหม่นี้ได้สร้างขึ้นเพื่อยืนยันสมมุติฐานที่ว่า การใช้มอเตอร์กระแสตรงสองตัวมาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าแต่แยกขับเคลื่อนอิสระ โดยใช้ระบบเฟืองและโซ่เป็นระบบขับเคลื่อน จะสามารถทดแทนชุดคิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ต่างๆไปได้ เนื่องจากการนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า เมื่อล้อข้างใดข้างหนึ่งรับโหลดมากกว่าก็จะปรับเปลี่ยนความเร็วโดยอัตโนมัติและเป็นอิสระ ดังนั้นเมื่อนำวิธีนี้มาใช้จริงในการทดสอบการขับเคลื่อนแล้วล้อทั้งสองข้างน่าจะหมุนด้วยความเร็วต่างกัน โดยอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ล้อรถไม่ปัดในขณะเข้าโค้ง เหตุที่เลือกนำมอเตอร์กระแสตรงมาใช้เป็นตัวขับเคลื่อนเนื่องจากข้อดีของมอเตอร์กระแสตรงที่สามารถให้แรงบิดที่สูงและระบบควบคุมสามารถทำได้โดยไม่ซับซ้อนนัก วิธีที่เลือกใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า ซึ่งควบคุมด้วยวงจรดิจิทัลซีคอนเวอร์เตอร์

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อนำเสนอแนวคิดใหม่ของรถไฟฟ้ากระแสตรงและทดสอบสมมุติฐานต่างๆ ของการทดแทนระบบ Differential gear ในรถที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันด้วยระบบขับเคลื่อนแบบ Differential motor
- 2) ศึกษาและทำการสร้างระบบควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นถึงความประหยัดและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด
- 3) จัดทำตัวถังรถให้มีรูปลักษณะคล้ายรถทั่วไปและเพิ่มอุปกรณ์พื้นฐานของรถ เช่น ระบบไฟแสงสว่าง, แตร รวมทั้งแผงควบคุมให้สะดวกต่อการขับขี่

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการสร้างรถไฟฟ้ากระแสตรง ระบบขับเคลื่อนเป็นแบบโซ่และเฟือง โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมสองตัวต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า แต่แยกอิสระในการขับเคลื่อนสองล้อหลัง Differential Motor เพื่อใช้ทดแทนชุด Differential Gear และสร้างชุด

ควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้รถไฟฟ้าขับเคลื่อนได้จริงในทุกสภาพถนน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมทั้งติดตั้งระบบไฟหน้า ไฟท้าย ไฟเบรก ไฟเลี้ยว และสร้างตัวถังรถภายนอกให้เหมือนรถทั่วไป

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ

ใช้เป็นรถไฟฟ้าต้นแบบที่สามารถนำไปสร้างรถไฟฟ้าเพื่อใช้งานได้อย่างกว้างขวาง และใช้งานได้จริงต่อไป

#### 1.5 เนื้อหาของปฏิญญานิพนธ์

รายละเอียดเนื้อหาต่างๆ ของปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย

**บทที่ 2** จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเช่น ทฤษฎีของของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ทฤษฎีวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบขับเคลื่อนเวอร์เตอร์ การนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าและหลักการที่ใช้ในการกลับทางหมุนมอเตอร์ การนำมอสเฟตกำลังมาใช้เป็นสวิทช์ในวงจรปรับลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การต่อขานานมอสเฟต ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่

**บทที่ 3** จะกล่าวถึงหลักการการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่เลือกใช้ในโครงการ รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ ของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ เช่น เทคนิคการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) โดยใช้โอปแอมป์ (Operational Amplifier : OP-AMP) การออกแบบวงจรกำลัง (Power Circuit) ที่ต้องให้ความสำคัญกับการป้องกันค่าความเหนี่ยวนำที่จะเกิดขึ้น (Inductance), วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current) ที่ใช้ป้องกันมอสเฟตซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์และ แผนผังการเดินสายไฟ (Wiring Diagram)

**บทที่ 4** จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สร้างโครงรถ ในส่วนที่สองจะอธิบายถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรถไฟฟ้า เพื่อจะใช้หาขนาดของพิคคัลกำลังมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

**บทที่ 5** จะกล่าวถึงแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในโครงการ การคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ตามการใช้งานของรถไฟฟ้า วิธีและขั้นตอนในการอัดประจุแบตเตอรี่ รวมถึงข้อควรระวัง

**บทที่ 6** จะเป็นผลการทดลองทั้งที่ได้จากการทดสอบหาข้อมูลจำเพาะทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละตัวในห้องทดลอง และการทดสอบขับขี่จริงในสภาพตัวแปรต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 จะเป็นการสรุปผลการทดลองทั้งในห้องทดลองและการจับชี้จริงในสภาพต่างๆ เพื่อทดสอบสมรรถภาพของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น สุดท้ายจะเป็นแนวทางในการดำเนินงานต่อไป

ภาคผนวก ประกอบด้วยรูปวงจรสมบูรณสำหรับควบคุมมอเตอร์ และส่วนของข้อมูลอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทำวงจรควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2  
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงมอเตอร์ที่เลือกใช้โครงงาน ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์และวิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์รวมถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

ในโครงงานนี้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor) เนื่องจากข้อดีที่มอเตอร์ชนิดนี้ เมื่อรับภาระทางกลกระแสอาร์เมเจอร์จะเพิ่มน้อยกว่า แต่ให้แรงบิดมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

ซึ่งจากสมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

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

$$T_c = K_T \cdot \phi_p \cdot I_a \quad (2-2)$$

เมื่อ

$E_a$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

$T_c$  คือ แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (N-m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\phi_p$  คือ เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)
- $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของอาร์เมเจอร์ (rad/sec)
- $I_a$  คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (A)
- $K_T$  คือ ค่าคงที่ของอาร์เมเจอร์

ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว  $\phi_p = KI_a$  เนื่องจากกระแสไฟฟ้า  $I_a$  เป็นกระแสเดียวกันที่นำไปสร้างสนามแม่เหล็ก จะได้สมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

$$E_a = K_m \cdot I_a \cdot \omega \tag{2-3}$$

$$T_e = K_m \cdot I_a^2 \tag{2-4}$$

ซึ่งค่าแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ชนิดนี้จะแปรผันกับกระแสอาร์เมเจอร์

ยกกำลังสอง



รูปที่ 2.2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์

ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม จึงเหมาะสำหรับใช้กับภาระที่ต้องการ แรงบิดสูงจึงเลือกนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ใน เครื่องานนี้ แต่จุดด้อยของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนอย่างมากเมื่อภาระเปลี่ยนไป และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแส

ตรงแบบอนุกรมห้ามไว้ภาระ (no load) เพราะจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์มีค่าสูงมากจนอาจเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 อนุรักษ์เกียรติยศ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์

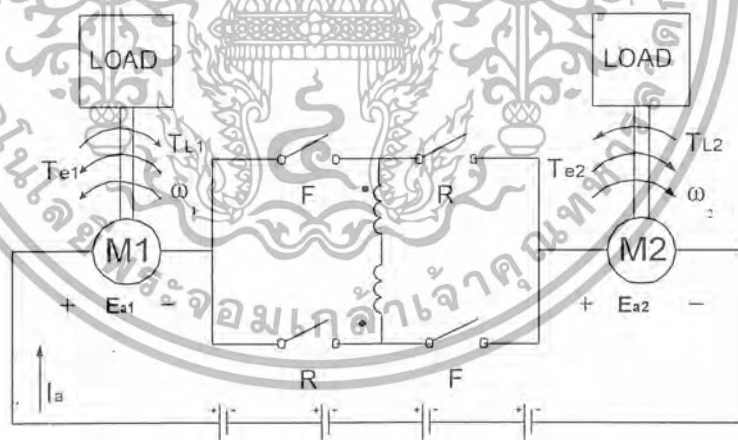
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมมีวิธีการควบคุมความเร็วได้หลายทาง ดังนี้

- 1 การควบคุมแรงดันป้อนเข้า ( Voltage Control )
- 2 การควบคุมฟลักซ์สนาม ( Field Flux Control )
- 3 การควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ ( Armature Resistance Control )

วิธีที่ใช้ในโครงงานนี้คือการควบคุมความเร็วโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า  $V_t$  โดยการใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ( Buck Converter ) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าคิวตี้ไซเคิล ( Duty Cycle : D ) โดยจะได้กล่าวถึงต่อไป

## 2.3 การนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าและการกลับทางหมุนมอเตอร์

จุดเด่นของโครงงานนี้คือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมมาต่ออนุกรมทางไฟฟ้า แต่สามารถแยกขับเคลื่อนทางกลเพื่อใช้แทน ชุดดิฟเฟอเรนเชียลเกียร์ ( Differential Gear ) ดังนั้นการกลับทางหมุนมอเตอร์จึงสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 การต่ออนุกรมทางไฟฟ้าและการกลับทิศทางหมุนมอเตอร์

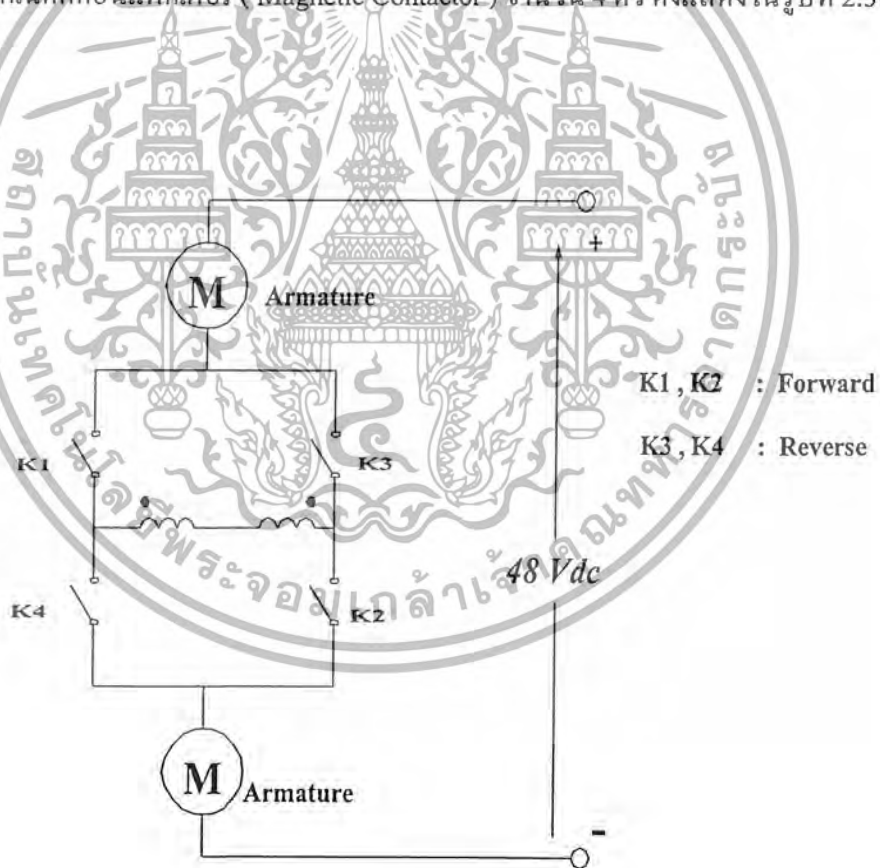
จากความสัมพันธ์ของสมการ 2-1 และรูปที่ 2.3 จะได้สมมุติฐานที่ว่า หากขับรถเลียช้าย โดยสมมุติให้มอเตอร์ M1 เป็นล้อซ้ายและมอเตอร์ M2 ขับล้อขวา มอเตอร์ M1 จะขับภาระเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความเร็ว  $\omega_1$  ลดลงและ  $E_{a1}$  ลดลงด้วย แต่เนื่องจากการต่ออนุกรมกันทาง

ไฟฟ้าทำให้  $E_{22}$  ของมอเตอร์ M2 จะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร็ว  $\omega_2$  เพิ่มขึ้น นั่นคือเมื่อขณะ  
 เลี้ยวซ้ายล้อทั้งสองจะหมุนด้วยความเร็วต่างกันโดยอัตโนมัติ ทำให้เวลาเลี้ยวท้ายรถจึงไม่ปิด  
 แต่เวลาวิ่งทางตรงความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองน่าจะมีค่าเท่ากัน แต่ทั้งนี้พารามิเตอร์ของ  
 มอเตอร์ทั้งสองต้องมีค่าใกล้เคียงกันด้วย ดังจะได้ทำการทดสอบสมมุติฐานกับการทดสอบขับ  
 เคลื่อนรถจริงต่อไป

ส่วนการกลับทางหมุนมอเตอร์กระแสตรงทำได้ 2 วิธี ดังนี้

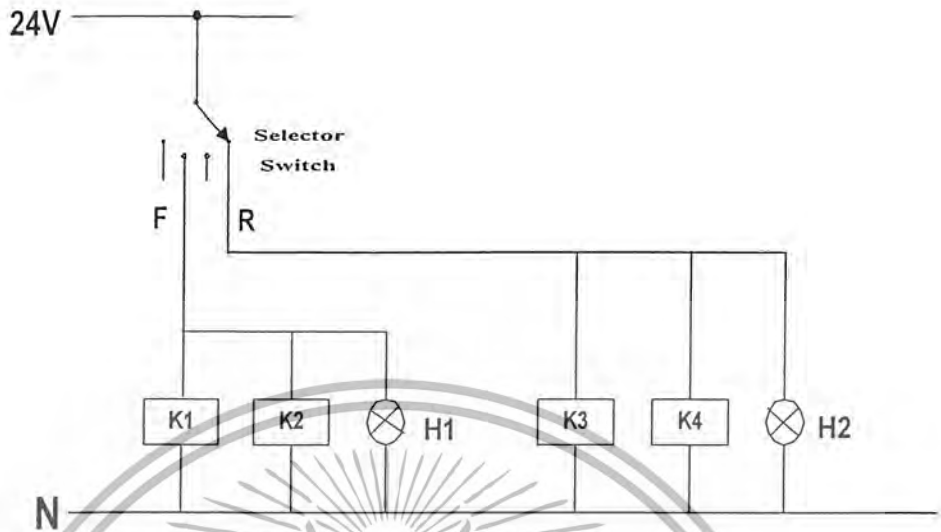
1. เปลี่ยนทิศทางกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์
2. เปลี่ยนทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก

ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก  
 โดยใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 วงจรกำลังของการกลับทิศกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



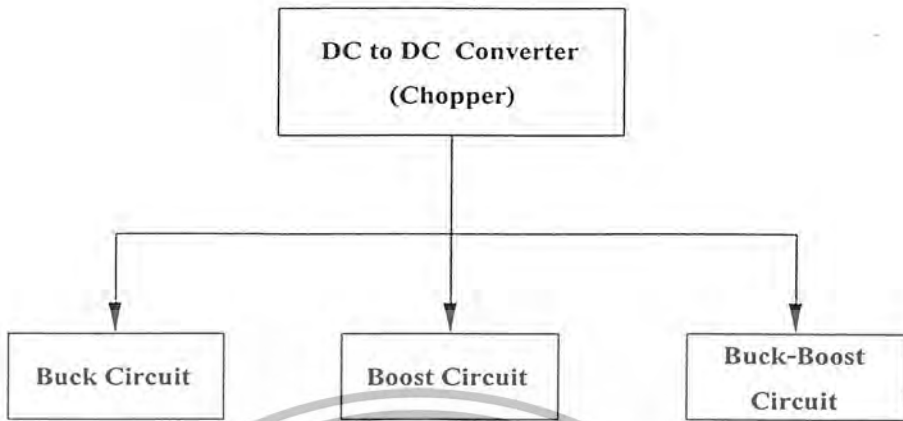
รูปที่ 2.5 วงจรควบคุมการกลับทิศกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก

เมื่อ

- SI : Selector Switch  
 K1,K2 : Magnetic Contactor (Forward)  
 K3,K4 : Magnetic Contactor (Reverse)  
 H1 : Pilot Lamp "Forward"  
 H2 : Pilot Lamp "Reverse"

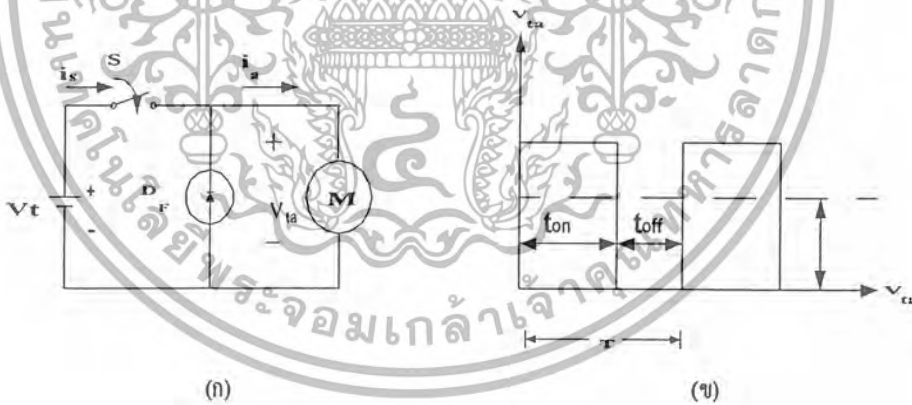
#### 2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

การควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้าจะใช้วิธีควบคุมแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์โคขอสัขวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC to DC Converter หรือ Chopper) คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับวงจรทางด้านอินพุทให้ได้ระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุทตามต้องการ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของวงจรชอปเปอร์



รูปที่ 2.6 ชนิดของวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ชนิดของวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้ในโครงการรถไฟฟ้านี้ เป็นแบบ บัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตให้ได้ระดับทางด้านเอาต์พุตซึ่งมีระดับแรงดันต่ำกว่าระดับแรงดันทางด้านอินพุต



รูปที่ 2.7 ก) วงจรปรับแรงดันพื้นฐานแบบลดแรงดัน

ข) รูปคลื่นแรงดันที่เกิดจากการตัดต่อวงจรของสวิตช์

ในการปรับแรงดันด้านเอาต์พุต  $V_{ca}$  นั้น switch S จะถูกเปิดปิดเป็นจังหวะโดยมีคาบเวลาของการเปิดปิดเท่ากับ T และกำหนดให้อัตราส่วนของเวลาที่สวิตช์ S ปิดต่อช่วงเวลาที่สวิตช์เปิดมีค่าเท่ากับ D (Duty Cycle) เมื่อ switch ถูกควบคุมให้ตัดต่อแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงๆ

จะทำให้ได้แรงดันเฉลี่ยที่คร่อมมอเตอร์  $V_{ca}$  ที่ต้องการ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า “พัลส์วidthมอดูเลชัน” (Pulse Width Modulation) ซึ่งจะหา  $V_{ca}$  ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{iu} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_{on}} V_{ia} \cdot dt = \left( \frac{t_{on}}{T} \right) \quad (2-5)$$

แรงดันเฉลี่ย  $V_{ia}$  สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง  $V_i$  จากการปรับคัตไจเทิล

$$(D = \frac{t_{on}}{T})$$

## 2.5 วงจรปรับแรงดันแบบลดแรงดันเมื่อใช้มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์

อุปกรณ์ที่สามารถใช้เป็นสวิตช์ในวงจรปรับแรงดันแบบลดแรงดัน (Buck Converter)

มีหลายชนิดดังนี้

- 3 POWER BJT
- 4 GTO
- 5 IGBT
- 6 FORCE-COMMUTATED THYRISTOR
- 7 POWER MOSFET

| Electronic Device                            | Thyristor | GTO        | BJT   | MOSFET | IGBT  |
|--|-----------|------------|-------|--------|-------|
| Normal ON/OFF                                | OFF       | OFF        | OFF   | OFF    | OFF   |
| Breakdown Voltage(V)                         | ~4000     | ~4500      | ~1000 | ~1000  | ~1200 |
| Current Density (A cm <sup>-2</sup> )        | 100       | 100        | 40    | 10     | 60    |
| Surge Current Capability                     | Good      | Good       | Bad   | Bad    | Bad   |
| Carrier Frequency (kHz)                      | 5         | 3          | 20    | 2000   | 20    |
| Gate Drive Power                             | Low       | Mediu<br>m | High  | Low    | Low   |
| Self Turen-off Ability                       | No        | Yes        | Yes   | Yes    | Yes   |
| Operating Junction<br>Temperature Limit (°C) | 125       | 125        | 150   | 200    | 150   |

## รูปที่ 2.8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ

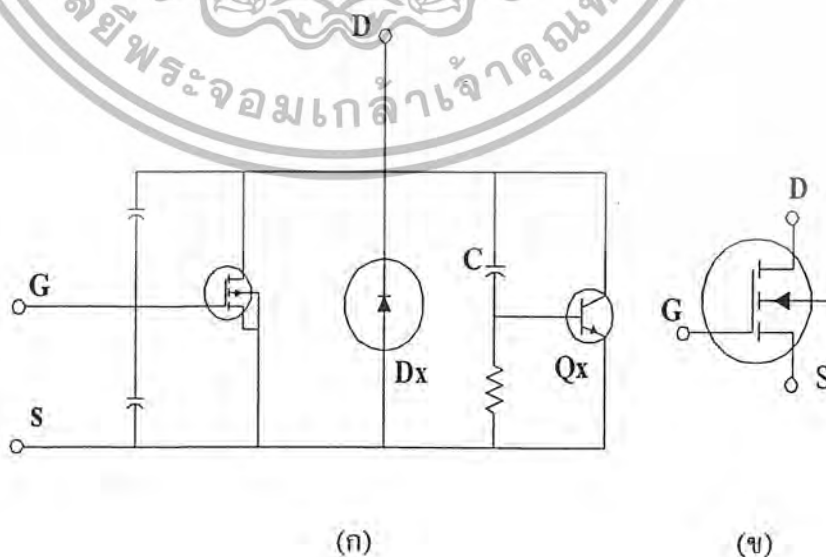
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้เลือกใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างดังนี้

- มีกำลังงานสูญเสียขณะสวิตช์ต่ำ
- ไม่มีช่วงแรงดันพังทลายที่สองในขณะเทอนออฟ (Secondary Breakdown)
- มีอัตราการขยายสูงจึงง่ายต่อการสร้างวงจรขับ
- มีความต้านทานและเสถียรภาพทางอุณหภูมิดี
- มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สามารถใช้กับงานกำลังต่ำได้เป็นอย่างดี

### 2.5.1 วงจรสมมูลของมอสเฟต

วงจรสมมูลของมอสเฟตประกอบไปด้วยไดโอด ( $D_x$ ), ค่าความจุ, ค่าความต้านทาน(ซึ่งมีค่าน้อยมาก) และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ( $Q_x$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 พิจารณาการใช้งานมอสเฟตควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PWM เนื่องจากในขณะที่มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะได้  $\frac{dv}{dt}$  มีค่าสูง ดังนั้นกระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านค่าความจุที่ต่ออยู่ระหว่างคอลเล็กเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_x$  ซึ่งค่ากระแสนี้ ( $i_c = C \frac{dv}{dt}$ ) จะทำให้เกิดแรงดันที่ความต้านทานของเบสและอิมิตเตอร์ของ  $Q_x$  ซึ่งแรงดันนี้อาจจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้ ดังนั้นจุดนี้ต้องป้องกันไม่ให้แรงดันระหว่างเดรนและซอร์สเพิ่มขึ้นสูงกว่าพิคกแรงดันของมอสเฟต

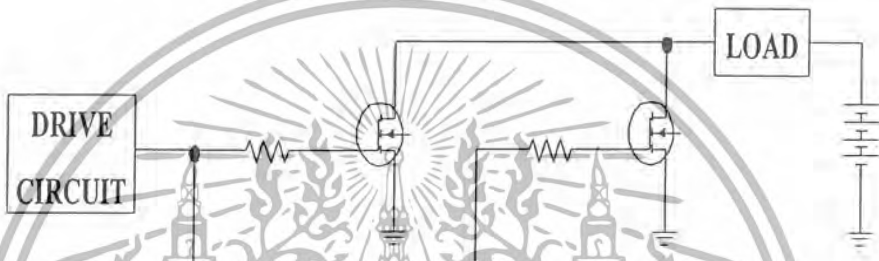


รูปที่ 2.9 (ก) วงจรสมมูลของมอสเฟต (ข) สัญลักษณ์ของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2 การต่อขานานมอสเฟต

การนำมอสเฟตมาต่อขานานกันก็เพื่อแบ่งปริมาณกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟต ซึ่งจะมีปริมาณใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของค่าความต้านทานระหว่างเดรน-ซอร์ส  $R_{ds(on)}$  มีค่าเป็นบวก นั่นคือค่าความต้านทาน  $R_{ds(on)}$  จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ตัวมันมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการติดตั้งมอสเฟตจึงควรติดไว้บนแผ่นระบายความร้อน (heat sink) เดียวกัน



รูปที่ 2.10 การต่อขานานมอสเฟต

### 2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นของแบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ต่ออนุกรมกัน ในแต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุอยู่ 2 แผ่นคือ แผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งเชื่อมอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เมื่อแบตเตอรี่คายประจุ อนุภาคประจุทางเคมีของทั้งสามส่วนจะเปลี่ยนแปลงและจะกลับมาเหมือนเดิม เมื่อมีการอัดประจุปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ โดยในโครงงานนี้ใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid)

ขนาดความจุของแบตเตอรี่จะกำหนดเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง หรือ A-h ซึ่งหมายถึงปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ด้วยค่ากระแสและแรงดันสุดท้ายที่กำหนด

แรงดันแบตเตอรี่เป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ขณะใช้โหลดแรงดันไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับการเกิดประจุของแบตเตอรี่ แต่ขณะมีโหลดจะสัมพันธ์กับกระแสไหล การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแบตเตอรี่จะมีผลกระทบต่อควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้า จุดสิ้นสุดการใช้งานของแบตเตอรี่ถูกกำหนดด้วยค่าแรงดันสุดท้าย (Final Voltage) โดยสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะมีค่าอยู่ประมาณ 1.8-1.9 โวลต์ต่อเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่โดยหลักๆ มี 2 วิธีคือ

1. การอัดประจุด้วยกระแสคงที่ (Constant Current Charging) การอัดประจุแบบนี้ไม่ได้ถูกใช้บ่อยนัก แต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่หลายๆ ลูก เมื่ออัดประจุด้วยกระแสคงที่ที่ควรระวังถ้าการอัดประจุยังอยู่ที่อัตราเดิม แต่เวลาผ่านไปหลังจากแบตเตอรี่เต็ม ความรุนแรงของ overcharge อาจก่อให้เกิดอันตรายกับแบตเตอรี่

2. การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแส (Constant Voltage with Current Limited Charging) การอัดประจุแบบนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดและเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปสำหรับแบตเตอรี่ชนิด Sealed Lead-Acid

### อัตราการเสถียรในการอัดประจุแบตเตอรี่ แบ่งได้ 2 แบบ คือ

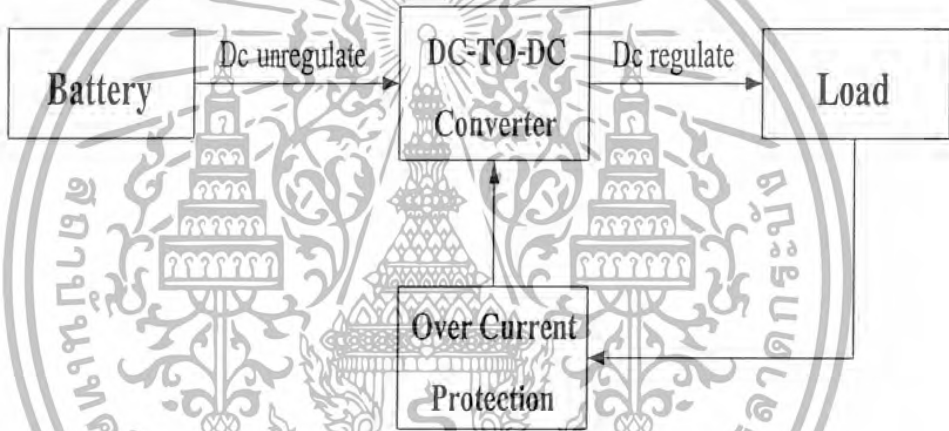
1. อัดประจุปกติ (Float Charge) อัดประจุด้วยกระแสต่ำประมาณ 0.1CA-0.25 CA จะใช้เวลาอัดประจุนาน อุณหภูมิขณะอัดประจุไม่สูงมากนัก

2. อัดประจุรุนแรง (Equalizing Charge) อัดประจุด้วยกระแสสูงใช้ในการกระตุ้นแบตเตอรี่ที่ทั้งไว้ไม่ได้อัดประจุนานๆ ใช้เวลาในการอัดประจุเร็ว

### บทที่ 3

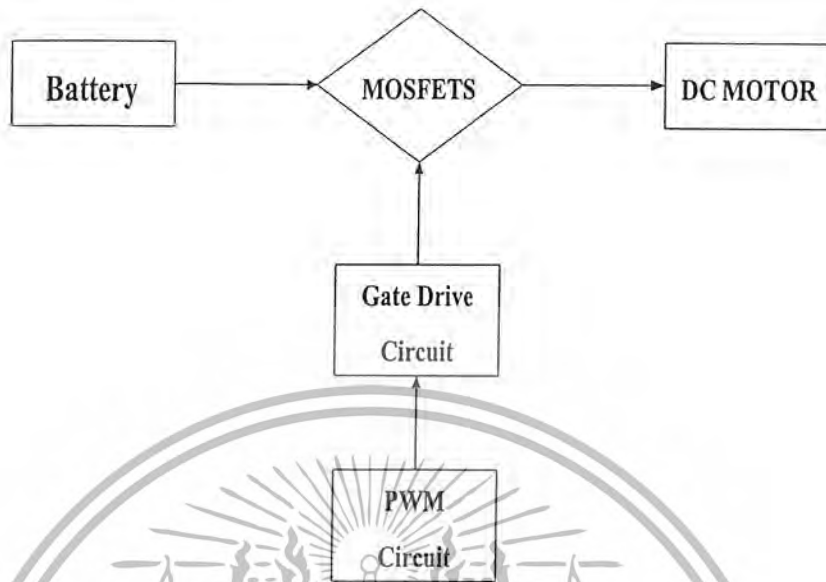
## วงจรควบคุมความเร็วรถไฟฟ้ากระแสตรงและระบบป้องกัน

วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ส่วนประกอบหลักๆ ของวงจรควบคุมความเร็วมีอยู่ 2 ส่วนคือ ภาควงจรควบคุมสัญญาณขั้วเกิดและภาควงจรกำลัง(Power Circuit)ซึ่งใช้หลักการควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ซึ่งในโครงการนี้ใช้วงจร DC Chopper ชนิด Buck ในการควบคุมแรงดัน และมีส่วนของระบบป้องกันกระแสเกินประกอบ โดยมี Block Diagram ดังรูป



รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงหลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์และระบบป้องกันกระแสเกิน

วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ใช้วงจร DC-TO-DC Chopper แบบ Buck Converter โดยใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ซึ่งจะปรับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์โดยการ ON-OFF ของมอสเฟตซึ่งถูกควบคุมโดยสัญญาณที่สร้างจากวงจรถวล โดยหลักการควบคุมการทำงานของมอสเฟต ดังรูป



รูปที่ 3.2 Block Diagram แสดงการควบคุมการทำงานของมอเตอร์

### 3.1 ภาควงจรควบคุมสัญญาณขับ

การควบคุมระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งโดยทั่วไป จะใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulator) ซึ่งเป็นการควบคุมโดยการเปลี่ยนช่วงเวลาที่ยุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต, IGBT นำกระแสเป็นผลให้เกิดการควบคุมแรงดันที่เอาต์พุตให้ได้ค่าที่ต้องการซึ่งข้อดีของการควบคุมแรงดันแบบ PWM ก็คือสามารถรักษาระดับแรงดันให้มีความคงที่สูง รวมทั้งทำให้เกิดความสูญเสียกำลังงานในการควบคุมแรงดันต่ำส่งผลให้มีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิขณะใช้งานสูง

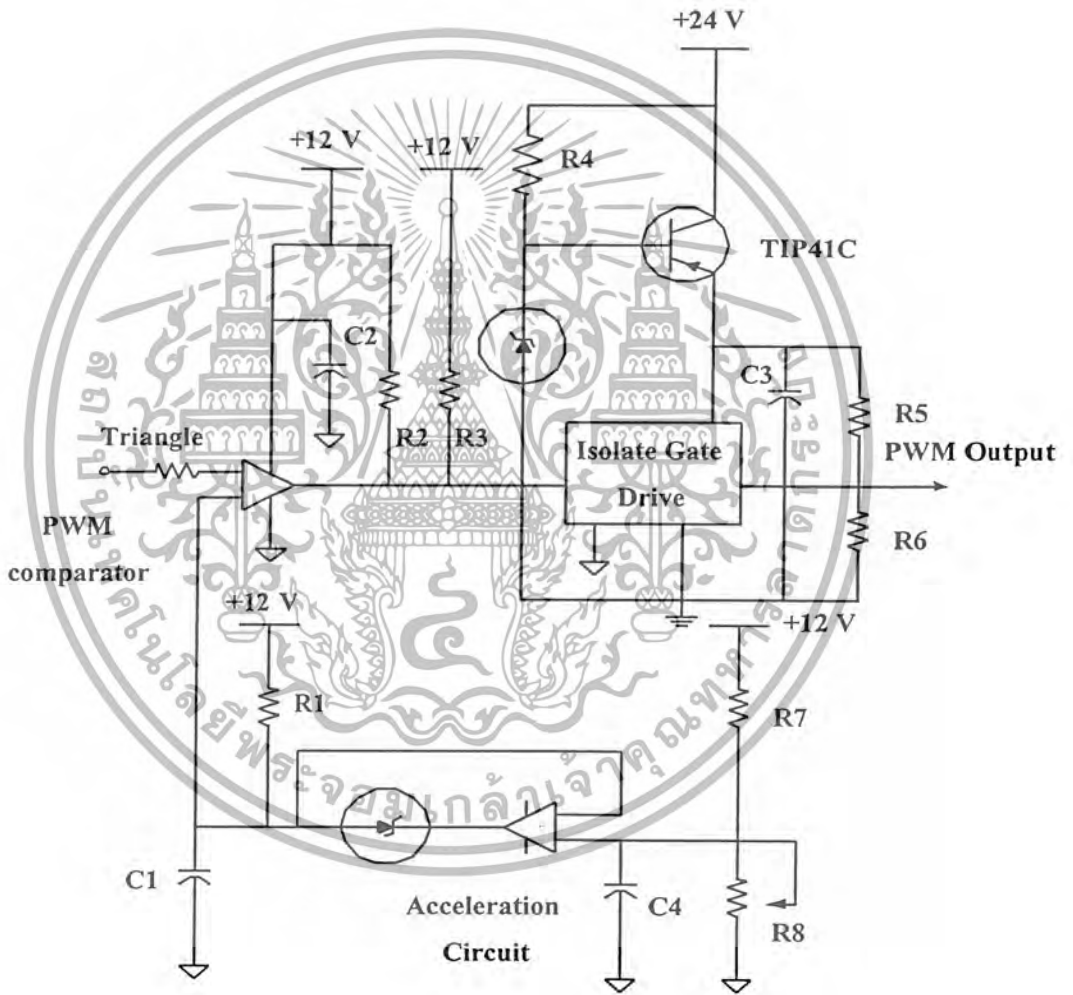
#### 3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรรออสซิลเลเตอร์จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) ในที่นี้คือสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง (Reference Signal) เพื่อให้ได้สัญญาณ PWM ตามที่ต้องการ





ผลของโหลด (Loading effect) R1 และ C1 ที่ใส่เข้าไปเพื่อให้มีเวลาหน่วง (Time delay) แรงดันอ้างอิงไม่ให้เปลี่ยนแปลงอย่างเต็มที่ในทันทีทันใด เนื่องจากจะเปรียบเสมือนกับว่าทำการสตาร์ทมอเตอร์ที่พิกัดแรงดันทำให้เกิดกระแสสูง (over current) อาจทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรควบคุมเสียหายได้



รูปที่ 3.6 วงจรปรับอัตราเร่งและการคอมพาราเตอร์

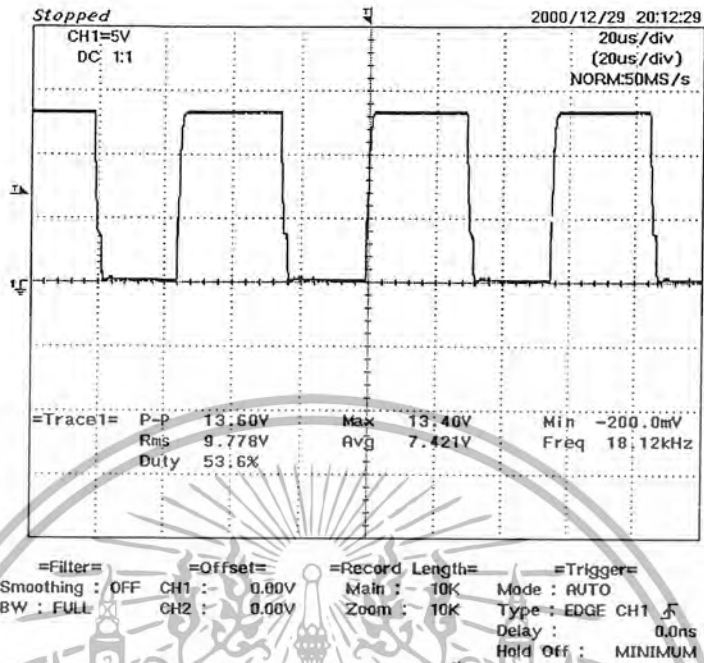
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วงจรขับเกต

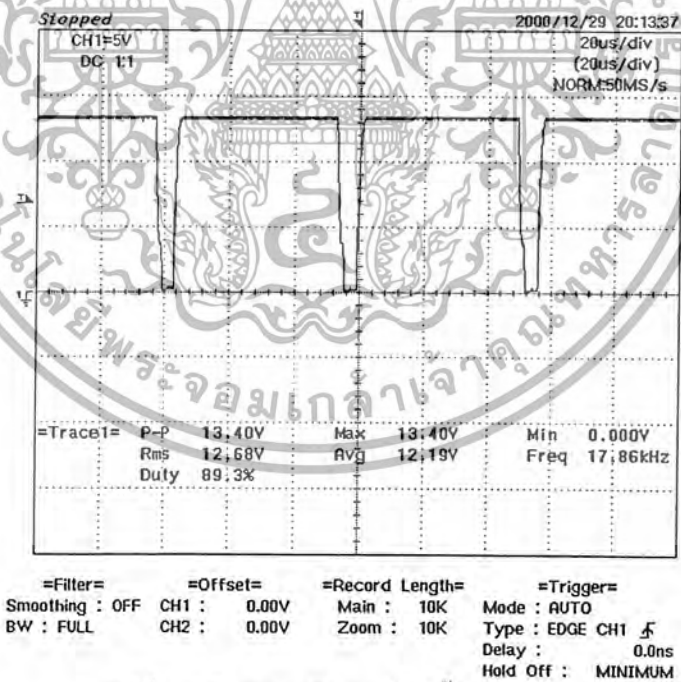
วงจรขับเกตถูกออกแบบมาเพื่อขยายกระแสให้เพียงพอในการขับขาเกตของมอสเฟต ให้ทำการ ON-OFF ได้ตามต้องการเนื่องจากการนำมอสเฟตมาขนานกันหลายๆตัวนั้น วงจรขับจะต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้เพียงพอด้วย และเพื่อไม่ให้ขณะทำงานเกิดการรบกวนระหว่างวงจรกำลังและวงจรควบคุมสัญญาณจากวงจรกำเนิดพัลส์ที่สามารถปรับ duty cycle ได้ (PWM) จะถูกนำมาแยกกราวด์โดยใช้ไอซีออปโตคัปเปิลเบอร์ TLP251 วงจรขับเกตที่ใช้ในโครงการนี้มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.7 วงจรขับเกตที่มีการแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง



รูปที่ 3.8 สัญญาณขั้วเบรคที่ตัวตัดไซเคิล 53.6 %



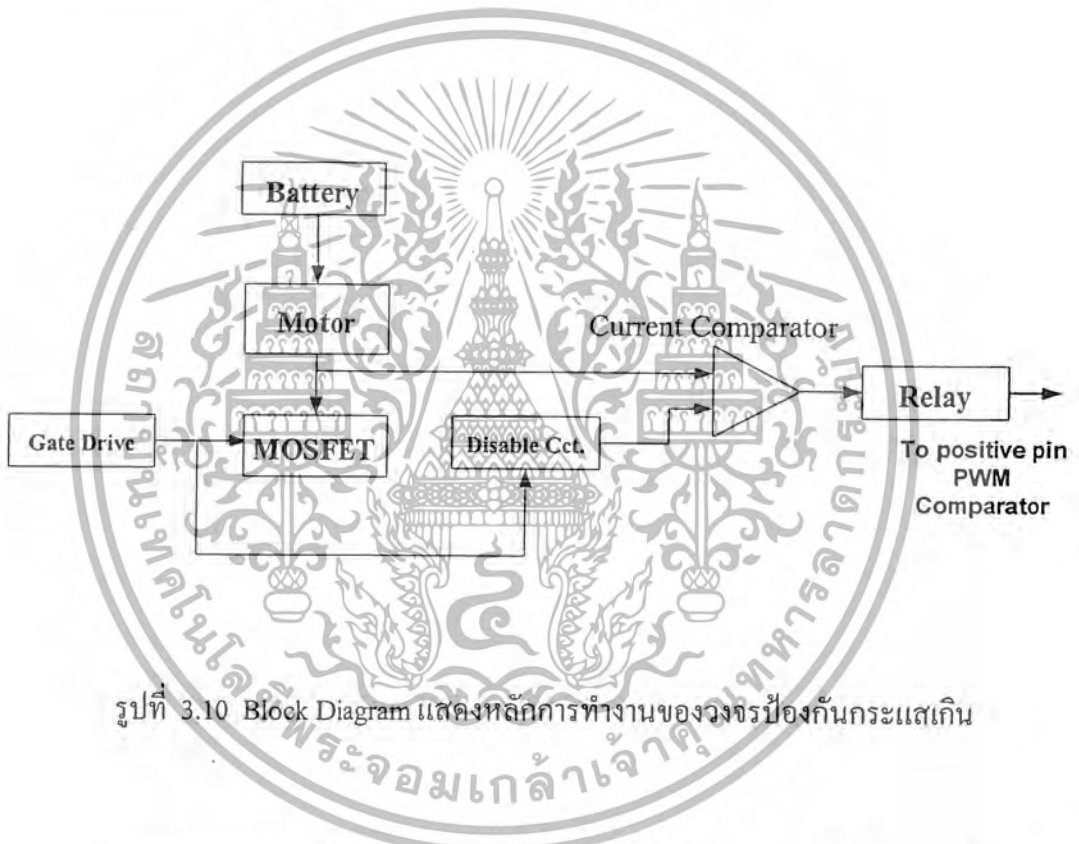
รูปที่ 3.9 สัญญาณขั้วเบรคที่ตัวตัดไซเคิล 89.3 %

ในการพิจารณาว่าวงจรขั้วเบรคทำงานได้ไม่ผิดพลาด ตรวจสอบได้จากสัญญาณก่อนและหลังต่อเบรคแล้วจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกัน หากสัญญาณผิดเพี้ยนไปจากเดิมมากจะทำให้เวลาทำงานมอเตอร์จะร้อนมากเกิดความร้อนเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

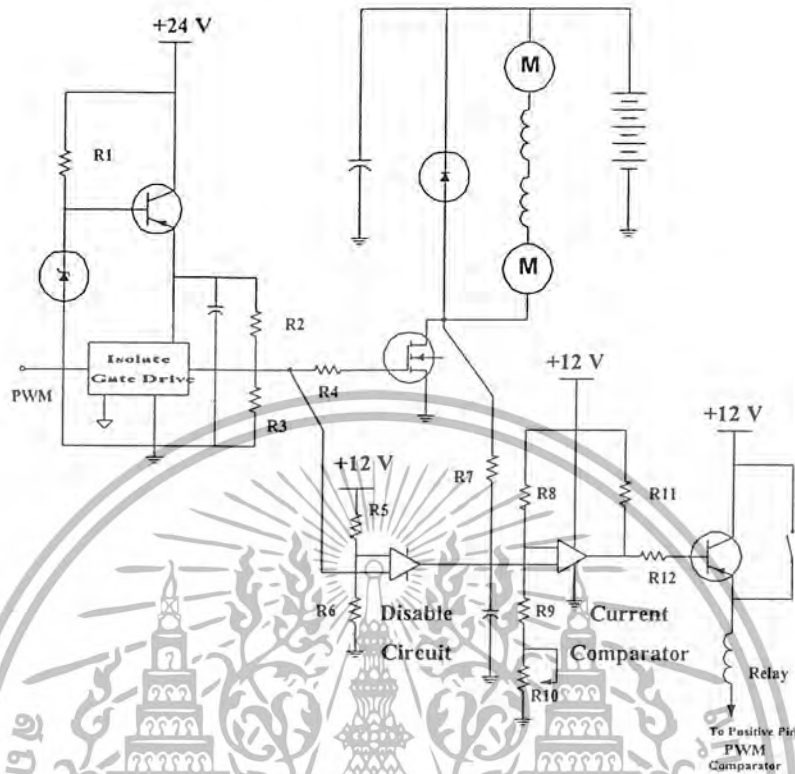
### 3.1.4 วงจรป้องกันกระแสเกิน

โครงการนี้นำมอสเฟตมาต่อขนานกันเพื่อร่วมกันจ่ายกระแส การที่จะนำตัวต้านทานค่าต่ำๆ มาต่ออนุกรมกับมอสเฟตแล้วนำแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานไปตรวจสอบกระแสเกินนั้นจะต้องทำทุกตัวที่ขนานกันอยู่ เพราะในช่วงแรกมอสเฟตอาจ ON ไม่พร้อมกัน ตัวที่ออนก่อนอาจเสียหายได้ วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมทำให้ขนาดของชุดควบคุมมีขนาดใหญ่และเกิดกำลังสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 3.10 Block Diagram แสดงหลักการทำงานของวงจรป้องกันกระแสเกิน

มอสเฟตขณะ ON นั้นจะมีแรงดันค่าน้อยๆ ตกคร่อมตัวมอสเฟตอยู่ เนื่องจากค่าความต้านทาน  $R_{ds(on)}$  ของมอสเฟต(ดูได้จาก datasheet) ดังนั้นเราจะนำแรงดันนี้ไปใช้งาน ยิ่งกระแสไหลผ่านมอสเฟตมากแรงดันตกคร่อมก็ยิ่งมาก เมื่อวงจรเปรียบเทียบกระแสตรวจจับได้ว่าเกิดกระแสเกิน ก็จะสั่งให้รีเลย์ทำงานและตัดการทำงานของ PWM Comparator ออก โดยการดึงขาบวกของ PWM Comparator ลงกราวด์



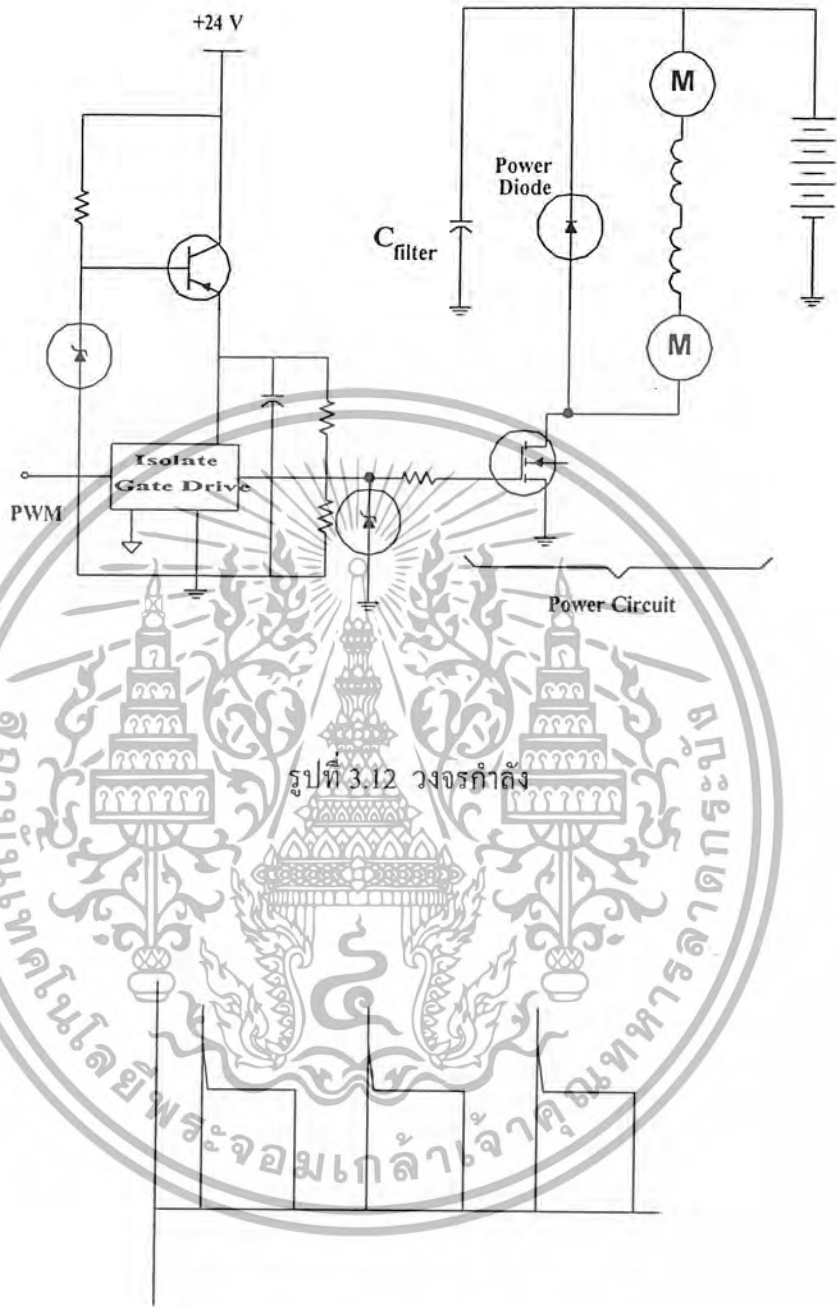
รูปที่ 3.11 วงจรป้องกันกระแสเกิน

3.2 ภาควงจรกำลัง

โครงการนี้จะใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ RFP40N10 พิกัดทนกระแสต่อเนื่องได้ตัวละ 40 A. และอัตราทนแรงดันระหว่างเดรนและซอร์สเท่ากับ 100 V. มาต่อขนานกันโดยจะต่อที่ตัวนั้น ต้องคำนึงถึงกระแสที่ใช้ในการขับเคลื่อนค่าที่สูงที่สุด ซึ่งในโครงการนี้ได้ต่อขนานกันจำนวน 9 ตัว และต้องให้ความสำคัญกับสิ่งต่อไปนี้

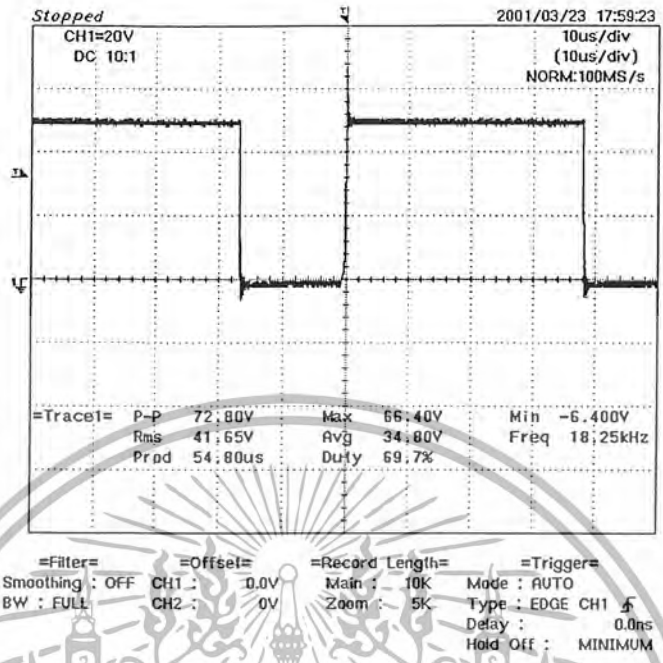
- มอสเฟตทุกตัวจะต้องติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อน (heat sink) เดียวกันและติดไดโอดชนิด Fast Recovery Diode เพื่อให้กระแสไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่องขณะมอสเฟต OFF
- การต่อตัวเก็บประจุร่อมแบตเตอรี่โดยตรงเพื่อลดกระแสริปเปิล (ripple) ของแบตเตอรี่เนื่องจากถ้ามีกระแส ripple สูงจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงและที่สำคัญเพื่อลดแรงดันสไปค์ที่คร่อมมอสเฟตขณะหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



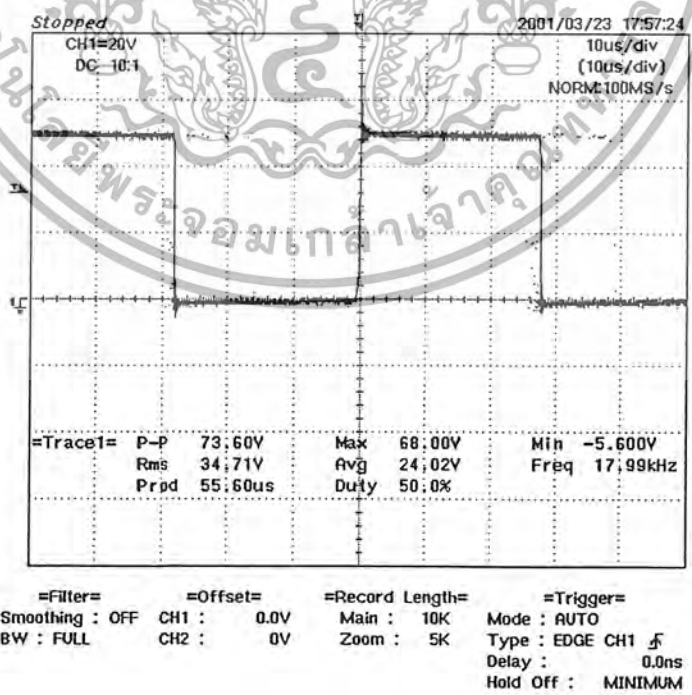
รูปที่ 3.13 แรงดันคร่อมแตรน-ซอร์สขณะยังไม่ต่อตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



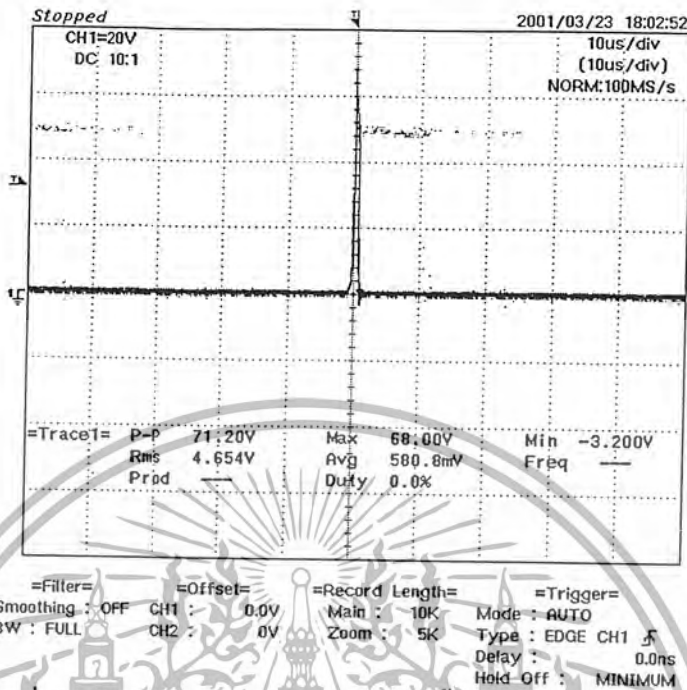
รูปที่ 3.14 แรงดันคร่อมไดโอด-ซอร์สเมื่อต่อตัวเก็บประจุ

จะเห็นว่าเมื่อทำการต่อตัวเก็บประจุลงในวงจรกำลังจะทำให้แรงดันสไปค์หายไป



รูปที่ 3.15 แรงดันคร่อมไดโอด-ซอร์สที่คิวต์ไซเคิล 50%

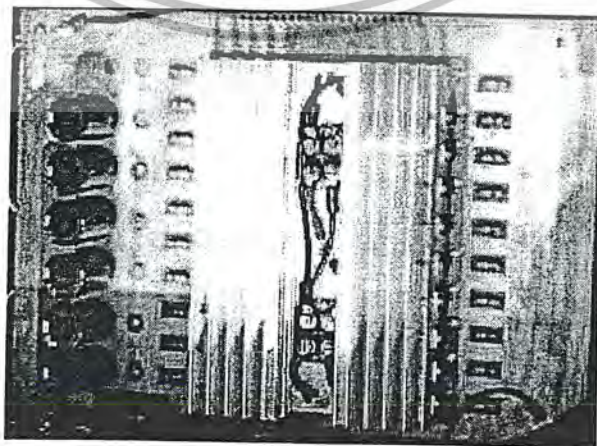
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แรงดันคร่อมคอนเดนเซอร์ที่ตัวดีไอเซลล์เกือบจะเป็น 0 %

การปรับความเร็วเพียงของรถไฟฟ้าเล็กน้อยจะทำให้มอเตอร์เป็นช่วงสั้นๆ ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันคร่อมคอนเดนเซอร์ ( $V_{ds}$ ) ที่มีดีไอเซลล์เกิดมากกว่าการปรับความเร็วของรถที่สูงกว่าซึ่งจะได้ดีไอเซลล์ของ  $V_{ds}$  ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของรถไฟฟ้าขึ้น

- การเดินสายไฟขนานตัวเก็บประจุต้องให้ความสำคัญอย่างมาก เพราะขณะทำงานผลของค่าความเหนี่ยวนำแฝงจะทำให้เกิดแรงดันสไปดจ์ขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อลดผลของค่าความเหนี่ยวนำของการเดินสายไฟ ควรขนานตัวเก็บประจุบนแผ่นลายทองแดงสองหน้า



รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายจริงของการติดตั้งตัวเก็บประจุบนแผ่นลายทองแดงสองหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปนั้น โดยแท้จริงแล้วยังมีค่ามากยิ่งจะทำให้กระแสของแบตเตอรี่มี ripple น้อย แต่ในทางปฏิบัติสามารถหาค่าตัวเก็บประจุที่จะนำมาใช้ดังนี้

$$\text{จากสมการ } C = \frac{\Delta I}{8f\Delta V_c} \quad (3-2)$$

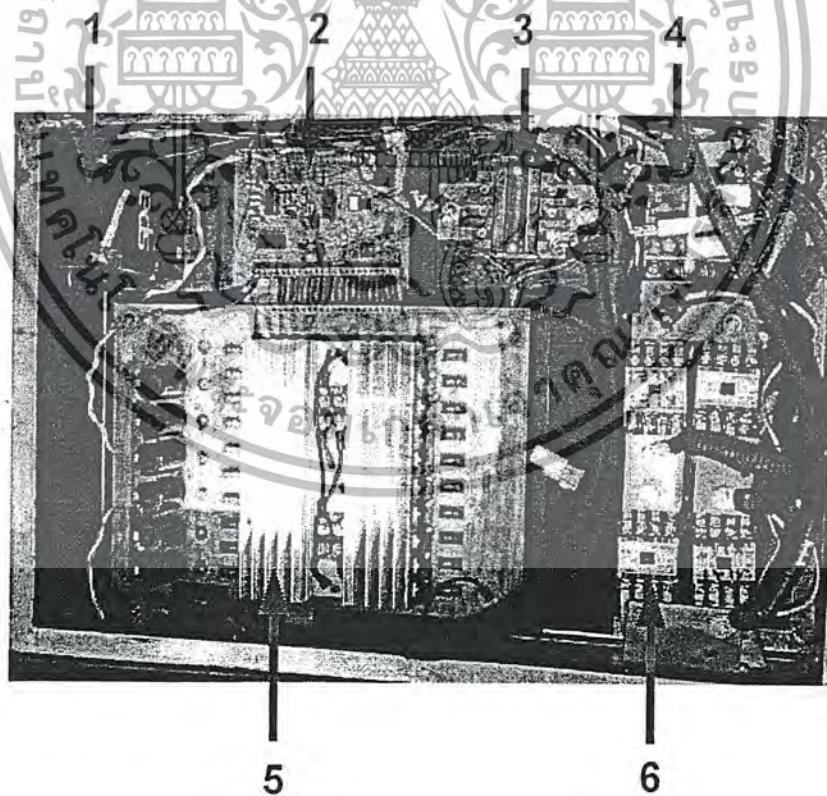
โดยที่

$\Delta I$  : ค่ากระแสรีปเปิล (10 A.)

$f$  : ความถี่ที่ใช้งาน (18 kHz)

$\Delta V_c$  : ค่าแรงดันรีปเปิล (20 mV.)

ในโครงการนี้จะเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่า 4700  $\mu$ F จำนวน 6 ตัว ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน



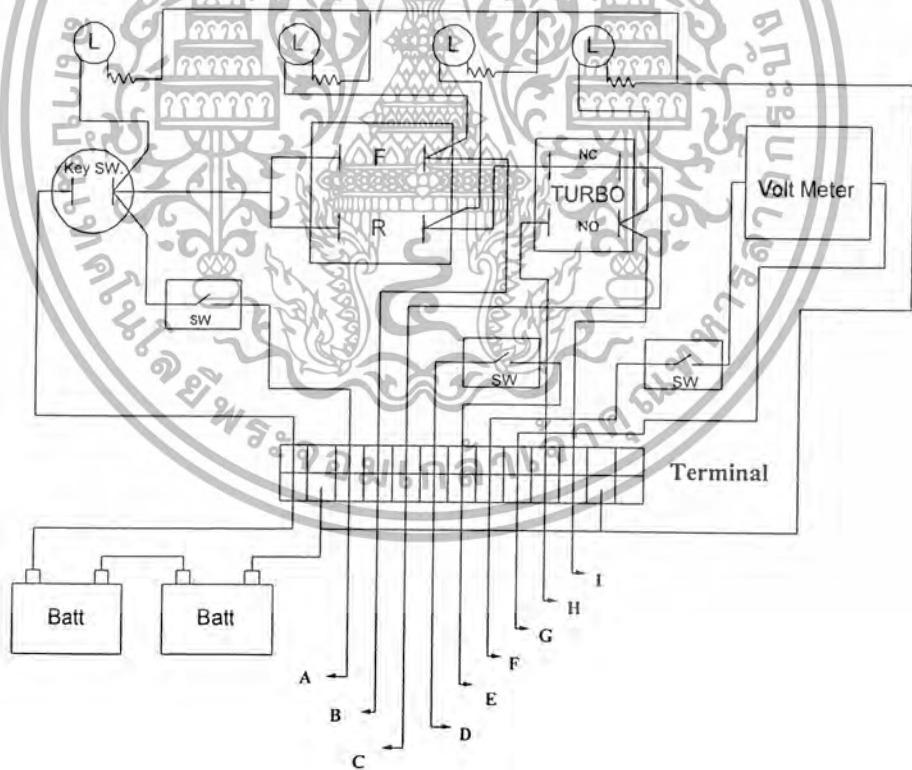
รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18

- 1 คือ แบตเตอรี่ 12 v ที่เลี้ยงวงจร control
- 2 คือ วงจร control
- 3 คือ Magnetic contactor ใช้สำหรับเวลา Direct จะผ่านกระแสไม่ให้อ่านวงจร control
- 4 คือ Main Magnetic contactor สำหรับเปิดไฟเลี้ยงวงจรทั้งหมด
- 5 คือ ชุดวงจรกำลัง
- 6 คือ ชุด Magnetic contactor ที่ใช้กลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

### 3.3 แผนผังการ wiring ระบบไฟภายในรถไฟฟ้า

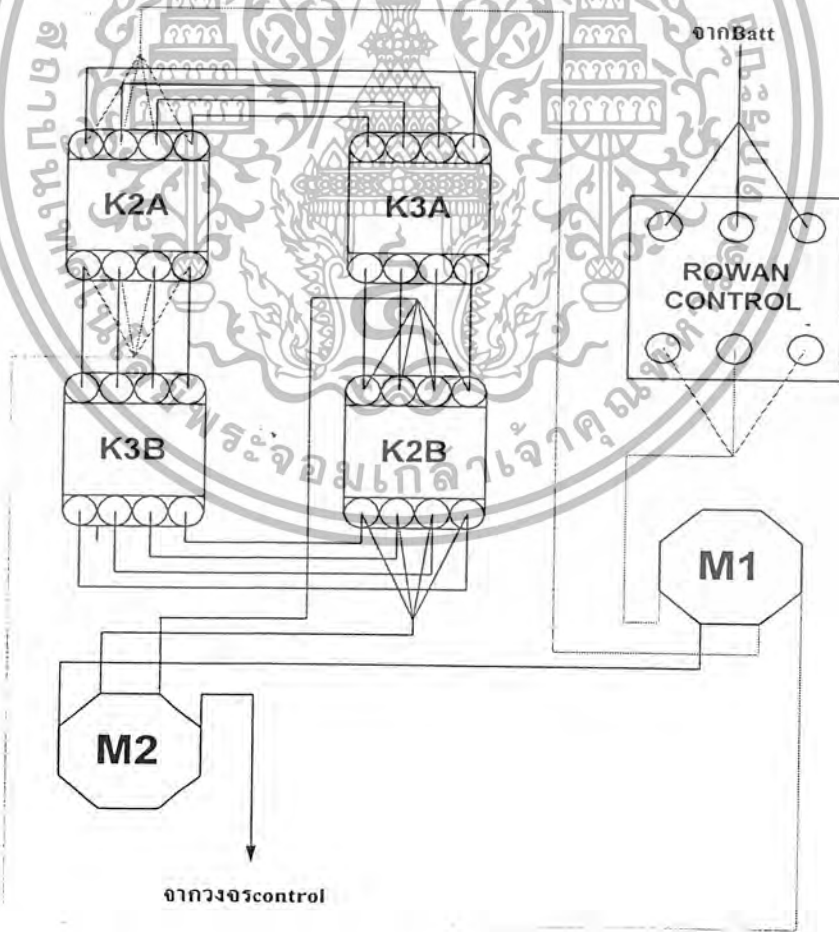


รูปที่ 3.19 แผนผังการ wiring ระบบไฟภายในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- A คือ ไฟ +24 Volt
- B คือ ไฟจ่าย Forward
- C คือ ไฟจ่าย Reward
- D คือ ไฟ 12 Volt เข้า
- E คือ ไฟ 12 Volt ออก
- F คือ ไฟเข้า Volt Meter (+)
- G คือ ไฟเข้า Volt Meter (-)
- H คือ ไฟจ่าย Magnetic Turbo เข้า
- I คือ ไฟจ่าย Magnetic Turbo ออก



รูปที่ 3.20 แสดงการ wiring ตามในการกลับทิศทางของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการทำงาน

การควบคุมการเดินหน้าและการถอยหลังของรถไฟฟ้า อาศัยแมกเนติกคอนแทคเตอร์เป็นตัวตัดต่อ เพื่อเปลี่ยนทิศทางของกระแสเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กโดยแมกเนติกคอนแทคเตอร์จะทำงานเป็นคู่เดินหน้าจะใช้ K2A และ K2B ส่วนในการถอยหลังใช้ K3A และ K3B ส่วน Rowan Control เป็นแมกเนติกคอนแทคเตอร์หลักเพื่อใช้ป้องกันไฟจากเบรคเตอร์เข้าสู่มอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### โครงสร้างของรถไฟฟ้าและตัวถังภายนอก

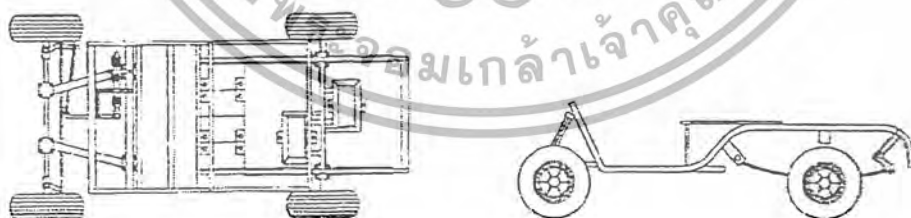
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆของการสร้างรถไฟฟ้า, การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานรวมไปถึงการหาพิคกิ้งกำลังมอเตอร์ ทำให้ทราบว่ามอเตอร์จะต้องมีขนาดกำลังเท่าไร จึงจะเหมาะสมกับโครงสร้างของรถไฟฟ้าและเหมาะสมในการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ

#### ลักษณะโครงสร้าง

ลักษณะ โครงสร้างของรถไฟฟ้าที่นำมาทำนั้นมีลักษณะโครงสร้างที่ถูกดัดแปลงขึ้น โดยเฉพาะ ซึ่งได้มีการต่อเติมโครงสร้างบางส่วนเพื่อเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยอะไหล่และอุปกรณ์ต่างๆ จะใช้วัสดุที่สามารถจัดหาได้จากภายในประเทศเพื่อความสะดวก และประหยัด

#### 4.1.1 Chassis

Chassis เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของรถไฟฟ้าเพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมด รวมไปถึงรับแรงกระแทกจึงต้องใช้เหล็กที่มีความหนาและแข็งแรง เพื่อให้เกิดความมั่นคงในการขับขี่ รูปร่างและรายละเอียดของโครงรถแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

#### 4.1.2 ระบบบังคับเลี้ยว

ทำหน้าที่บังคับทิศทางของรถให้ไปในทิศทางที่ต้องการ มีหลักการทำงานดังนี้ คือ อาศัยแรงส่งกำลังจากการหมุนพวงมาลัยที่ตัว rack ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยผ่อนแรงในการเลี้ยวและเป็น

ตัวที่ไปกระทำให้คันชักเคลื่อนไปในแนวระนาบบังคับทิศทางล้อได้ตามต้องการไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ระบบกันสะเทือน

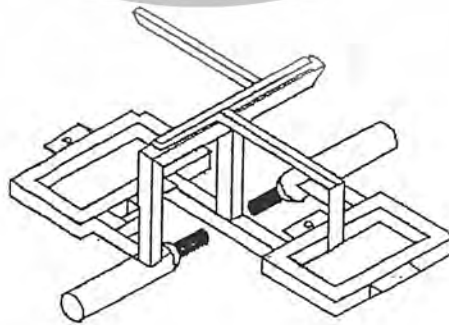
เป็นส่วนที่ช่วยลดซับแรงจากการกระแทกและรองรับน้ำหนักของตัวรถ ซึ่งจะทำให้เกิดความนุ่มนวลในการขับ ในรถไฟฟ้าคันนี้ใช้ระบบกันสะเทือนแบบโช้คอัพคู่และแหนบ โดยจะถูกเชื่อมต่อกันระหว่างตัวโครงรถกับคานหน้า ส่วนระบบกันสะเทือนของช่วงหลังจะใช้แบบโช้คอัพและแหนบเช่นเดียวกัน แต่แหนบหลังจะเป็นแหนบ 4 แผ่นเพราะต้องรองรับน้ำหนัก เสริมด้วยโช้คอัพคู่เพื่อลดแรงกระแทกของตัวรถกับพื้นถนน

#### 4.1.4 ระบบเบรก

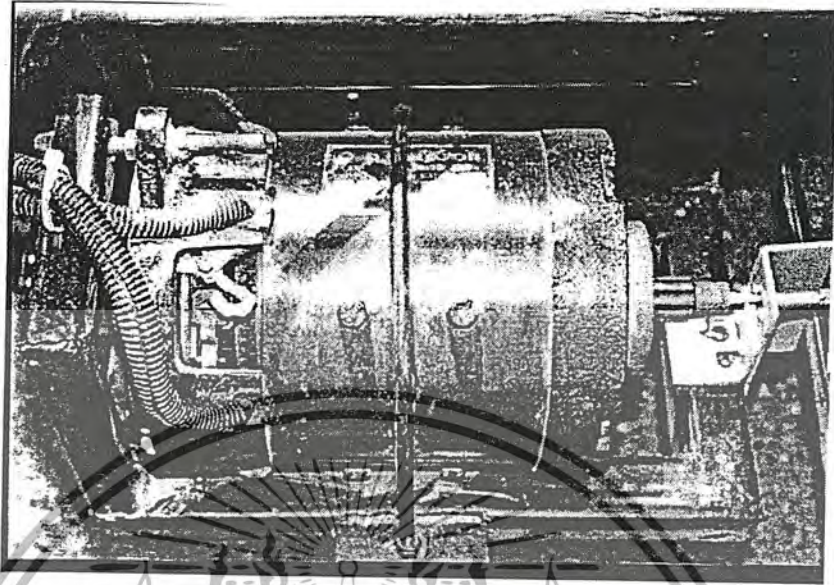
ระบบเบรกของรถไฟฟ้าเป็นแบบดัมพ์เบรก (Dump Brake) ธรรมดาเนื่องจากรถไฟฟ้านี้มีความเร็วในการขับที่ไม่มากนัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้เบรกแบบจาน (disk brake) การทำงานของระบบเบรกแบบนี้ จะอาศัยแรงทางกลจากการเหยียบเป็นเบรก ไปบังคับให้น้ำมันไปดันผ้าเบรกให้ไปอัดกับผิวดุมล้อ ซึ่งเมื่อคลายเท้าจากการเหยียบเบรก ผ้าเบรกก็จะกลับคืนสู่สภาวะปกติด้วยแรงสปริงที่ติดอยู่กับคันเบรก

#### 4.1.5 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าคันนี้อาศัยหลักการมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 2 ตัว ขนาดตัวละ 1000 W มาแทนชุด differential gear โดยนำมอเตอร์ทั้งสองตัวมาต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า แต่อิสระกันทางกล โดยให้มอเตอร์แต่ละตัวขับเคลื่อนล้อหลังตัวละข้าง และใช้โซ่เป็นตัวส่งกำลังมาขับเคลื่อนเพลาลัง โดยใช้อัตราทด 1:3.4 เพื่อให้ได้แรงบิดและความเร็วที่เหมาะสม ตำแหน่งในการวางมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างสำหรับวางมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งในการวางมอเตอร์

นอกจากนี้ ได้ทำการติดตั้งชุดเฟืองสำหรับคดโซ่ไม่ให้หย่อนเวลาขบจี และยังใช้ในการปรับคังโซ่เพื่อให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและพิกัดกำลังของมอเตอร์

##### 4.2.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรถไฟฟ้า ในการคำนวณนี้ใช้ข้อมูลจากรถไฟฟ้าสนามกอล์ฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยจากข้อมูลที่ได้จะมีค่า  $v = 24 \text{ km/h}$  (6.667 m/s),  $P = 2.2 \text{ kW}$ , ประสิทธิภาพของมอเตอร์  $\eta = 95 \%$

$$\text{หาได้จากสูตร} \quad P = \frac{P_m}{\eta} \quad (4-1)$$

$$2.2 = \frac{P_m}{\eta}$$

$$P_m = 2.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นผิวถนนต่างๆ ไป

$$\text{จาก} \quad P_m = \mu \cdot \frac{WV}{102} \cdot \frac{100}{\eta} \quad (4-2)$$

โดยที่

$W$  คือ น้ำหนักบรรทุกรวมกับน้ำหนักบรรทุก กำหนดให้มีค่าประมาณ 550 kg.

$V$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่ 24 km/h ( $v = 6.667$  m/s)

$\mu$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างยางรถกับพื้นผิว

$P_m$  คือ ค่ากำลังของมอเตอร์ (kW)

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง (ส่งกำลังด้วยระบบเฟืองท้าย  $\eta = 80\%$ )

แทนค่าในสมการ 4-2 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน  $\mu = 0.0467289$  ซึ่งเราจะใช้ค่านี้ในการคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่จะใช้กับรถที่สร้างขึ้น

#### 4.2.2 การคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ใช้กับรถในโครงการ

จากสมการที่ 4-2

$$P_m = \mu \cdot \frac{WV}{102} \cdot \frac{100}{\eta}$$

โดยที่

$W$  คือ น้ำหนักบรรทุกรวมน้ำหนักบรรทุก ประมาณ 550 kg.

(น้ำหนักของรถและแบตเตอรี่ 400 kg. และน้ำหนักบรรทุก 150 kg.)

$V$  คือ ความเร็วของรถไฟฟ้า 24 km/h (6.667 m/s)

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพในการส่งกำลังของระบบโซ่และเฟืองประมาณ 90%

แทนค่าลงในสมการจะได้ค่ากำลังของมอเตอร์ที่ต้องการประมาณ 1.865 kW ดังนั้นมอเตอร์ที่

เลือกใช้จึงเป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ขนาด 1 kW 2 ตัว จะได้พิกัดรวม 2 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 การทดรอบของมอเตอร์โดยใช้เฟืองทด

ที่รอบพิกัดของมอเตอร์มีค่าประมาณ 1500 rpm เมื่อเทียบกับรัศมีวงล้อ (25 ซม.) แล้วรถคันนี้มีความเร็ว  $v = 2\pi r$  มีเส้นรอบวงเท่ากับ 0.94 เมตร จะได้ความเร็ว 84.82 km/h จะต้องทดรอบประมาณ 1:3.4 จึงจะได้ความเร็วรอบ 24 km/h เมื่อกำหนดให้กำลังที่จ่ายมีค่าคงที่เมื่อความเร็วรอบลดลงจะได้

$$\text{จาก } P = T_{\text{out}} * \omega \quad \text{kW} \quad (4-3)$$

โดยที่  $T_{\text{out}}$  คือ แรงบิดส่งออก (N-m)

$\omega$  คือ ความเร็วรอบ (rad/s)

ถ้าความเร็วรอบลดลง 3.4 เท่าจะได้แรงบิดเพิ่มขึ้นที่ปลายเพลง 3.4 เท่าด้วยเมื่อให้กำลังที่จ่ายมีค่าคงที่ ทำให้รถคันนี้สามารถออกตัวได้อย่างราบเรียบและความเร็วที่ได้มีค่าเหมาะสม

ในส่วนของกำลังส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังปลายเพลง เลือกใช้โซ่ในการขับเคลื่อนเพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการส่งกำลังแบบอื่นๆ และยังมีอายุยืนยาวกว่าและซ่อมบำรุงก็ทำได้ง่ายกว่าระบบอื่น

### 4.3 ตัวถังของรถไฟฟ้า

ในการทำตัวถังรถไฟฟ้านั้นเราต้องเน้นความแข็งแรง และทนทาน และมีน้ำหนักเบาจึงเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรง ( Reinforce Plastic ) และวัสดุที่ดีที่สุดที่สามารถนำมาเสริมแรงให้พลาสติก คือ ไยแก้ว ( Glass Fiber ) ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มแต่เหนียว ทั้งทนการผุกร่อนได้ดี ทนความร้อนได้สูง เป็นฉนวนไฟฟ้าและทนสารเคมี ส่วนพลาสติกที่นำมาใช้เป็นเนื้อต้องเป็นชนิดที่มีความแข็งแรงมาก ซึ่งถ้าไม่เสริมแรงแล้ว จะเปราะ จึงเลือกเอาพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง ( Thermosetting ) มาใช้งานได้แก่ พอลิเอสเตอร์เรซิน ( Unsaturated Polyester Resin ) และ อีพอกซีเรซิน ( Epoxy Resin ) พลาสติกจำพวกนี้เป็น พลาสติกเหลวซึ่งภายหลังจากเติม ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา และช่วยทำให้แข็ง แล้วจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ( Polymerization ) มีความร้อนเกิดขึ้นสูง และเปลี่ยนสภาพเป็นพลาสติกแข็ง ไม่คืนรูปอีก และเรียกผลิตภัณฑ์ดังกล่าวว่าเป็น ผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรง ด้วยใยแก้ว หรือ FRP ( Fiber Glass Reinforced Plastics ) ซึ่งเราเรียกง่าย ๆ ว่า ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

#### 4.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำ

- โพลีเอสเตอร์เรซิน ( Unsaturated Polyester Resin ) เป็นพลาสติกเหลวนำมาใช้ทำเป็นเนื้อไฟเบอร์กลาส เพราะราคาถูกที่สุดที่นิยมมี 5 ชนิด คือ
  - 1 ออโทฟาทัลิกอะซิด ( Ortho-phthalic acid type )
  - 2 ไอโซฟาทัลิกอะซิด ( Isophthalic acid type )
  - 3 เทเรฟาทัลิกอะซิด ( Terephthalic acid type )
  - 4 บิสฟีนอล-เอ ( Bisphenol-A type )
  - 5 ไวนิลเอสเทอร์ ( Vinylester type )
- โมโนสไตรีน ( Monostyrene ) หรือสไตรีนโมโนเมอร์ ( Styrene Monomer)เป็นตัวทำละลายหรือทำให้เหลวใช้เติมลงในโพลีเอสเตอร์เรซินเพื่อให้เหลวสะดวกต่อการทำงาน เช่น ฟันหรือทาสีอัตราส่วนประมาณ 10-20 %
- ตัวทำให้แข็ง ( Hardener ) เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ทำให้แข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่เข้าศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ( Accelerator ) ในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยเปลี่ยนแปลงจากรูปพลาสติกเหลวเป็นพลาสติกแข็งของ unsaturated polyester resin โดยใช้ตัวทำให้แข็งจะช้ามาก เราจึงนำตัวช่วยเร่ง ปฏิกิริยามาช่วย ตัวช่วยเร่งที่นิยมใช้คือ โคบอลท์เนฟทีเนต(Cobalt Naphthenate ) ใช้ความเข้มข้นประมาณ 3-5 %

- ใยแก้ว ( Fiber Glass ) เป็นตัวเสริมความแข็งแรงให้กับโพลีเอสเตอร์เรซิน

ใยแก้วมีส่วนผสมทางเคมีที่สำคัญดังนี้

|   |          |
|---|----------|
| SILICON DIOXIDE ( SiO <sub>2</sub> )              | 54-72%   |
| ALUMINUM OXIDE ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 0.6-24%  |
| FERROUS OXIDE ( Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )  | 0.25%    |
| CALCIUM OXIDE ( CaO )                             | 0.1-17%  |
| MAGNESIUM OXIDE ( MgO )                           | 2-10%    |
| SODIUM OXIDE ( Na <sub>2</sub> O )                | 0.27-14% |
| POTASSIUM OXIDE ( K <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) | 1%       |
| BORON OXIDE ( B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )     | 0.1-8%   |
| BARIUM OXIDE ( BaO )                              | 0.1-8%   |

เราแบ่งใยแก้วตามคุณสมบัติได้ดังนี้

- 1 กลุ่ม A ( Alkali ) ใช้สำหรับงานป้องกันสารที่เป็นด่าง
- 2 กลุ่ม C ( Chemical ) ใช้สำหรับงานป้องกันสารที่เป็นกรด
- 3 กลุ่ม E ( Electrical ) ใช้สำหรับงานป้องกันไฟฟ้า
- 4 กลุ่ม S ( High Strength ) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่หากเราแยกตามคุณสมบัติทางกายภาพได้ดังนี้

- 1 ไยแก้วชนิดเส้นยาว ( Roving ) มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวตลอดมีความสามารถในการรับแรงดึง และ แรงบิดงอได้สูงมาก
- 2 ไยแก้วชนิดเส้นสั้น ( Chopped Strands ) นิยมนำไปผสมเป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกพวก Phenolics, Nylon, ABS, polypropylene เป็นต้นรวมทั้งในอีพ็อกซี
- 3 ไยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น ( Chopped Strands Mat ) มีขนาดผืนต่างกันไป แล้วแต่การใช้งานเช่น เบอร์ 300,450,600 ( ตัวเลขของผืนเบอร์ หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมต่อหนึ่งตารางเมตร ) นิยมใช้กับชิ้นงานขนาดเล็ก ส่วนใยแก้วหนาใช้กับชิ้นงานใหญ่
- 4 ไยแก้วชนิดผืนเส้นยาว ( Continuous Strand Mat ) ไยแก้วชนิดนี้เสริมให้ชิ้นงานแข็งแรงกว่า ชนิดผืนเส้นสั้น เพราะเส้นใยแก้วยาวตลอดเป็นเส้นเดียวกัน ใช้กับชิ้นงานที่มีผิวเรียบตลอด
- 5 ไยแก้วชนิดผืนเส้นใยละเอียด ( Surfacing Mat ) ใช้ในงานพิเศษหรือขนาดเล็ก ขนาดที่นิยมใช้คือ เบอร์ 30
- 6 ไยแก้วชนิดผืนทอละเอียด ( Woven Roving ) ใช้กับชิ้นงานที่ต้องการเสริมความแข็งแรงเป็นพิเศษ
- 7 ไยแก้วชนิดผืนทอหยาบ ( Woven Roving ) ใช้กับชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ต้องการความแข็งแรงมาก ๆ เช่น เรือ
- 8 ไยแก้วชนิดเส้นด้าย ( yarn ) มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนเส้นด้าย มีหลายขนาด ตั้งแต่  $\phi$  0.08 mm ถึง 0.5 mm
- 9 ไยแก้วชนิดผืนทอพิเศษ ( Fabrics ) มีความแข็งแรงสูง มีหลายขนาดตั้งแต่  $25 \text{ kg/m}^2$  ถึง  $330 \text{ kg/m}^2$

- เจลโค้ต ( Gel coat ) เป็นส่วนที่ปิดผิวหน้าไฟเบอร์กลาส มีลักษณะเหลวข้นคล้ายแป้งเปียกซึ่งสามารถผสมกับสีผสมเรซิน ให้เป็นสีต่าง ๆ ได้ ความสำคัญของเจลโค้ตนอกจากใช้เพื่อความสวยงามแล้วยังใช้ปกปิดไม่ให้เห็นรอยใยแก้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ● สีเรซิน คือสีที่ผสมในเจลโค้ต เพื่อให้ชิ้นงานมีสีต่าง ๆ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำยาล้าง ( Solvent ) ที่นิยมใช้ที่สุดคือ อะซีโตน ( Acetone ) ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เปื้อนโพลีเอสเตอร์เรซิน หากไม่มีอาจใช้ทินเนอร์แทนก็ได้
- น้ำยาถอดแบบ พีวีเอ ( PVA Release Agent ) ใช้ในการช่วยถอดแบบ หากไม่ใช้จะถอดแบบได้ยากมาก
- ผงทึบดำ คือ ผงแป้งนั่นเองมีลักษณะเป็นผง

#### 4.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ภาชนะบรรจุ เช่น ขันและถังพลาสติก  
ไม้กวาด  
หลอดวัดปริมาตรของเหลว นิยมใช้หลอดแก้วตามร้านเคมีภัณฑ์  
แปรงและลูกกลิ้ง  
กาฟันทึบ  
ฟองน้ำ  
ผ้าเช็ด  
กระดาษทรายน้ำ  
มีดและกรรไกร  
ตะไบและตีว  
ก้อน  
เกรียง  
เครื่องขัด

#### 4.4 กรรมวิธีการผลิตไฟเบอร์กลาส

ในการทำไฟเบอร์กลาสนั้นมีหลายวิธี แต่ในการทำโครงรถไฟฟ้านั้นเราใช้แบบมือทาเป็นการทำที่ง่าย ลงทุนน้อย และนิยมใช้งานมากที่สุด เหมาะสำหรับผู้เริ่มทำ และกิจการขนาดเล็ก โยแก้วที่ใช้เป็นชนิดคืน เครื่องมือที่ใช้อาจเป็นแปรง หรือลูกกลิ้ง หรือทั้งสองอย่าง

##### 4.4.1 ขั้นตอนการผลิต

- 1 เตรียมแม่แบบโดยการล้างทำความสะอาดผิวหน้าด้วยน้ำ หรือใช้ผ้าแห้งเช็ดทำความสะอาดก็ได้ แล้วปล่อยให้แห้ง

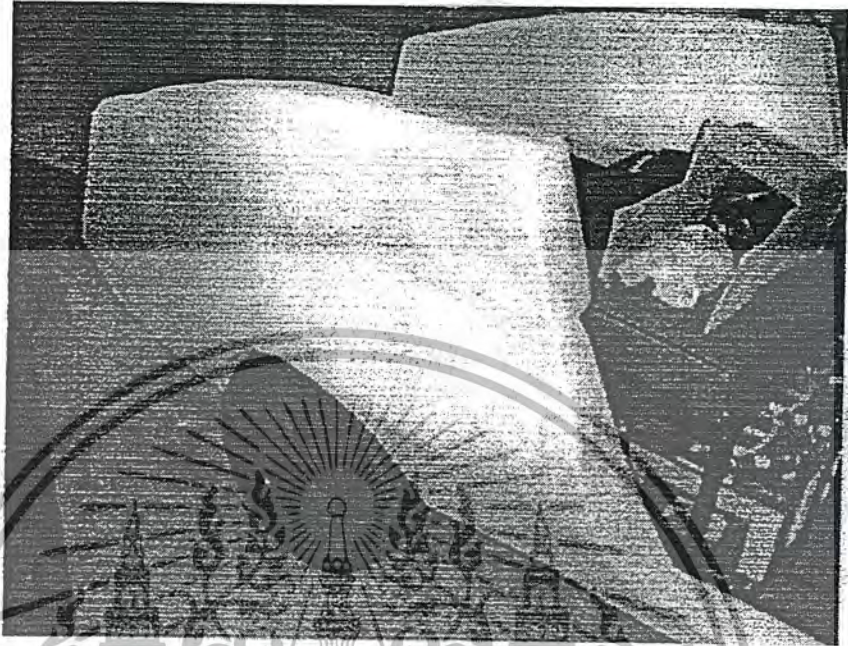
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 ขัดผิวหน้าด้วยซี่ผึ้งขัดผิว เพื่อให้ผิวเป็นมันและเรียบ
- 3 ทา หรือ พ่นน้ำยาพีวีเอ ( PVA ) แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
- 4 ทาหรือพ่นเจลโค้ดดี ( Gel coat ) แล้วทิ้งให้แข็งตัว
- 5 วางผืนใยแก้วลงไป
- 6 ใช้แปรงหรือลูกกลิ้งจุ่มโพลีเอสเตอร์เรซินที่ผสมตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) และตัวทำให้แข็ง (Catalyst) แล้วทาหรือกลิ้งไปบนผืนใยแก้วให้ทั่วทั้งให้ โพลีเอสเตอร์เรซินแข็งตัวจึงตัดขอบ แล้วใช้ผ้าทรายลูบผิวด้านหยาบให้เรียบ
- 7 หากต้องการให้ชิ้นงานมีความหนาและ มีความแข็งแรงมากขึ้นให้วางผืนใยแก้วทับลงไปอีกและทาหรือกลิ้งโพลีเอสเตอร์ให้ทั่วสลับกันไป จนได้ความหนาที่ต้องการจึงปล่อยให้แห้งและแข็งตัว
- 8 ตัดขอบใยแก้วที่ขึ้นออกมาจากแบบ
- 9 เมื่อชิ้นงานแข็งตัวดีแล้ว จึงถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบ โดยใช้คีมไม้
- 10 ขัดตกแต่งชิ้นงานให้เรียบ แล้วนำไปประกอบ

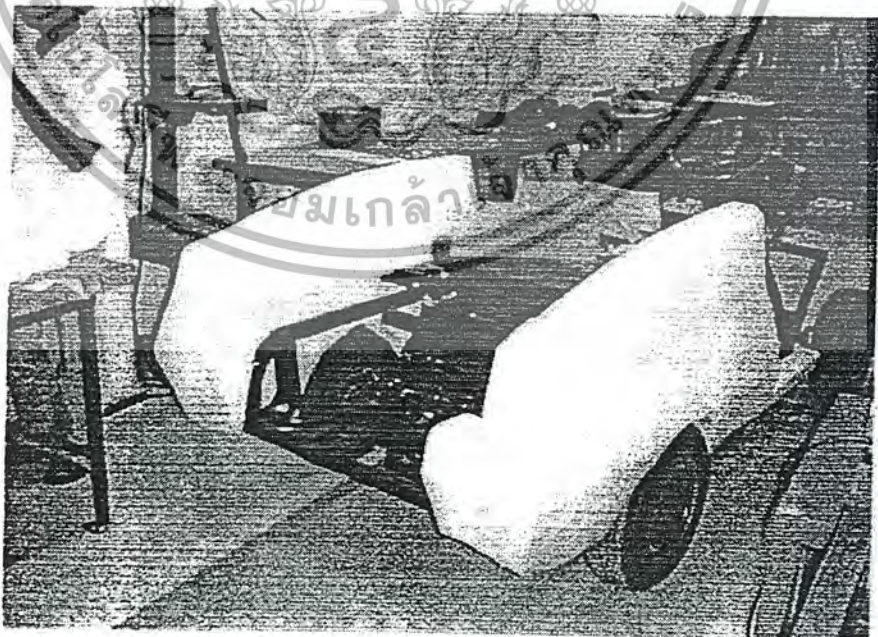
แต่หากชิ้นงานที่ได้มีร่องรอยทำให้ไม่เรียบ มีวิธีการแก้ไขคือทำเรซิน ใปี คือ วัสดุที่ทำจากการผสมโพลีเอสเตอร์เรซิน กับ ผงทัลคัม ในอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก จะมีลักษณะเป็นก้อนเหมือนกับสีโป๊รถยนต์

#### 4.4.2 เทคนิคการผสมเรซินใปี

- 1 หยดตัวเร่งปฏิกิริยา ( ชนิด 5% ) ในปริมาณ 0.2 % ลงในโพลีเอสเตอร์เรซินที่เตรียมไว้คือ โพลีเอสเตอร์เรซินน้ำหนักประมาณ 1.1 kg ต่อผิวหน้าแบบ 1 ตารางเมตร ผสมให้เข้ากัน
- 2 ค่อย ๆ โรยผงทัลคัมที่เตรียมไว้ลงผสมพร้อมทั้งกวนให้เข้ากันตลอดเวลา ห้ามไม่ให้ใช้ผงหิน เพราะการเกาะยึดจะไม่ได้
- 3 โรยผงทัลคัมลงไปเรื่อย ๆ จนมีลักษณะเหลวข้นคล้ายสีโป๊รถยนต์ หรือทลออกยกไม้กวนขึ้นเรซิน ใปีที่ผสมจะไม่ย่อยลงมาเป็นเส้น ๆ จะขาดจากกันเป็นใช้ได้

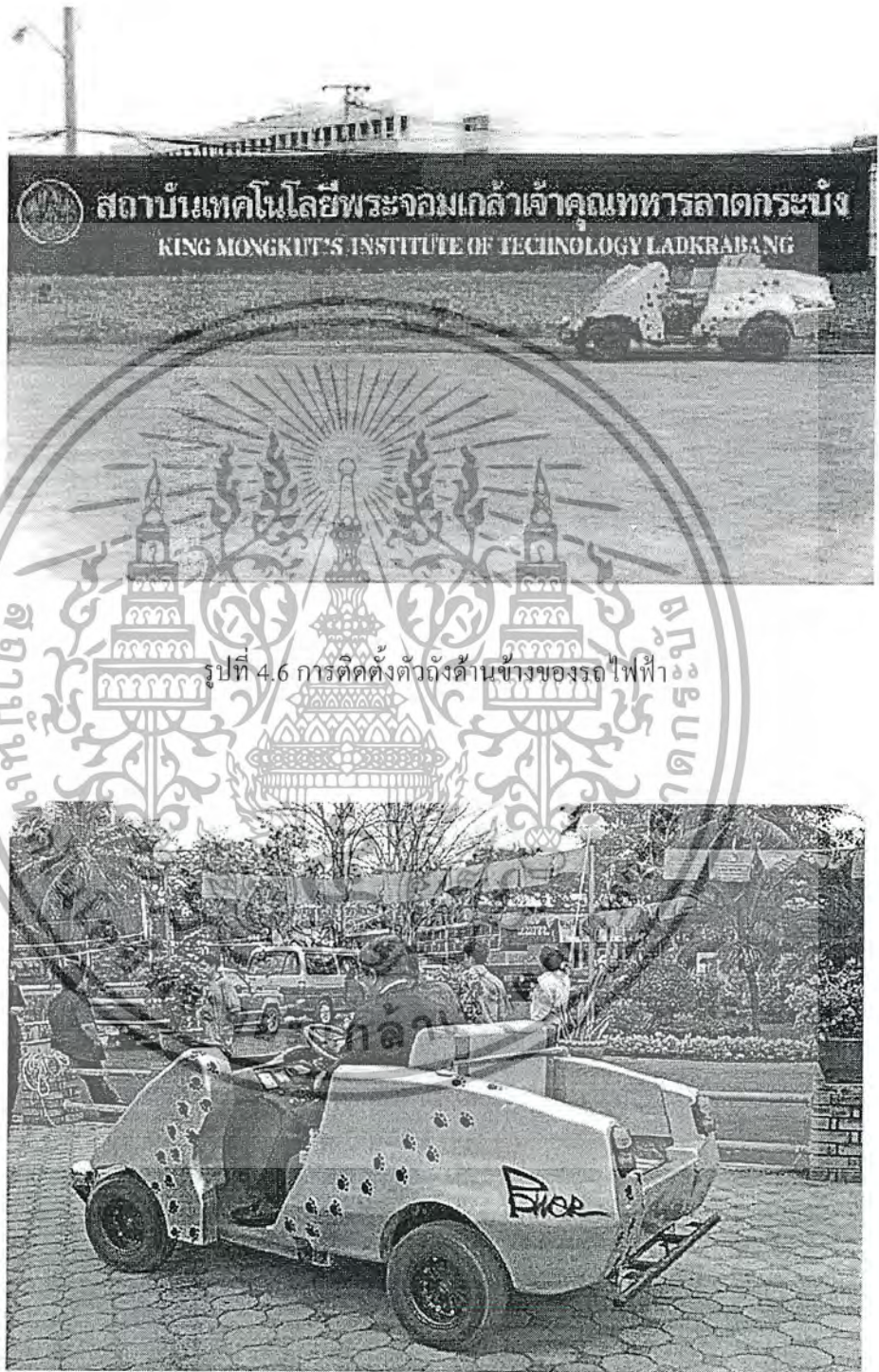


รูปที่ 4.4 ตัวถังด้านข้างของรถไฟฟ้าโดยใช้โฟมขึ้นรูป



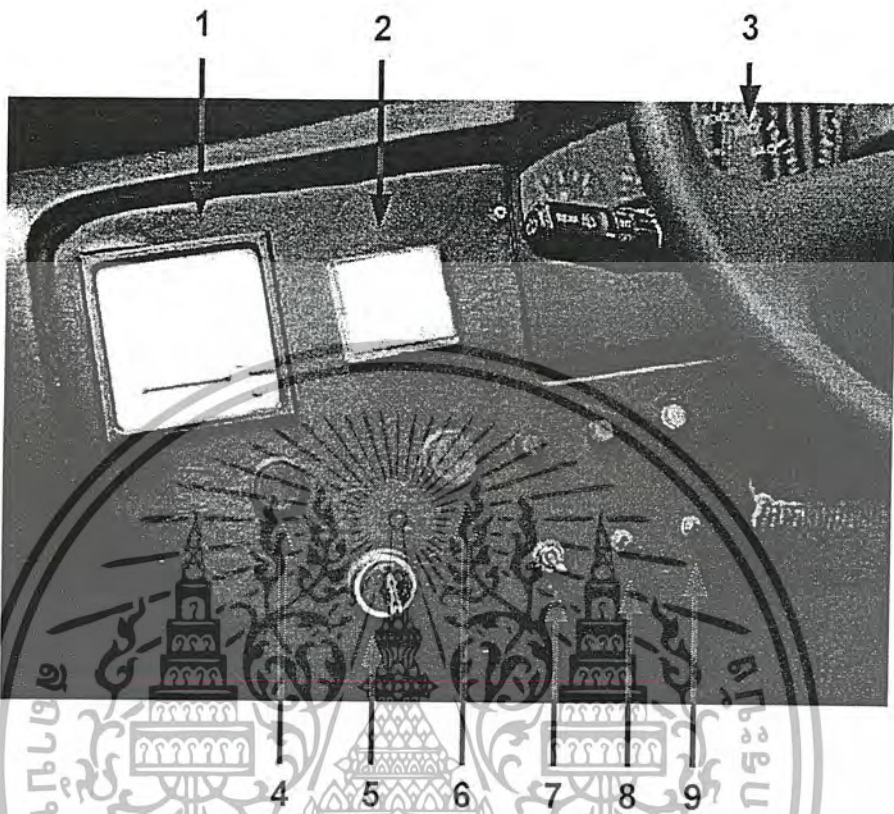
รูปที่ 4.5 ตัวถังด้านข้างโดยมองจากด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ตัวถังภายนอกของรถไฟฟ้าที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผงควบคุมของรถไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.8

- หมายเลข 1 คือ แอมมิเตอร์
- หมายเลข 2 คือ โวลต์มิเตอร์
- หมายเลข 3 คือ มิเตอร์วัดความเร็วรถไฟฟ้า
- หมายเลข 4 คือ หลอดไฟแสดงสถานะ Forward
- หมายเลข 5 คือ Selector Switch สำหรับเปลี่ยนทิศทางรถขับเคลื่อน
- หมายเลข 6 คือ หลอดไฟแสดงสถานะ Reverse
- หมายเลข 7 คือ สวิตช์สำหรับตัดต่อแมกเนติกคอนแทคเตอร์หลัก
- หมายเลข 8 คือ สวิตช์สำหรับตัดต่อวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์
- หมายเลข 9 คือ สวิตช์สำหรับเปิด-ปิดการทำงานของโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รถไฟฟ้าเมื่อเสร็จสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 คุณลักษณะเฉพาะของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

## SPECIFICATIONS

| Specifications              | รถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น                                    |
|-----------------------------|--|
| ความยาว                     | 2.4m   |
| ความกว้าง                   | 0.95m  |
| ความสูง                     | 0.8m   |
| ฐานล้อ                      | 1.1m   |
| น้ำหนักกรรปเล่ารวมแบตเตอรี่ | 400kg  |
| ความสูงจากพื้นถึงใต้ท้องรถ  | 0.15m  |
| รัศมีวงเลี้ยว               | 2.5m   |
| ตัวถัง                      | Fiberglass   |
| ระบบไฟฟ้า                   | 12 Volt x 4, 48 Volt ( 80AH )                          |
| ระบบส่งกำลัง                | โซ่และเฟือง อัตราทด 1: 3.4                             |
| ช่วงล่างหน้า                | โซ่คอป และ แหนบ  |
| ช่วงล่างหลัง                | โซ่คอป และ แหนบ  |
| ระบบพวงมาลัย                | แร็ค ( Rack )  |
| เบรก                        | คริมเบรกแบบน้ำมันบนล้อคู่หลัง                          |
| โครงตัวถัง                  | เหล็กกล่องทนแรงดึงสูง                                  |
| แบบที่นั่ง                  | 2ที่นั่ง พองน้ำหุ้มหนัง                                |
| ยาง                         | 154 x 10c x 76M , 4 เส้น                               |
| ความเร็วสูงสุด              | 24 km/hr   |
| ระยะทางสูงสุด               | 10km   |
| มอเตอร์                     | มอเตอร์ไฟฟ้า 2 x 1 Kw/2.68 แรงม้า DC 48 Volt ,1500 RPM |
| ชุดชาร์จแบตเตอรี่           | อัด โนมัติ / Out put 48 Volt, 12 A ,50Hz,AC            |

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ของรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### แบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของรถไฟฟ้า เนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ ระบบควบคุม และระบบไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานและอายุในการใช้งานในแต่ละรอบของการอัดประจุของรถไฟฟ้า

#### 5.1 แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการ

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้มีอยู่ 2 ชุด คือชุดแรกใช้จ่ายให้แก่วงจรควบคุมสัญญาณขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่วนที่สองจ่ายให้แก่มอเตอร์ คอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ระบบไฟเลี้ยงและวงจรควบคุมอีกชุดหนึ่งเนื่องจากชุดควบคุมในโครงการนี้ใช้พลังงานจาก 2 แหล่งจ่ายแบบแยกกราวด์

แบตเตอรี่ชุดแรก ใช้เป็นแหล่งจ่ายแก่วงจรควบคุมสัญญาณขับเคลื่อนของมอเตอร์ซึ่งต้องการกระแสที่น้อยและเพื่อความสะดวกในการติดตั้งจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 3 A-h 12 โวลต์ จำนวน 1 ลูก

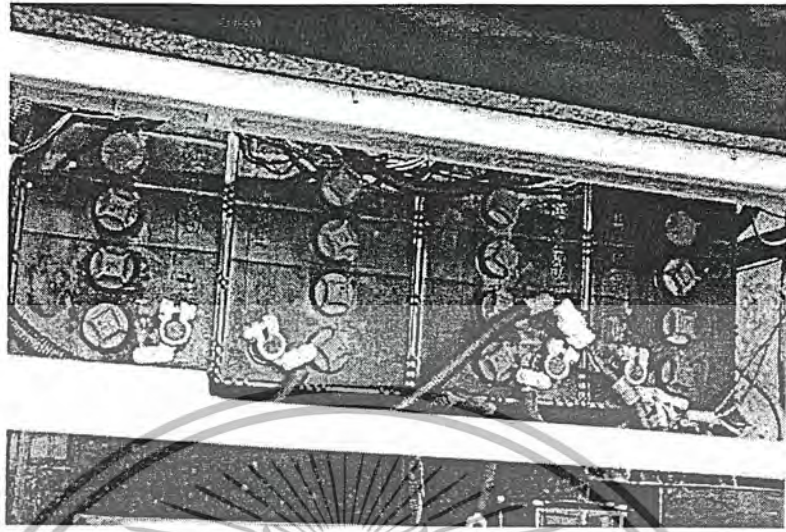
แบตเตอรี่ชุดที่สอง เป็นชุดที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมากเนื่องจากต้องเป็นแหล่งพลังงานแก่มอเตอร์ การควบคุมการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ และระบบไฟของรถ จากการทดลองขับรถไฟฟ้าจริงในสภาพถนนปกติวัดขนาดกระแสที่ผ่านมอเตอร์ได้เฉลี่ย 80-90 แอมแปร์และออกแบบให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสต่อเนื่องได้ประมาณ 1 ชั่วโมงจะได้รับความจุของแบตเตอรี่ ดังนี้

จากสมการ

$$\begin{aligned} C &= I \cdot T & (5-1) \\ &= 80(1) \\ &= 80 \text{ A-h} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติ การเลือกใช้แบตเตอรี่เพื่อการใช้งานจริงควรเผื่อขนาดความจุของแบตเตอรี่ไว้ แต่เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาด 80 A-h แรงดัน 12 โวลต์ จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกันในการจ่ายพลังงานให้กับรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แบตเตอรี่ที่เลิกใช้และตำแหน่งการวางแบตเตอรี่ในรถ

## 5.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

ในกรณีที่แบตเตอรี่หมดหรือมีแรงดันต่ำจนไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ ควรทำการอัดประจุแบตเตอรี่ตามความเหมาะสม สถานที่อัดประจุควรแจ้ง สะอาด ปราศจากฝุ่น และอยู่ห่างจากวัตถุไวไฟ ควรมีการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่ด้วยเพื่อยืดอายุการใช้งาน ของแบตเตอรี่



รูปที่ 5.2 Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการอัดประจุแบตเตอรี่

1. ปิดสวิตช์กุญแจและสวิตช์ควบคุมทุกตัว
2. เปิดฝาจุของแบตเตอรี่ออกพร้อมกับตรวจสอบระดับน้ำกลั่น
3. เสียบปลั๊กสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่
4. เปิดสวิตช์ที่เครื่องอัดประจุ พร้อมกับปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง Float Charge
5. เมื่อการอัดประจุแบตเตอรี่เต็มจะมีเสียงเตือนจากเครื่องอัดประจุ
6. ถอดปลั๊กออก นำรถไปใช้งานได้ตามปกติ

### ข้อควรระวังของแบตเตอรี่

แก๊สจากแบตเตอรี่อาจทำให้ระเบิดได้ อย่างจุดไฟหรือทำให้เกิดประกายไฟใกล้แบตเตอรี่และขณะอัดประจุให้แบตเตอรี่การระบายอากาศต้องดีพอ กระจกอำมะถันที่อยู่ในแบตเตอรี่ระวังอย่าให้เข้าตา ถูกผิวหนังหรือเสื้อผ้า



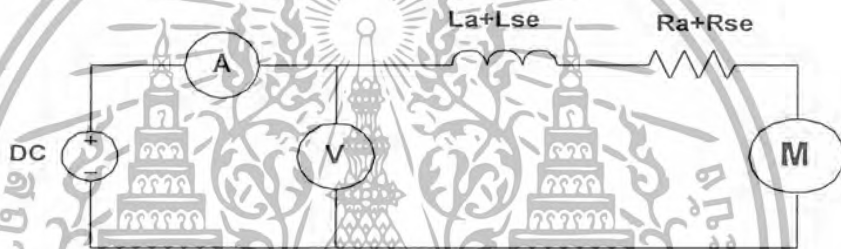
## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองในส่วนต่างๆ ของโครงงานดังนี้

#### 6.1 การทดสอบหาพารามิเตอร์และคุณสมบัติของมอเตอร์

พารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าความต้านทานของขดลวด ( $R_s + R_{sc}$ )

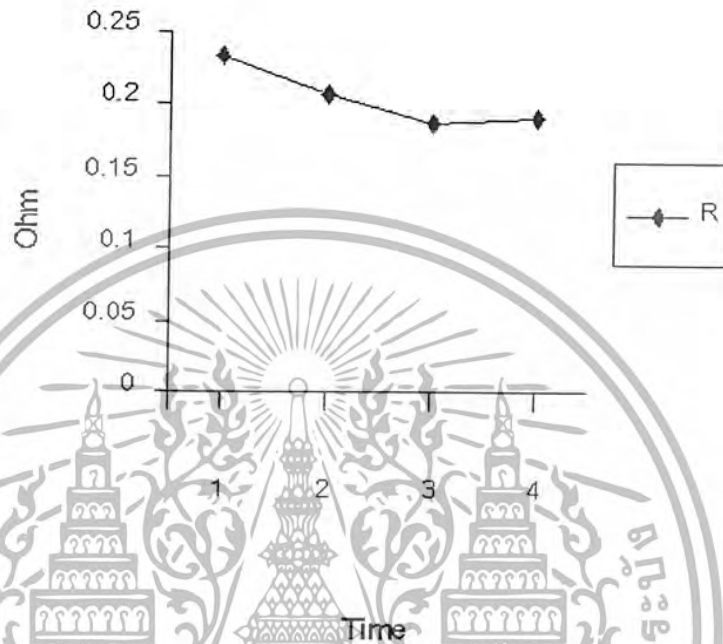


รูปที่ 6.1 การหาค่าความต้านทานของขดลวด

ตารางที่ 6.1 ผลทดสอบการหาความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ตัวที่ 1

| V(v) | I(A) | R( $\Omega$ ) |
|------|------|---------------|
| 0.7  | 3    | 0.233         |
| 1.03 | 5    | 0.206         |
| 1.6  | 8.6  | 0.186         |
| 2.2  | 11.5 | 0.191         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



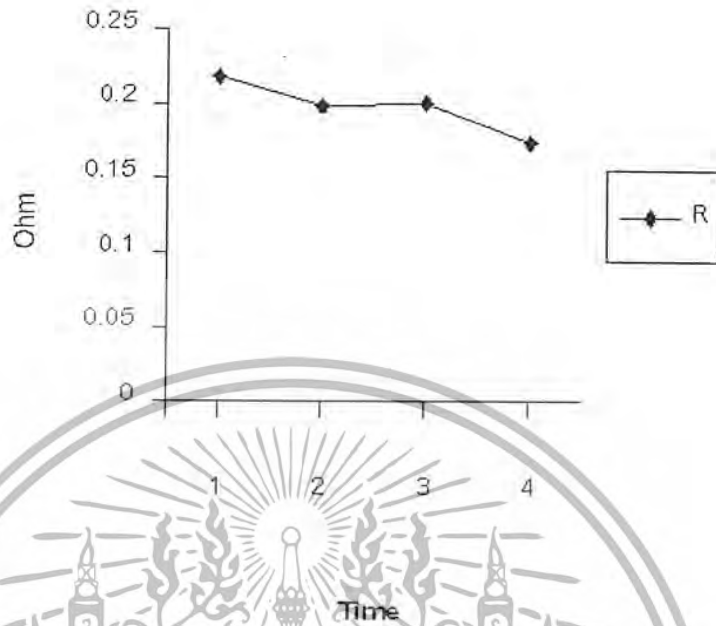
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงค่า R ของมอเตอร์ตัวที่ 1

จากการทดสอบพบว่า  $R_{ave}$  ของมอเตอร์ตัวที่ 1 มีค่าประมาณ 0.204 โอห์ม

ตารางที่ 6.2 ผลทดสอบการหาความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ตัวที่ 2

| V(v) | I(A) | R( $\Omega$ ) |
|------|------|---------------|
| 0.63 | 2.9  | 0.217         |
| 1.23 | 6.2  | 0.198         |
| 2.2  | 11   | 0.2           |
| 2.6  | 15   | 0.173         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

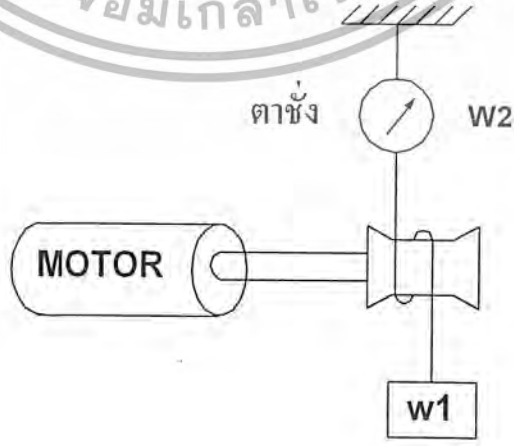


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงค่า R ของมอเตอร์ตัวที่ 2

จากการทดสอบพบว่า  $R_{avg}$  ของมอเตอร์ตัวที่ 2 มีค่าประมาณ 0.197 โอห์ม  
 เมื่อเราได้ทำการทดสอบหาค่า R ของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะพบว่า R ของมอเตอร์ทั้ง 2  
 ตัวมีค่า 0.204  $\Omega$  และ 0.197  $\Omega$  จะเห็นได้ว่า R ของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวมีค่าใกล้เคียงกัน

6.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์

การทดสอบแบบนี้เพื่อจะดูแนวโน้มคุณสมบัติแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวมี  
 ค่าใกล้เคียงกันหรือไม่จาก name plate มอเตอร์ที่ใช้มีพิกัด 1000 W, 24 volt



รูปที่ 6.4 การทดสอบหาคุณสมบัติของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

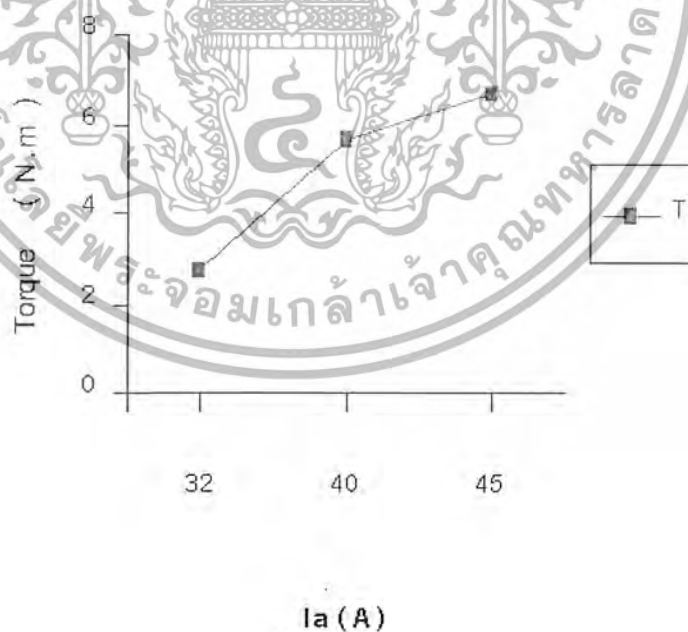
โดยที่แรงบิดส่งออก ( $T_{out}$ ) ของมอเตอร์หาได้จาก

$$T_{out} = 9.81 (W_1 - W_2) r \quad (\text{N.m})$$

เมื่อ  $r$  คือรัศมีของมู่เด่ ในที่นี้มีค่า 0.15 เมตร

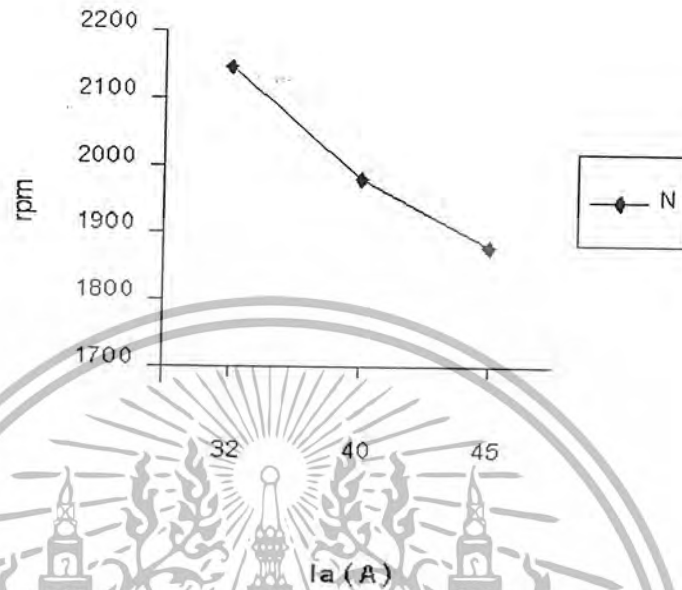
ตารางที่ 6.3 การทดสอบคุณสมบัติมอเตอร์ตัวที่ 1

| ครั้งที่ | $W_1$ (kg) | $W_2$ (kg) | N(rpm) | $I_a$ (A) | $T_{out}$ (N.m) |
|----------|------------|------------|--------|-----------|-----------------|
| 1        | 2          | 0.15       | 2144   | 32        | 2.722           |
| 2        | 4          | 0.18       | 1980   | 40        | 5.621           |
| 3        | 5          | 0.48       | 1880   | 45        | 6.651           |



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Torque และ  $I_a$  ของมอเตอร์ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

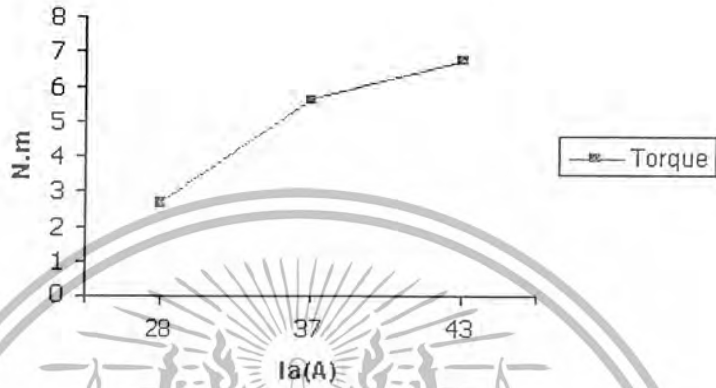


รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $N$  และ  $I_a$  ของมอเตอร์ตัวที่ 1

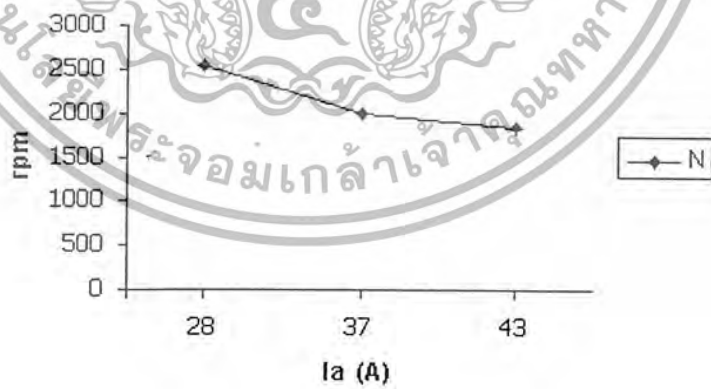
ตารางที่ 6.4 การทดสอบคุณสมบัติมอเตอร์ตัวที่ 2

| ครั้งที่ | $W_1$ (kg) | $W_2$ (kg) | N(rpm) | $I_a$ (A) | $T_{out}$ (N.m) |
|----------|------------|------------|--------|-----------|-----------------|
| 1        | 2          | 0.2        | 2530   | 28        | 2.648           |
| 2        | 4          | 0.18       | 1995   | 37        | 5.621           |
| 3        | 5          | 0.4        | 1830   | 43        | 6.768           |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Torque และ  $I_a$  ของมอเตอร์ตัวที่ 2



รูปที่ 6.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N และ  $I_a$  ของมอเตอร์ตัวที่ 2

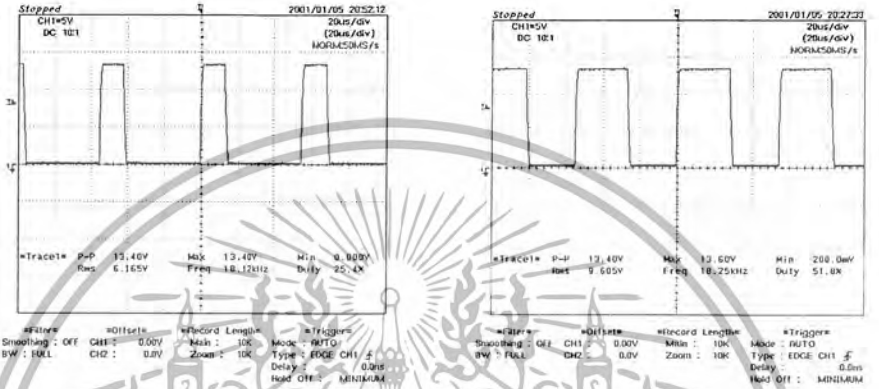
จากการทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะเห็นได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์แปร

ผันตรงกับกระแส และ ความเร็วรอบของมอเตอร์แปรผกผันกับกระแส

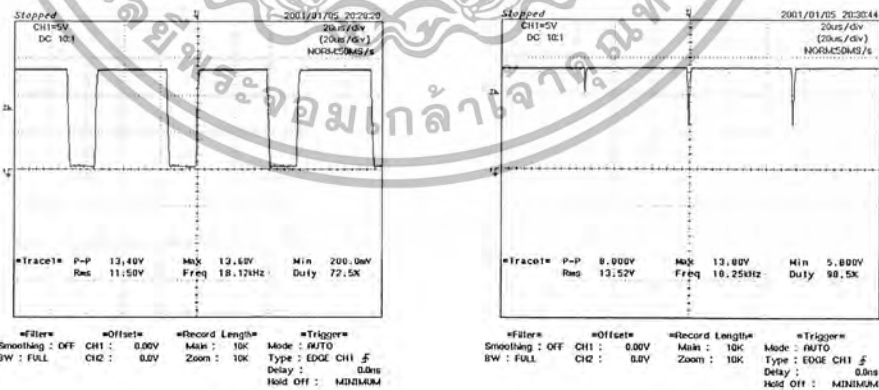
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ผลการทดสอบวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กีบรถไฟฟ้า

#### 6.3.1 สัญญาณขับเคลื่อนของมอเตอร์ขณะ no load



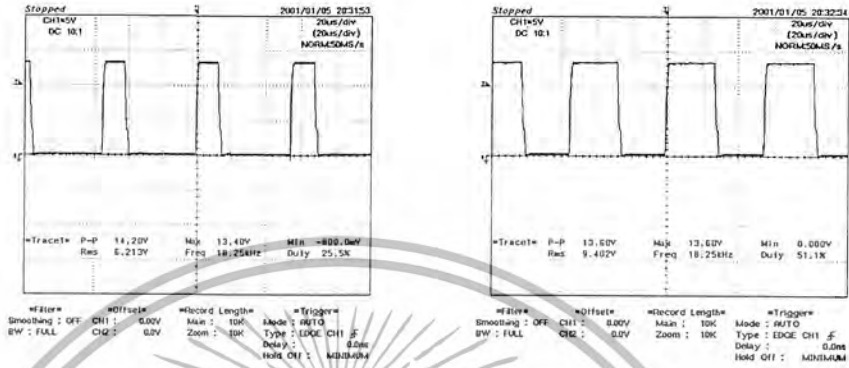
รูปที่ 6.9 สัญญาณขับเคลื่อนที่ Duty cycle ก) 25.4% ข) 51.8%



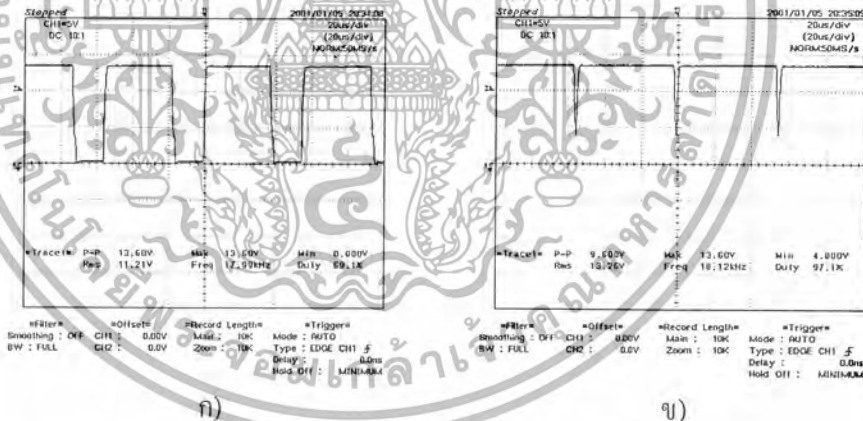
รูปที่ 6.10 สัญญาณขับเคลื่อนที่ Duty cycle ก) 72.5% ข) 98.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 สัญญาณขับเคลื่อนของมอเตอร์ขณะยกปล่อยให้ล้อยให้ล้อยหมุน



รูปที่ 6.11 สัญญาณขับเคลื่อนขณะยกปล่อยให้ล้อยให้ล้อยหมุนที่ Duty cycle ก) 25.5% ข) 51.1%

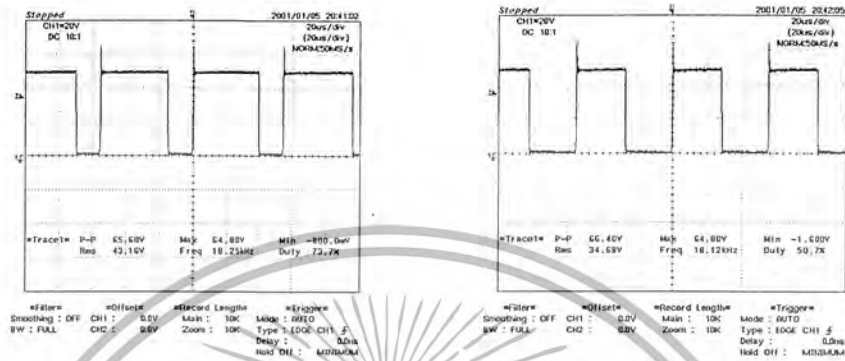


รูปที่ 6.12 สัญญาณขับเคลื่อนขณะยกปล่อยให้ล้อยให้ล้อยหมุนที่ Duty cycle ก) 69.1% ข) 97%

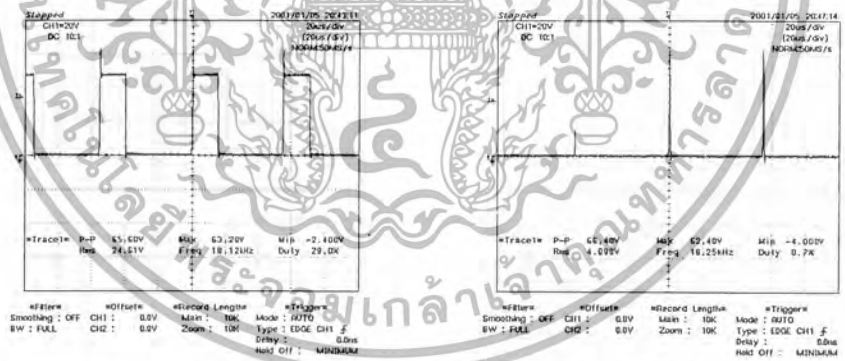
จะพบว่าสัญญาณขับเคลื่อนของมอเตอร์ขณะ no load และ สัญญาณขับเคลื่อนที่มี load ที่ Duty cycle ต่าง ๆ นั้น ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แสดงว่าวงจรควบคุมที่สร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 สัญญาณของ  $V_{ds}$  ขณะยกสวิตช์



รูปที่ 6.13 สัญญาณของ  $V_{ds}$  ที่ Duty cycle ก) 73.7% ข) 50.7%



รูปที่ 6.14 สัญญาณของ  $V_{ds}$  ที่ Duty cycle ก) 29% ข) 0.7%

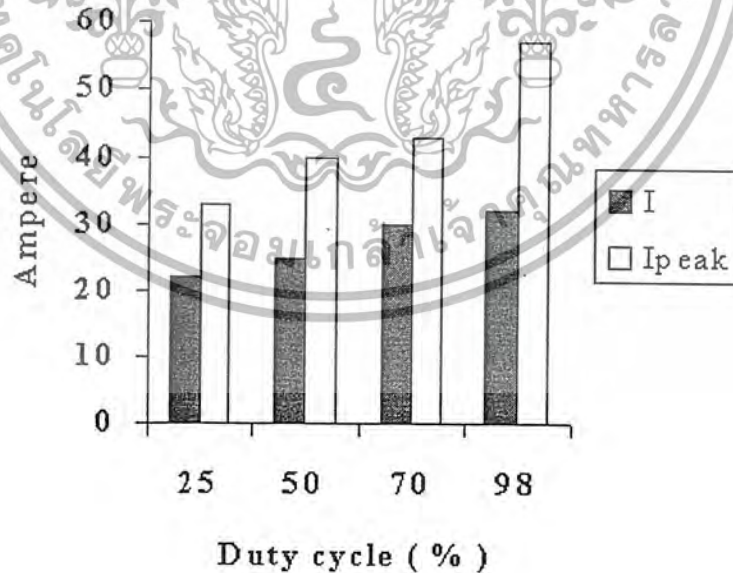
จากสัญญาณ  $V_{ds}$  ที่ Duty cycle ต่างๆ พบว่า แรงดันสไปค์ที่คร่อมมอสเฟตมีค่าไม่สูงมากนักจึงไม่เป็นอันตรายต่อมอสเฟตที่เลือกใช้ ซึ่งมอสเฟตเบอร์ RFP40N10 ที่มีพิกัดแรงดัน 100 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 การทดสอบในการวิ่ง

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบแบบยกถ้อยลอย

| ควบคุม  | Duty (%) | Ipeak (A) | I (A) | ความเร็ว motor (rpm) |
|---------|----------|-----------|-------|----------------------|
| Control | 25       | 33        | 22    | 639                  |
|         | 50       | 40        | 25    | 1280                 |
|         | 70       | 43        | 30    | 1563                 |
|         | 98       | 57        | 32    | 1723                 |
| Direct  |          | 113       | 40    | 1679                 |



รูปที่ 6.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle และ กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

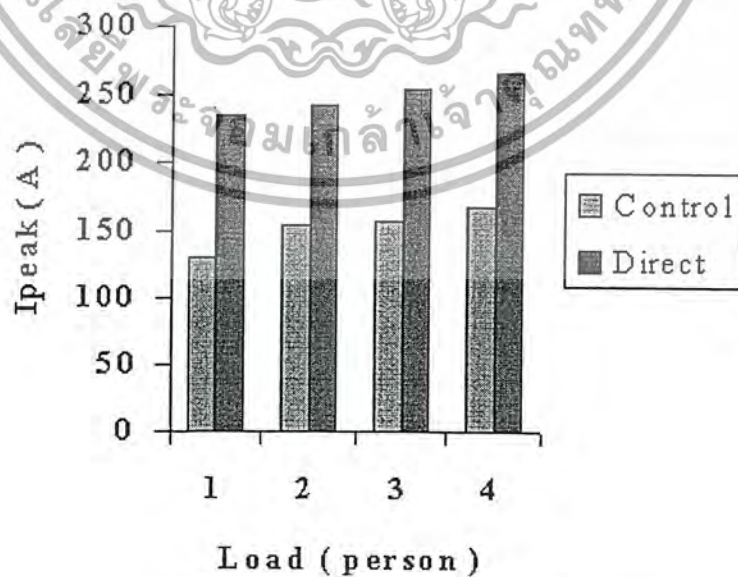
ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบเมื่อทำการวิ่งแบบมี load

| Load | $I_{peak}$ (A) |        | I (A)   |        | Distance(km) |        |
|------|----------------|--------|---------|--------|--------------|--------|
|      | control        | Direct | control | direct | control      | direct |
| 1คน  | 130            | 234    | 85      | 109    | 10           | 7.1    |
| 2คน  | 153            | 242    | 90      | 120    | 9.4          | 6.5    |
| 3คน  | 157            | 253    | 109     | 125    | 9.2          | 6.2    |
| 4คน  | 167            | 265    | 114     | 138    | 8.5          | 5.8    |

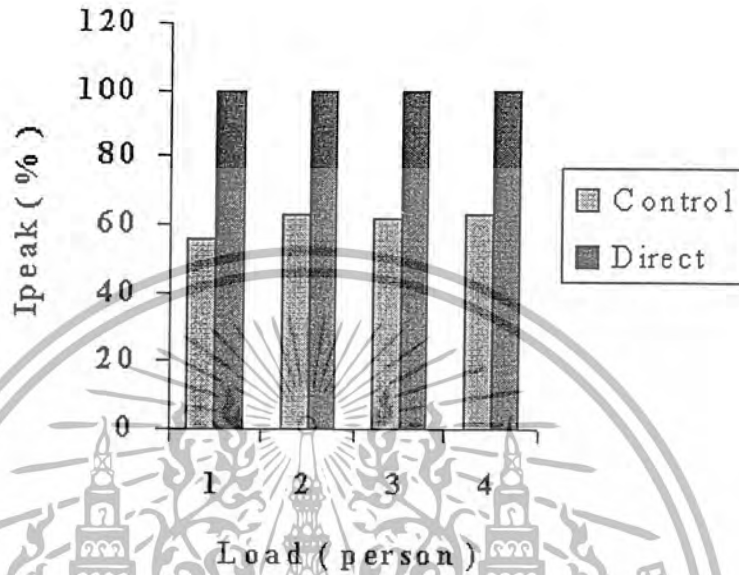
โดยที่แต่ละคนมีน้ำหนักประมาณ 60 กิโลกรัม

$I_{peak}$  คือ กระแสตัวที่ซึ่งจะมีค่ามากที่สุด

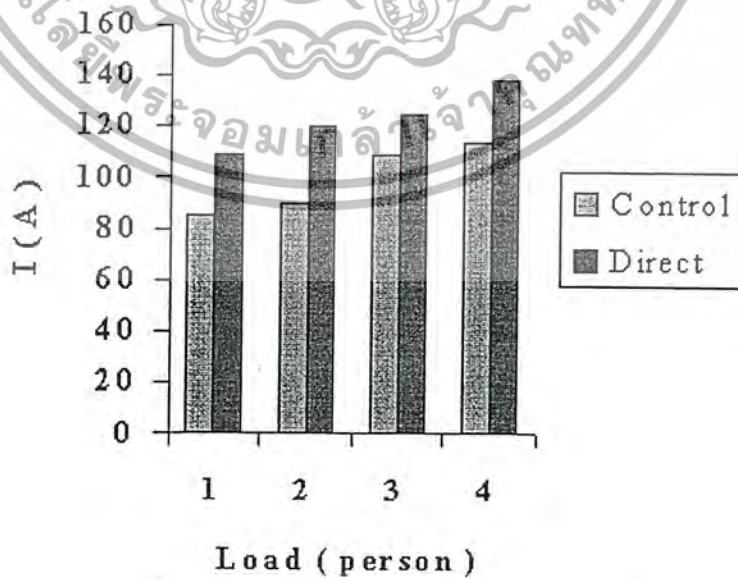
I คือกระแสเฉลี่ยเมื่อวิ่งด้วยความเร็วคงที่

รูปที่ 6.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{peak}$  และ Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

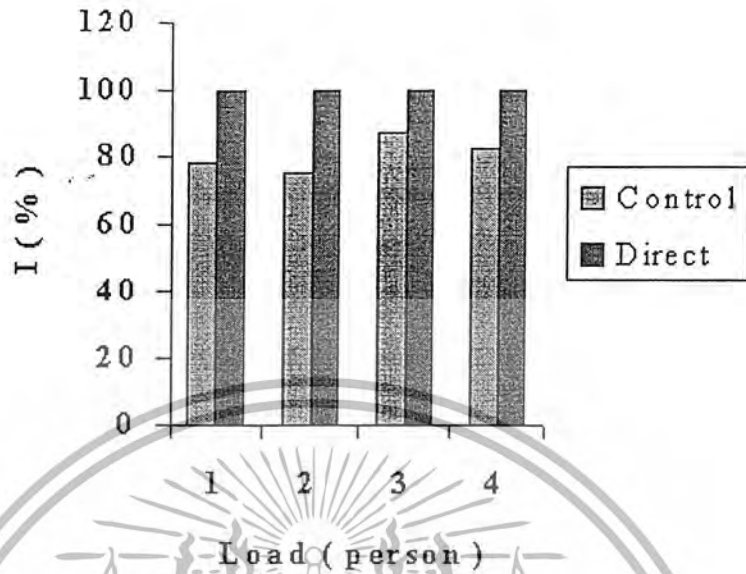


รูปที่ 6.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Ipeak และ Load เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

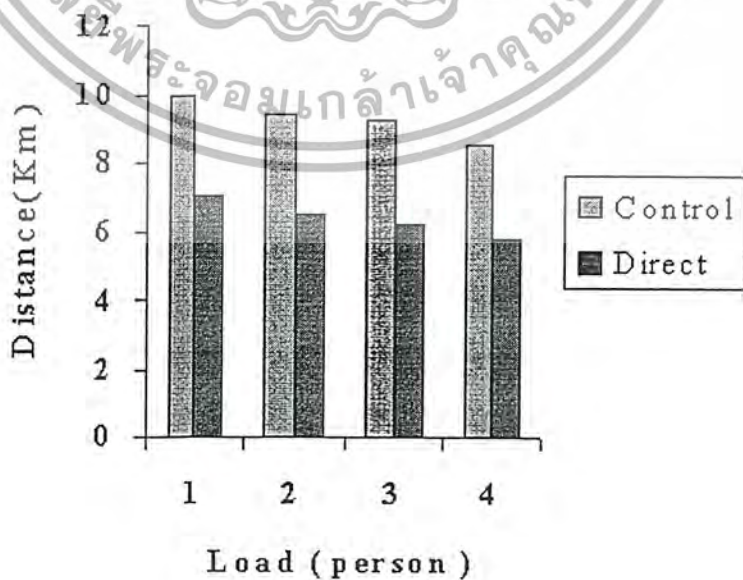


รูปที่ 6.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ Load

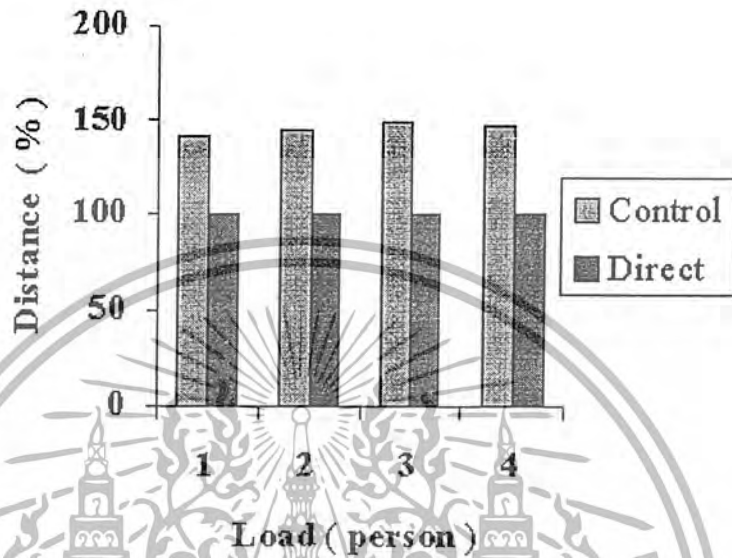
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ Load เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ Load จะพบว่ากระแสทั้งขณะสตาร์ทและกระแสเฉลี่ยขณะความเร็วคงตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Load ที่เพิ่มขึ้น โดยที่กระแสจากการขับเคลื่อนโดยใช้วงจรควบคุมจะมีค่าน้อยกว่ากระแสที่เกิดจากการขับเคลื่อนแบบ Direct เสมอ



รูปที่ 6.20 กราฟเปรียบเทียบระยะทางของการควบคุมแบบ Control และ Direct



รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบระยะทางการควบคุมแบบ Control และ Direct เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

จากกราฟจะพบว่า การขับเคลื่อนรถไฟฟ้าโดยใช้วงจรควบคุมจะทำให้ได้ระยะทางในการวิ่งมากกว่าการวิ่งแบบ Direct

## บทที่ 7

### สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดสอบในห้องทดลอง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์ทั้งสองที่ทดสอบได้ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำมาติดตั้งบนตัวรถไฟฟ้าและทำการทดสอบกับการขับเคลื่อนจริง ปรากฏว่ามอเตอร์ตัวหนึ่งจะไม่ช่วยในการขับเคลื่อนมากนัก แต่จะมีผลช่วยในช่วงที่มีการเลี้ยว คือ การทำให้ดิฟเฟอเรนเชียลขึ้น

ผลการทดลองวงจรควบคุมและวงจรกำลังในการขับมอเตอร์รถไฟฟ้าจริงได้ ผลเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากสัญญาณับเกดขณะขับมอเตอร์ทั้งเมื่อมีโหลดและไม่มีโหลดไม่ผิดเพี้ยนและได้สัญญาณที่มีความถี่อยู่ในช่วงการทำงานของมอเตอร์ที่เหมาะสมพอดี ดังนั้นการใช้งานจริงจึงไม่มีปัญหาเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมและวงจรกำลังและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจริงที่สร้างขึ้น โดยอาศัยหลักการของ ดิฟเฟอเรนเชียล มอเตอร์ที่นำมาแทนชุดดิฟเฟอเรนเชียลเกียร์สามารถทดแทนกันได้จริงขณะทำการเลี้ยว ความเร็วของล้อทั้งสองข้างไม่เท่ากัน ไม่มีอาการท้ายปัดเวลาเลี้ยวโค้งซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

การขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เมื่อใช้วงจรควบคุมจะมีประโยชน์ในการช่วยลดกระแสที่ต้องจ่ายให้มอเตอร์ลงได้ประมาณ 50-60 % และการขับขึ้นจะได้ระยะทางเพิ่มขึ้นประมาณ 40% โดยระยะที่ได้สูงสุดเมื่อบรรทุกคนเดียวประมาณ 10 กิโลเมตร

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์ทั้งสองที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกันก็จริงแต่เมื่อนำมาทดสอบจริงแล้วปรากฏว่ามีมอเตอร์ตัวหนึ่งไม่ช่วยในการขับเคลื่อน โดยจะเสมือนเป็นโหลด แต่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า

จากการทดสอบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจริงแสดงให้เห็นว่าจำนวนบรรทุกที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 1-2 คนเท่านั้นเนื่องจากเมื่อบรรทุกทุกคนเพิ่มขึ้นจะทำให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากกว่าพิกัดของแบตเตอรี่เป็นผลให้แบตเตอรี่ใช้งานได้ไม่นานเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

1. วงจรขับเกตที่ใช้ไอซี Optocoupler เบอร์ TLP251 จะไม่ทำงานหากกระแสที่เข้าทางอินพุตต่ำมากๆ ซึ่งสามารถดูได้จาก datasheet ว่าพิกัดของกระแสต่ำสุดที่ไอซีจะทำงานได้ต้องมีค่าเท่าใด ซึ่งต้องใช้ค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมในการลิมิตกระแสด้านอินพุต อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไอซี Optocoupler ไม่ทำงานคือไฟเลี้ยงที่จ่ายให้มีค่าน้อยเกินไปซึ่งแก้ไขได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อขยายสัญญาณไฟเลี้ยงให้กับไอซี
2. อุปกรณ์ไอซีชอปแอมป์ที่ใช้ก่อนข้างจะเสียบง่าย ควรระมัดระวังในการต่อวงจรให้ถูกต้อง
3. แผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในวงจรกำลังสำหรับมอสเฟตไม่เรียบ จะทำให้กระแสผ่านได้ไม่ดี รวมทั้งการระบายความร้อนก็จะมีประสิทธิภาพซึ่งเป็นผลให้เกิดความเสียหายกับมอสเฟตได้ ดังนั้นก่อนทำการติดมอสเฟตลงบนแผ่นระบายความร้อนควรตะไบให้บริเวณที่จะติดมอสเฟตนั้นเรียบก่อน

## แนวทางการดำเนินงานต่อไป

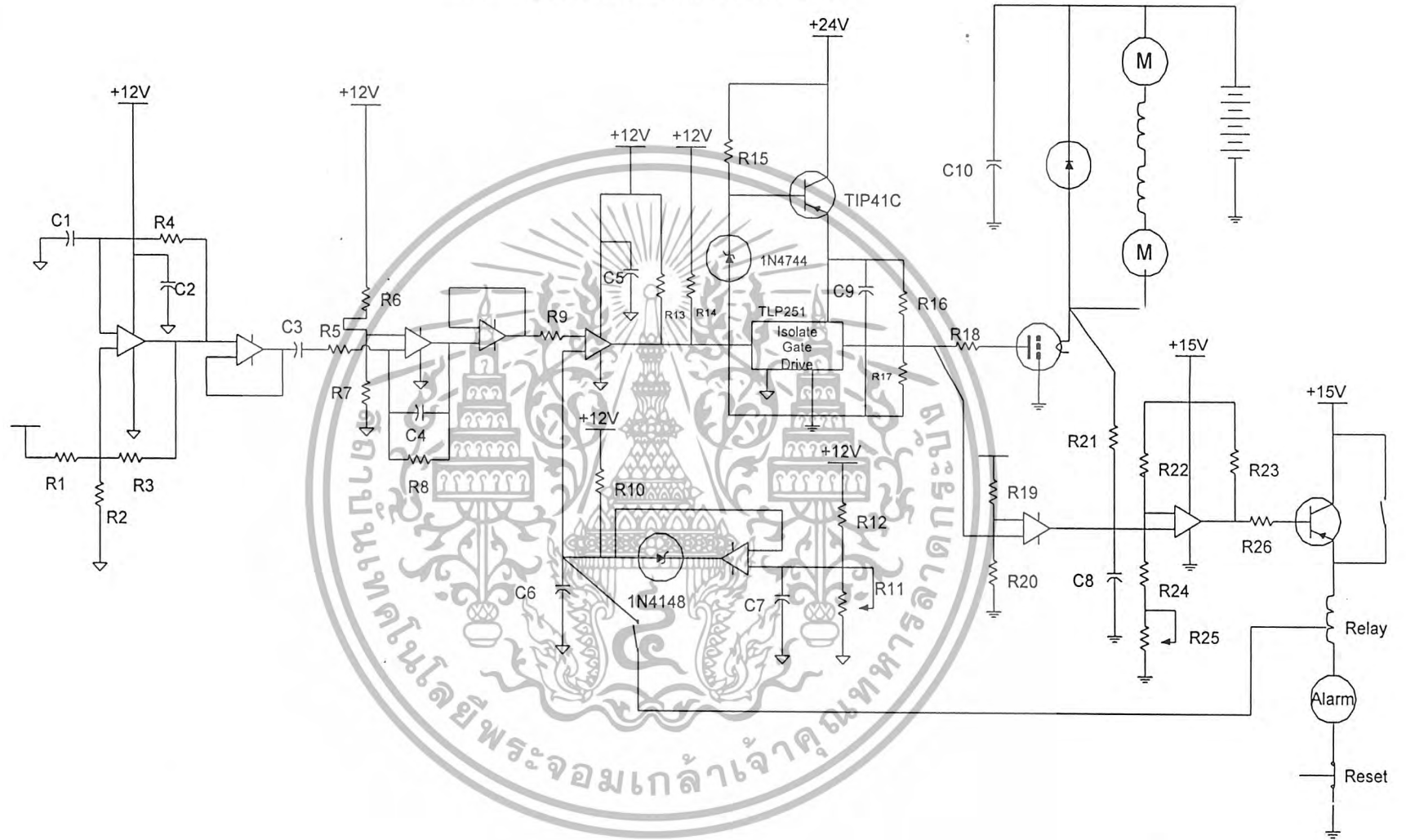
หากต้องการให้ใช้งานรถไฟฟ้าได้นานขึ้นและได้ระยะทางเพิ่มขึ้นควรเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ขนานเข้าไปหรือเพิ่มขนาดความจุของแบตเตอรี่ให้มากขึ้น

## ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมบูรณ์ของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์



จากรูปวงจรมุมรณสำหรับควบคุมมอเตอร์ มีค่าของตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ของ R และ C

ดังนี้

$$R1 = 330K$$

$$R2 = 330K$$

$$R3 = 330K$$

$$R4 = 3.9K$$

$$R5 = 2.2K$$

$$R6 = 10K$$

$$R7 = 10K$$

$$R8 = 1M$$

$$R9 = 10K$$

$$R10 = 10M$$

$$R11 = \text{ปรับค่า } 1M$$

$$R12 = 200K$$

$$R13 = 5K$$

$$R14 = 3.9K$$

$$R15 = 1K$$

$$R16 = 10K$$

$$R17 = 5.6K$$

$$R18 = 10K$$

$$R19 = 5K$$

$$R20 = 10K$$

$$R21 = 5K$$

$$R22 = 220K$$

$$R23 = 2.2K$$

$$R24 = 1K$$

$$R25 = \text{ปรับค่า } 25K$$

$$R26 = 220K$$

$$C1 = 0.01\mu F$$

$$C2 = 0.1\mu F$$

$$C3 = 1\mu F$$

$$C4 = 0.01\mu F$$

$$C5 = 0.1\mu F$$

$$C6 = 1\mu F$$

$$C7 = 0.1\mu F$$

$$C8 = 0.001\mu F$$

$$C9 = 0.1\mu F$$

$$C10 = C \text{ ซึ่งนำมาขนานกันตัวละ } 4700\mu F$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# JFET Input Operational Amplifiers

These low-cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar products.

- Input Offset Voltage Options of 6.0 mV and 15 mV Max
- Low Input Bias Current: 30 pA
- Low Input Offset Current: 5.0 pA
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 1.4 mA per Amplifier
- High Input Impedance: 10<sup>12</sup> Ω

### ORDERING INFORMATION

| Op Amp Function | Device       | Operating Temperature Range  | Package     |
|-----------------|--------------|------------------------------|-------------|
| Single          | TL081CD      | T <sub>A</sub> = 0° to +70°C | SO-8        |
|                 | TL081ACP     |                              | Plastic DIP |
| Dual            | TL082CD      | T <sub>A</sub> = 0° to +70°C | SO-8        |
|                 | TL082ACP     |                              | Plastic DIP |
| Quad            | TL084CN, ACN | T <sub>A</sub> = 0° to +70°C | Plastic DIP |

## TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

### JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

#### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

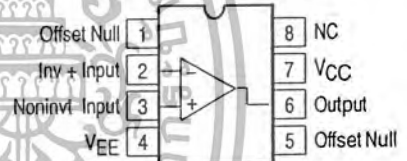


P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626

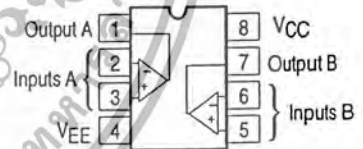


D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

#### PIN CONNECTIONS

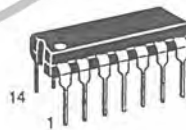
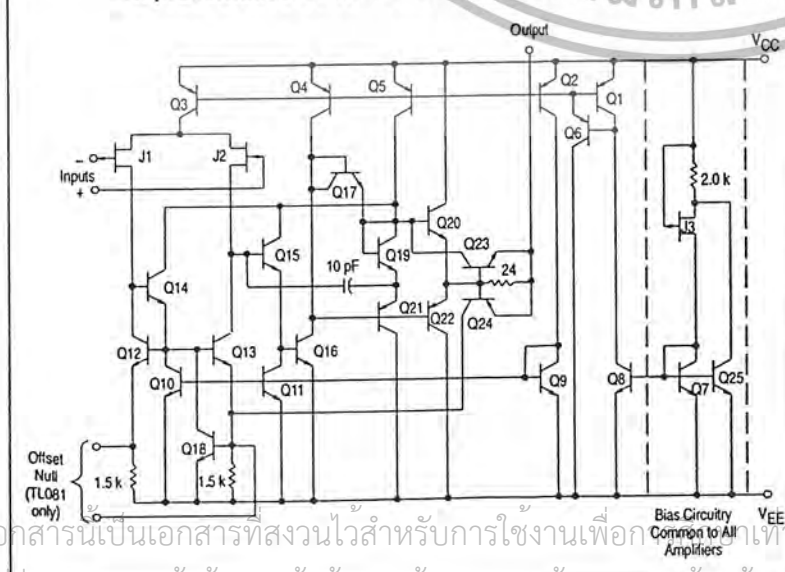


TL081 (Top View)



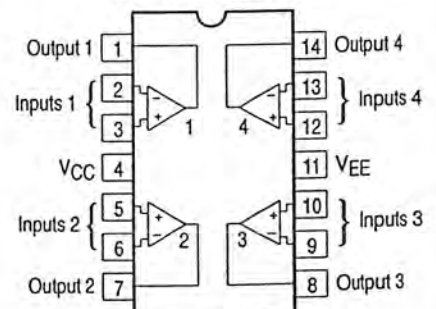
TL082 (Top View)

### Representative Circuit Schematic (Each Amplifier)



N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646

#### PIN CONNECTIONS



TL084 (Top View)

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

## MAXIMUM RATINGS

| Rating  | Symbol                   | Value       | Unit                       |
|---|--------------------------|-------------|----------------------------|
| Supply Voltage  | $V_{CC}$<br>$V_{EE}$     | 18<br>-18   | V                          |
| Differential Input Voltage  | $V_{ID}$                 | $\pm 30$    | V                          |
| Input Voltage Range (Note 1)  | $V_{IDR}$                | $\pm 15$    | V                          |
| Output Short Circuit Duration (Note 2)  | $t_{SC}$                 | Continuous  |                            |
| Power Dissipation<br>Plastic Package (N, P)<br>Derate above $T_A = +47^\circ\text{C}$ | $P_D$<br>$1/\theta_{JA}$ | 680<br>10   | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating Ambient Temperature Range   | $T_A$                    | 0 to +70    | $^\circ\text{C}$           |
| Storage Temperature Range   | $T_{stg}$                | -65 to +150 | $^\circ\text{C}$           |

- NOTES:** 1. The magnitude of the input voltage must not exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.  
 2. The output may be shorted to ground or either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that power dissipation ratings are not exceeded.  
 3. ESD data available upon request.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_{EE} = -15\text{ V}$ , $T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ [Note 1].)

| Characteristics   | Symbol    | Min      | Typ | Max             | Unit |
|---|-----------|----------|-----|-----------------|------|
| Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10\text{ k}$ , $V_{CM} = 0$ )<br>TL081C, TL082C<br>TL084C<br>TL08_AC | $V_{IO}$  | -        | -   | 20<br>20<br>7.5 | mV   |
| Input Offset Current ( $V_{CM} = 0$ ) (Note 2)<br>TL08_C<br>TL08_AC                                   | $I_{IO}$  | -        | -   | 5.0<br>3.0      | nA   |
| Input Bias Current ( $V_{CM} = 0$ ) (Note 2)<br>TL08_C<br>TL08_AC                                     | $I_{IB}$  | -        | -   | 10<br>7.0       | nA   |
| Large-Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L \geq 2.0\text{ k}$ )<br>TL08_C<br>TL08_AC  | $A_{VOL}$ | 15<br>25 | -   | -               | V/mV |
| Output Voltage Swing (Peak-to-Peak)<br>( $R_L \geq 10\text{ k}$ )<br>( $R_L \geq 2.0\text{ k}$ )      | $V_O$     | 24<br>20 | -   | -               | V    |

- NOTES:** 1.  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$  for TL081AC,C TL082AC,C TL084AC,C  $T_{high} = 70^\circ\text{C}$  for TL081AC TL082AC,C TL084AC,C  
 2. Input Bias currents of JFET input op amps approximately double for every  $10^\circ\text{C}$  rise in Junction Temperature as shown in Figure 3. To maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible, pulse techniques must be used during testing.

Figure 1. Unity Gain Voltage Follower

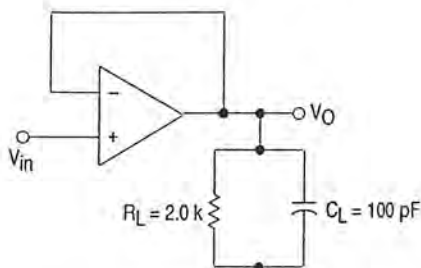
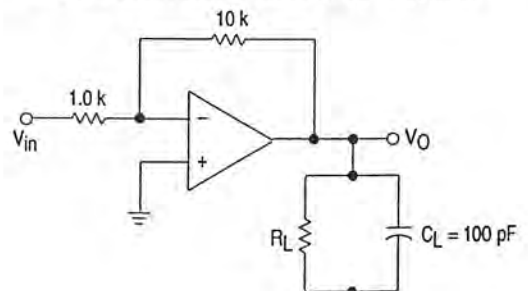


Figure 2. Inverting Gain of 10 Amplifier



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $V_{EE} = -15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

| Characteristics  | Symbol                   | Min                  | Typ                | Max             | Unit                         |
|--|--------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|------------------------------|
| Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10\text{ k}$ , $V_{CM} = 0$ )<br>TL081C, TL082C<br>TL084C<br>TL08_AC                  | $V_{IO}$                 | -<br>-<br>-          | 5.0<br>5.0<br>3.0  | 15<br>15<br>6.0 | mV                           |
| Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage<br>$R_S = 50\ \Omega$ , $T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ (Note 1) | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | -                    | 10                 | -               | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current ( $V_{CM} = 0$ ) (Note 2)<br>TL08_C<br>TL08_AC  | $I_{IO}$                 | -<br>-               | 5.0<br>5.0         | 200<br>100      | pA                           |
| Input Bias Current ( $V_{CM} = 0$ ) (Note 2)<br>TL08_C<br>TL08_AC  | $I_{IB}$                 | -<br>-               | 30<br>30           | 400<br>200      | pA                           |
| Input Resistance   | $r_i$                    | -                    | $10^{12}$          | -               | $\Omega$                     |
| Common Mode Input Voltage Range<br>TL08_C<br>TL08_AC   | $V_{ICR}$                | $\pm 10$<br>$\pm 11$ | 15, -12<br>15, -12 | -<br>-          | V                            |
| Large Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L \geq 2.0\text{ k}$ )<br>TL08_C<br>TL08_AC                   | $A_{VOL}$                | -                    | 25<br>50<br>150    | -<br>-<br>-     | V/mV                         |
| Output Voltage Swing (Peak-to-Peak)<br>( $R_L = 10\text{ k}$ )   | $V_O$                    | 24                   | 28                 | -               | V                            |
| Common Mode Rejection Ratio ( $R_S \leq 10\text{ k}$ )<br>TL08_C<br>TL08_AC  | CMRR                     | -                    | 70<br>80<br>100    | -<br>-<br>-     | dB                           |
| Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_S \leq 10\text{ k}$ )<br>TL08_C<br>TL08_AC   | PSRR                     | -                    | 70<br>80<br>100    | -<br>-<br>-     | dB                           |
| Supply Current (Each Amplifier)  | $I_D$                    | -                    | 1.4                | 2.8             | mA                           |
| Unity Gain Bandwidth   | BW                       | -                    | 4.0                | -               | MHz                          |
| Slew Rate (See Figure 1)<br>$V_{in} = 10\text{ V}$ , $R_L = 2.0\text{ k}$ , $C_L = 100\text{ pF}$                      | SR                       | -                    | 13                 | -               | V/ $\mu\text{s}$             |
| Rise Time (See Figure 1)   | $t_r$                    | -                    | 0.1                | -               | $\mu\text{s}$                |
| Overshoot ( $V_{in} = 20\text{ mV}$ , $R_L = 2.0\text{ k}$ , $C_L = 100\text{ pF}$ )                                   | OS                       | -                    | 10                 | -               | %                            |
| Equivalent Input Noise Voltage<br>$R_S = 100\ \Omega$ , $f = 1000\text{ Hz}$   | $e_n$                    | -                    | 25                 | -               | nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$       |
| Channel Separation<br>$A_V = 100$  | CS                       | -                    | 120                | -               | dB                           |

NOTES: 1.  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$  for TL081AC,C TL082AC,C TL084AC,C  
 $T_{high} = 70^\circ\text{C}$  for TL081AC TL082AC,C TL084AC,C

2. Input Bias currents of JFET input op amps approximately double for every  $10^\circ\text{C}$  rise in Junction Temperature as shown in Figure 3. To maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible, pulse techniques must be used during testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

Figure 3. Input Bias Current versus Temperature

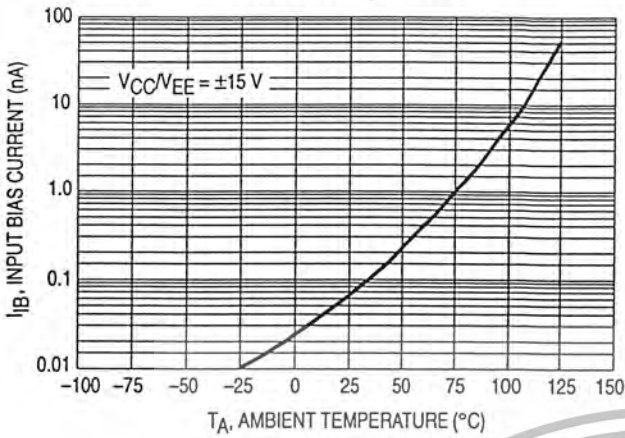


Figure 4. Output Voltage Swing versus Frequency

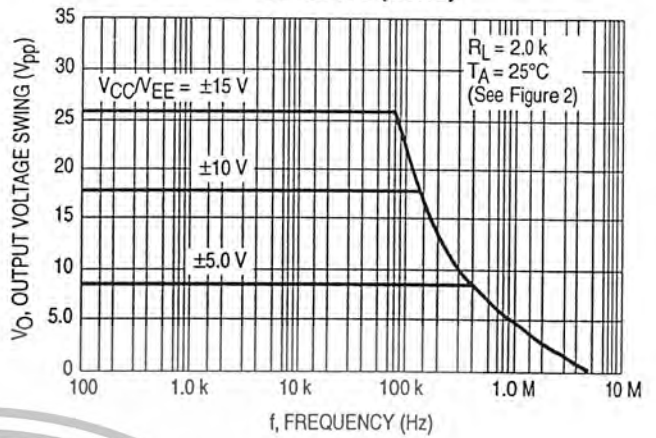


Figure 5. Output Voltage Swing versus Load Resistance

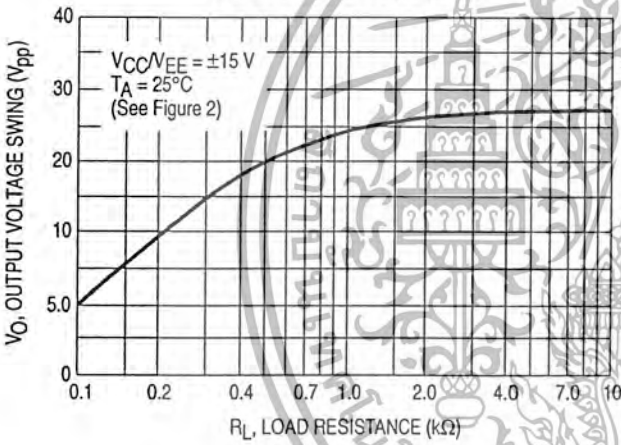


Figure 6. Output Voltage Swing versus Supply Voltage

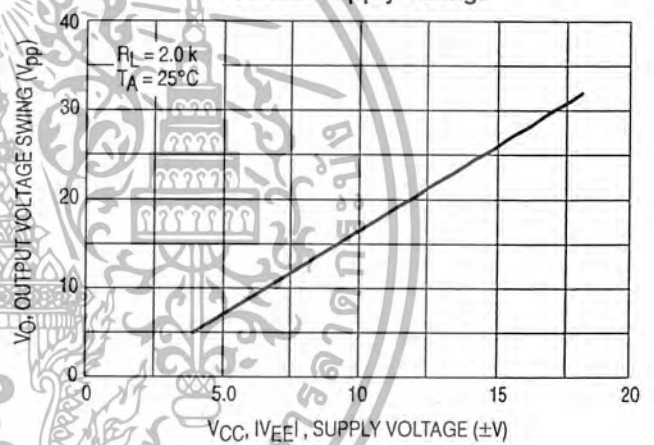


Figure 7. Output Voltage Swing versus Temperature

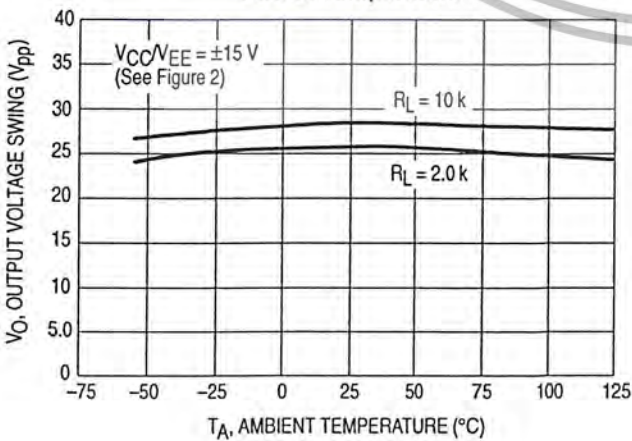
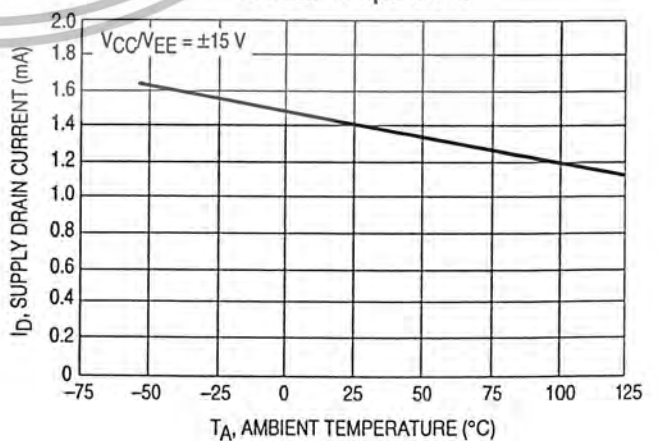


Figure 8. Supply Current per Amplifier versus Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

Figure 9. Large Signal Voltage Gain and Phase Shift versus Frequency

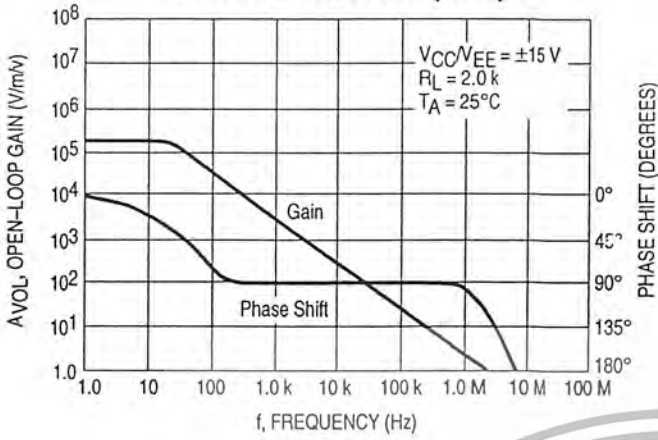


Figure 10. Large Signal Voltage Gain versus Temperature

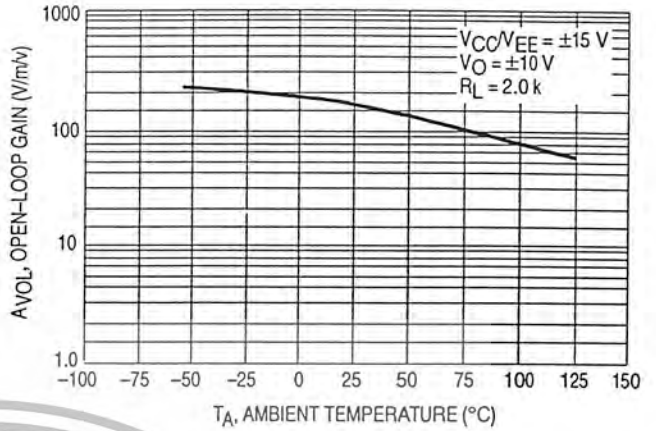


Figure 11. Normalized Slew Rate versus Temperature

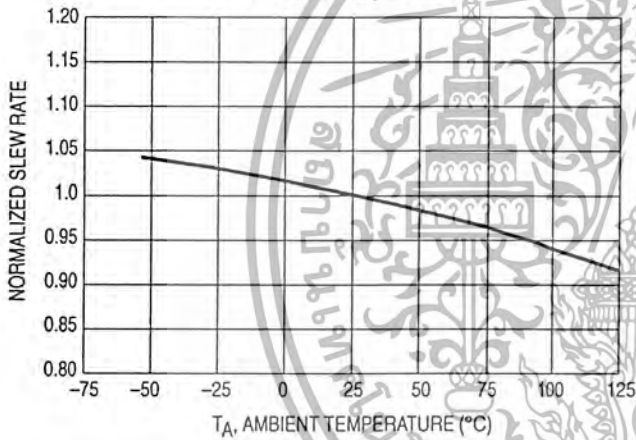


Figure 12. Equivalent Input Noise Voltage versus Frequency

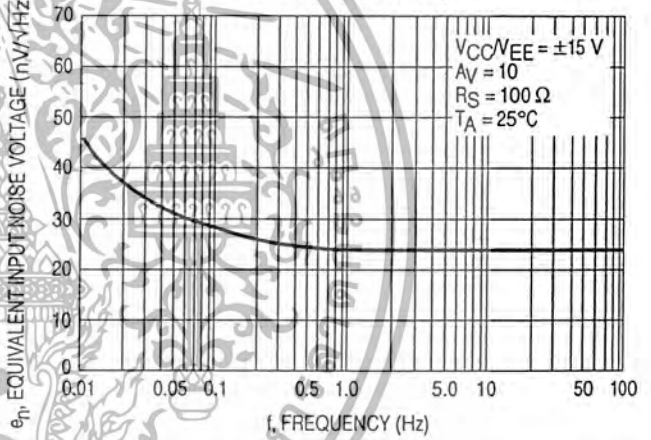
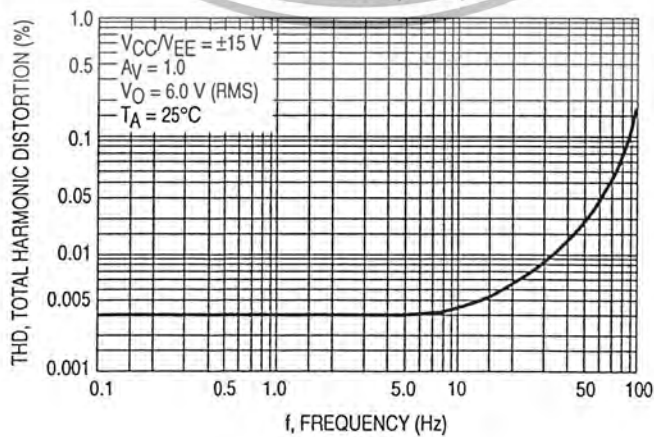


Figure 13. Total Harmonic Distortion versus Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

Figure 14. Positive Peak Detector

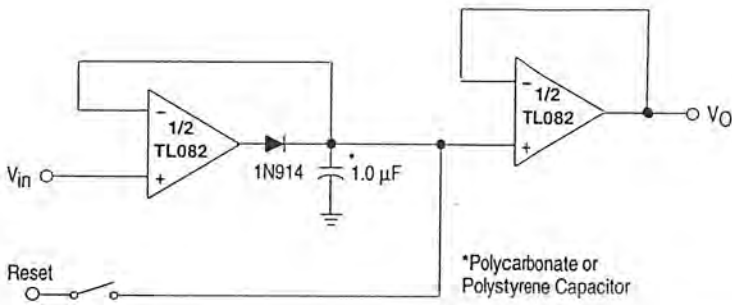


Figure 15. Voltage Controlled Current Source

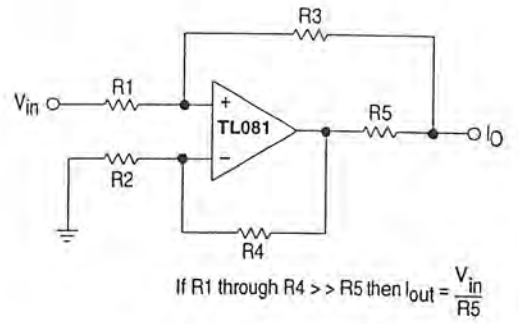


Figure 16. Long Interval RC Timer

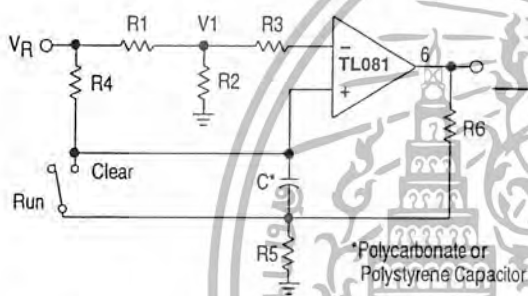
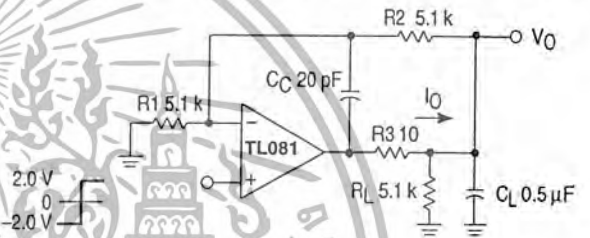


Figure 17. Isolating Large Capacitive Loads



- Overshoot < 10%
- $t_s = 10 \mu s$
- When driving large  $C_L$ , the  $V_O$  slew rate is determined by  $C_L$  and  $I_O(max)$ :

$$\frac{\Delta V_O}{\Delta t} = \frac{I_O}{C_L} \approx \frac{0.02}{0.5} \text{ V}/\mu s = 0.04 \text{ V}/\mu s \text{ (with } C_L \text{ shown)}$$

Time (t) =  $R_4 C \ln(V_R/V_R - V_1)$ ,  $R_3 = R_4$ ,  $R_5 = 0.1 R_6$   
 If  $R_1 = R_2$ :  $t = 0.693 R_4 C$

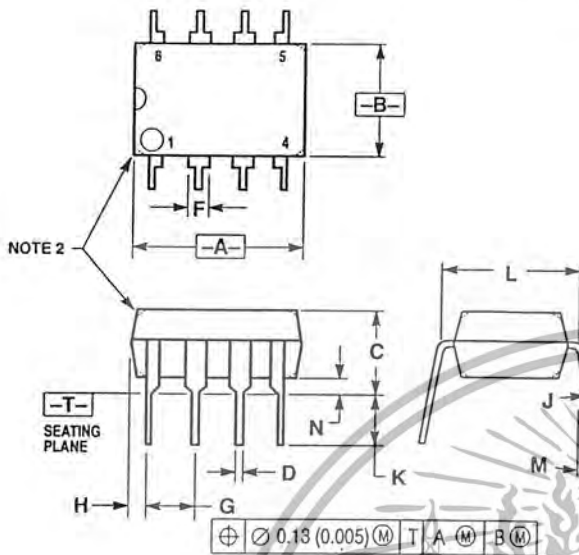
Design Example: 100 Second Timer

$V_R = 10 \text{ V}$     $C = 1.0 \text{ mF}$     $R_3 = R_4 = 144 \text{ M}$   
 $R_6 = 20 \text{ k}$     $R_5 = 2.0 \text{ k}$     $R_1 = R_2 = 1.0 \text{ k}$

TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

OUTLINE DIMENSIONS

P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626-05  
ISSUE K

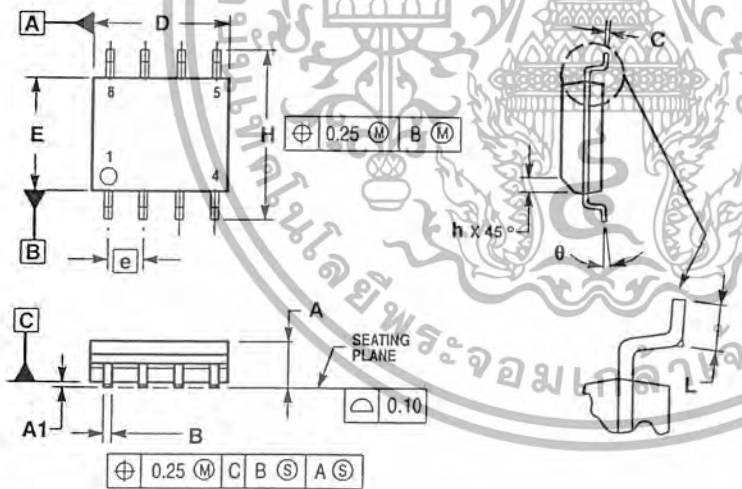


NOTES:

1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

| DIM | MILLIMETERS |       | INCHES    |       |
|-----|-------------|-------|-----------|-------|
|     | MIN         | MAX   | MIN       | MAX   |
| A   | 9.40        | 10.16 | 0.370     | 0.400 |
| B   | 6.10        | 6.60  | 0.240     | 0.260 |
| C   | 3.94        | 4.45  | 0.155     | 0.175 |
| D   | 0.38        | 0.51  | 0.015     | 0.020 |
| F   | 1.02        | 1.78  | 0.040     | 0.070 |
| G   | 2.54 BSC    |       | 0.100 BSC |       |
| H   | 0.76        | 1.27  | 0.030     | 0.050 |
| J   | 0.20        | 0.30  | 0.008     | 0.012 |
| K   | 2.92        | 3.43  | 0.115     | 0.135 |
| L   | 7.62 BSC    |       | 0.300 BSC |       |
| M   | —           |       | 10°       |       |
| N   | 0.76        | 1.01  | 0.030     | 0.040 |

D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751-05  
(SO-8)  
ISSUE S



NOTES:

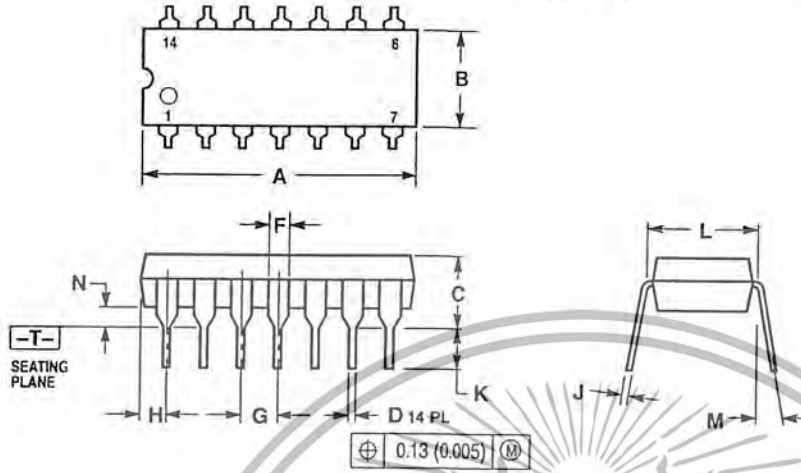
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

| DIM      | MILLIMETERS |      |
|----------|-------------|------|
|          | MIN         | MAX  |
| A        | 1.35        | 1.75 |
| A1       | 0.10        | 0.25 |
| B        | 0.35        | 0.49 |
| C        | 0.18        | 0.25 |
| D        | 4.80        | 5.00 |
| E        | 3.80        | 4.00 |
| e        | 1.27 BSC    |      |
| H        | 5.80        | 6.20 |
| h        | 0.25        | 0.50 |
| L        | 0.40        | 1.25 |
| $\theta$ | 0° - 7°     |      |

# TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

## OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646-06  
ISSUE 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   | 0.715     | 0.770 | 18.16       | 18.80 |
| B   | 0.240     | 0.260 | 6.10        | 6.60  |
| C   | 0.145     | 0.185 | 3.69        | 4.69  |
| D   | 0.015     | 0.021 | 0.38        | 0.53  |
| F   | 0.040     | 0.070 | 1.02        | 1.78  |
| G   | 0.100 BSC |       | 2.54 BSC    |       |
| H   | 0.052     | 0.095 | 1.32        | 2.41  |
| J   | 0.008     | 0.015 | 0.20        | 0.38  |
| K   | 0.115     | 0.135 | 2.92        | 3.43  |
| L   | 0.290     | 0.310 | 7.37        | 7.87  |
| M   | —         |       | 10°         |       |
| N   | 0.015     | 0.039 | 0.38        | 1.01  |

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola 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 consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola 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. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola 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 Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola 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 Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

### How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 4-32-1,  
Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan. 81-3-5487-8488

Customer Focus Center: 1-800-521-6274

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 1-602-244-6609  
Motorola Fax Back System - US & Canada ONLY 1-800-774-1848  
-http://sps.motorola.com/mfax/

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

HOME PAGE: <http://motorola.com/sps/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MOTOROLA ทั้งหมดที่มีให้ที่แปดงเนื้อที่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

TL081C/D

TOSHIBA PHOTOCOUPLER GaAlAs IRED & PHOTO-IC

# TLP251

- INVERTER FOR AIR CONDITIONOR
- INDUCTION HEATING
- TRANSISTOR INVERTER
- POWER MOS FET GATE DRIVE
- IGBT GATE DRIVE

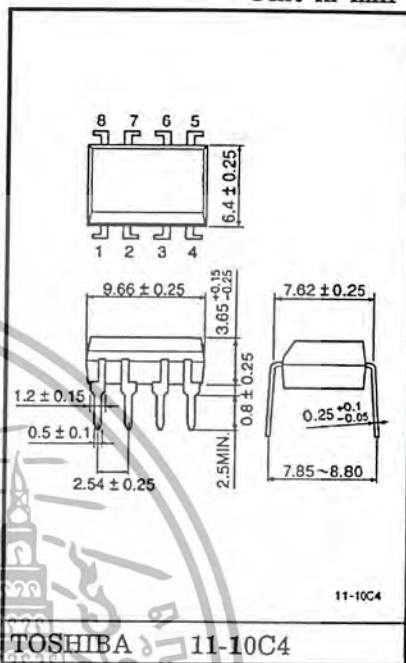
The TOSHIBA TLP251 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

TLP251 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET. Especially TLP251 is capable of "direct" gate drive of lower power IGBTs. (~15A)

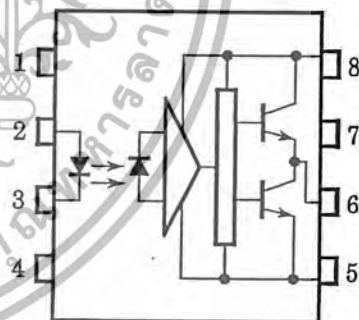
- Input Threshold Current :  $I_F = 5\text{mA}$  (Max.)
- Supply Current ( $I_{CC}$ ) :  $11\text{mA}$  (Max.)
- Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) :  $10\text{--}35\text{V}$
- Output Current ( $I_O$ ) :  $\pm 0.4\text{A}$  (Max.)
- Switching Time ( $t_{PLH}/t_{PHL}$ ) :  $1\mu\text{s}$  (Max.)
- Isolation Voltage :  $2500\text{Vrms}$  (Min.)
- UL Recognized : UL1577, File No. E67349

Unit in mm



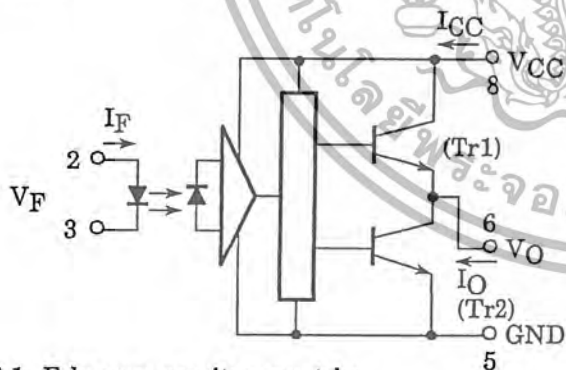
Weight : 0.54g

### PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



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

### SCHMATIC



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

### TRUTH TABLE

|           |     | Tr1 | Tr2 |
|-----------|-----|-----|-----|
| Input LED | ON  | ON  | OFF |
|           | OFF | OFF | ON  |

961001EBC2

TOSHIBA is continually working to improve the quality and the 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 observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product 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 products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

| CHARACTERISTIC                                     |   | SYMBOL                 | RATING           | UNIT    |   |
|--|---|------------------------|------------------|---------|---|
| LED  | Forward Current   | I <sub>F</sub>         | 20               | mA      |   |
|  | Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)                                  | ΔI <sub>F</sub> / ΔTa  | -0.36            | mA / °C |   |
|  | Peak Transient Forward Current (Note 1)                               | I <sub>FPT</sub>       | 1                | A       |   |
|  | Reverse Voltage   | V <sub>R</sub>         | 5                | V       |   |
|  | Junction Temperature  | T <sub>j</sub>         | 125              | °C      |   |
| DETECTOR   | "H" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.0 μs, f ≤ 15kHz) (Note 2) | I <sub>OPH</sub>       | -0.4             | A       |   |
|  | "L" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.0 μs, f ≤ 15kHz) (Note 2) | I <sub>OPL</sub>       | 0.4              | A       |   |
|  | Output Voltage  | V <sub>O</sub>         | (Ta ≤ 70°C)      | 35      | V |
|  |   |                        | (Ta = 85°C)      | 24      |   |
|  | Supply Voltage  | V <sub>CC</sub>        | (Ta ≤ 70°C)      | 35      | V |
|  |   |                        | (Ta = 85°C)      | 24      |   |
|  | Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)                                   | ΔV <sub>O</sub> / ΔTa  | -0.73            | V / °C  |   |
|  | Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)                                   | ΔV <sub>CC</sub> / ΔTa | -0.73            | V / °C  |   |
| Junction Temperature                               | T <sub>j</sub>  | 125                    | °C               |         |   |
| Operating Frequency (Note 3)                       | f   | 25                     | kHz              |         |   |
| Operating Temperature Range                        | T <sub>opr</sub>  | -20~85                 | °C               |         |   |
| Storage Temperature Range                          | T <sub>stg</sub>  | -55~125                | °C               |         |   |
| Lead Soldering Temperature (10s)                   | T <sub>sol</sub>  | 260                    | °C               |         |   |
| Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%) (Note 4) | B <sub>V</sub> S  | 2500                   | V <sub>rms</sub> |         |   |

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

(Note 2) Exponential Waveform

(Note 3) Exponential Waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -0.25A (≤ 2.0 μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +0.25A (≤ 2.0 μs)

(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.

961001EBC'

- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.
- 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.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

| CHARACTERISTIC        | SYMBOL                             | MIN. | TYP. | MAX.    | UNIT |
|-----------------------|------------------------------------|------|------|---------|------|
| Input Current, ON     | I <sub>F</sub> (ON)                | 7    | 8    | 10      | mA   |
| Input Voltage, OFF    | V <sub>F</sub> (OFF)               | 0    | —    | 0.8     | V    |
| Supply Voltage        | V <sub>CC</sub>                    | 10   | —    | 30   20 | V    |
| Peak Output Current   | I <sub>OPH</sub> /I <sub>OPL</sub> | —    | —    | ±0.1    | A    |
| Operating Temperature | T <sub>opr</sub>                   | -20  | 25   | 70   85 | °C   |

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

| CHARACTERISTIC                             | SYMBOL               | TEST CIRCUIT     | TEST CONDITION  | MIN.               | TYP.*            | MAX.  | UNIT  |
|--|----------------------|------------------|---|--------------------|------------------|-------|-------|
| Input Forward Voltage                      | V <sub>F</sub>       | —                | I <sub>F</sub> =10mA, Ta=25°C   | —                  | 1.6              | 1.8   | V     |
| Temperature Coefficient of Forward Voltage | ΔV <sub>F</sub> /ΔTa | —                | I <sub>F</sub> =10mA  | —                  | -2.0             | —     | mV/°C |
| Input Reverse Current                      | I <sub>R</sub>       | —                | V <sub>R</sub> =5V, Ta=25°C   | —                  | —                | 10    | μA    |
| Input Capacitance                          | C <sub>T</sub>       | —                | V=0, f=1MHz, Ta=25°C  | —                  | 45               | 250   | pF    |
| Output Current                             | "H" Level            | I <sub>OPH</sub> | 3<br>I <sub>F</sub> =10mA<br>V <sub>CC</sub> =30V<br>V <sub>8-6</sub> =4V<br>(*1)                 | -0.1               | -0.25            | —     | A     |
|  | "L" Level            | I <sub>OPL</sub> | 2<br>I <sub>F</sub> =0<br>V <sub>6-5</sub> =2.5V  | 0.1                | 0.2              | —     |       |
| Output Voltage                             | "H" Level            | V <sub>OH</sub>  | 4<br>V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V<br>R <sub>L</sub> =200Ω, I <sub>F</sub> =5mA  | 11                 | 13.2             | —     | V     |
|  | "L" Level            | V <sub>OL</sub>  | 5<br>V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V<br>R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>F</sub> =0.8V | —                  | -14.5            | -12.5 |       |
| Supply Current                             | "H" Level            | I <sub>CCH</sub> | —<br>V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA<br>Ta=25°C  | —                  | 7.5              | —     | mA    |
|  | "L" Level            | I <sub>CCL</sub> | —<br>V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA   | —                  | —                | 11    |       |
|  |                      |                  | —<br>V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA<br>Ta=25°C   | —                  | 8                | —     |       |
| Threshold Input Current                    | "Output L→H"         | I <sub>FLH</sub> | —<br>V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V<br>R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> >0V   | —                  | 1.2              | 5     | mA    |
|  |                      |                  | —<br>V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V<br>R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> <0V   | 0.8                | —                | —     |       |
| Supply Voltage                             | V <sub>CC</sub>      | —                | —   | 10                 | —                | 35    | V     |
| Capacitance (Input-Output)                 | C <sub>s</sub>       | —                | V <sub>s</sub> =0, f=1MHz<br>Ta=25°C  | —                  | 1.0              | 2.0   | pF    |
| Resistance (Input-Output)                  | R <sub>s</sub>       | —                | V <sub>s</sub> =500V, Ta=25°C<br>R.H. ≤ 60%   | 1×10 <sup>12</sup> | 10 <sup>14</sup> | —     | Ω     |

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่มีการเผยแพร่ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้แต่แบบดั้งเดิม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้  
 1998-03-05 3/7

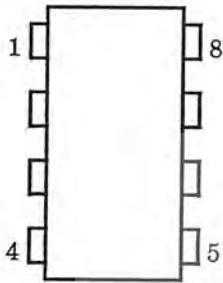
SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

| CHARACTERISTIC                                      |                 | SYMBOL           | TEST CIR-CUIT  | TEST CONDITION  | MIN. | TYP.* | MAX.   | UNIT |
|---|-----------------|------------------|--|---|------|-------|--------|------|
| Propagation Delay Time                              | L→H             | t <sub>pLH</sub> | 6  | I <sub>F</sub> = 8mA<br>V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V<br>R <sub>L</sub> = 200Ω | —    | 0.25  | 1.0    | μs   |
|   | H→L             | t <sub>pHL</sub> |  |   | —    | 0.25  | 1.0    |      |
| Output Rise Time                                    | t <sub>r</sub>  | —                |  |   | —    | —     |        |      |
| Output Fall Time                                    | t <sub>f</sub>  | —                |  |   | —    | —     |        |      |
| Common Mode Transient Immunity at High Level Output | C <sub>MH</sub> | 7                | V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA<br>V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C | -5000   | —    | —     | V / μs |      |
| Common Mode Transient Immunity at Low Level Output  | C <sub>ML</sub> | 7                | V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA<br>V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C | 5000  | —    | —     | V / μs |      |

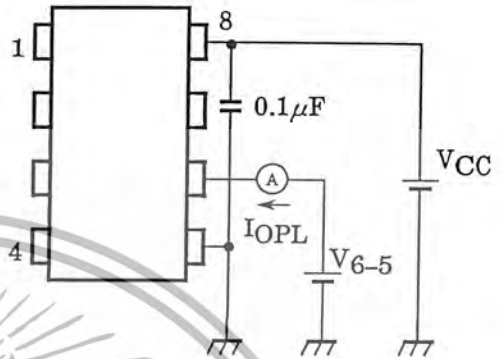
\* All typical values are at Ta = 25°C



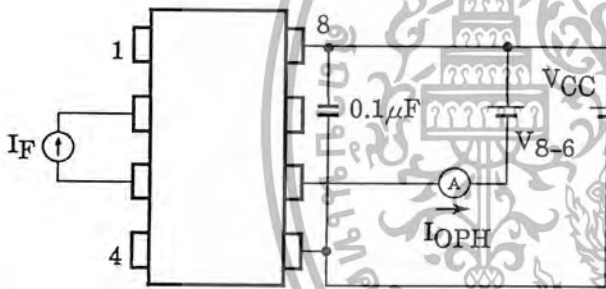
TEST CIRCUIT 1 :



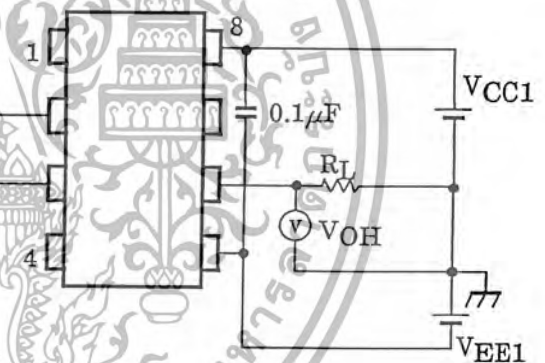
TEST CIRCUIT 2 :  $I_{OPL}$



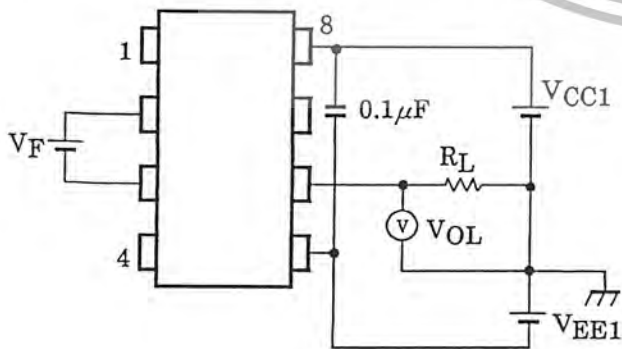
TEST CIRCUIT 3 :  $I_{OPH}$



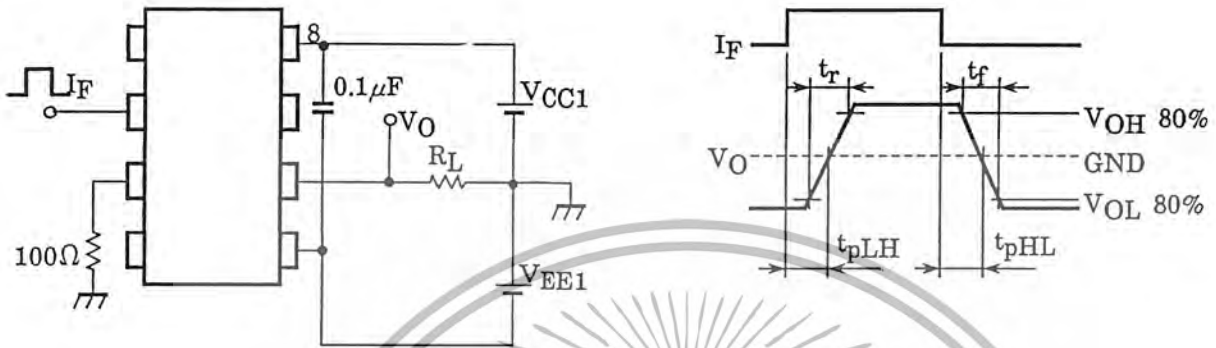
TEST CIRCUIT 4 :  $V_{OH}$



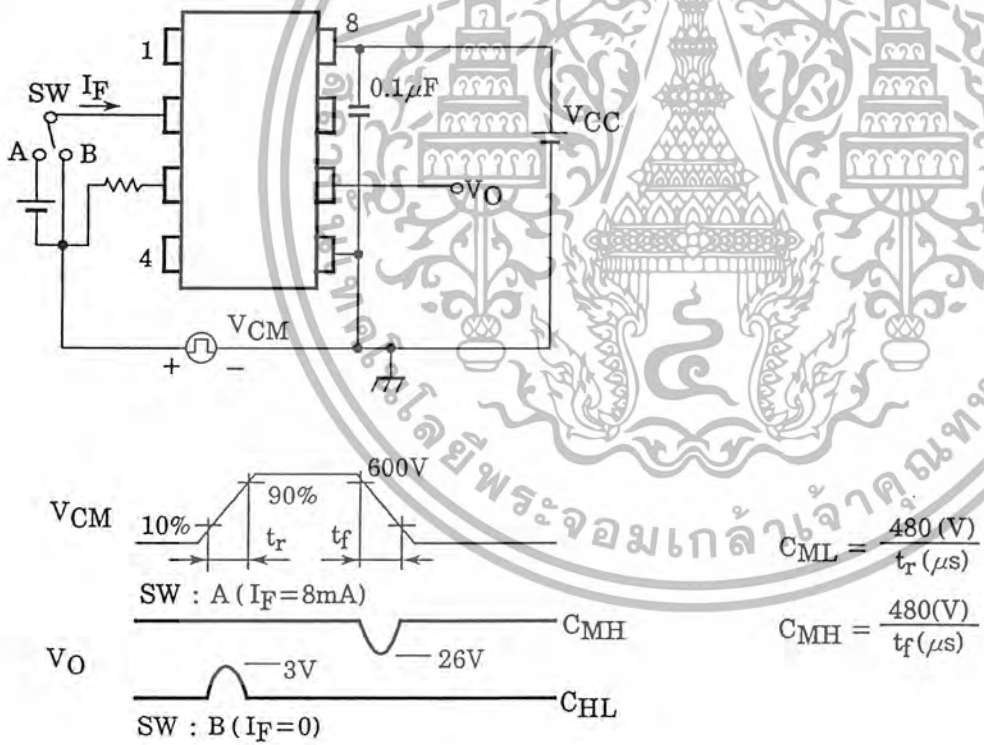
TEST CIRCUIT 5 :  $V_{OL}$



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

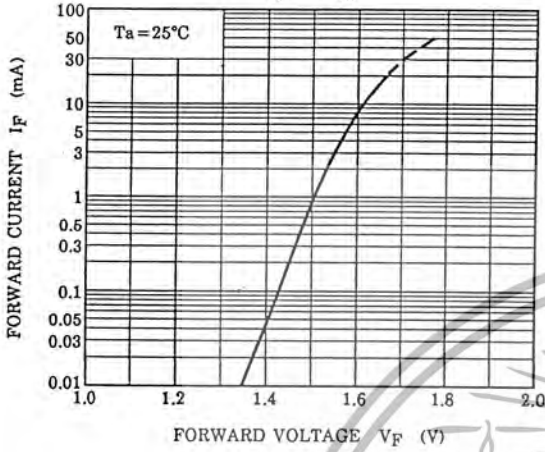


TEST CIRCUIT 7 :  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$

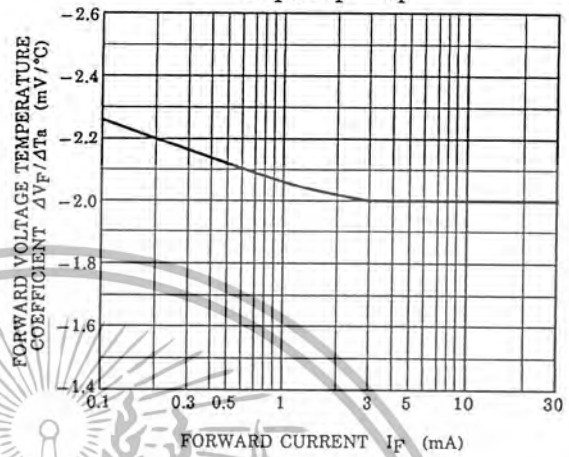


$C_{ML}$  ( $C_{MH}$ ) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

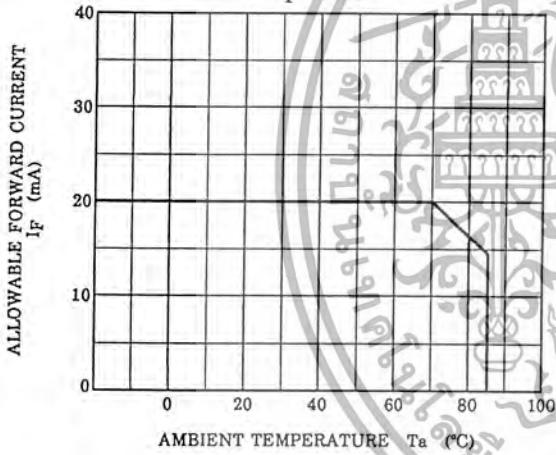
$I_F - V_F$



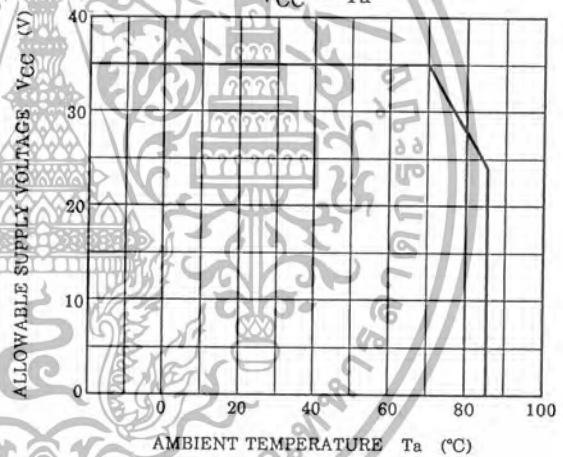
$\Delta V_F / \Delta I_F - I_F$



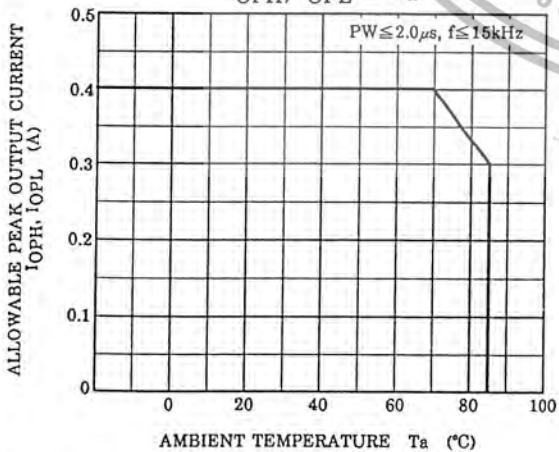
$I_F - T_a$



$V_{CC} - T_a$

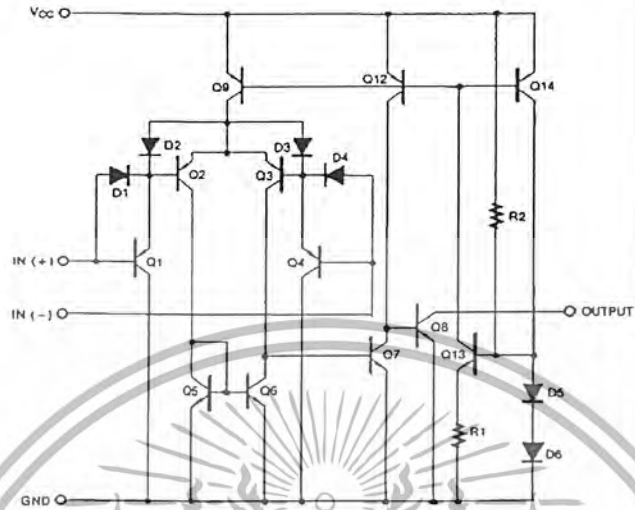


$I_{OPH}, I_{OPL} - T_a$





Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

| Parameter                             | Symbol             | Value       | Unit |
|---------------------------------------|--------------------|-------------|------|
| Supply Voltage                        | VCC                | 18 or 36    | V    |
| Differential Input Voltage            | $V_I(\text{DIFF})$ | 36          | V    |
| Input Voltage                         | $V_I$              | -0.3 to +36 | V    |
| Output Short Circuit to GND           | -                  | Continuous  | -    |
| Power Dissipation                     | PD                 | 570         | mW   |
| Operating Temperature<br>LM339/LM339A | TOPR               | 0 ~ +70     | C    |
| LM2901                                |                    | -40 ~ +85   |      |
| Storage Temperature                   | TSTG               | -65 ~ +150  | C    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Electrical Characteristics

(VCC = 5V, TA = 25 C, unless otherwise specified)

| Parameter                       | Symbol               | Conditions  | LM339A |     |         | LM339 |     |         | Unit |
|---------------------------------|----------------------|---|--------|-----|---------|-------|-----|---------|------|
|                                 |                      |   | Min    | Typ | Max     | Min   | Typ | Max     |      |
| Input Offset Voltage            | V <sub>IO</sub>      | VO(P) = 1.4V, RS = 0  | -      | 1   | 2       | -     | 1.4 | 5       | mV   |
|                                 |                      | NOTE 1  | -      | -   | 4.0     | -     | -   | 9.0     |      |
| Input Offset Current            | I <sub>IO</sub>      |   | -      | 2.3 | 50      | -     | 2.3 | 50      | nA   |
|                                 |                      | NOTE 1  | -      | -   | 150     | -     | -   | 150     |      |
| Input Bias Current              | I <sub>BIAS</sub>    |   | -      | 57  | 250     | -     | 57  | 250     | nA   |
|                                 |                      | NOTE 1  | -      | -   | 400     | -     | -   | 400     |      |
| Input Common Mode Voltage Range | V <sub>I(R)</sub>    |   | 0      | -   | VCC-1.5 | 0     | -   | VCC-1.5 | V    |
|                                 |                      | NOTE 1  | 0      | -   | VCC-2   | 0     | -   | VCC-2   |      |
| Supply Current                  | I <sub>CC</sub>      | RL =  | -      | 1.1 | 2.0     | -     | 1.1 | 2.0     | mA   |
| Voltage Gain                    | GV                   | VCC = 15V, RL = 15K (for large swing)   | 50     | 200 | -       | 50    | 200 | -       | V/mV |
| Large Signal Response Time      | t <sub>RES</sub>     | V <sub>I</sub> = TTL Logic Swing<br>V <sub>REF</sub> = 1.4V, V <sub>RL</sub> = 5V,<br>RL = 5.1K | -      | 350 | -       | -     | 350 | -       | ns   |
| Response Time                   | t <sub>TLH</sub>     | V <sub>RL</sub> = 5V, RL = 5.1K   | -      | 1.4 | -       | -     | 1.4 | -       | s    |
| Output Sink Current             | I <sub>SINK</sub>    | V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>I(+)</sub> = 0V,<br>V <sub>O(P)</sub> = 1.5V                     | 6      | 18  | -       | 6     | 18  | -       | mA   |
| Output Saturation Voltage       | V <sub>SAT</sub>     | V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>I(+)</sub> = 0V  | -      | 140 | 400     | -     | 140 | 400     | mV   |
|                                 |                      | I <sub>SINK</sub> = 4mA   | NOTE 1 | -   | -       | 700   | -   | -       |      |
| Output Leakage Current          | I <sub>O(LKG)</sub>  | V <sub>I(-)</sub> = 0V  | -      | 0.1 | -       | -     | 0.1 | -       | nA   |
|                                 |                      | V <sub>I(+)</sub> = 1V  | NOTE 1 | -   | -       | 1.0   | -   | -       |      |
| Differential Voltage            | V <sub>I(DIFF)</sub> | NOTE 1  | -      | -   | 36      | -     | -   | 36      | V    |

**Note 1.**

LM339/LM339A: 0 TA +70 C  
LM2901: -40 TA +85 C

### Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5V, TA = 25 °C, unless otherwise specified)

| Parameter                       | Symbol   | Conditions   | LM2901     |     |         | Unit |
|---------------------------------|----------|--|------------|-----|---------|------|
|                                 |          |  | Min        | Typ | Max     |      |
| Input Offset Voltage            | VIO      | VO(P) = 1.4V, RS = 0                                     | -          | 2   | 7       | mV   |
|                                 |          | NOTE 1   | -          | 9   | 15      |      |
| Input Offset Current            | IIO      |  | -          | 2.3 | 50      | nA   |
|                                 |          | NOTE 1   | -          | 50  | 200     |      |
| Input Bias Current              | IBIAS    |  | -          | 57  | 250     | nA   |
|                                 |          | NOTE 1   | -          | 200 | 500     |      |
| Input Common Mode Voltage Range | VI(R)    |  | 0          | -   | VCC-1.5 | V    |
|                                 |          | NOTE 1   | 0          | -   | VCC-2   |      |
| Supply Current                  | ICC      | RL =   | -          | 1.1 | 2.0     | mA   |
|                                 |          | RL = , VCC = 30V   | -          | 1.6 | 2.5     |      |
| Voltage Gain                    | GV       | VCC = 15V, RL = 15K (for large swing)                    | 25         | 100 | -       | V/mV |
| Large Signal Response Time      | tRES     | Vj = TTL Logic Swing<br>VREF = 1.4V, VRL = 5V, RL = 5.1K | -          | 350 | -       | ns   |
| Response Time                   | tRES     | VRL = 5V, RL = 5.1K                                      | -          | 1.4 | -       | s    |
| Output Sink Current             | ISINK    | VI(-) = 1V, VI(+) = 0V, VO(P) = 1.5V                     | 6          | 18  | -       | mA   |
| Output Saturation Voltage       | VSAT     | VI(-) = 1V, VI(+) = 0V                                   | -          | 140 | 400     | mV   |
|                                 |          | ISINK = 4mA  | NOTE 1     | -   | 700     |      |
| Output Leakage Current          | IO(LKG)  | VI(-) = 0V   | -          | 0.1 | -       | nA   |
|                                 |          | VI(+) = 1V   | VO(P) = 5V | -   | -       |      |
| Differential Voltage            | VI(DIFF) | VO(P) = 30V  | -          | -   | 1.0     | A    |
|                                 |          | NOTE 1   | -          | -   | 36      |      |

Note 1.

LM339/LM339A: 0 °C TA +70 °C

LM2901: -40 °C TA +85 °C

## Typical Performance Characteristics

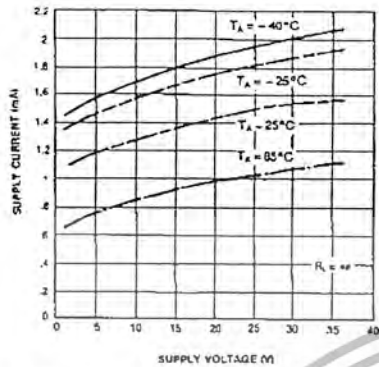


Figure 1. Supply Current Vs Supply Voltage

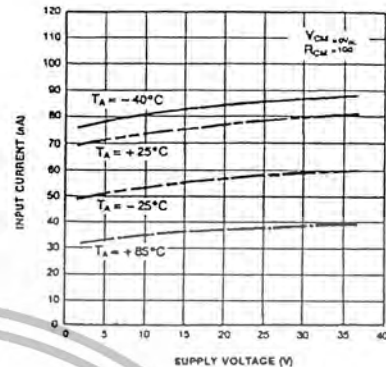


Figure 2. Input Current Vs Supply Voltage

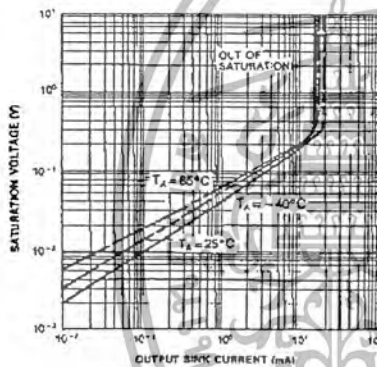


Figure 3. Output Saturation Voltage vs sink Current

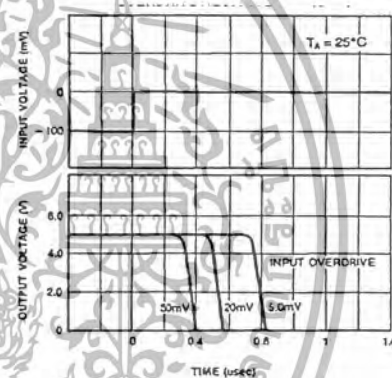


Figure 4. Response Time for Various Input Overdrive-Negative Transition

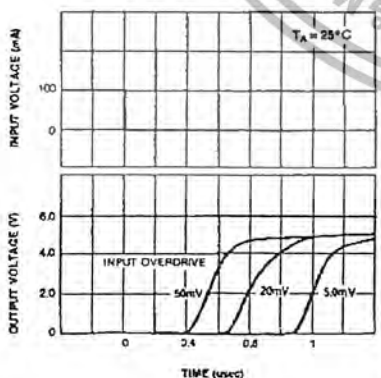


Figure 5. Response Time for Various Input Overdrive-Positive Transition

# LM2903, LM393/LM393A

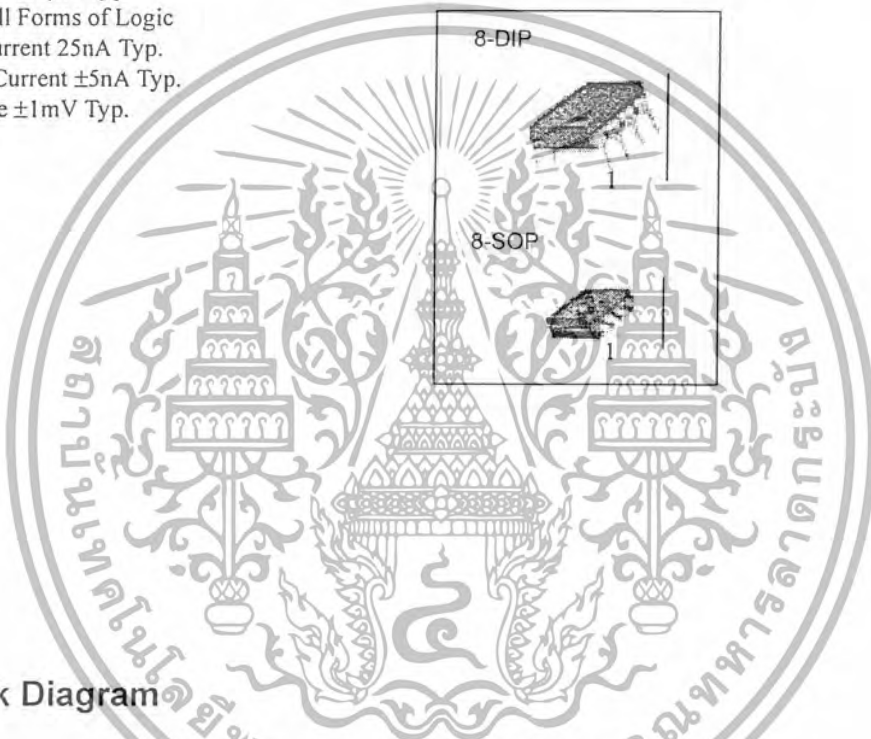
## Dual Differential Comparator

### Features

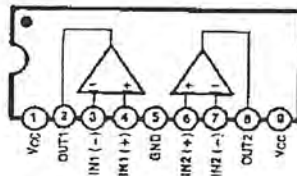
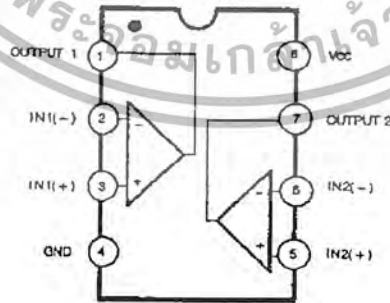
- Single Supply Operation: 2V to 36V
- Dual Supply Operation:  $\pm 1V$  to  $\pm 18V$
- Allow Comparison of Voltages Near Ground Potential
- Low Current Drain 800 $\mu A$  Typ.
- Compatible with all Forms of Logic
- Low Input Bias Current 25nA Typ.
- Low Input Offset Current  $\pm 5nA$  Typ.
- Low Offset Voltage  $\pm 1mV$  Typ.

### Description

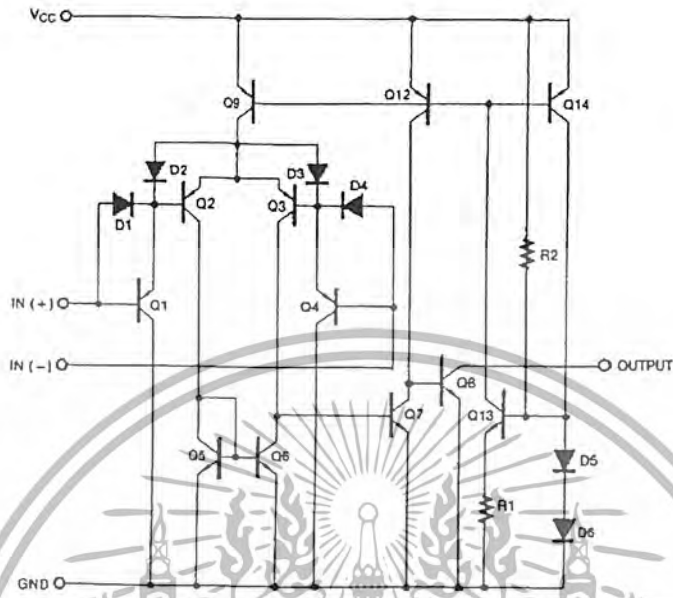
The LM2903, LM393/LM393A consist of two independent voltage comparators designed to operate from a single power supply over a wide voltage range.



### Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

| Parameter                             | Symbol   | Value        | Unit |
|---------------------------------------|----------|--------------|------|
| Power Supply Voltage                  | VCC      | ±18 or 36    | V    |
| Differential Input Voltage            | VI(DIFF) | 36           | V    |
| Input Voltage                         | VI       | - 0.3 to +36 | V    |
| Output Short Circuit to GND           |          | Continuous   | -    |
| Power Dissipation                     | PD       | 570          | mW   |
| Operating Temperature<br>LM393/LM393A | TOPR     | 0 ~ + 70     | °C   |
| LM2903                                |          | - 40 ~ + 85  |      |
| Storage Temperature                   | TSTG     | -65 ~ + 150  | °C   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใน 2 กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise specified)

| Parameter                       | Symbol       | Conditions   | LM393A |         |                | LM393     |         |                | Unit    |
|---------------------------------|--------------|--|--------|---------|----------------|-----------|---------|----------------|---------|
|                                 |              |  | Min.   | Typ.    | Max.           | Min.      | Typ.    | Max.           |         |
| Input Offset Voltage            | $V_{IO}$     | $V_{O(P)} = 1.4V$ , $R_S = 0\Omega$  | -      | $\pm 1$ | $\pm 2$        | -         | $\pm 1$ | $\pm 5$        | mV      |
|                                 |              | $V_{CM} = 0$ to $1.5V$   | NOTE 1 | -       | -              | $\pm 4.0$ | -       | -              |         |
| Input Offset Current            | $I_{IO}$     |  | -      | $\pm 5$ | $\pm 50$       | -         | $\pm 5$ | $\pm 50$       | nA      |
|                                 |              | NOTE 1   | -      | -       | $\pm 150$      | -         | -       | $\pm 150$      |         |
| Input Bias Current              | $I_{BIAS}$   |  | -      | 65      | 250            | -         | 65      | 250            | nA      |
|                                 |              | NOTE 1   | -      | -       | 400            | -         | -       | 400            |         |
| Input Common Mode Voltage Range | $V_{I(R)}$   |  | 0      | -       | $V_{CC} - 1.5$ | 0         | -       | $V_{CC} - 1.5$ | V       |
|                                 |              | NOTE 1   | 0      | -       | $V_{CC} - 2$   | 0         | -       | $V_{CC} - 2$   |         |
| Supply Current                  | $I_{CC}$     | $R_L = \infty$   | -      | 0.6     | 1              | -         | 0.6     | 1              | mA      |
|                                 |              | $R_L = \infty$ , $V_{CC} = 30V$  | -      | 0.8     | 2.5            | -         | 0.8     | 2.5            |         |
| Voltage Gain                    | $G_V$        | $V_{CC} = 15V$ , $R_L \geq 15K\Omega$<br>(for large $V_{O(P-P)}$ swing)                    | 50     | 200     | -              | 50        | 200     | -              | V/mV    |
| Large Signal Response Time      | $t_{RES}$    | $V_I = \text{TTL Logic Swing}$<br>$V_{REF} = 1.4V$ , $V_{RL} = 5V$ ,<br>$R_L = 5.1K\Omega$ | -      | 350     | -              | -         | 350     | -              | nS      |
| Response Time                   | $t_{RES}$    | $V_{RL} = 5V$ , $R_L = 5.1K\Omega$   | -      | 1.4     | -              | -         | 1.4     | -              | $\mu S$ |
| Output Sink Current             | $I_{SINK}$   | $V_{I(-)} \geq 1V$ , $V_{I(+)} = 0V$ ,<br>$V_{O(P)} \leq 1.5V$                             | 6      | 18      | -              | 6         | 18      | -              | mA      |
| Output Saturation Voltage       | $V_{SAT}$    | $V_{I(-)} \geq 1V$ , $V_{I(+)} = 0V$   | -      | 160     | 400            | -         | 160     | 400            | mV      |
|                                 |              | $I_{SINK} = 4mA$   | NOTE 1 | -       | -              | 700       | -       | -              |         |
| Output Leakage Current          | $I_{O(LKG)}$ | $V_{I(-)} = 0V$ , $V_{O(P)} = 5V$  | -      | 0.1     | -              | -         | 0.1     | -              | nA      |
|                                 |              | $V_{I(+)} = 1V$ , $V_{O(P)} = 30V$   | -      | -       | 1.0            | -         | -       | 1.0            | $\mu A$ |

### NOTE 1

LM393/LM393A:  $0 \leq T_A \leq +70^\circ C$

LM2903:  $-40 \leq T_A \leq +85^\circ C$

## Electrical Characteristics (Continued)

( $V_{CC} = 5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise specified)

| Parameter                       | Symbol       | Conditions   | LM2903 |          |                | Unit    |
|---------------------------------|--------------|--|--------|----------|----------------|---------|
|                                 |              |  | Min.   | Typ.     | Max.           |         |
| Input Offset Voltage            | $V_{IO}$     | $V_{O(P)} = 1.4V$ , $R_S = 0\Omega$  | -      | $\pm 1$  | $\pm 7$        | mV      |
|                                 |              | $V_{CM} = 0$ to $1.5V$ NOTE 1  | -      | $\pm 9$  | $\pm 15$       |         |
| Input Offset Current            | $I_{IO}$     |  | -      | $\pm 5$  | $\pm 50$       | nA      |
|                                 |              | NOTE 1   | -      | $\pm 50$ | $\pm 200$      |         |
| Input Bias Current              | $I_{BIAS}$   |  | -      | 65       | 250            | nA      |
|                                 |              | NOTE 1   | -      | -        | 500            |         |
| Input Common Mode Voltage Range | $V_{I(R)}$   |  | 0      | -        | $V_{CC} - 1.5$ | V       |
|                                 |              | NOTE 1   | 0      | -        | $V_{CC} - 2$   |         |
| Supply Current                  | $I_{CC}$     | $R_L = \infty$   | -      | 0.6      | 1              | mA      |
|                                 |              | $R_L = \infty$ , $V_{CC} = 30V$  | -      | 1        | 2.5            |         |
| Voltage Gain                    | $G_V$        | $V_{CC} = 15V$ , $R_L \geq 15K\Omega$ (for large $V_{O(P-P)}$ swing)             | 25     | 100      | -              | V/mV    |
| Large Signal Response Time      | $t_{RES}$    | $V_I = TTL$ Logic Swing<br>$V_{REF} = 1.4V$ , $V_{RL} = 5V$ , $R_L = 5.1K\Omega$ | -      | 350      | -              | nS      |
| Response Time                   | $t_{RES}$    | $V_{RL} = 5V$ , $R_L = 5.1K\Omega$   | -      | 1.5      | -              | $\mu S$ |
| Output Sink Current             | $I_{SINK}$   | $V_{I(-)} \geq 1V$ , $V_{I(+)} = 0V$ , $V_{O(P)} \leq 1.5V$                      | 6      | 16       | -              | mA      |
| Output Saturation Voltage       | $V_{SAT}$    | $V_{I(-)} \geq 1V$ , $V_{I(+)} = 0V$   | -      | 160      | 400            | mV      |
|                                 |              | $I_{SINK} = 4mA$ NOTE 1  | -      | -        | 700            |         |
| Output Leakage Current          | $I_{O(LKG)}$ | $V_{I(-)} = 0V$ , $V_{O(P)} = 5V$  | -      | 0.1      | -              | nA      |
|                                 |              | $V_{I(+)} = 1V$ , $V_{O(P)} = 30V$   | -      | -        | 1.0            | $\mu A$ |

### NOTE 1

LM393/LM393A:  $0 \leq T_A \leq +70^\circ C$

LM2903:  $-40 \leq T_A \leq +85^\circ C$

## Typical Performance Characteristics

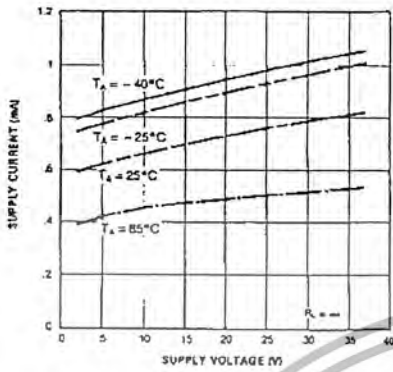


Figure 1. Supply Current vs Supply Voltage

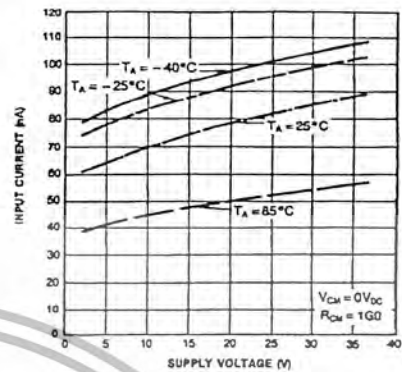


Figure 2. Input Current vs Supply Voltage

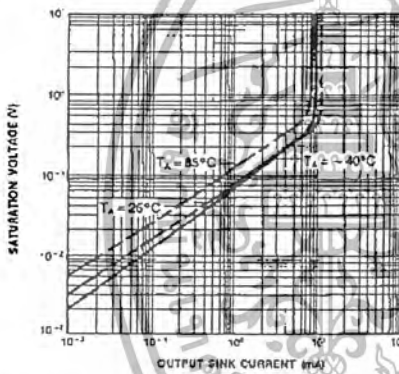


Figure 3. Output Saturation Voltage vs Sink Current

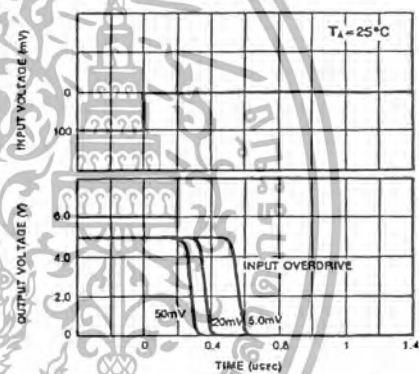


Figure 4. Response Time for Various Input Overdrive-Negative Transition

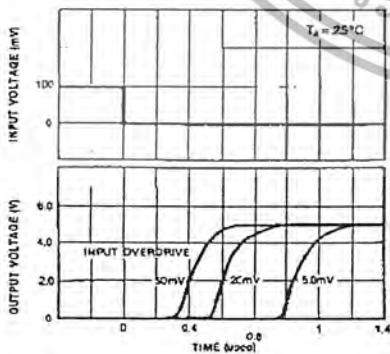


Figure 5. Response Time for Various Input Overdrive-Positive Transition

**40A, 100V, 0.040 Ohm, N-Channel Power MOSFETs**

These are N-Channel power MOSFETs manufactured using the MegaFET process. This process, which uses feature sizes approaching those of LSI integrated circuits gives optimum utilization of silicon, resulting in outstanding performance. They were designed for use in applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers and emitter switches for bipolar transistors. These transistors can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA9846

**Features**

- 40A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.040\Omega$
- UIS Rating Curve
- SOA is Power Dissipation Limited
- 175°C Operating Temperature
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Ordering Information**

| PART NUMBER | PACKAGE  | BRAND    |
|-------------|----------|----------|
| RFG40N10    | TO-247   | RFG40N10 |
| RFP40N10    | TO-220AB | RFP40N10 |
| RF1S40N10SM | TO-263AB | F1S40N10 |

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix, 9A, to obtain the TO-263AB variant in tape and reel, i.e. RF1S40N10SM9A.

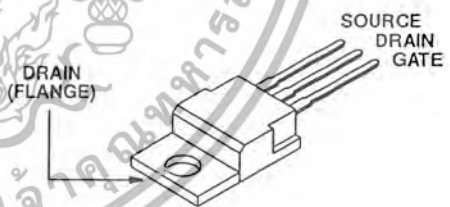
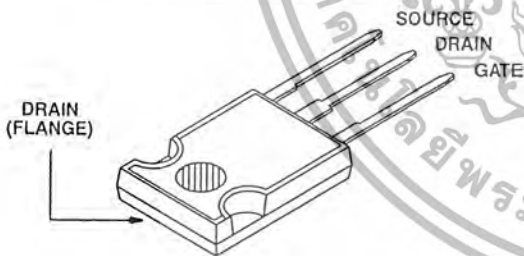
**Symbol**



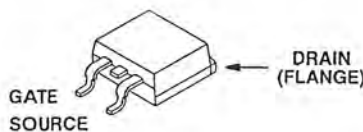
**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247

JEDEC TO-220AB



JEDEC TO-263AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# RFG40N10, RFP40N10, RF1S40N10SM

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

|  | RFG40N10, RFP40N10,<br>RF1S40N10SM | UNITS             |                    |
|--|------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Drain to Source Breakdown Voltage (Note 1) .....             | $V_{DSS}$                          | 100               | V                  |
| Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 1M\Omega$ ) (Note 1) ..... | $V_{DGR}$                          | 100               | V                  |
| Gate to Source Voltage .....                                 | $V_{GS}$                           | $\pm 20$          | V                  |
| Drain Current  |                                    |                   |                    |
| Continuous (Figure 2) .....                                  | $I_D$                              | 40                | A                  |
| Pulsed Drain Current (Note 2) .....                          | $I_{DM}$                           | 100               | A                  |
| Pulsed Avalanche Rating .....                                | $E_{AS}$                           | Figures 4, 12, 13 |                    |
| Power Dissipation .....                                      | $P_D$                              | 160               | W                  |
| Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....                        |                                    | 1.07              | $W/^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Temperature .....                      | $T_J, T_{STG}$                     | -55 to 175        | $^\circ\text{C}$   |
| Maximum Temperature for Soldering                            |                                    |                   |                    |
| Leads at 0.063in (1.6mm) from case for 10s .....             | $T_L$                              | 300               | $^\circ\text{C}$   |
| Package Body for 10s, see Techbrief 334 .....                | $T_{pk}$                           | 260               | $^\circ\text{C}$   |

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

### NOTES:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $150^\circ\text{C}$ .
- Repetitive Rating: pulse width limited by maximum junction temperature.

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

| PARAMETER                              | SYMBOL          | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP | MAX       | UNITS              |
|--|-----------------|---|-----|-----|-----------|--------------------|
| Drain to Source Breakdown Voltage      | $BV_{DSS}$      | $I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 9)   | 100 | -   | -         | V                  |
| Gate Threshold Voltage                 | $V_{GS(TH)}$    | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 8)  | 2   | -   | 4         | V                  |
| Zero Gate Voltage Drain Current        | $I_{DSS}$       | $V_{DS} = 80\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, T_C = 25^\circ\text{C}$   | -   | -   | 1         | $\mu\text{A}$      |
|  |                 | $T_C = 150^\circ\text{C}$   | -   | -   | 50        | $\mu\text{A}$      |
| Gate to Source Leakage Current         | $I_{GSS}$       | $V_{GS} = \pm 20\text{V}$   | -   | -   | $\pm 100$ | nA                 |
| Drain to Source On Resistance          | $r_{DS(ON)}$    | $I_D = 40\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 7)  | -   | -   | 0.040     | $\Omega$           |
| Turn-On Time                           | $t_{ON}$        | $V_{DD} = 50\text{V}, I_D = 20\text{A}, R_L = 2.5\Omega, V_{GS} = 10\text{V}, R_{GS} = 4.2\Omega$ (Figure 11) | -   | -   | 80        | ns                 |
| Turn-On Delay Time                     | $t_{d(ON)}$     |   | -   | 17  | -         | ns                 |
| Rise Time                              | $t_r$           |   | -   | 30  | -         | ns                 |
| Turn-Off Delay Time                    | $t_{d(OFF)}$    |   | -   | 42  | -         | ns                 |
| Fall Time                              | $t_f$           |   | -   | 20  | -         | ns                 |
| Turn-Off Time                          | $t_{OFF}$       |   | -   | -   | 100       | ns                 |
| Total Gate Charge                      | $Q_g(TOT)$      | $V_{GS} = 0\text{V}$ to $20\text{V}$  | -   | -   | 300       | nC                 |
| Gate Charge at 10V                     | $Q_g(10)$       | $V_{GS} = 0\text{V}$ to $10\text{V}$  | -   | -   | 150       | nC                 |
| Threshold Gate Charge                  | $Q_g(TH)$       | $V_{GS} = 0\text{V}$ to $2\text{V}$   | -   | -   | 7.5       | nC                 |
| Thermal Resistance Junction to Case    | $R_{\theta JC}$ |   | -   | -   | 0.94      | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | TO-247  | -   | -   | 30        | $^\circ\text{C/W}$ |
|  |                 | TO-220AB and TO-263AB   | -   | -   | 62        | $^\circ\text{C/W}$ |

## Source to Drain Diode Specifications

| PARAMETER                     | SYMBOL   | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|-------------------------------|----------|---|-----|-----|-----|-------|
| Source to Drain Diode Voltage | $V_{SD}$ | $I_{SD} = 40\text{A}$                                       | -   | -   | 1.5 | V     |
| Reverse Recovery Time         | $t_{rr}$ | $I_{SD} = 40\text{A}, dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | -   | -   | 200 | ns    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 4-451 Intersil แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

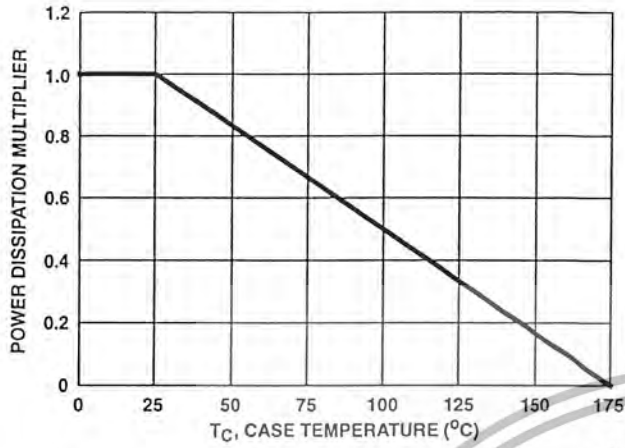


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

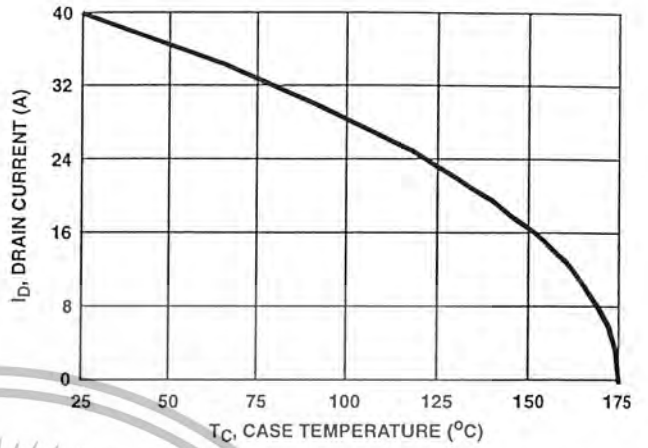


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

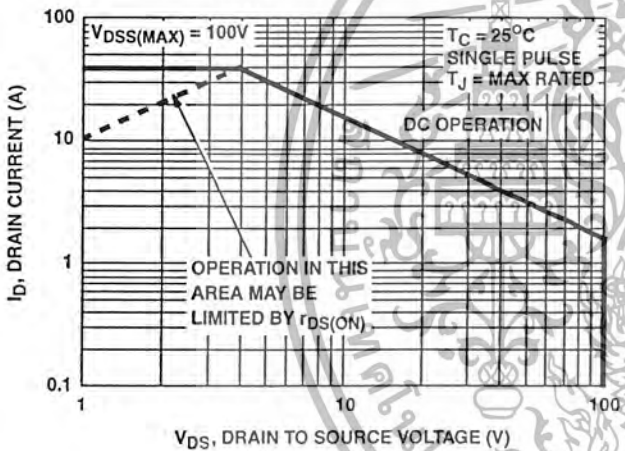
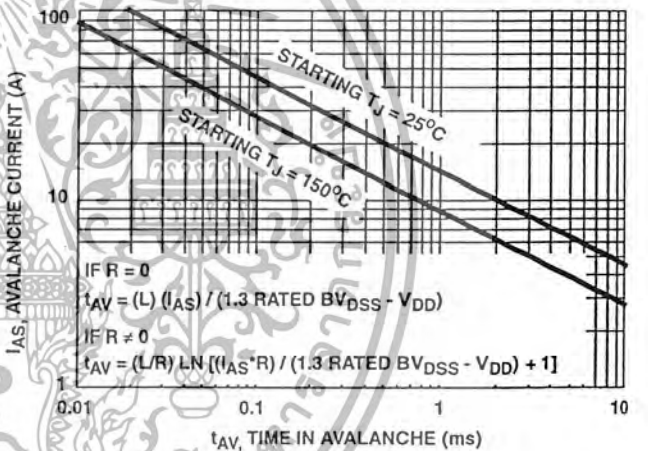


FIGURE 3. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA



NOTE: Refer to Intersil application notes AN9321 and AN9322.

FIGURE 4. UNCLAMPED INDUCTIVE SWITCHING CAPABILITY

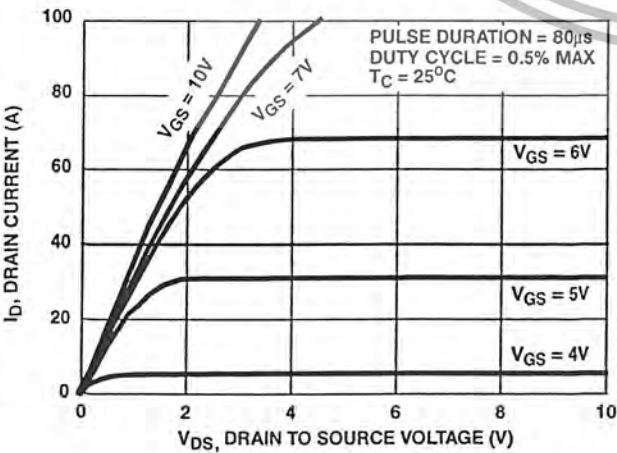


FIGURE 5. SATURATION CHARACTERISTICS

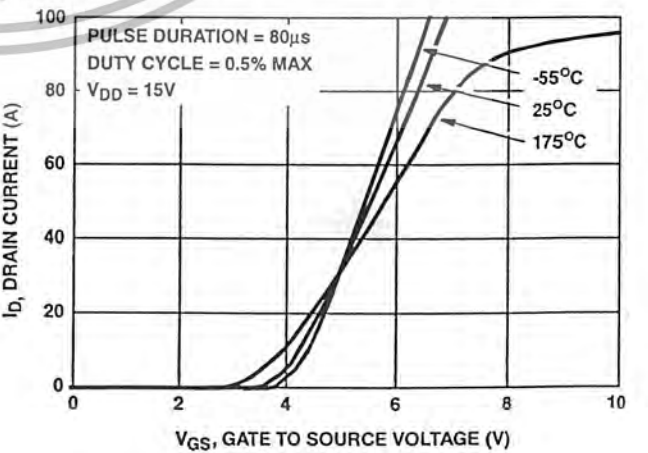


FIGURE 6. TRANSFER CHARACTERISTICS

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

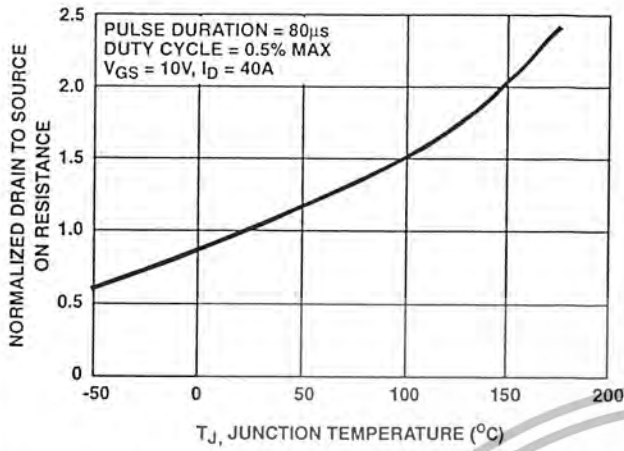


FIGURE 7. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

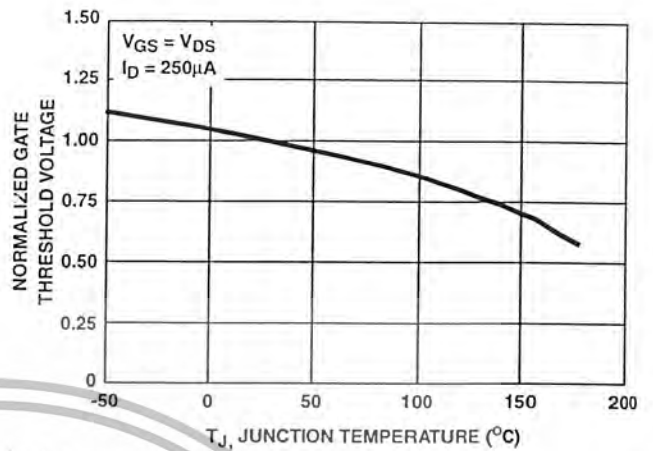


FIGURE 8. NORMALIZED GATE THRESHOLD VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

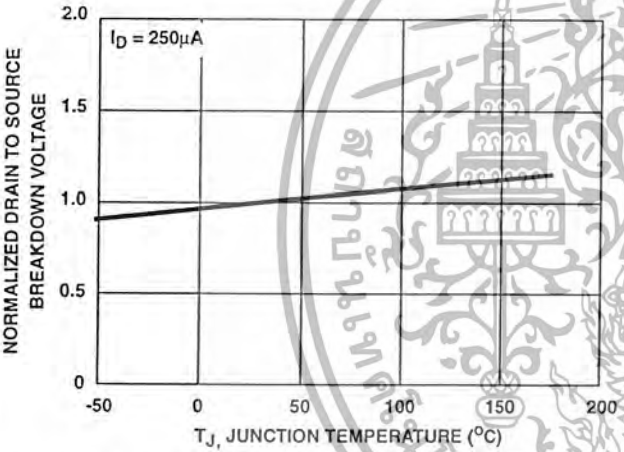


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

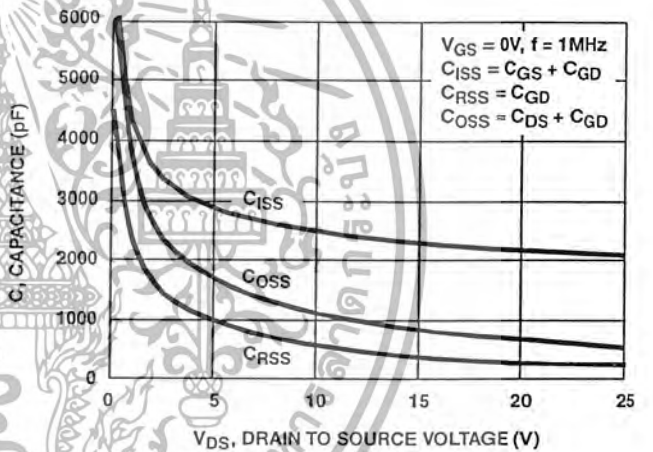
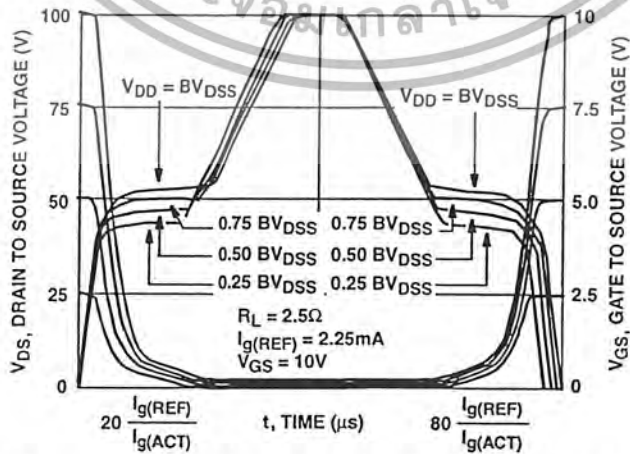


FIGURE 10. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE



NOTE: Refer to Intersil Application Notes AN7254 and AN7260.

FIGURE 11. NORMALIZED SWITCHING WAVEFORMS FOR CONSTANT GATE CURRENT

Test Circuits and Waveforms

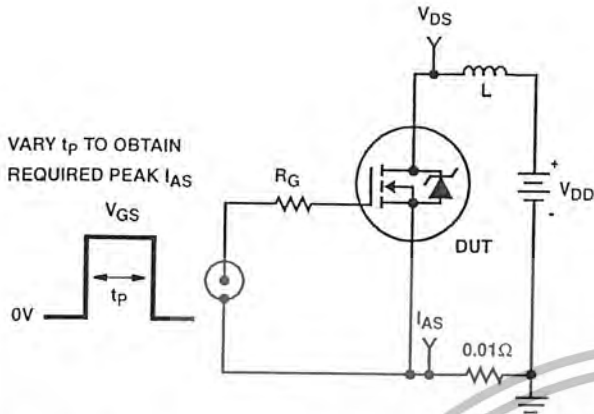


FIGURE 12. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

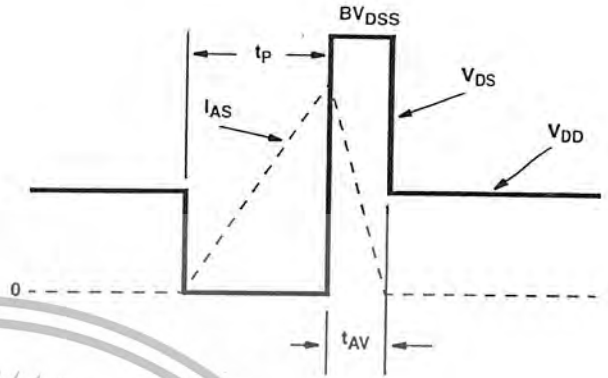


FIGURE 13. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

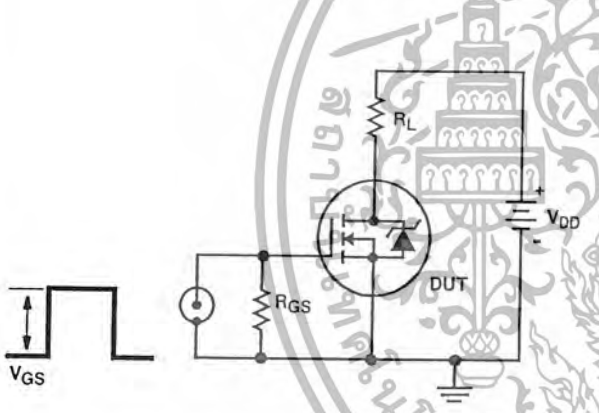


FIGURE 14. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

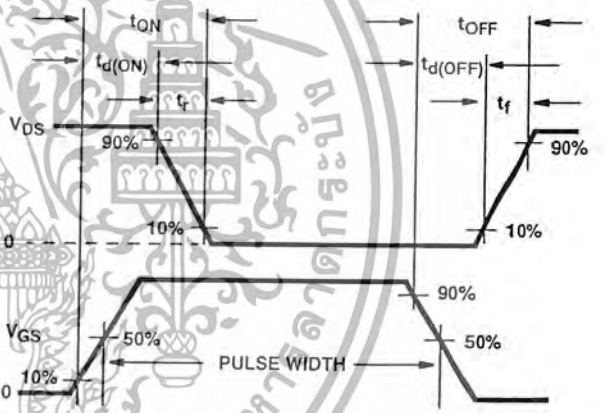


FIGURE 15. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

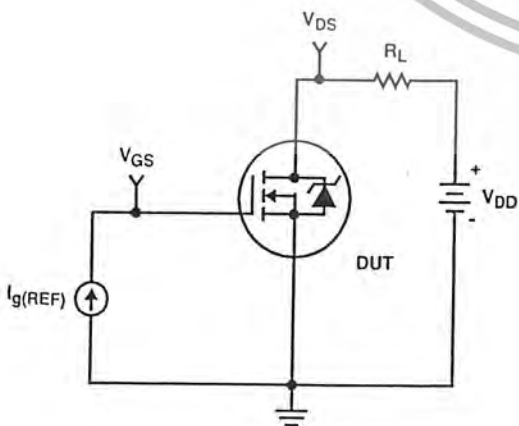


FIGURE 16. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

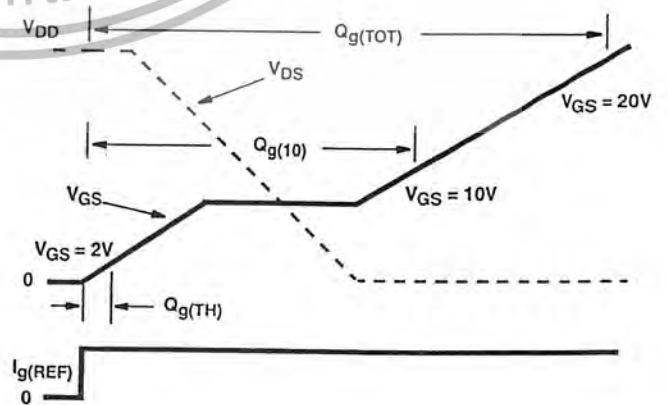


FIGURE 17. GATE CHARGE WAVEFORMS



All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

### Sales Office Headquarters

**NORTH AMERICA**  
Intersil Corporation  
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204  
Melbourne, FL 32902  
TEL: (407) 724-7000  
FAX: (407) 724-7240

**EUROPE**  
Intersil SA  
Mercure Center  
100, Rue de la Fusee  
1130 Brussels, Belgium  
TEL: (32) 2.724.2111  
FAX: (32) 2.724.22.05

**ASIA**  
Intersil (Taiwan) Ltd.  
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road  
Taipei, Taiwan  
Republic of China  
TEL: (886) 2 2716 9310  
FAX: (886) 2 2715 3029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 4-455 Intersil และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำโครงการรถไฟฟ้า ต้องขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้แก่

- รศ. ศุภี บรรจงจิตร และ รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการ
- ผศ. ประภาพร ไพรสสุวรรณ ผู้ริเริ่มแนวคิดในการทำโครงการนี้และสนับสนุนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างรถไฟฟ้า
- อาจารย์เชาว์ ชมภูอินไหว ให้คำปรึกษาชี้แนะข้อบกพร่องของโครงการให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา
- อาจารย์ชาย ชมภูอินไหว ที่ให้คำแนะนำในการทดสอบสมรรถนะของรถและให้กำลังใจในการทำงาน
- น้องๆ ปี 3 ได้แก่ น้องจุ๋ม เชื้อ บอย มิก ต้น พี แน็ต นัฐ ต้า โต้ง เค้ก แก๊ก เปรม ที่ช่วยงานอย่างขยันขันแข็ง จนได้รถไฟฟ้าที่สมบูรณ์ออกแสดงในงานลาดกระบังนิทรรศน์
- พี่ต๋องและพี่ชอล นักศึกษาปริญญาโทที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านวงจรควบคุมมอเตอร์

หากมีใ้ละต่างนามผู้ใด ทางผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสด, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Stephen D. Umans, “Electric Machinery”, 5<sup>th</sup> Edition Mc Graw-Hill Book Company, 1992
- [3] พิชิต ถ้ายอง, “Electrical Machine 1”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, “Power Electronics Converters, Applications, and Design” Second Edition, John Wiley & Sons, Inc
- [5] MG Say, E O Taylor, “Direct Current Machines”, Pitman Books Limited, 1982.
- [6] รถไฟฟ้าสนามกอล์ฟ, ปรียญานันพนธ์ปีการศึกษา 2542, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] การปรับปรุงรถไฟฟ้ากระแสตรง, ปรียญานันพนธ์ปีการศึกษา 2538, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คณะผู้จัดทำ

1. นายหัตถพล อุดมอ่าง  
ที่อยู่ : 120/44 หมู่ 10 ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000  
(056) 229049
2. นายอมร วัฒนะกุลบุญเลิศ  
ที่อยู่ : 9 ถ.ตะนาว แขวงบวรนิเวศ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200  
(02) 281-6803
3. นายอรรถวิทย์ บุญพิพัฒน์กุล  
ที่อยู่ : 71/3 หมู่ 4 ต.ช่อแฮ อ.เมือง จ.แพร่ 54000  
(054) 599027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้