

## การควบคุมดีซีมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า

นายชิต เครือพิมาย เลขประจำตัว 421677-9

นายเทพประภัทร ว่องวัฒนอนันต์ เลขประจำตัว 421715-9

รายงานนี้เป็นรายงาน งานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่4 ซึ่งเสนอเป็นส่วนหนึ่งใน  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ.2545

**Project Report No. EE 2002-30**

# **DC Motor Control for Electric Vehicle**

**Mr. Chit Kruapimai ID 421677-9**

**Mr. Theppapat Wongwat-anan ID 421715-9**

**This is the report of fourth year project assignment submitted  
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of  
Bachelor of Engineering.**

**Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering, Khon Kaen University  
2002**

# ใบประเมินผลงานโครงการ

## การควบคุมดีซีมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า DC Motor Control for Electric Vehicle

นายชิต เครือพิมาย เลขประจำตัว 421677-9

นายเทพประภัทร ว่องวัฒน์อนันต์ เลขประจำตัว 421715-9

อาจารย์ที่ปรึกษา

---

(อาจารย์ ดร. กฤษ เฉยไสย)

อาจารย์ผู้ร่วมประเมินผล

---

(อาจารย์ ดร. ชัยภักดิ์ วรรณะสาร)

---

(อาจารย์ ดร. กฤษ เฉยไสย)

อาจารย์ผู้ร่วมประเมินผล

(อาจารย์ ดร. ชัยภักดิ์ วรรณะสาร)

(อาจารย์ ดร. สัมฤทธิ์ หังสะสุตร)

ประเมินผล ณ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กฤษ เฉยไสย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้คำปรึกษา  
แนวทางแก้ไขปัญหา และเสนอแนะข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้ อีกทั้งขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในโครงการนี้ ให้สำเร็จ  
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายชิต เครือพิมาย

นายเทพประภัทร ว่องวัฒน์อนันต์

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างรถจักรยานไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ โดยโครงการนี้ได้ใช้ ดีซีมอเตอร์ ขนาด 24 V เป็นตัวขับเคลื่อนแทนการใช้คนปั่น โดยได้ติดตั้งมอเตอร์ไว้ที่ด้านหลังของผู้ขับขี่จักรยาน ซึ่งที่มอเตอร์ได้ติดเฟืองขนาด 12 ฟัน เข้ากับมอเตอร์ และได้ติดเฟืองขนาด 20 ฟัน เข้ากับล้อหลังของรถจักรยาน และใช้โซ่เป็นตัวส่งกำลังจากเฟืองบนซึ่งติดกับตัวมอเตอร์ ไปยังเฟืองล่างซึ่งติดกับล้อหลังของรถจักรยาน และใช้ IC เบอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับ Duty cycle ได้ตั้งแต่ 1% ถึง 99% เพื่อป้อนให้กับ MOSFET ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว Switching ให้แก่วงจรที่ใช้ในการควบคุมการไหลของกระแสเข้าสู่มอเตอร์ (ถ้า Duty cycle มีค่าน้อย กระแสก็จะไหลได้น้อย มอเตอร์จะหมุนได้ช้า ทำให้ความเร็วมันน้อย แต่ถ้า Duty cycle มีค่ามาก กระแสก็จะไหลได้มาก มอเตอร์จะหมุนได้เร็ว ทำให้ความเร็วมันมากขึ้น) ซึ่งรถจักรยานไฟฟ้านี้ สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็ว ประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผู้ขับขี่มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่ อยู่ที่ประมาณ 30 นาที

## **ABSTRACT**

The objective of this project is, to make the electric bicycle which is able to control the velocity. The DC motor 24[V] has been used to be a mechanical power source instead of human (rider) and installs the DC motor behind the rider. A chain is used to transfer the mechanical power source from 12 teeth gear installed to DC motor to 20 teeth gear installed to the back wheel drive. The controller used is IC555 to make square wave which can change duty cycle from 1% to 99% for feeding into the MOSFET and used the MOSFET to be a switching device to control the current. If the value of duty cycle decreases, the DC motor current and motor speed also decrease. On the other hand, the value of duty cycle increases, the DC motor current and motor speed also increase. The velocity of the electrical bicycle is 10 km/h and the velocity keeps stability, even though the weight of rider changes. The battery works 30 minutes long.

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก

ABSTRACT ข

สารบัญ ค

สารบัญรูป จ

สารบัญตาราง ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ 1

1.3 ขอบข่ายของโครงการ 1

1.4 แนวทางในการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง 3

2.1.1 สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำ 3

2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก 4

2.1.3 กฎแรงดันของเคอร์ซ็อฟฟ์สำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น 4

2.1.4 กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำ 4

2.1.5 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5

2.1.6 สมการแรงบิด 6

2.1.7 สมการของความเร็ว 7

2.1.8 หลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร 7

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 9

2.3 หลักการเบื้องต้นของวงจรสับ 10

2.4 การแปลงผัน DC เป็น DC 14

2.4.1 ขอบเปอร์แปลงแรงดันให้ลดลงโดยมีโพลต์เป็นมอเตอร์ 14

2.4.2 การคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับ Buck Converter 16

2.4.3 ขอบเปอร์แปลงแรงดันให้เพิ่มโดยมีโพลต์เป็นแบตเตอรี่ 17

2.4.4 การคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับ Boost Converter 19

2.5 ไอซีเบอร์ 555 19

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

บทที่ 3 การออกแบบبردจ็กรยานไฟฟ้า	22
3.1 โครงสร้างรถจ็กรยานไฟฟ้า	22
3.2 วงจรที่ใช้ในการควบคุมรถจ็กรยานไฟฟ้า	26
3.2.1 วงจรหลัก	26
3.2.2 วงจรควบคุม	27
3.3 การทดลอง	29
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
3.3.2 วิธีการทดลอง	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 การวัด voltage ของ $V_{GS}$ (ch1)เทียบกับ $V_{DS}$ (ch2)	32
4.2 ผลการทดลองที่ได้จากการวัดความเร็วของรถจ็กรยาน	38
4.3 ระยะเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	42



## สารบัญรูป

### หน้า

- รูปที่ 2.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง 3
- รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสกระตุ้น 5
- รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7
- รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 8
- รูปที่ 2.5 วงจรอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 9
- รูปที่ 2.6 วิธีกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 9
- รูปที่ 2.7 วิธีกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงด้วยค่ากระแสที่ค่อนข้างคงที่ 10
- รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ 11
- รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ (ต่อ) 11
- รูปที่ 2.10 วงจรสับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน 12
- รูปที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไหลเข้าโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ 12
- รูปที่ 2.12 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 13
- รูปที่ 2.13 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ต่อ) 13
- รูปที่ 2.14 วงจร Step down Converter 14
- รูปที่ 2.15 วงจร Step down Converter เมื่อ switch on 14
- รูปที่ 2.16 วงจร Step down Converter เมื่อ switch off 15
- รูปที่ 2.17 ผลการ Simulate วงจร Step down Converter 16
- รูปที่ 2.18 วงจร Step up Converter 17
- รูปที่ 2.19 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch on 17
- รูปที่ 2.20 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch off 18
- รูปที่ 2.21 ผลการ Simulate วงจร Step up Converter 18
- รูปที่ 2.22 วงจร IC เบอร์ 555 19
- รูปที่ 2.23 สัญญาณ Square wave 20
- รูปที่ 3.1 โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า 22
- รูปที่ 3.2 มอเตอร์ที่ปิดฝาฝน (DC มอเตอร์ 24 V) พร้อมชุดทรอดติดกับเฟืองบน 22
- รูปที่ 3.3 เฟืองบนขนาด 12 ฟัน ติดเข้ากับชุดทรอดของมอเตอร์ 23
- รูปที่ 3.4 เฟืองล่างขนาด 20 ฟันยึดติดกับล้อหลังของรถจักรยาน 23
- รูปที่ 3.5 โซ่โซ่เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อหลัง 24
- รูปที่ 3.6 แบตเตอรี่ 12 V 5Ah 2 ลูก ต่ออนุกรมกัน 24

## สารบัญรูป(ต่อ)

### หน้า

- รูปที่ 3.7 กล่องชุด control 25
- รูปที่ 3.8 ความต้านทานแบบสไลด์โดยติดตั้งบริเวณมือจับด้านขวาของรถจักรยาน 25
- รูปที่ 3.9 วงจรหลัก 26
- รูปที่ 3.10 วงจรควบคุม 27
- รูปที่ 3.11 ลายวงจรของวงจรควบคุม 28
- รูปที่ 3.12 ชุดวงจรควบคุม 29
- รูปที่ 3.13 RPM Meter 30
- รูปที่ 3.14 การใช้ RPM Meter ในการวัดความเร็วขณะไม่มีผู้ขับขี่ 30
- รูปที่ 3.15 การวัดความเร็วขณะมีผู้ขับขี่ 31
- รูปที่ 4.1 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 1% 32
- รูปที่ 4.2 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 10% 33
- รูปที่ 4.3 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 20% 33
- รูปที่ 4.4 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 30% 34
- รูปที่ 4.5 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 40% 34
- รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 50% 35
- รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 60% 35
- รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 70% 36
- รูปที่ 4.9 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 80% 36
- รูปที่ 4.10 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 90% 37
- รูปที่ 4.11 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 99% 37
- รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง duty(%) และ speed(km/hr) 38
- รูปที่ ก.1 วงจร Step down Converter ก-2
- รูปที่ ก.2 วงจร Step down Converter เมื่อ switch on ก-2
- รูปที่ ก.3 วงจร Step down Converter เมื่อ switch off ก-2
- รูปที่ ก.4 ผลการ Simulate วงจร Step down Converter ก-6
- รูปที่ ก.5 วงจร Step up Converter ก-7
- รูปที่ ก.6 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch on ก-7
- รูปที่ ก.7 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch off ก-7
- รูปที่ ก.8 ผลการ Simulate วงจร Step up Converter ก-11

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 การวัดความเร็วของรถจักรยาน ที่หน้า และ duty cycle ต่างกัน 38

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ 39

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าในปัจจุบันน้ำมันมีราคาสูงมาก และประเทศไทยเป็นอีกหนึ่งประเทศที่มีการใช้น้ำมันเป็นปริมาณมาก การใช้รถยนต์ รถจักรยานยนต์ มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ถึงแม้จะมีการรณรงค์ให้มีการประหยัดน้ำมันแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร ผลกระทบอีกอย่างหนึ่งก็คือปัญหามลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากยานพาหนะที่เครื่องยนต์เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งบ่อนทำลายสุขภาพของมนุษย์มานาน ทั้งมลพิษทางอากาศ และทางเสียง มาถึงวันนี้เราต้องตระหนักและให้ความสำคัญกับปัญหามลพิษดังกล่าว เพื่อหยุดการปล่อยก๊าซพิษที่ออกมาจากเครื่องยนต์ มีวิธีที่จะช่วยได้คือการเปลี่ยนต้นกำลังยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์มาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าแทน

การใช้จักรยานเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหามลพิษและเป็นการประหยัดน้ำมันได้ แต่ว่าจักรยานในปัจจุบันยังอาศัยแรงจากมนุษย์ในการขับเคลื่อน ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบาย

ดังนั้น จึงได้เกิดแนวคิดที่จะทำรถจักรยานไฟฟ้าขึ้น เพื่อที่จะลดปัญหามลพิษ ลดการใช้น้ำมัน และเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ขับขี่ โดยไม่ต้องอาศัยแรงของผู้ขับขี่ในการเคลื่อนที่ ในขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ผู้ขับขี่ยังสามารถปิดวงจรไฟฟ้าไว้แล้วปั่นจักรยานเองได้ โดยการขับเคลื่อนของจักรยานจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน โดยใช้การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ และสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อสร้างรถจักรยานไฟฟ้าที่ใช้ DC Motor และหาวิธีการควบคุม DC Motor อย่างเหมาะสม
2. ศึกษาการควบคุม Torque ของ DC Motor
3. ศึกษาวิธี Electric Break Control Method (Regenerative Power Control)
4. ศึกษา Low Voltage Inverter technology

### 1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. สร้างรถจักรยานไฟฟ้า

2. สร้างวงจรควบคุม Voltage-Current โดยใช้ Inverter
3. สร้างวงจร Electric Break Control

#### **1.4 แนวทางในการดำเนินงาน**

1. ศึกษาโครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า
2. ศึกษาการใช้ Inverter
3. ศึกษา Low Voltage Inverter Technology
4. ศึกษาและออกแบบวงจร Electric Break
5. สร้างโครงรถจักรยานไฟฟ้า
6. สร้างวงจร Electric Break Control และวงจรการควบคุม Torque
7. ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล

#### **1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

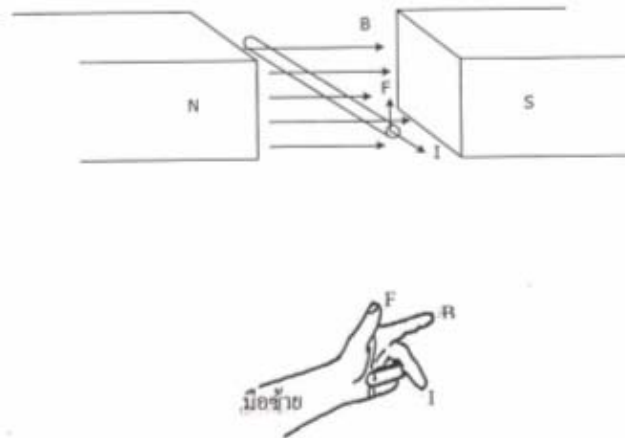
1. ได้เรียนรู้หลักการควบคุม Torque ของ DC Motor
2. ได้เรียนรู้วิธี Electric Break Control Method (Regenerative Power Control)
3. ได้เรียนรู้ Low Voltage Inverter Technology
4. สร้างรถไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

อาศัยหลักการของปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กและขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะเกิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำนั้น แรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน และวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก เราสามารถที่จะหาแรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำได้โดยจะมีทิศทางดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

จากรูปที่ 2.1 จะใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งในการหาทิศทางเคลื่อนที่ของตัวนำได้ดังนี้ โดยการกางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน จะได้ว่านิ้วหัวแม่มือแสดงทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก และนิ้วกลางแสดงทิศทางของการไหลของกระแส และสมการที่ประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

### 2.1.1 สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำ

สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าบนขดลวดตัวนำ มีสมการดังนี้

$$F = i(LxB) \quad \text{นิวตัน}$$

โดย

$F$  = แรงที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ

$B$  = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

$i$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด

$L$  = ความยาวของลวดตัวนำ

### 2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก มีสมการดังนี้

$$e = (vxB)L \quad \text{โวลต์}$$

โดย

$e$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$v$  = ความเร็วของตัวนำที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก

$B$  = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

### 2.1.3 กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น

กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น มีสมการดังนี้

$$V = e + Ri \quad \text{โวลต์}$$

### 2.1.4 กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำ

กฎของนิวตันของการเคลื่อนที่ของตัวนำ มีสมการดังนี้

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

โดย

$m$  = มวลของแท่งตัวนำ

$\frac{dv}{dt}$  = อัตราเร่ง

$bv$  = แรงเสียดทานเนื่องจากความเฉื่อย

และมีสมการที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ซึ่งมีสมการดังนี้

## 2.1.5 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromotive Force Equation)

สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์สามารถหาได้จากกฎของฟาราเดย์ซึ่งมีสมการดังนี้

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

โดย

$e$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าต่อขั้ว

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

$Z$  = จำนวนลวดตัวนำของอาร์เมเจอร์

$N$  = ความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์

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

หรือ

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

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

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

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

ในกรณีการปรับกระแสฟลักซ์อยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้นของกราฟสนามแม่เหล็ก และเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนดังรูปที่ 2.2





## รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสกระตุ้น

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสกระตุ้นสนามแม่เหล็กซึ่งมีสมการดังนี้

$$\begin{aligned}\phi &\propto I_f \\ \phi &= K_f I_f \quad \text{เวเบอร์}\end{aligned}$$

โดย

$$\begin{aligned}K_f &= \text{ค่าคงที่ของขดลวดสนามแม่เหล็ก} \\ I_f &= \text{กระแสไหลผ่านสนามแม่เหล็ก}\end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}e &= K_f \phi \omega_m \quad \text{โวลต์} \\ e &= K_a K_f I_f \omega_m \quad \text{โวลต์}\end{aligned}$$

เมื่อให้

$$K = K_a K_f$$

แล้ว

$$e = K I_f \omega_m \quad \text{โวลต์}$$

โดย

$$\begin{aligned}K &= \text{ค่าคงที่ของมอเตอร์} \\ K_f &= \text{ค่าคงที่ของวงจรรีเฟลด์} \\ K_a &= \text{ค่าคงที่ของวงจรรอาร์เมเจอร์}\end{aligned}$$

### 2.1.6 สมการแรงบิด (Torque Equation)

กำลังกลที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ ได้มาจากการที่อาร์เมเจอร์หมุนด้วยความเร็ว  $\omega_m$  และได้แรงบิด  $T_m$  นั่นคือ  $T_g \cdot \omega_m$  ดังนั้น แรงบิดที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์และแรงบิดที่เกิดขึ้นมานี้เป็นผลมาจากการไหลของกระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$  และแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอาร์เมเจอร์คือ  $e$  และทำให้ได้กำลังกลที่อาร์เมเจอร์คือ  $eI_a$  ดังนั้น

$$P_g = T_g \omega_m \quad \text{วัตต์}$$

$$eI_a = T_g \omega_m$$

$$T_g = \frac{eI_a}{\omega_m} \quad \text{นิวตัน-เมตร}$$

แต่ว่า

$$e = KI_f \omega_m \quad \text{โวลต์}$$

ดังนั้น

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

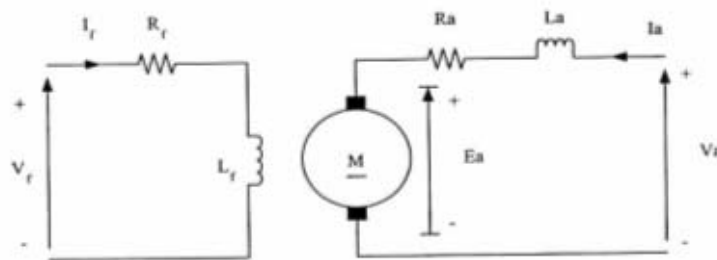
∴ จะได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T_g = KI_f I_a \quad \text{นิวตัน-เมตร}$$

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

### 2.1.7 สมการของความเร็ว

เราสามารถเขียนวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ซึ่งเป็นวงจรที่ง่ายต่อการศึกษาได้ดังนี้



### รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในสภาวะคงตัวของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถที่จะคำนวณหาสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้

$$V_a = E_a + I_a R_a \quad \text{โวลต์}$$

เมื่อ

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

ดังนั้น

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

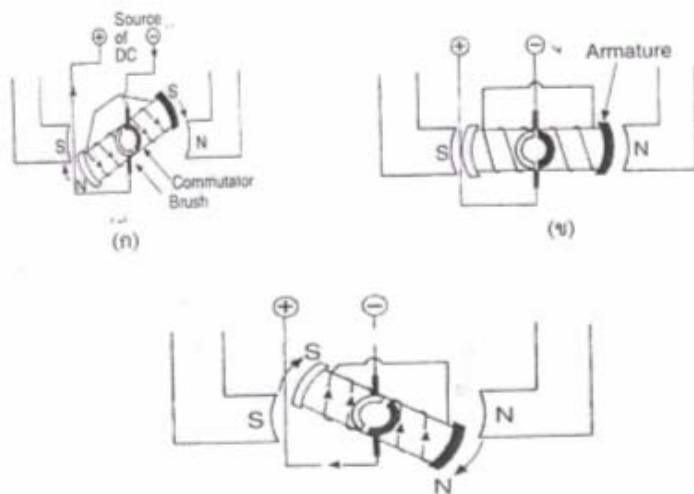
ถ้าการใช้งานในย่านสนามแม่เหล็กเป็นเชิงเส้นจะได้สมการความเร็วเป็น

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

### 2.1.8 หลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

มอเตอร์แม่เหล็กถาวรใช้สนามแม่เหล็กหลักจากแม่เหล็กถาวร และใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสนามทุติยภูมิหรือฟลักซ์อาร์เมเจอร์ รูปแสดงหลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร กระแสไหลจากขดลวดอาร์เมเจอร์จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงจะทำให้อาร์เมเจอร์เป็นแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์จะมีขั้วตรงข้ามกับสนามหลัก ทำให้อาร์เมเจอร์มีการหมุนดังรูป อาร์เมเจอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อขั้วอาร์เมเจอร์อยู่ในแนวเดียวกับสนามหลัก แปรงถ่านจะอยู่ในช่องว่างของคอมมิวเตเตอร์จะไม่มีกระแสไหลผ่านในขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นแรงแม่เหล็กจะเป็นแรงผลักดัน ดังแสดงในรูป ความเฉื่อยจะทำให้อาร์เมเจอร์ผ่านจุดนิวทรัล คอมมิวเตเตอร์จะกลับทิศของกระแสในอาร์เมเจอร์ เมื่อขั้วแม่เหล็กตรงกันข้ามตรงกัน จึงทำให้ขั้วแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์จะกลับขั้วเมื่อเมื่อขั้ว

เหมือนก็  
อาร์เมเจอร์



ลวดอาร์

**รูปที่ 2.4** หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

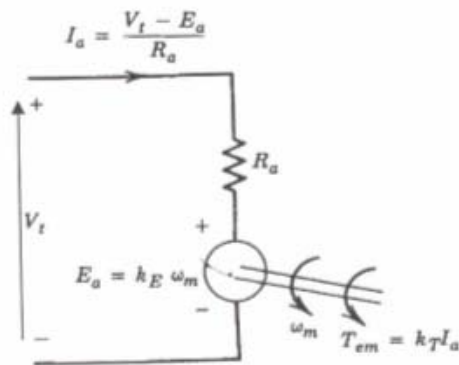
ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ สามารถหาได้จากการไหลของกระแสผ่านอาร์เมเจอร์ การกลับทิศของอาร์เมเจอร์จะทำให้การหมุนกลับทิศ ลักษณะสำคัญของมอเตอร์กระแสตรงคือ สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ อัตราเร็วของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่ให้กับอาร์เมเจอร์ ฉะนั้นถ้าแรงดันอาร์เมเจอร์สูงจะทำให้ได้อัตราเร็วของมอเตอร์สูงด้วย

วงจรรายง่ายของมอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวรแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 มีแม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กหลักซึ่งมีค่าคงที่ จากวงจรจะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} T_m &= k_T I_a && \text{นิวตัน-เมตร} \\ E_a &= k_E \omega_m && \text{โวลต์} \\ V_t &= E_a + R_a I_a && \text{โวลต์} \end{aligned}$$

เมื่อ  $k_T = k_t \phi_f$  และ  $k_E = k_e \phi_f$  จากสมการข้างบนจะได้สมการความเร็วในฟังก์ชันของ  $T_m$  เมื่อกำหนดให้  $V_t$  คงที่

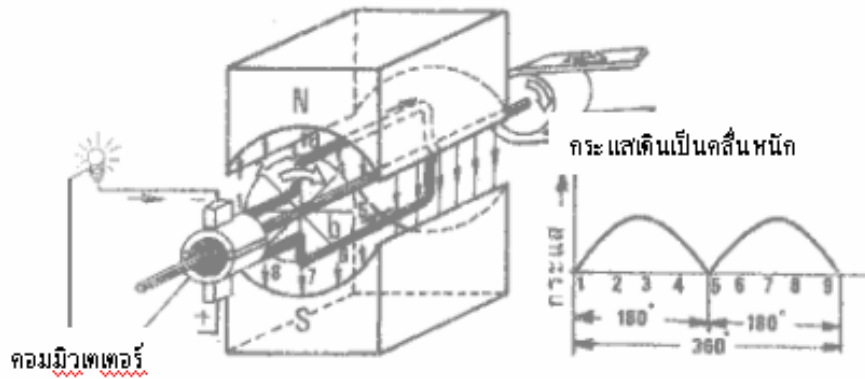
$$\omega_m = \frac{1}{k_E} \left( V_t - \frac{R_a}{k_T} T_{em} \right) \quad \text{เรเดียนต่อวินาที}$$



**รูปที่ 2.5** วงจรรายง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

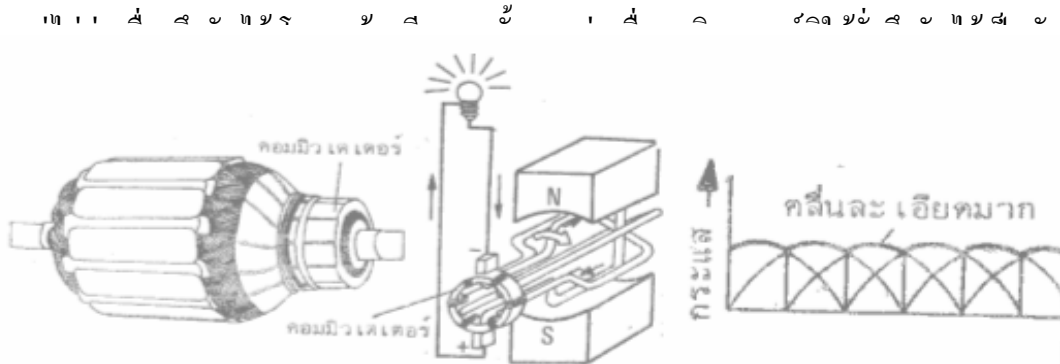
**2.2** เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต้องใช้คอมมิวเตเตอร์ดังที่เห็นง่ายๆในรูปที่ 2.6 คอมมิวเตเตอร์ดังกล่าวแบ่งเป็นครึ่งทรงกระบอกสองครึ่งตามยาวติดตรงเข้ากับลวดตัวนำ ขณะลวดตัวนำหมุนคอมมิวเตเตอร์ก็หมุนตามไปด้วย พร้อมกับ กระแสแล่นออกจากคอมมิวเตเตอร์ไปได้ด้วย มีแปรงถ่านกดไว้ ไฟฟ้าแล่นผ่านแปรงถ่านออกไปสู่วงจรภายนอกได้ทันที ในขณะที่ลวดตัวนำหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กในครึ่งรอบที่หนึ่ง กระแสจะแล่นจากค่าศูนย์สู่ค่าสูงสุด แล้วกลับลงค่าศูนย์ในทิศทางหนึ่ง หากจะให้กระแสในครึ่งรอบที่สองแล่นอยู่ในทิศทางเดียวกับครึ่งรอบแรก คอมมิวเตเตอร์จะต้องหมุนผ่านไปที่อีกข้าง ส่งกระแสผ่านออกที่แปรงถ่านตัวใหม่ที่ข้างนั้น กระแสก็จะสามารถแล่นตามออกไปในทิศเดียวกัน ด้วยค่าที่เปลี่ยนจากศูนย์เป็นค่าสูงสุด แล้วลดเป็นค่าศูนย์เมื่อครบหนึ่งรอบ เป็นเช่นนี้เรื่อยๆไป กระแสที่ได้เป็นกระแสที่ไหลทิศทางเดียวก็จริง แต่จำนวนกระแสมากและน้อยเปลี่ยนแปรลงตลอดเวลาเป็นคลื่นกระแส



รูปที่ 2.6 วิธีกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

โดยปกติชุดลวดตัวนำต้องมีหลายชุด ให้หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กติดต่อกันไป และใช้คอมมิวเตเตอร์หลายๆชุดติดต่อกัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันเป็นคลื่นที่เล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ให้สังเกตว่าบนพุ่มอาร์เมเจอร์ จะมีคอมมิวเตเตอร์เป็นชิ้นบรอนซ์ทองแดงวางอยู่ติดๆกัน



## รูปที่ 2.7 วิธีกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงด้วยค่ากระแสที่ค่อนข้างคงที่

### 2.3 หลักการเบื้องต้นของวงจรสับ (chopper)

หลักการเบื้องต้นของวงจรสับสามารถพิจารณาจากวงจรพื้นฐาน ดังแสดงในรูป 2.8 ในวงจรประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สวิตช์และโหลดเป็นตัวความต้านทาน วงจรที่ใช้งานจริงๆ จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่แทนสวิตช์

เมื่อเปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย เมื่อปิดสวิตช์ แรงดันที่โหลดจะตกสู่ศูนย์ แรงดันเฉลี่ยที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเปิด-ปิดสวิตช์ จึงเรียกวิธีนี้ว่าชอปเปอร์

ถ้าช่วงเวลาที่สวิตช์เปิด-ปิด เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันก็จะทำให้แรงดันที่โหลด ( $V_0$ ) และกระแสที่โหลดเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าแรงดันเฉลี่ย (average voltage) จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายดังนี้

$$V_0(\text{ave}) = \frac{V_s T_{\text{on}}}{T} = \frac{V_s T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}}$$

โดย

$$T_{\text{on}} = \text{ระยะเวลาที่สวิตช์ปิด}$$

$$T_{\text{off}} = \text{ระยะเวลาที่สวิตช์เปิด}$$

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

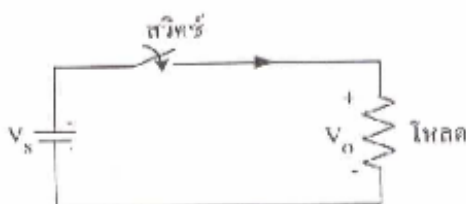
ลักษณะการเปิด-ปิดสวิตช์ในวงจรสับขั้นพื้นฐานในรูปสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะคือ

1.  $T_{\text{on}}$  เปลี่ยนแปลง และ  $T_{\text{off}}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  คงที่ เรียกการทำงานลักษณะนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (Pulse width modulation) รูปร่างของแรงดันเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ข) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{\text{on}}$  น้อยลง

2.  $T_{\text{on}}$  คงที่ และ  $T_{\text{off}}$  เปลี่ยนแปลง แต่  $T$  เปลี่ยนแปลง เรียกการทำงานลักษณะเช่นนี้ว่า วิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency modulation) ดังแสดงรูปร่างของเอาต์พุตดังรูปที่ 2.9(ค) แรงดันที่โหลดจะลดลงเมื่อ  $T_{\text{off}}$  มากขึ้น

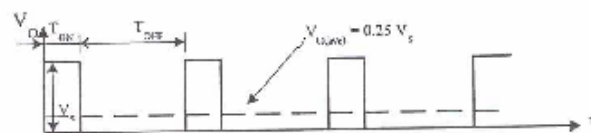
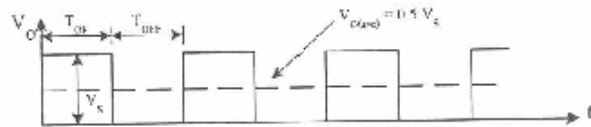
3. เป็นลักษณะการทำงานของการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ และการเปลี่ยนแปลงความถี่ ถ้าวจรสับมีโหลดเป็นตัวต้านทาน กระแสที่ไหลเข้าโหลดจะมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับ

แรงดันที่โหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แต่ถ้าโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำกระแสที่ไหลเข้าโหลดจะไหล

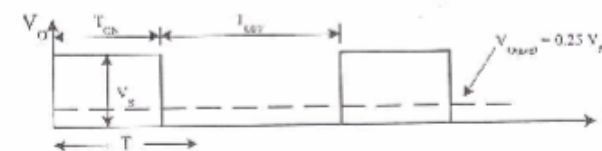
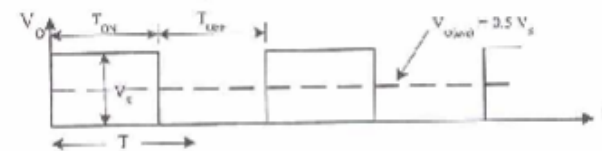
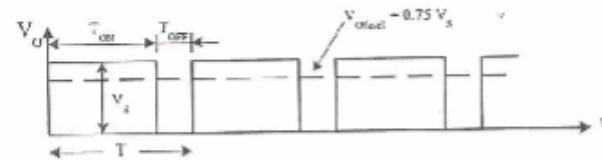


อย่างต่อเนื่องโดยไดโอด ดังแสดงในรูป 2.10

รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ



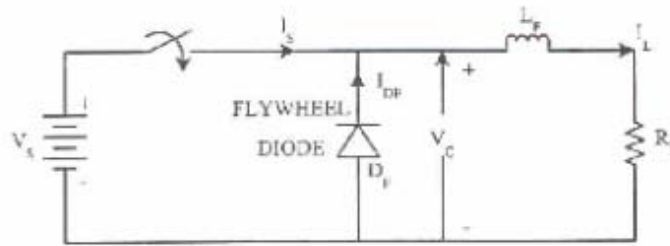
(ข) เปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์



(ก) เปลี่ยนแปลงความถี่

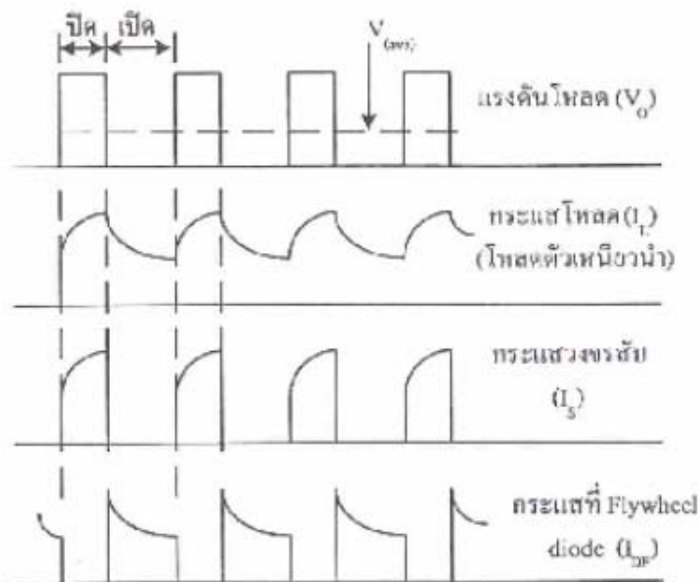
รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของวงจรสับ

ในรูปที่ 2.10 เป็นวงจรสับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ ( $L_F$ ) และมี Flywheel-diode ( $D_F$ ) เมื่อสวิตช์  $S_1$  ON กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายเข้าโหลด โดยกระแสจะค่อยๆเพิ่ม เมื่อสวิตช์  $S_1$  OFF กระแสจะไหล ผ่านไดโอดและจะเกิดแรงดันที่โหลดในทิศทางตรงข้าม ( $V\alpha-di$ ) ทำให้ไดโอด  $D_F$  ได้รับ forward bias นำกระแสจากโหลด ดังที่แสดงการไหลของกระแสในรูปที่ 2.11



(ก) โหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.10 วงจรสับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน



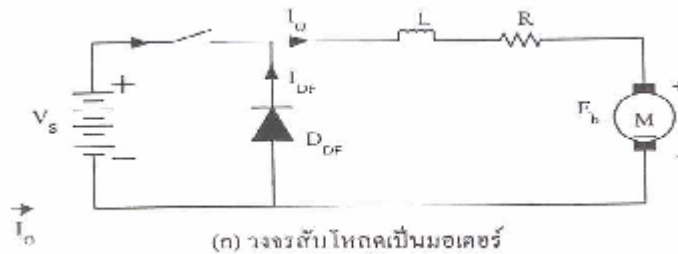
(ข) แรงดันไฟที่แต่ละกระแสที่ไหล



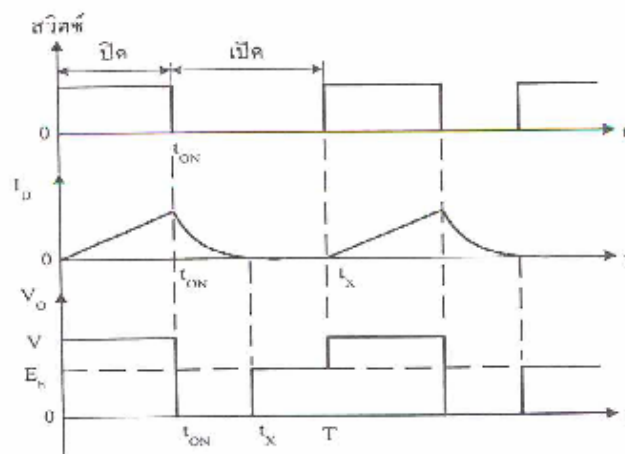
**รูปที่ 2.11** แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไหลเข้าไหลออกที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ

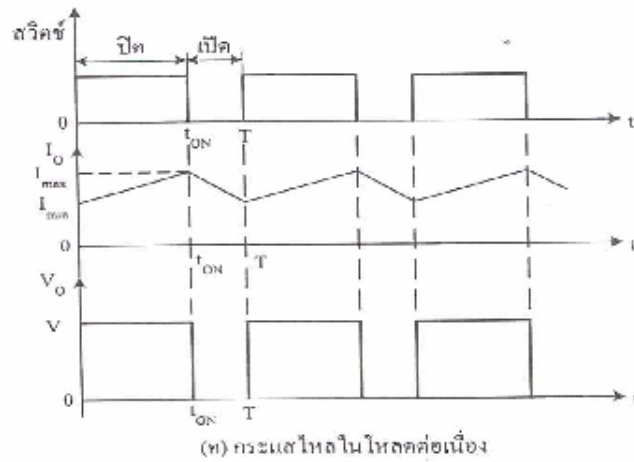
วงจรสับใช้ในการช่วยลดกระแสในการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้แทนการเริ่มเดินเครื่องโดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์มเจอร์ เป็นการลดแรงดันไฟฟ้าและกระแสในช่วงเริ่มเดินเครื่อง วงจรสับยังเป็นวงจรถ่ายไฟที่ใช้ในการปรับและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ และยังสามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถควบคุมให้มีแรงดันคงที่ได้ หรือควบคุมกระแสเข้าไหลออกให้คงที่ได้

วงจรสับที่มีไหลเป็นมอเตอร์กระแสตรงแสดงในรูปที่ 2.12 ในรูปที่ 2.13 (ข) เป็นลักษณะที่กระแสไหลในไหลไม่ต่อเนื่อง ในรูปที่ 2.13 (ค) กระแสไหลในไหลอย่างต่อเนื่อง



**รูปที่ 2.12** วงจรสับที่มีไหลเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



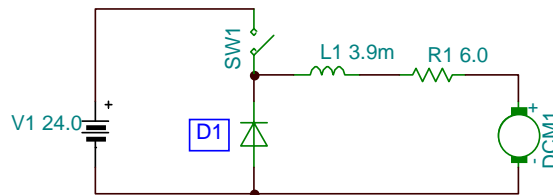


รูปที่ 2.13 วงจรสับที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ต่อ)

## 2.4 การแปลงผัน DC เป็น DC (DC - DC Converter)

### 2.4.1 ขอบเปอร์แปลงแรงดันให้ลดลงโดยมีโหลดเป็นมอเตอร์

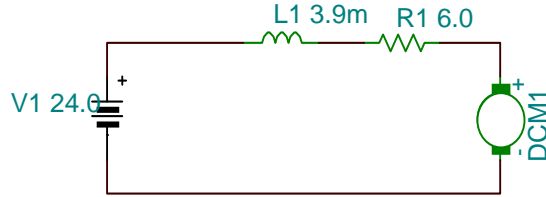
วงจรพื้นฐานของขอบเปอร์แปลงแรงดัน dc ให้ต่ำลง (แปลงแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต) โดยมีโหลดเป็น motor มีลักษณะดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจร Step down Converter

การทำงานของชอปเปอร์ประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 โหมด

1. ขณะสวิตช์เปิด (on) กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลด



รูปที่ 2.15 วงจร Step down Converter เมื่อ switch on

เมื่อคิดช่วง switch ON จะได้สมการ

$$V_{in} = L \frac{di_L}{dt} + V_R$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int (V_{in} - V_R) dt$$

$$V_R = i_L * R$$

$$V_L = V_{in} - V_R$$

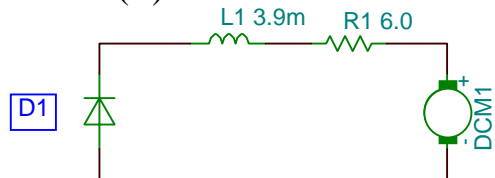
$$V_o = V_L + V_R$$

Diode

$$V_d = V_{in}$$

$$I_d = 0$$

2. ขณะสวิตช์ปิด (off) ค่า  $V_s = 0$  และ ไดโอด ( $D_1$ ) ได้รับไบอัสตรง ดังนั้นกระแสที่โหลด  $L$  จะไหลผ่าน  $D_1$  ไปยังโหลด ( $R$ ) อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสวิตช์เปิดอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น จึงทำให้กระแสที่โหลดมีความต่อเนื่อง [กรณีถ้าอินดักเตนซ์ของโหลด ( $L$ ) มีปริมาณมาก ก็จะทำให้กระแสที่โหลดไหลอย่างต่อเนื่องได้เช่นกัน]



รูปที่ 2.16 วงจร Step down Converter เมื่อ switch off

เมื่อคิดช่วง switch OFF จะได้สมการ

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_R$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int (-V_R) dt$$

$$V_R = i_L * R$$

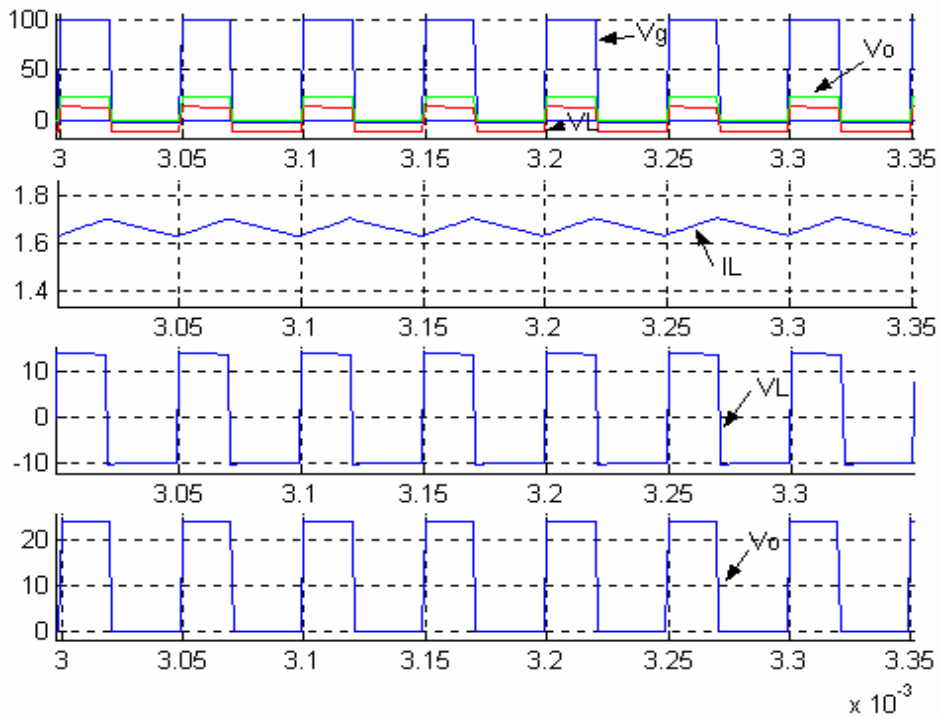
$$V_L = V_d - V_R$$

$$V_o = V_L + V_R$$

Diode

If  $i_L > 0$   
 $i_L = i_L$   
 $V_d = 0$

Else  
 $i_L = 0$   
 $V_d = V_o$



รูปที่ 2.17 ผลการ Simulate วงจร Step down Converter

## 2.4.2 การคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับ Buck Converter

กำหนดให้  $T_s = t_{on} + t_{off}$

แรงดันคร่อม  $L = 0$

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0$$

จะได้

$$(V_{in} - V_o) * t_{on} = V_o * (T_s - t_{on})$$

จัดรูปสมการได้เป็น

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t_{on}}{T_s} = \text{duty}$$

เมื่อคิดจาก Power

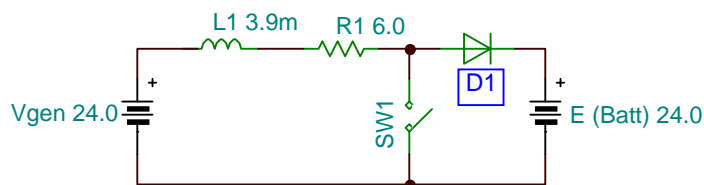
$$\begin{aligned} P_{in} &= P_o \\ V_{in} * i_{in} &= V_o * i_o \end{aligned}$$

จะได้

$$\frac{i_o}{i_{in}} = \frac{V_{in}}{V_o} = \frac{1}{\text{duty}}$$

## 2.4.3 ขอบเปอร์แปลงแรงดันให้เพิ่มโดยมีโหลดเป็นแบตเตอรี่

วงจรขอบเปอร์พื้นฐานที่ใช้ในการแปลงแรงดัน dc ให้สูงขึ้น (แปลงแรงดันเอาต์พุตให้มีความสูงกว่าแรงดันอินพุต) มีลักษณะดังรูปที่ 2.18

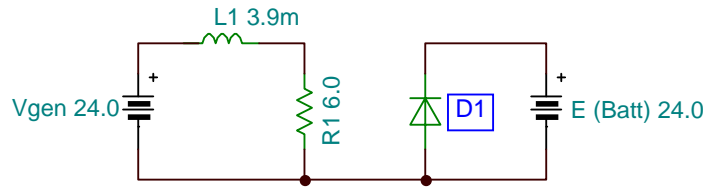


รูปที่ 2.18 วงจร Step up Converter

เมื่อสวิตช์ SW1 เปิดเป็นเวลา  $t_1$  กระแสที่อินดักเตอร์จะเพิ่มขึ้นและเก็บพลังงานไว้ในตัวอินดักเตอร์ถ้า สวิตช์ปิดเป็นเวลา  $t_2$  พลังงานที่เก็บในอินดักเตอร์จะถ่ายโอนผ่านไดโอด  $D_1$  ไปยังโหลด จากนั้นกระแสที่อินดักเตอร์จึงค่อยๆ ลดลง

การทำงานของขอบเปอร์ประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 โหมด

1. เมื่อคิดช่วง switch ON จะได้รูปเป็นดังนี้



รูปที่ 2.19 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch on  
เมื่อคิดช่วง switch ON จะได้สมการ

$$i_L = \frac{1}{L} \int (V_{gen} - V_R) dt$$

$$V_R = i_L * R$$

$$V_L = V_{gen} - V_R$$

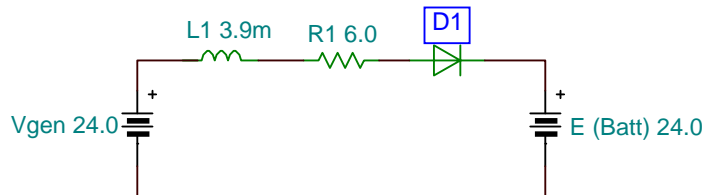
$$V_o = E$$

Diode

$$V_d = - V_o$$

$$I_d = 0$$

2. เมื่อคิดช่วง switch OFF จะได้รูปเป็นดังนี้



รูปที่ 2.20 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch off  
เมื่อคิดช่วง switch OFF จะได้สมการ

$$i_L = \frac{1}{L} \int (V_{gen} - V_R - E) dt$$

$$V_R = i_L * R$$

$$V_o = E$$

Diode

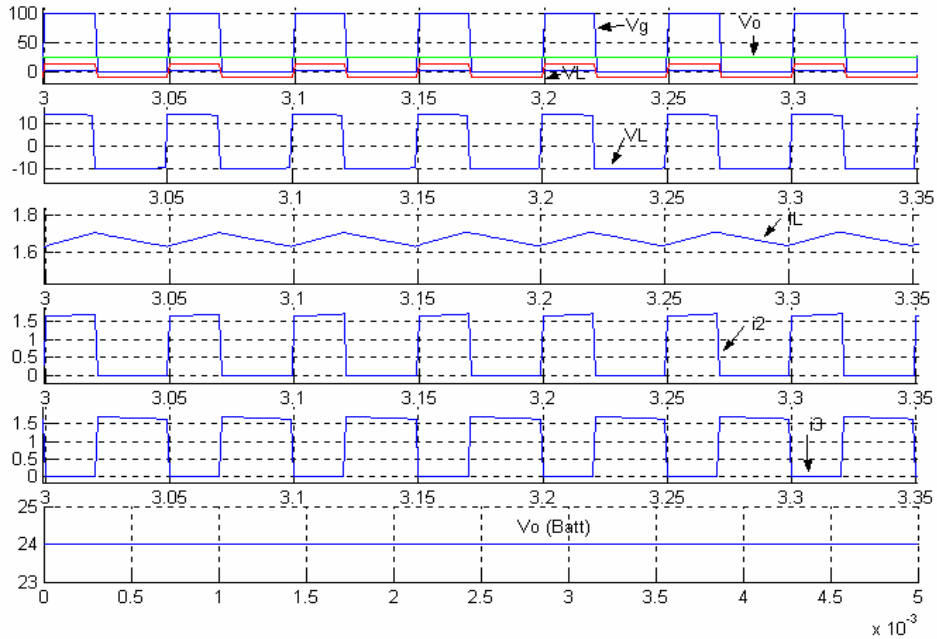
If  $i_L > 0$

$$i_L = i_L$$

$$V_d = 0$$

Else

$$i_L = 0 \quad V_d = V_{gen} - E$$



รูปที่ 2.21 ผลการ Simulate วงจร Step up Converter

### 2.4.4 การคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับ Boost Converter

กำหนดให้  $T_s = t_{on} + t_{off}$

แรงดันคร่อม  $L = 0$

$$V_{in} * t_{on} + (V_{in} - V_o) * t_{off} = 0$$

นำ  $T_s$  ทหารตลอดจะได้  $V_{in} * \frac{(t_{on} + t_{off})}{T_s} = V_o * \frac{t_{off}}{T_s}$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1 - \text{duty}}$$

เมื่อคิดจาก Power

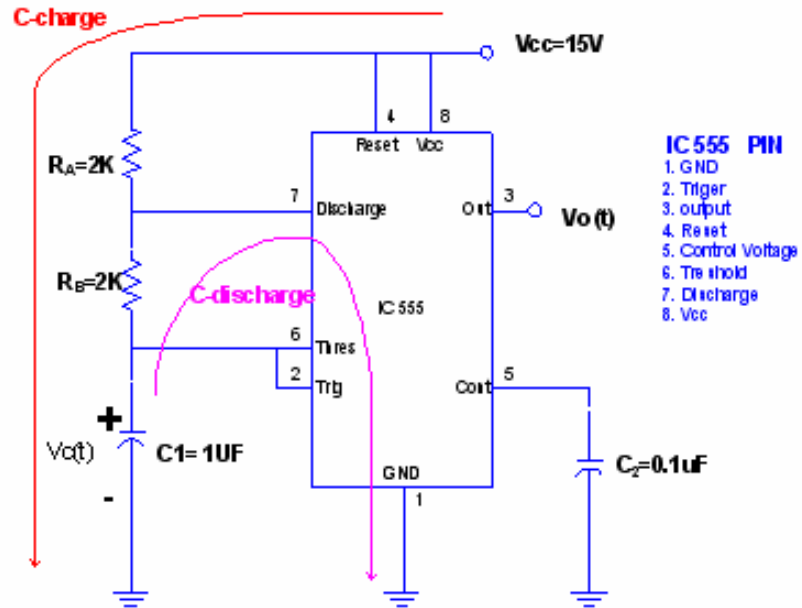
$P_{in} = P_o$

$$V_{in} * i_{in} = V_o * i_o$$

$$\frac{i_o}{i_{in}} = \frac{V_{in}}{V_o} = 1 - \text{duty}$$

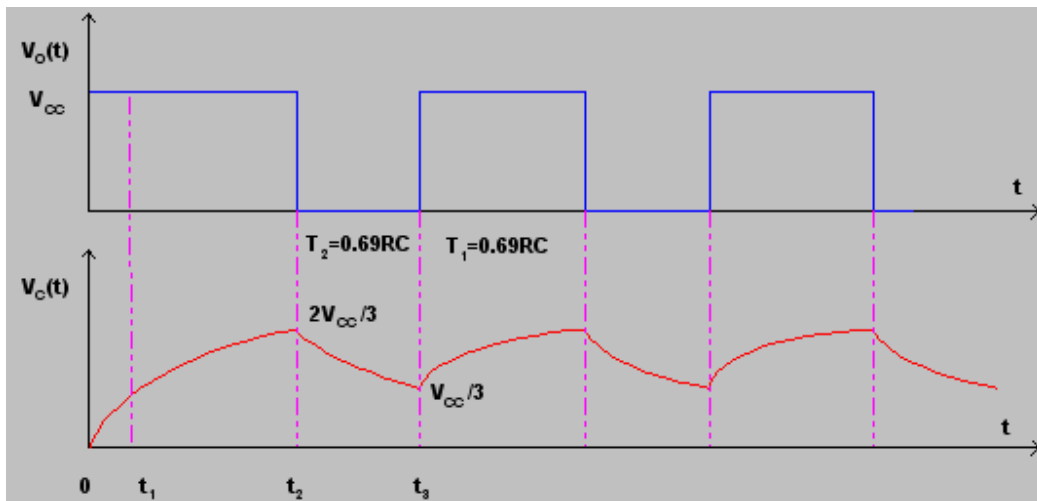
## 2.5 ไอซีเบอร์ 555 (Timer IC)

ในที่นี้จะใช้ไอซีเบอร์ 555 ในรูปของ วงจร Astable Multivibrator ซึ่งเป็นวงจรสร้าง Square wave ตามความถี่ที่ต้องการ



รูปที่ 2.22 วงจร IC เบอร์ 555

รูปที่ 2.23 สัญญาณ Square wave





รูปที่ 2.23 สัญญาณ Square wave

หลักการการทำงานของวงจรคือ C จะทำการ Charge ผ่าน  $R_A$ ,  $R_B$  และ Discharge ผ่าน  $R_B$  Transistor  $Q_1$  ลง Ground C จะทำการ Charge และ Discharge ระหว่าง  $V_{CC}/3$  ถึง  $2V_{CC}/3$  จะทำให้เกิดเอาต์พุตเป็น Square wave ช่วง C Charge ทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก “1” ช่วง C Discharge ทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก “0”

การวิเคราะห์เวลาในการ Charge C และ Discharge C เวลาในการ Charge C จาก 0 ถึง  $V_{CC}/3$  ใช้เวลา  $t_1$

$$V_C(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{V_{CC}}{3} = V_{CC}(1 - e^{-t_1/RC})$$

$$-\frac{t_1}{RC} = \ln \frac{2}{3} = -0.405$$

$$t_1 = 0.405RC \dots\dots\dots(2)$$

เวลาในการ Charge C จาก 0 ถึง  $2V_{CC}/3$  ใช้เวลา  $t_2$

$$V_C(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{2V_{CC}}{3} = V_{CC}(1 - e^{-t_2/RC})$$

$$-\frac{t_2}{RC} = \ln \frac{1}{3} = -1.098$$

$$t_2 = 1.098RC \dots\dots\dots(3)$$

$$T_1 = t_2 - t_1 = (1.098 - 0.405)RC$$

$$T_1 = 0.693RC$$

แต่  $R = R_A + R_B$

$$T_1 = 0.693(R_A + R_B)C \dots\dots\dots(4)$$

เวลาในการ Discharge C จาก  $2V_{CC}/3$  ถึง  $V_{CC}/3$  ใช้เวลา  $T_2$

$$V_C(t) = V(e^{-t/RC}) \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{V_{CC}}{3} = \frac{2V_{CC}}{3}(1 - e^{-T_2/RC})$$

$$T_2 = (RC) \ln \frac{1}{3} = 0.69(RC)$$

$$T_2 = 0.69(RC)$$

แต่  $R = R_B$

$$T_2 = 0.69(R_B)C \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 0.69(R_A + 2R_B)C$$

ความถี่ของ Square wave

$$f = \frac{1}{0.69(R_A + 2R_B)C} \quad \dots\dots\dots(7)$$

## การออกแบบรถจักรยานไฟฟ้า

### 3.1 โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า

โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า ได้ทำการดัดแปลงโครงรถจักรยาน โดยนำมอเตอร์ปัดน้ำฝน ( DC Motor 24 V ) พร้อมกับชุดทดรอบ มาติดตั้งไว้บริเวณ ด้านหลังของรถจักรยาน ซึ่งได้ใช้เหล็กแผ่นเป็นตัวยึดระหว่างมอเตอร์ กับโครงรถจักรยาน ทำให้สามารถถอดมอเตอร์ เข้า-ออกได้ และได้นำเฟืองบนมาติดเข้ากับชุดทดรอบของมอเตอร์ ( เฟืองบนมีขนาด 14 ฟัน ) ส่วนเฟืองล่าง ใช้เฟืองขนาด 20 ฟันยึดติดกับล้อหลัง ของรถจักรยาน และใช้โซ่เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อหลัง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ที่ปิดน้ำฝน (DC Motor 24 V) พร้อมชุดทดรอบติดกับเฟืองบน



รูปที่ 3.3 เฟืองบนขนาด 12 ฟัน ติดเข้ากับชุดทดรอบของมอเตอร์



รูปที่ 3.4 เฟืองล่างขนาด 20 ฟันยึดติดกับล้อหลังของรถจักรยาน



รูปที่ 3.5 โช้ทำหน้าที่เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อหลัง

ส่วนแบตเตอรี่ ใช้แบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ ขนาด 12 V 5 Ah 2 ลูก ต่ออนุกรมกัน แล้นำไปติดตั้งบริเวณตรงกลางตัวถัง รถจักรยาน และกล่องชุดcontrol จะติดบริเวณเหนือแบตเตอรี่ สายไฟที่ใช้ในวงจรหลัก มีขนาด 4<sup>#</sup>



รูปที่ 3.6 แบตเตอรี่ 12 V 5 Ah 2 ลูก ต่ออนุกรมกัน



รูปที่ 3.7 กล่องชุด control

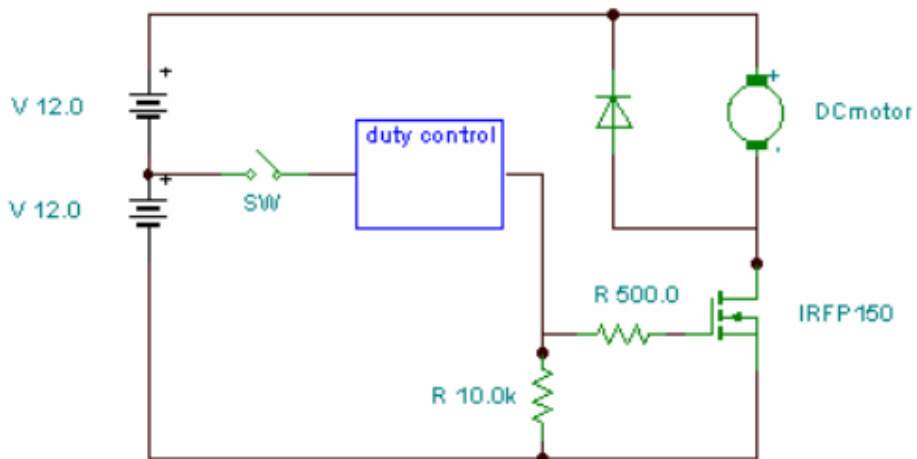
ตัวปรับความเร็วใช้ความต้านทานแบบสไลด์โดยติดตั้งบริเวณมือจับด้านขวาของรถจักรยานยนต์ต่อสายมาจากกล่องชุดควบคุม



รูปที่ 3.8 ความต้านทานปรับค่าได้แบบสไลด์โดยติดตั้งบริเวณมือจับด้านขวาของรถจักรยาน

### 3.2 วงจรที่ใช้ในการควบคุมรถจักรยานไฟฟ้า

#### 3.2.1 วงจรหลัก (Main circuit)

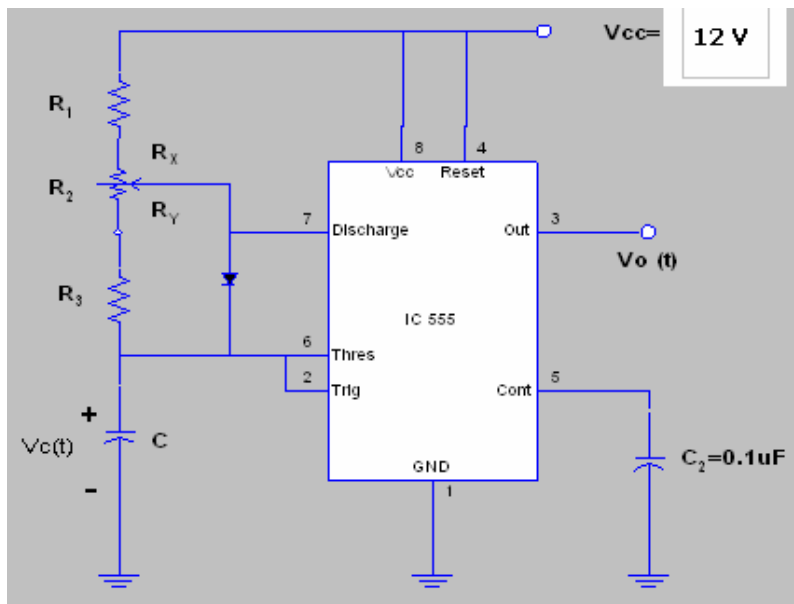


รูปที่ 3.9 วงจรหลัก (Main circuit)

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่า MOSFET ซึ่งทำงานเป็นตัว switching เปิด-ปิด กระแสให้แก่มอเตอร์ เมื่อใช้วงจรปรับ duty cycle โยงเข้าสู่ขา gate ของ MOSFET เมื่อวงจรปรับ duty cycle ทำงาน ( $V=12$  volt) ขา gate ของ MOSFET ก็จะทำงานด้วย ในที่นี้ MOSFET จะทำการปิดวงจรลง ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่งเมื่อมอเตอร์ทำงานแล้ว โวลต์เตจทั้งหมดจะไปตกคร่อมตัวมอเตอร์ และเมื่อวงจร duty cycle ไม่ทำงาน ( $V=0$  volt) MOSFET ก็จะไม่ทำงานด้วย จึงเป็นการเปิดวงจร ทำให้โวลต์เตจทั้งหมด ตกคร่อมที่ตัว MOSFET ดังนั้น  $V_{DS}$  จึงมีลักษณะตรงข้ามกับโวลต์เตจของวงจร duty control ส่วน diode มีหน้าที่ทำให้มอเตอร์ทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ค่าความต้านทาน 500 โอห์ม มีไว้เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านในตัว IC และค่าความต้านทาน 10k โอห์ม มีไว้เสมือนการต่อลง ground ของวงจร เพื่อป้องกันการผิดพลาด

### 3.2.2 วงจรควบคุม (Duty Control)

เป็นการออกแบบวงจร Astable Multivibrator ให้ได้ความถี่ 50Hz และสามารถปรับ Duty cycle ได้ตั้งแต่ 1% ถึง 99%





### รูปที่ 3.10 วงจรควบคุม (Duty control)

จากรูปที่ 3.10 จะได้สมการ

$$T_1 = 0.69(R_1 + R_X)C \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_2 = 0.69(R_3 + R_Y)C \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$T = T_1 + T_2 = 0.69(R_1 + R_2 + R_3)C \quad \dots\dots\dots(3)$$

ต้องการผลิตความถี่  $f = 50\text{Hz}$

$$T = 20\text{mSec} = 0.69(R_1 + R_2 + R_3)C$$

ดังนั้น

$$0.69(R_1 + R_2 + R_3) = \frac{20 \times 10^{-3}}{C} \quad \dots\dots\dots(4)$$

เลือก  $C = 0.27 \mu\text{F}$

$$(R_1 + R_2 + R_3) = 107.35\text{K } \Omega$$

จากสมการ (1) เมื่อปรับค่า  $R_2$  ให้  $R_X = 0$

$$T_1 = 1\% \text{ Duty cycle} = 0.01(20) \text{ mSec}$$

$$0.2\text{mSec} = 0.69(R_1)C \quad \dots\dots\dots(5)$$

จากสมการ (2) เมื่อปรับค่า  $R_2$  ให้  $R_X = R_2$

$$T_1 = 99\% \text{ Duty cycle} = 0.99(20) \text{ mSec}$$

$$19.8\text{mSec} = 0.69(R_1 + R_2)C \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{สมการ } \frac{(6)}{(5)} = 99 = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$99R_1 = R_1 + R_2$$

เลือก  $R_2$  (ความต้านทานปรับค่าได้) = 100 K  $\Omega$

$$R_1 = 1 \text{ K } \Omega$$

จากสมการ (5)

$$C = \frac{0.01(20\text{mS})}{0.69 \times 1\text{k}} = 0.27\mu\text{F}$$

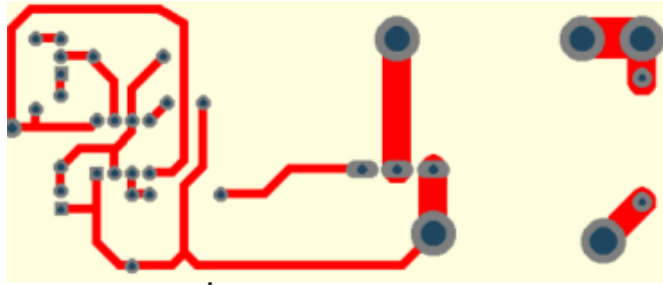
เลือก  $C = 0.27 \mu\text{F}$

$$\text{จากสมการ (4)} \quad (R_1 + R_2 + R_3) = \frac{1 \times 10^{-3}}{C}$$

$$R_3 = 6 \text{ K } \Omega$$

เมื่อเราได้ค่า  $R_1=1\text{K } \Omega$   $R_2=100\text{K } \Omega$   $R_3=6\text{K } \Omega$   $C=0.27 \mu\text{F}$  แล้วหลังจากนั้นจึง

นำไปลงบนแผ่นวงจร โดยใช้โปรแกรม Potel ในการออกแบบ จะได้ลายวงจร ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลายวงจรของวงจรควบคุม

และเมื่อได้ลายวงจรออกมาแล้ว จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ต่างๆ มาเชื่อมต่อลงบนลายวงจรดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ชุดวงจรควบคุม

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. oscilloscope
2. เครื่องวัดความเร็วรอบ
3. นาฬิกาสำหรับจับเวลา
4. ตลับเมตร

#### 3.3.2 วิธีการทดลอง

1. ทำการป้อนไฟ DC 12 V ให้กับชุดควบคุม และป้อนไฟ DC 24 V ให้กับมอเตอร์แล้ว วัด voltage ของ  $V_{GS}$  (ch1) เทียบกับ  $V_{DS}$  (ch2) ในกรณีที่ไม่มีผู้ขับขี่ (no load) โดยปรับค่าของ duty ตั้งแต่ค่าต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด แล้วทำการบันทึกภาพ

2. วัดความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีผู้ขับขี่ และในกรณีที่มีผู้ขับขี่ เปรียบเทียบค่ากันโดยมีการปรับค่า duty cycle ตั้งแต่ 1% ถึง 99% ซึ่งการวัดในกรณีที่ไม่มีผู้ขับขี่นั้นจะใช้ RPM meter ในการวัดความเร็วรอบของล้อ และในกรณีที่มีผู้ขับขี่ จะใช้ระยะทาง 50 เมตรในการจับเวลาเพื่อหาความเร็ว

3. วัดระยะเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่ทั้งสองสภาวะ



รูปที่ 3.13 RPM Meter



รูปที่ 3.14 การใช้ RPM Meter ในการวัดความเร็วขณะไม่มีผู้ขับขี่



รูปที่ 3.15 การวัดความเร็วขณะมีผู้ขับขี่

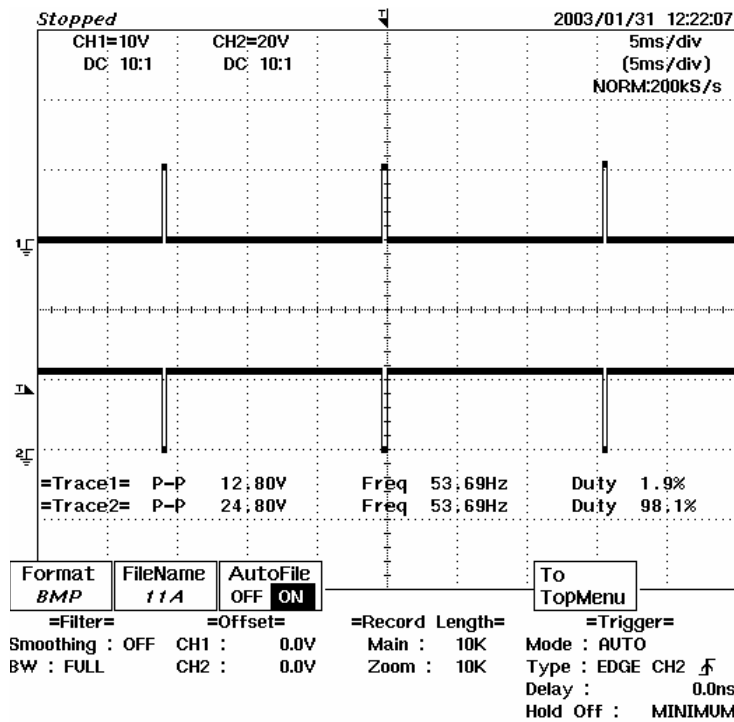
## บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

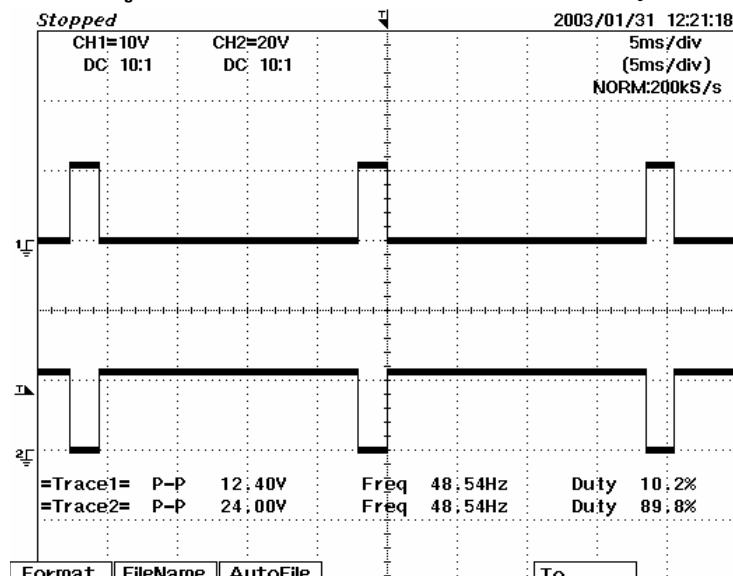
เมื่อทำการทดลองดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ผลการทดลองดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 การวัด voltage ของ $V_{GS}$ (ch1)เทียบกับ $V_{DS}$ (ch2)

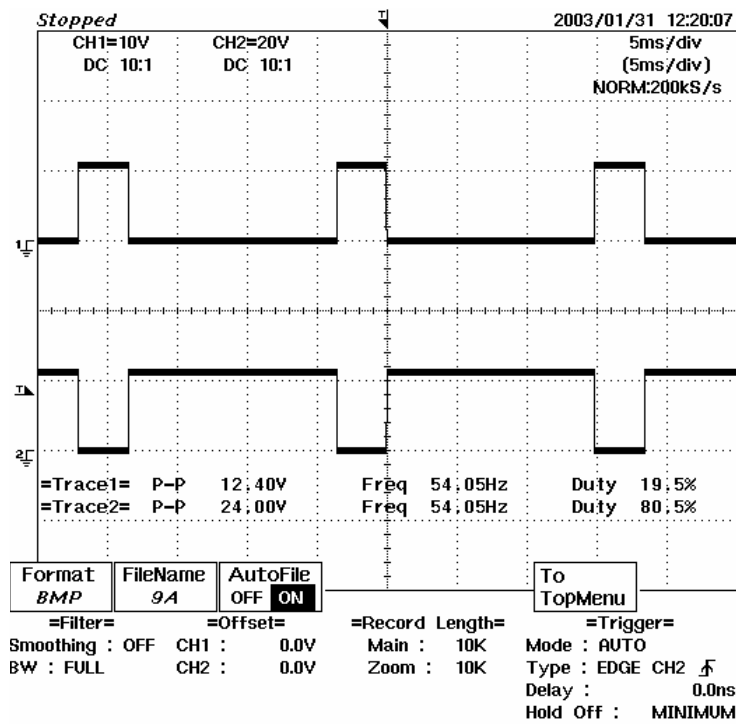
MOSFET ซึ่งทำงานเป็นตัว switching เปิด-ปิด กระแสให้แก่มอเตอร์ เมื่อใช้วงจรปรับ duty cycle โยงเข้าสู่ขา gate ของ MOSFET เมื่อวงจรปรับ duty cycle ทำงาน ( $V=12$  volt) ขา gate ของ MOSFET ก็จะทำงานด้วย ในที่นี้ MOSFET จะทำการปิดวงจรลง ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่งเมื่อมอเตอร์ทำงานแล้ว โวลต์เตจทั้งหมดจะไปตกคร่อมตัวมอเตอร์ และเมื่อวงจร duty cycle ไม่ทำงาน ( $V=0$  volt) MOSFET ก็จะไม่ทำงานด้วย จึงเป็นการเปิดวงจร ทำให้โวลต์เตจทั้งหมดตกคร่อมที่ตัว MOSFET ดังนั้น  $V_{DS}$  จึงมีลักษณะตรงข้ามกับโวลต์เตจของวงจร ดังผลการทดลอง



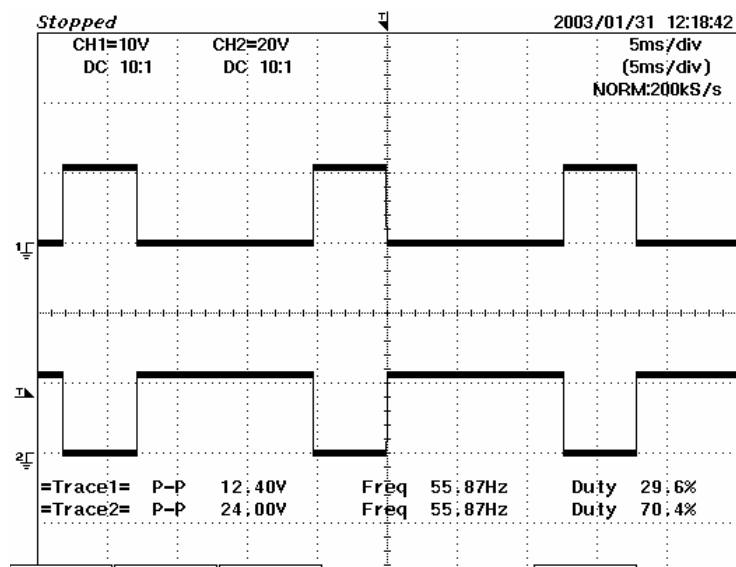
รูปที่ 4.1 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 1%



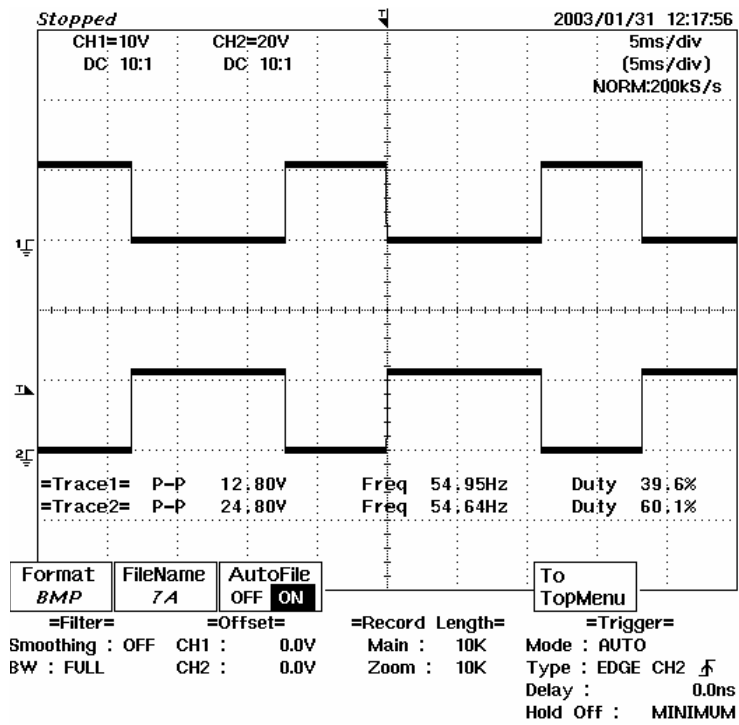
รูปที่ 4.2 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 10%



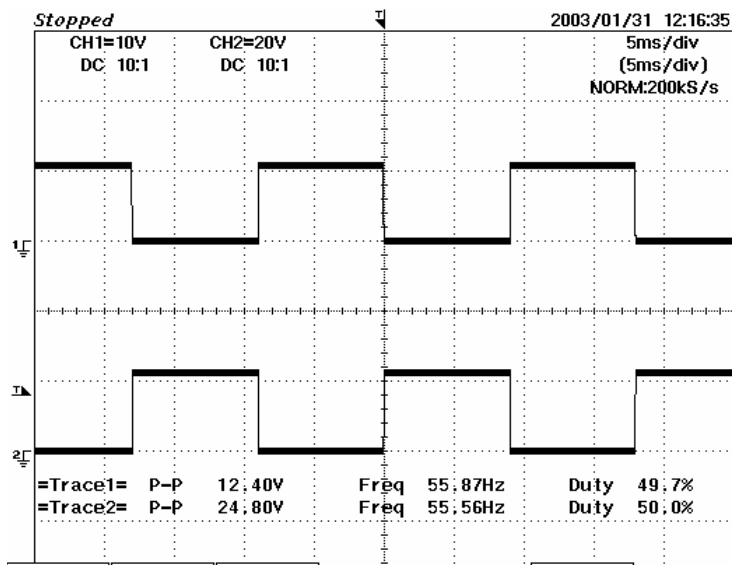
รูปที่ 4.3 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 20%



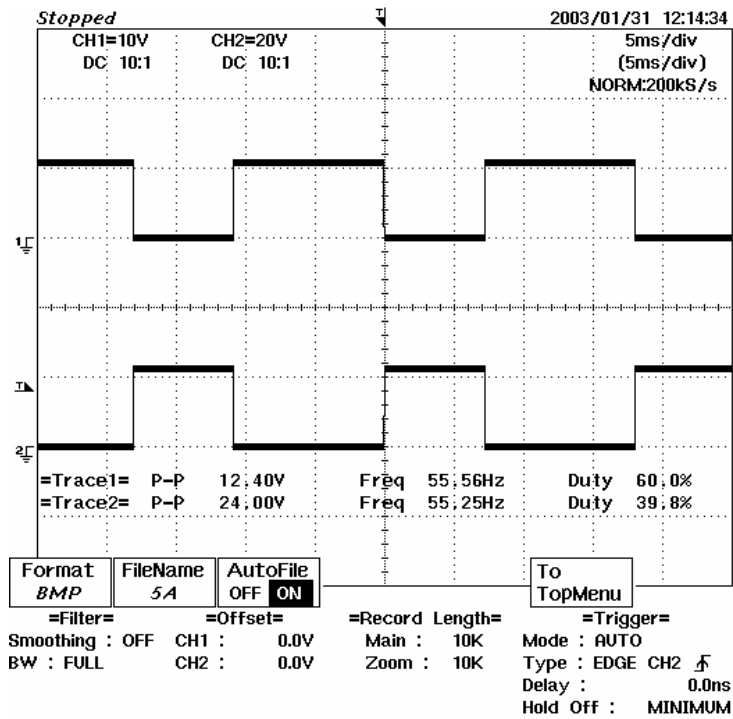
รูปที่ 4.4 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 30%



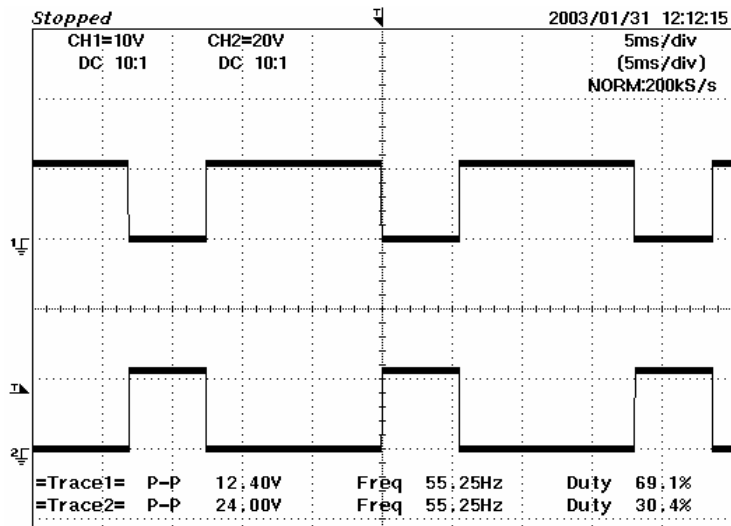
รูปที่ 4.5 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 40%



รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 50%

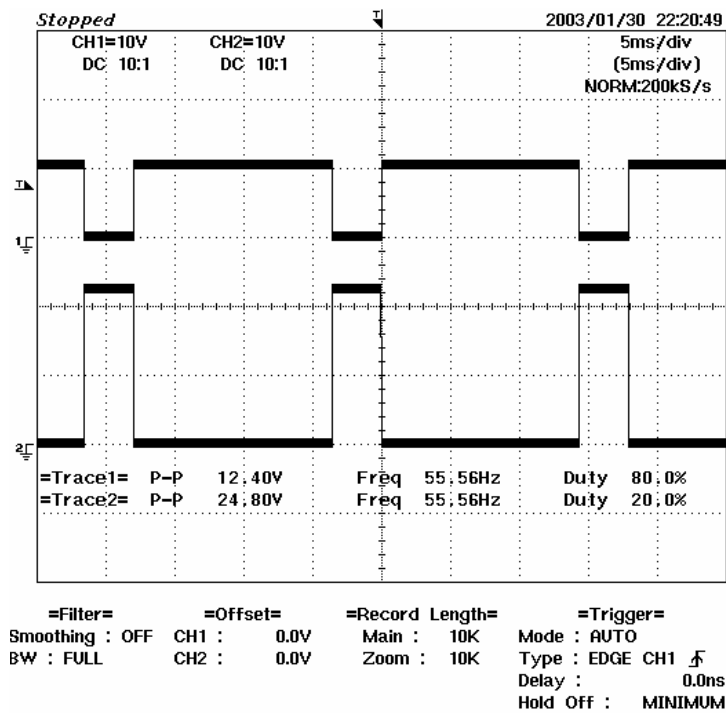


รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 60%

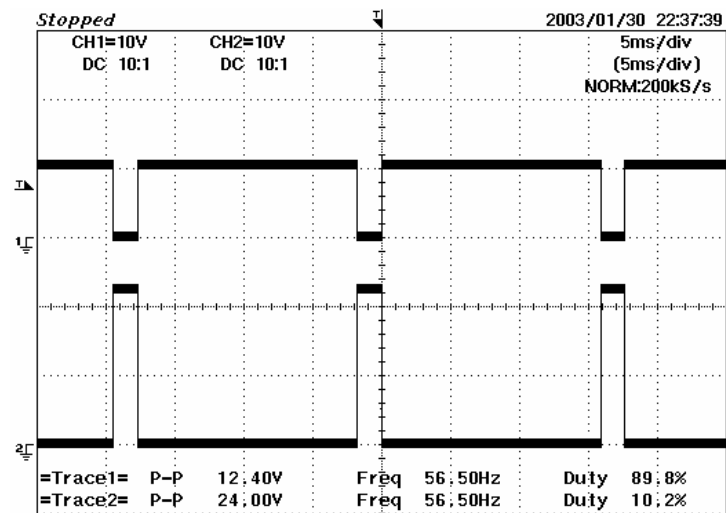




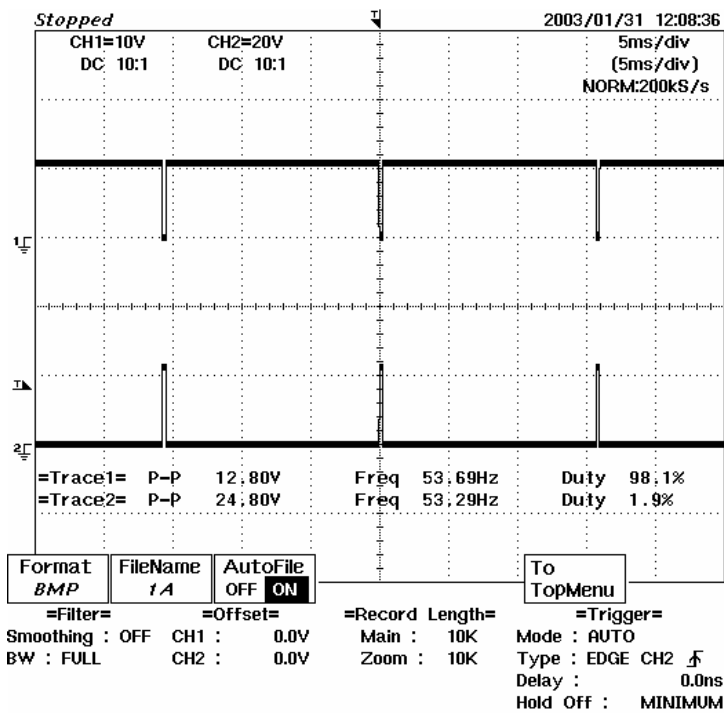
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 70%



รูปที่ 4.9 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 80%



รูปที่ 4.10 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 90%



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่าง  $V_{GS}$  และ  $V_{DS}$  ที่ duty 99%

## 4.2 ผลการทดลองที่ได้จากการวัดความเร็วของรถจักรยาน

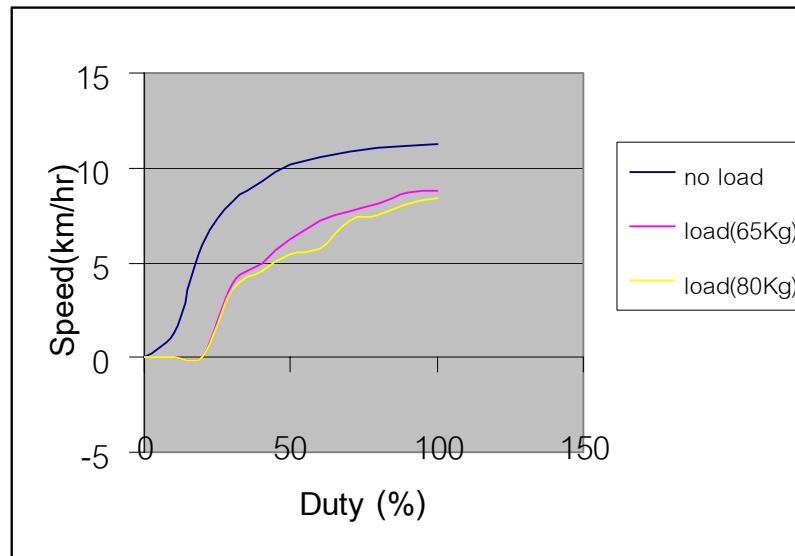
ทำการวัดความเร็วของรถจักรยานในขณะที่ไม่มีผู้ขับขี่(no load) และมีผู้ขับขี่โดยใช้ผู้ขับขี่ 2 คน น้ำหนัก 65Kg และ 80Kg ซึ่งทำการปรับค่า duty cycle แล้วทำการบันทึกผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การวัดความเร็วของรถจักรยาน ที่น้ำหนัก และ duty cycle ต่างกัน

Duty(%)	Speed(km/hr)
---------	--------------

	no load	load(65Kg)	load(80Kg)
0	0	0	0
10	1.31	0	0
20	5.96	0	0
30	8.19	3.87	3.6
40	9.31	5	4.53
50	10.13	6.19	5.45
60	10.54	7.19	5.75
70	10.87	7.71	7.17
80	11.07	8.11	7.52
90	11.11	8.65	8.14
100	11.21	8.78	8.37

จากผลที่ได้จากตารางนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง duty(%) และ speed(km/hr)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่น้ำหนักต่างกันก็จะส่งผลต่อรถจักรยานไฟฟ้า โดยถ้าน้ำหนัก เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเร็วลดลงได้เช่นกัน แต่ความเร็วจะลดลงไม่มากนัก

### 4.3 ระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่

น้ำหนัก(Kg)	เวลา(นาที)
65Kg	32
80Kg	28

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ต่างกันเล็กน้อย โดยน้ำหนักน้อยกว่า จะใช้เวลานานกว่า

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบรถจักรยานไฟฟ้าโดยทำการสร้างรถจักรยานไฟฟ้า ที่สามารถปรับความเร็วได้นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างโครงจักรยานไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้แทนการใช้คนปั่น
2. ออกแบบชุดวงจรควบคุมโดยใช้ IC เบอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณ square wave เพื่อนำไปขับ MOSFET ที่ทำงานเป็นตัว switching ของวงจร
3. รถจักรยานไฟฟ้า สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วประมาณ 10 km/hr โดยแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้นานประมาณ 30 นาที
4. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผู้ขับขี่ ไม่มีผลต่อความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้ามากนัก

### ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. โครงการนี้ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ช้า ดังนั้นจึงควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูง ประมาณ 150 วัตต์ขึ้นไป
2. ควรเพิ่มวงจรอัดประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งาน แต่เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้ มีเกียร์อยู่ในตัวทำให้ไม่สามารถออกแบบให้มอเตอร์ทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์ เพื่อใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ได้
3. ควรใช้แบตเตอรี่แห้งเนื่องจากน้ำหนักเบา ให้กระแสที่มากกว่า และสามารถใช้งานได้นานกว่า

## บรรณานุกรม

1. ชัยยงค์ แก้วมงคล และ นภัทร วัจนเทพินทร์., 2540. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี:สกายบุ๊ก.
2. บุญยศศักดิ์ ใจจงกิจ., 2522. มอเตอร์ไฟฟ้า:อนุกรมเครื่องต้นกำลัง 4. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนัก3.บริการวิชาการ และ วิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ.
3. มงคล ทองสงคราม., 2543. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ:วี เจ พรินติ้ง.
4. Mohan,Undeland and Robbins., 1995. Power Electronic. USA:John Wiley & Sons,Inc.
5. P.C. Sen., 1996. Principles of Electric Machine and Power Electronic. USA:John Wiley & Sons,Inc.

ภาคผนวก

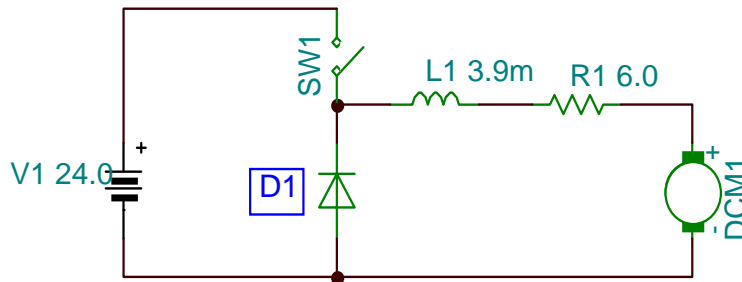
ภาคผนวก ก

การ **Simulate** วงจร **Step down** และ **Step up Converter**



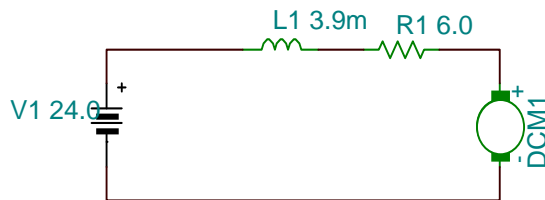
## การ Simulate วงจร Step down Converter

วงจรพื้นฐานของขั้วแปลงแรงดัน dc ให้ต่ำลง (แปลงแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต) โดยมีโหลดเป็น motor มีลักษณะดังรูปที่ ก.1



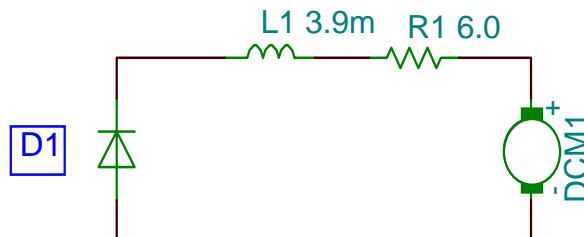
รูปที่ ก.1 วงจร Step down Converter

ขณะสวิตช์เปิด (on) กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดดังรูป ก.2



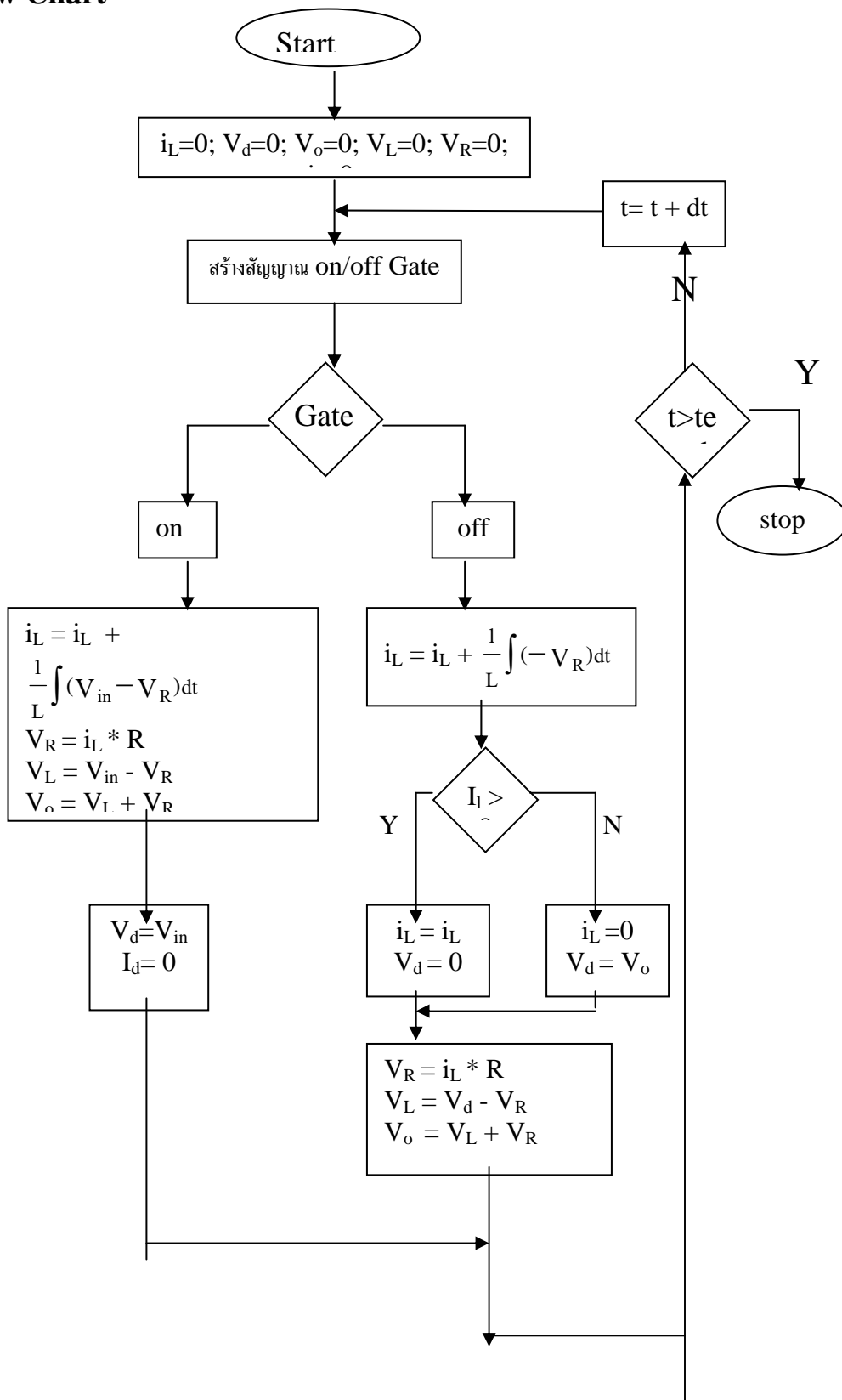
รูปที่ ก.2 วงจร Step down Converter เมื่อ switch on

ขณะสวิตช์ปิด (off) ค่า  $V_s = 0$  และ ไดโอด ( $D_1$ ) ได้รับไบอัสตรง ดังนั้นกระแสที่ไหล  $L$  จะไหลผ่าน  $D_1$  ไปยังโหลด (R-C) อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสวิตช์เปิดอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น จึงทำให้กระแสที่ไหลมีความต่อเนื่องดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 วงจร Step down Converter เมื่อ switch off

Flow Chart



การเขียนโปรแกรมโดยใช้ **Matlab**

```
%%% Step down circuit %%  
clear;  
%% Parameter %%  
R=6; L=3.9e-3; vi=24;  
fs=20e3; duty=0.4;  
ts=1/fs; ton=duty*ts;  
%% initialization Start %%  
dt=1e-6; tend=100*ts;  
il=0; vd=0; vR=0; vo=0; vl=0; io=0;  
%% Program %%  
inx=1;  
for t=0:dt:tend  
    %% Gate wavfrom %%  
    vg=sign(ton-rem(t,ts));  
    if vg>0 %% on circuit  
        il=il+(vi-vR)/L*dt;  
        vR=il*R;  
        vl=vi-vR;  
        vd=vi;  
        vo=vl+vR;  
    else %%% off circuit  
        il=il+(-vR)/L*dt;  
        if il>0 %% diode check  
            il=il; vd=0;  
        else  
            il=0; vd=vo;  
        end  
        vR=il*R;  
        vl=vd-vR;  
        vo=vl+vR;  
    end  
    %% Data save %%  
    vgtab(inx)=vg; vdtab(inx)=vd;  
    vltab(inx)=vl; votab(inx)=vo;  
    iltab(inx)=il;  
    ttab(inx)=t; inx=inx+1;  
end  
%% Data plot %%  
figure(1); clf;
```

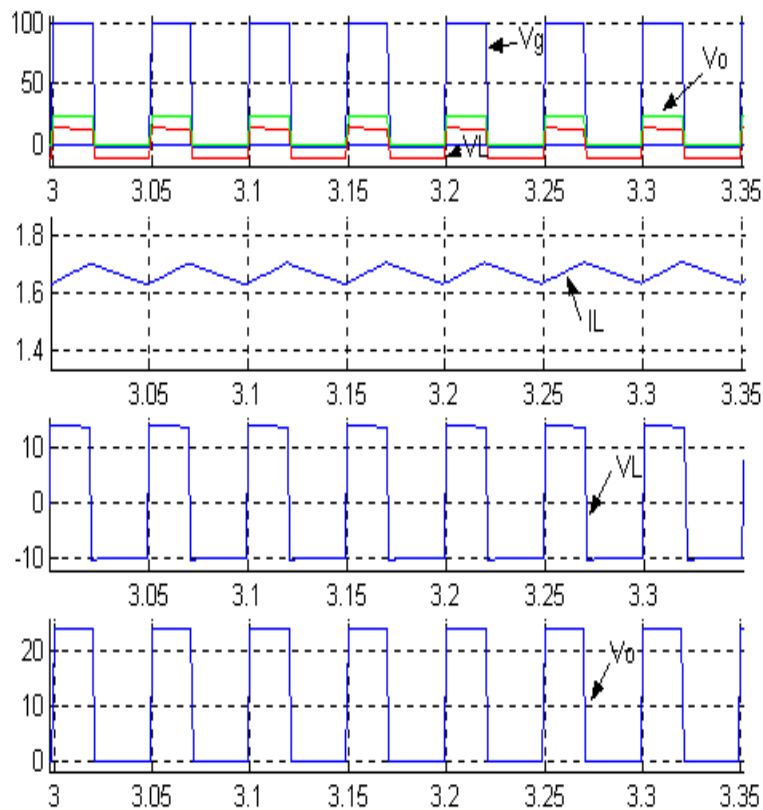
```

subplot(4,1,1); grid on; hold on;
plot(ttab,(vgtab+1)*50);
plot(ttab,vgtab)
plot(ttab,vltab,'r');
plot(ttab,votab,'g');
subplot(4,1,2);grid on; hold on;
plot(ttab,iltab);
subplot(4,1,3);grid on; hold on;
plot(ttab,vltab);
subplot(4,1,4);grid on; hold on;
plot(ttab,votab);

```

**ตัวอย่างการ Simulate**

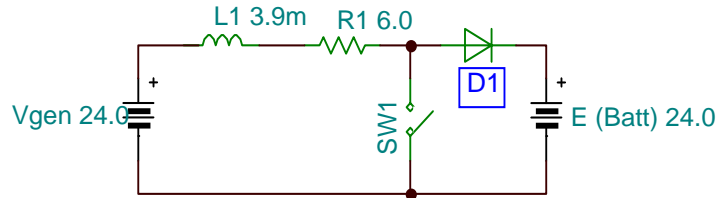
เมื่อกำหนดให้  $L = 3.9\text{mH}$   $R = 6\Omega$   $\text{duty} = 0.4$   $V_{in} = 24$   $f_s = 20 \text{ kHz}$  จะ  
ได้ผลการ Simulate ดังนี้



รูปที่ ก.4 ผลการ Simulate วงจร Step down Converter  $\times 10^{-3}$

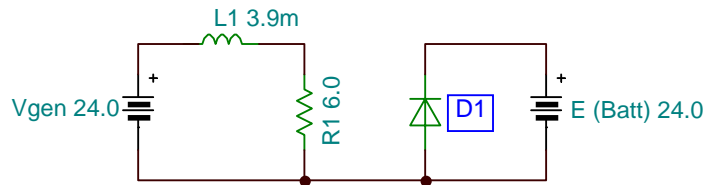
## การ Simulate วงจร Step up Converter

วงจรชอปเปอร์พื้นฐานที่มีโหลดเป็นแบตเตอรี่ มีลักษณะดังรูปที่ ก.5



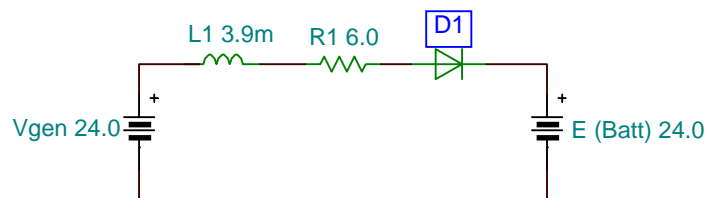
รูปที่ ก.5 วงจร Step up Converter

เมื่อคิดช่วง switch ON จะได้รูปเป็นดังรูปที่ ก.6



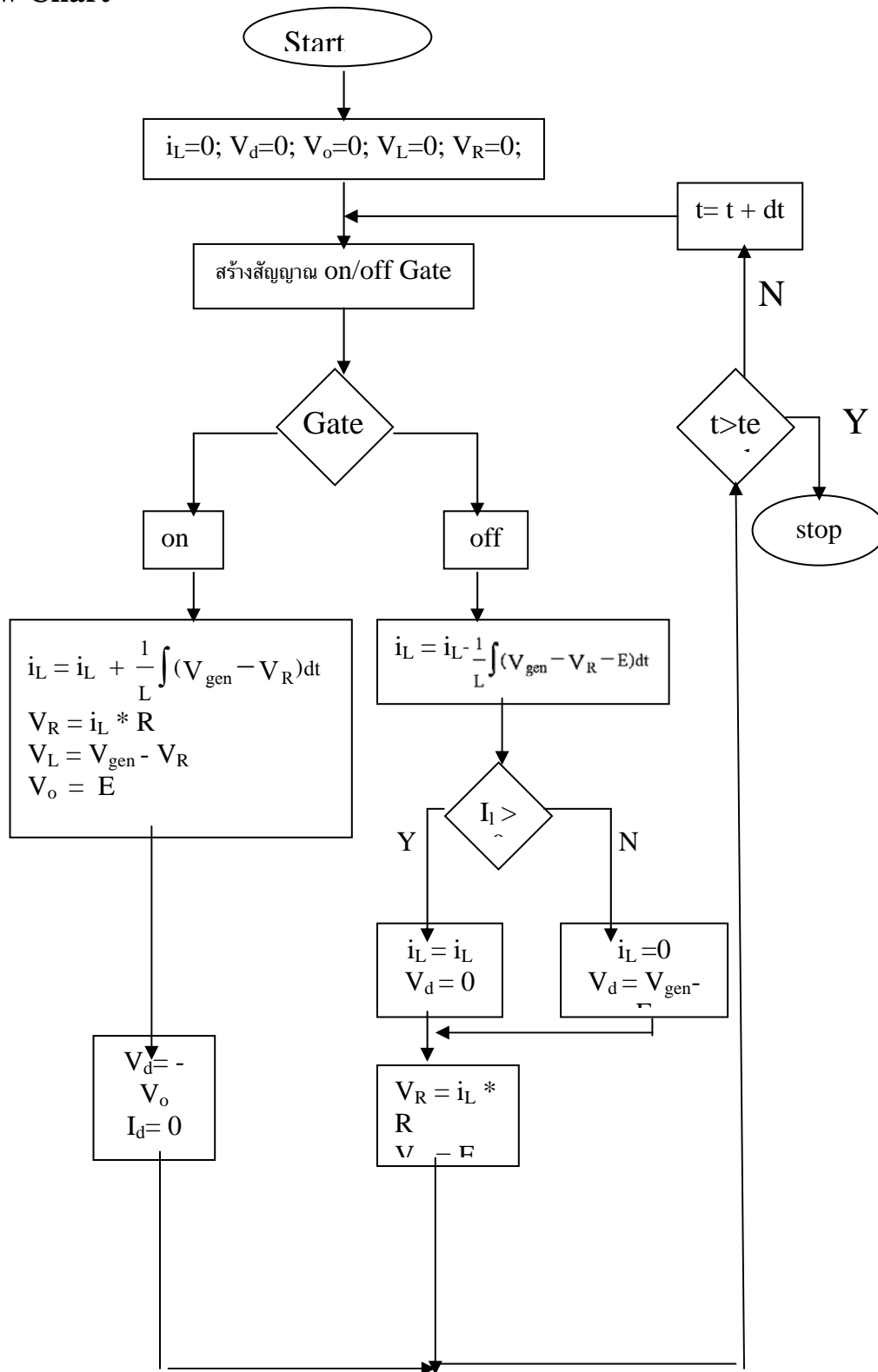
รูปที่ ก.6 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch on

เมื่อคิดช่วง switch OFF จะได้รูปเป็นดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 วงจร Step up Converter เมื่อคิดช่วง switch off

# Flow Chart



## การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Matlab

```
%% Step up circuit %%
clear;
%% Parameter %%
R=6; L=3.9e-3; ; vi=24; E=24;
fs=20e3; duty=0.4;
ts=1/fs; ton=duty*ts;
%% initialization Start %%
dt=1e-6; tend=100*ts;
il=0; vd=0; vo=0; vl=0; vR=0; i2=0; i3=0;
%% Program %%
inx=1;
for t=0:dt:tend
    %% Gate wavefrom %%
    vg=sign(ton-rem(t,ts));
    if vg>0 %% on circuit
        il=il+((vi-vR)/L)*dt;
        i2=il;
        i3=0;
        vR=il*R;
        vo=E;
        vl=vi-vR;
        vd=-vo;
    else %% off circuit
        il=il+((vi-E-vR)/L)*dt;
        i2=0;
        i3=il;
        if il>0 %% diode check
            il=il;
            vd=0;
        else
            il=0;
            vd=vi-E;
        end
        vR=il*R;
    end
end
```

```

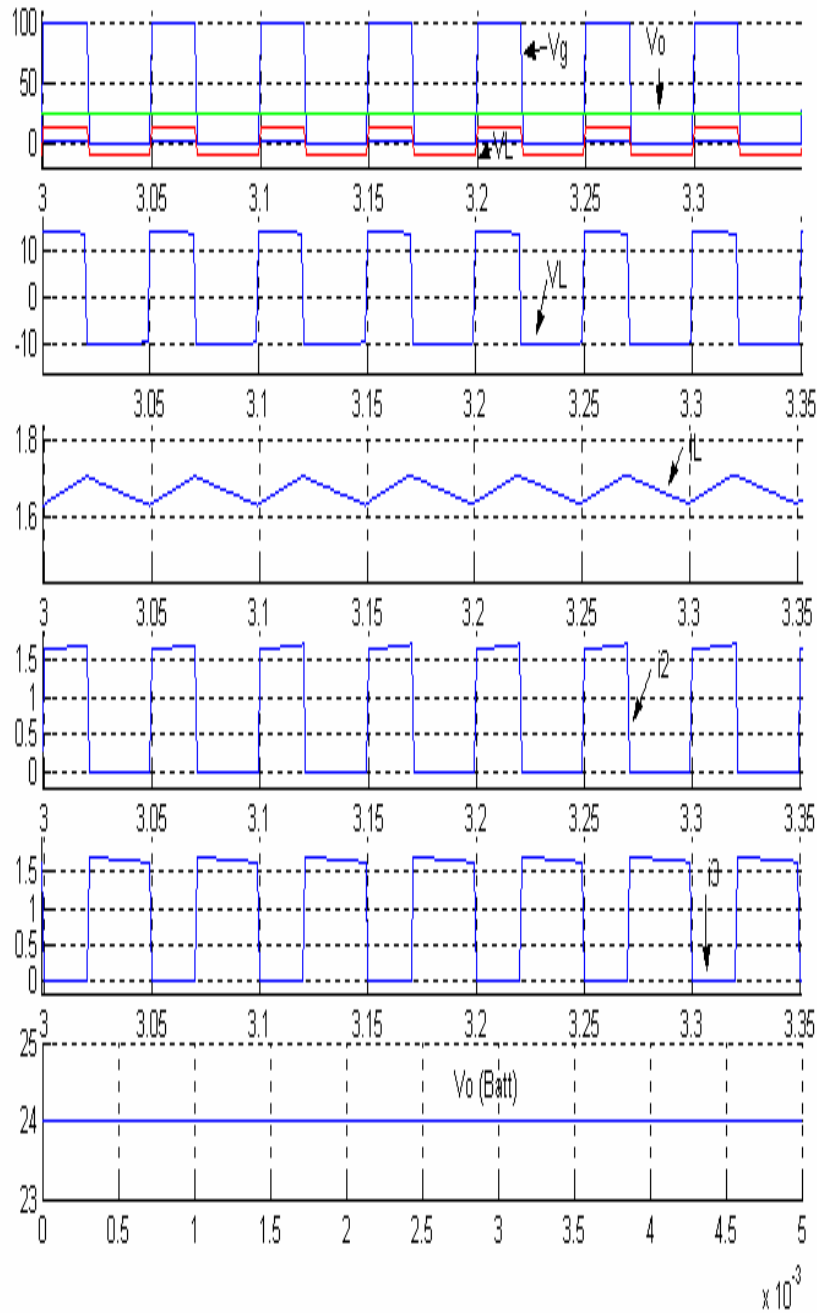
    vo=E;
    vl=vi-vd-E-vR;
end
%% Data save %%
    vgtab(inx)=vg; vdtab(inx)=vd;
    vltab(inx)=vl; votab(inx)=vo;
    iltab(inx)=il; i2tab(inx)=i2;
    i3tab(inx)=i3;
    ttab(inx)=t; inx=inx+1;
end
%% Data plot %%
figure(1); clf;
subplot(6,1,1); grid on; hold on;
plot(ttab,(vgtab+1)*50);
plot(ttab,vgtab)
plot(ttab,vltab,'r');
plot(ttab,votab,'g');
subplot(6,1,2);grid on; hold on;
plot(ttab,vltab);
subplot(6,1,3);grid on; hold on;
plot(ttab,iltab);
subplot(6,1,4);grid on; hold on;
plot(ttab,i2tab);
subplot(6,1,5);grid on; hold on;
plot(ttab,i3tab);
subplot(6,1,6);grid on; hold on;
plot(ttab,votab);

```



## ตัวอย่างการ Simulate

เมื่อกำหนดให้  $L = 3.9\text{mH}$   $R = 6\Omega$   $\text{duty} = 0.4$   $V_{\text{in}} = 24\text{ v}$   $E = 24\text{ v}$   $f_s = 20\text{ kHz}$  จะได้ผลการ Simulate ดังนี้



รูปที่ ก.8 ผลการ Simulate วงจร Step up Converter



# การควบคุมดีซีมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า DC Motor Control for Electric Vehicle

---

## อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. กฤษ เฉยไสย  
อาจารย์ ดร. สัมฤทธิ์ หังสะสูตร  
อาจารย์ ดร. ชัยภักฐ วรรณนะสาร

## นำเสนอโดย

นายชิต เครือพิมาย 421677-9  
นายเทพประภัทร ว่องวัฒนอนันต์ 421715-9

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



# หลักการและเหตุผล

---

- ปัจจุบันน้ำมันมีราคาสูง
- ปัญหามลพิษ
- ความไม่สะดวกสบาย

## วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อสร้างรถจักรยานไฟฟ้า
- ศึกษาการควบคุม Torque ของดีซีมอเตอร์



# ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

---

- ได้เรียนรู้หลักการควบคุม Torque ของดีซีมอเตอร์
- สร้างรถจักรยานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

## การออกแบบรถจักรยานไฟฟ้า

- โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า
- วงจรที่ใช้ในการควบคุมรถจักรยานไฟฟ้า

# โครงสร้างรถจักรยานไฟฟ้า





# ปัญหาของโครงสร้างจักรยาน

---

- มอเตอร์ที่ใช้มีกำลังไม่พอ
- มอเตอร์ที่ใช้มีชุดทดรอบ จึงไม่สามารถ Charge Battery ได้
- มีเฉพาะชุดควบคุม Speed

## แนวทางแก้ไข

- ใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

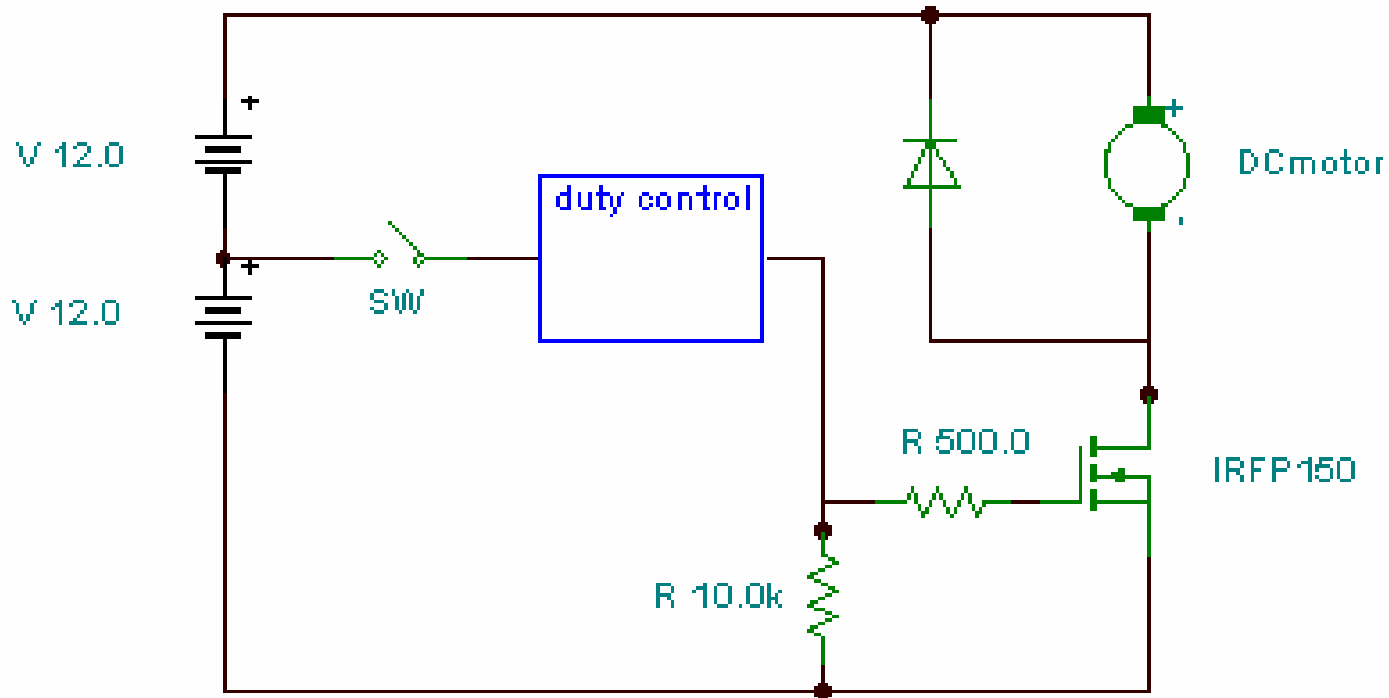


# วงจรที่ใช้ในการควบคุมรถ จักรยานไฟฟ้า

---

- วงจรหลัก ( Main Circuit )
- วงจรควบคุม ( Duty Control )

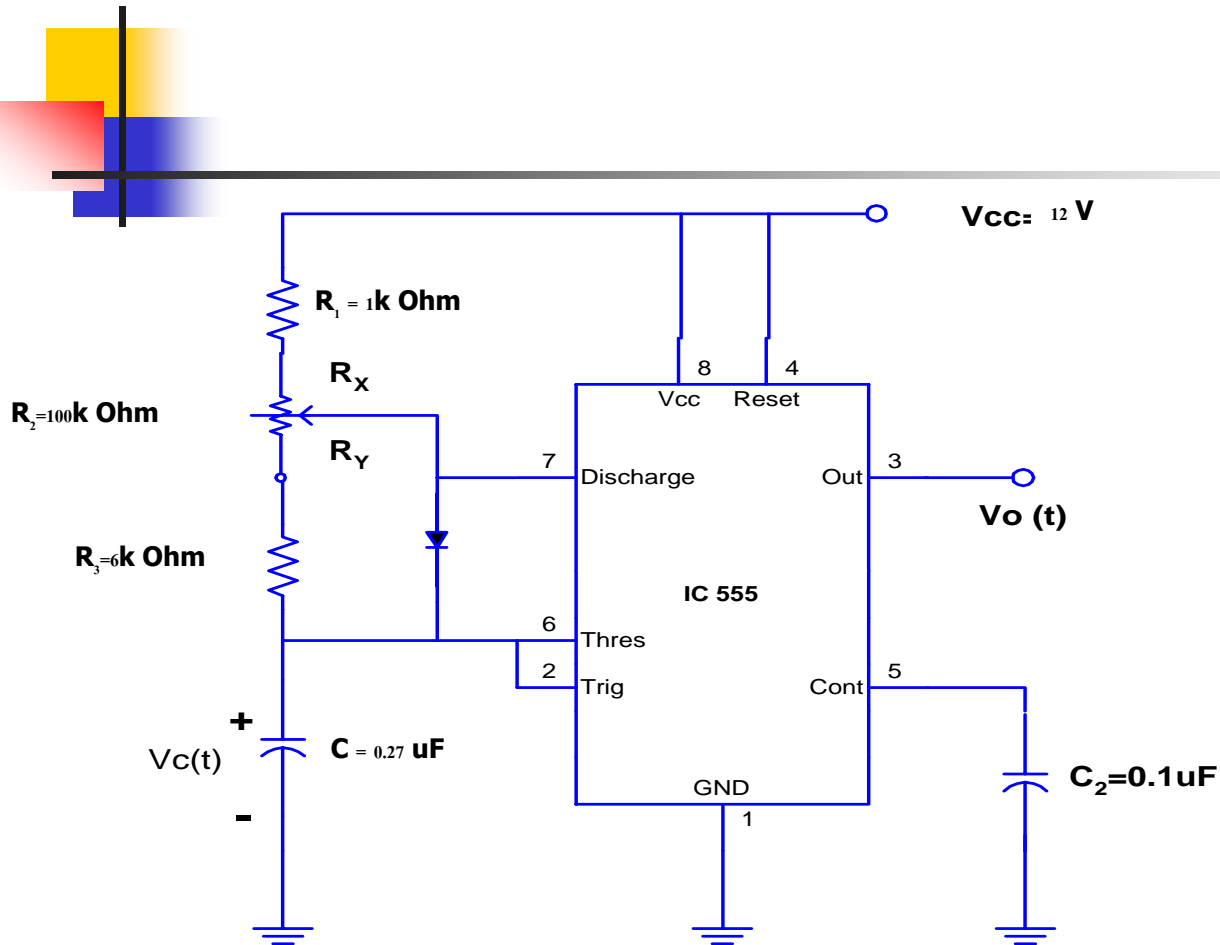
# วงจรหลัก (Main circuit)



MOSFET ซึ่งทำงานเป็นตัว **switching** เปิด-ปิด กระแสให้แก่มอเตอร์



# วงจรควบคุม (Duty Control)



- วงจร Astable Multivibrator

สร้างสัญญาณ

Square wave

- ความถี่ 50Hz และสามารถปรับ Duty cycle ได้ตั้งแต่ 1% ถึง 99%



- รูปของวงจร



- กล่องชุดControl



- ความต้านทานปรับค่าได้โดย  
ติดไว้บริเวณมือจับด้านขวาของ  
จักรยาน

# อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- oscilloscope
- เครื่องวัดความเร็วรอบ
- นาฬิกาสำหรับจับเวลา
- ตลับเมตร

## วิธีการทดลอง

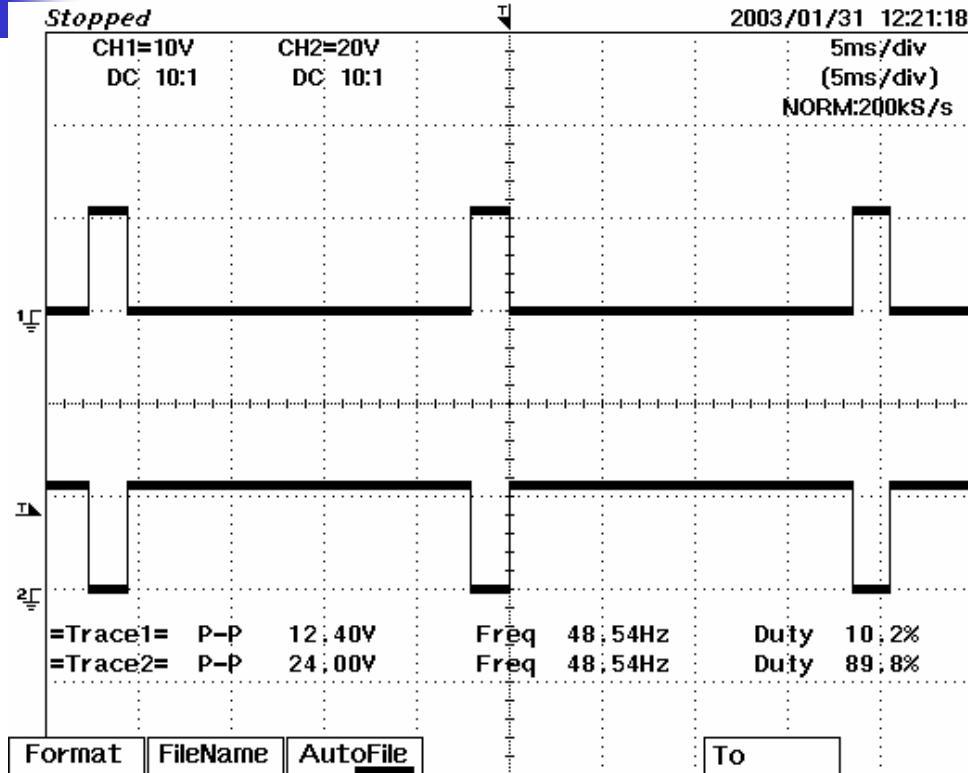
- วัด voltage ของ VGS (ch1)เทียบกับ VDS (ch2)
- วัดความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีผู้ขับขี่ และในกรณีที่มีผู้ขับขี่
- วัดระยะเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่ทั้งสอง

# ผลการทดลอง

## กราฟที่ Duty Cycle 10%

CH1

CH2



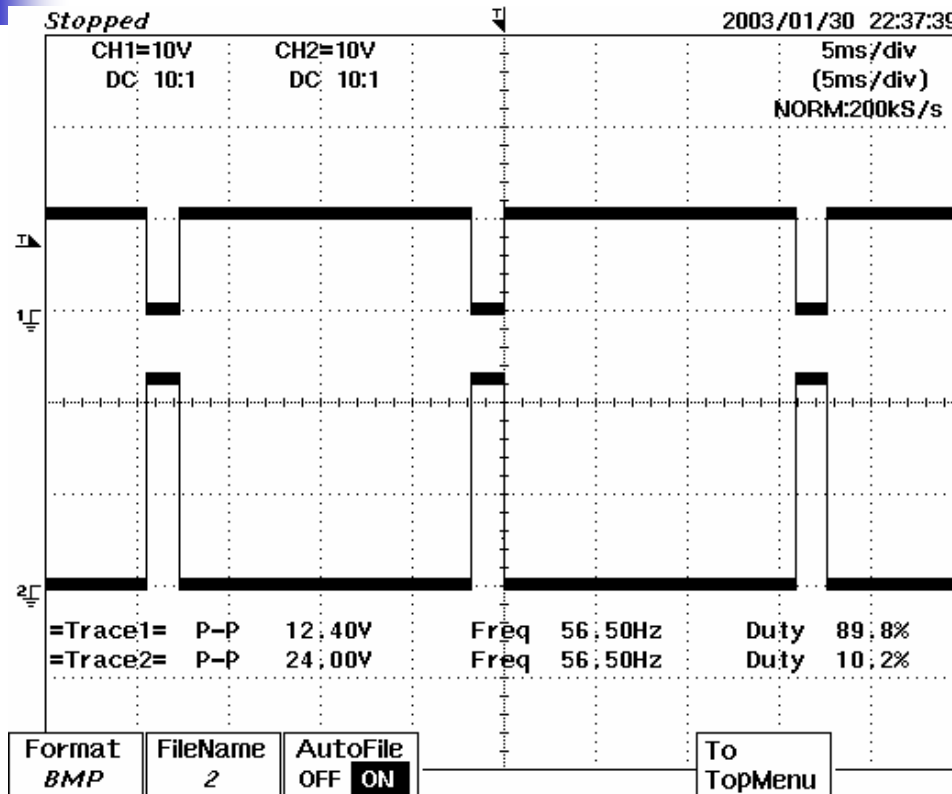
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL  
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

Speed(km/hr)		
no load	load(65Kg)	load(80Kg)
1.31	0	0

# กราฟที่ Duty Cycle 90%

CH1

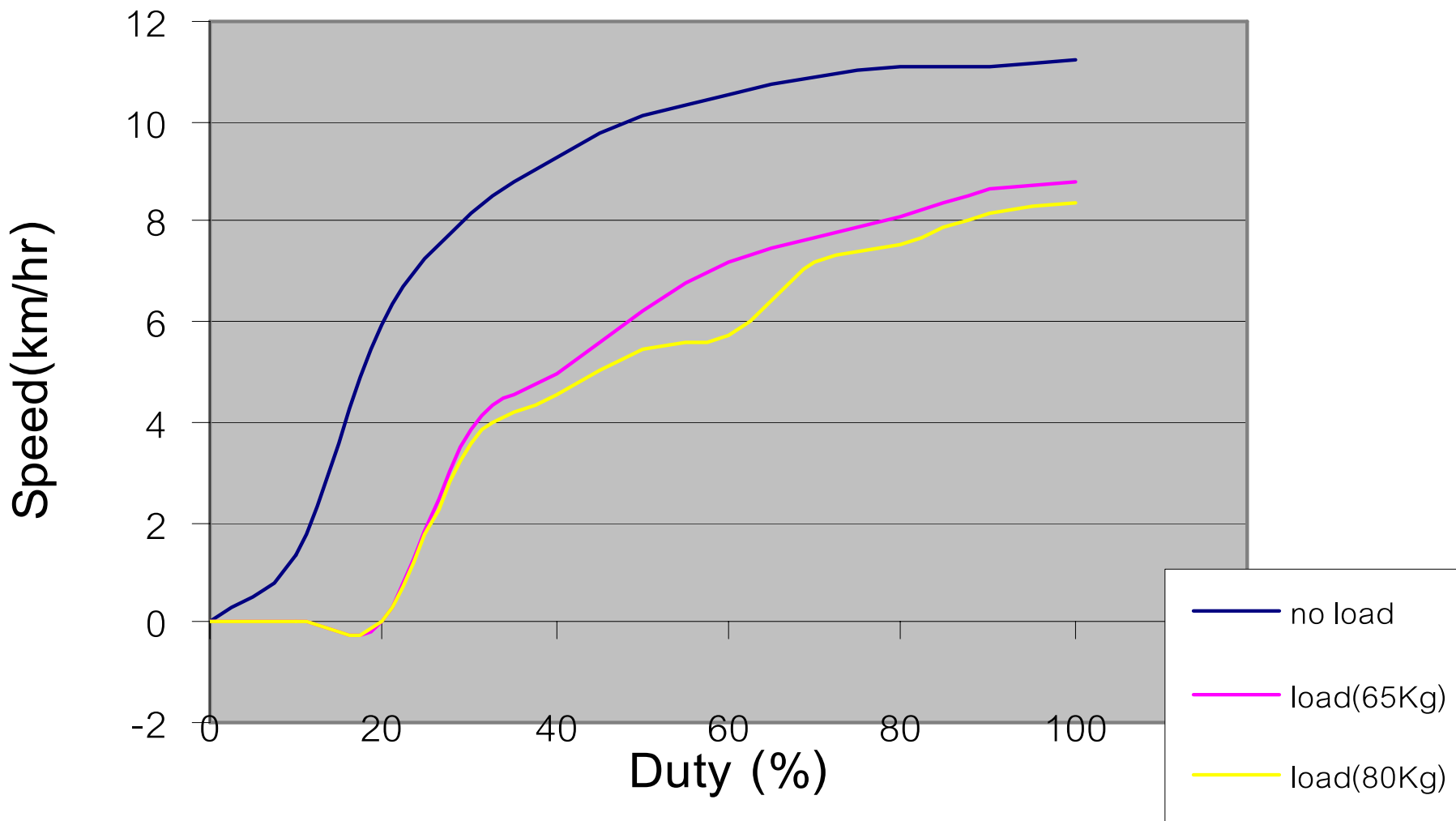
CH2



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL  
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

Speed(km/hr)		
no load	load(65Kg)	load(80Kg)
11.11	8.65	8.14

# กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง **duty (%)** และ **speed(km/hr)**



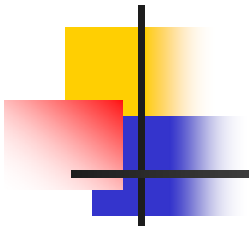
# ระยะเวลาในการทำงานของ แบตเตอรี่

น้ำหนัก(Kg)	เวลา(นาที)
65Kg	32
80Kg	28



# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

- ออกแบบและสร้างจักรยานไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้แทนการใช้คนปั่น
- ออกแบบชุดวงจรควบคุมโดยใช้ IC เบอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณ square wave แบบปรับ Duty Cycle ได้ เพื่อนำไปขับ MOSFET ที่ทำงานเป็นตัว switching ของวงจร
- รถจักรยานไฟฟ้า สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วประมาณ 10 km/hr โดยแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้นานประมาณ 30 นาที



# จบการนำเสนอ



- มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนมาติดตั้งบริเวณด้านหลังของจักรยาน
- นำเฟืองบนมาติดตั้งเข้ากับชุดทดรอบของมอเตอร์



แบตเตอรี่ 12 V 5 Ah 2 ลูก ต่ออนุกรมกัน



- เฟืองล่างขนาด 20 ฟัน ยึดติดกับล้อหลังของจักรยาน



- ใช้โซ่เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อ