



รถคนพิการไฟฟ้า 2

ELECTRIC WHEELCHAIR II

นายสมโภชน์	มหันตร์ตัน	รหัส 41362236
นายบรรจงศักดิ์	สุขสอน	รหัส 42362483
นายอาวุธ	ดาด้วง	รหัส 42362681

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 29/เม.ย. 2553 /.....
เลขทะเบียน..... 1 A941494
เลขเรียกหนังสือ..... 2/5.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ศ272 8

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2545



ใบรับรองโครงการวิจัย

หัวข้อโครงการ	รถคนพิการไฟฟ้า 2		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสม โภชน์	มหันตรัตน์ รหัส	41362236
	นายบรรจงศักดิ์	สุขสอน รหัส	42362483
	นายอาวุธ	คาดุ้ง รหัส	42362681
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ศุภวรรณ คำคงศักดิ์		
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2545		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ
(อาจารย์นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศุภวรรณ คำคงศักดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์พรพิศุทธิ์ วรจิรันถน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่)

หัวข้อโครงการ	รถคนพิการไฟฟ้า 2		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสมโภชน์	มหันตรัตน์	รหัส 41362236
	นายบรรจงศักดิ์	สุขสอน	รหัส 42362483
	นายอาวุธ	คาค้าง	รหัส 42362681
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิภา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ศุภวรรณ	คำคงศักดิ์	
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2545		

บทคัดย่อ

โครงการรถคนพิการไฟฟ้า 2 นี้ เป็นศึกษาและพัฒนาโครงการรถคนพิการไฟฟ้าเดิม ให้มีพัฒนาการที่ดีขึ้นในหลายๆ ด้านประกอบไปด้วยการออกแบบให้รถมีความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิม การรับน้ำหนักของผู้ใช้งาน ได้มากขึ้น การออกแบบระบบการควบคุมรถให้มีความเรียบง่ายและใช้งานได้อย่างสะดวกโดยที่เน้นการควบคุมรถผ่านตัวควบคุมหลักเพียงตัวเดียวเท่านั้น การเพิ่มความสะดวกโดยการเพิ่มชุดอัปเดตประจุแบตเตอรี่ไว้ภายในตัวรถและการออกแบบให้ตัวรถมีขนาดเล็กลงเพื่อความคล่องตัวในการใช้งานอีกด้วย

โดยหลักการเป็นการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์ ส่วนการดำเนินการตั้งแต่การเลือกขนาดของเฟืองและอัตราทด การออกแบบวงจรขับมอเตอร์ขึ้นมาใหม่มีความสูญเสียของพลังงานน้อยลงและการออกแบบชุดควบคุมรถ โดยใช้การประยุกต์แนวความคิดของผู้จัดทำโครงการเข้ากับทฤษฎีที่ได้ศึกษามาเพื่อให้ชุดควบคุมที่ง่ายในการใช้งาน

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ คือ รถคนพิการไฟฟ้าที่สามารถรับน้ำหนักของผู้ใช้งานได้มากถึง 140 กิโลกรัมและมีความเร็วสูงสุด 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่น้ำหนัก 140 กิโลกรัม

Project Title Electric Wheelchair II

Name Mr.Somphod Mahantararat ID. 41362236
Mr.Banchongsak Suksorn ID. 42362483
Mr.Awut Daduang ID. 42362681

Project Advisor Ms.Suphannika Yangyoo

Co-Project Advisor Ms.Supphawan Kamkongsak

Field of Study Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic Year 2002

ABSTRACT

This project is studied and developed an Independent of Cripples project, an electric wheelchair. The project is a 4 quadrants DC. motor control by pulse width modulation servo amplifier witch is designed to be a low loss amplifier. A development is changing a gear ratio to increase a speed, using a higher power DC. motor to take more load, build in battery charger, smaller structure and easily control with one knob.

The result of this project is the electric wheelchair that can take maximum load at 140 kilograms and highest speed at 5 kilometer/hour at maximum load

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเรื่อง รถคนพิการไฟฟ้า 2 นี้ประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความกรุณาจาก อาจารย์สุพรรณนิภา ยังอยู่ และอาจารย์ศุภวรรณ คำคงศักดิ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์มากมาย รวมถึงเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะและ คำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนด้านการเงินและเป็นกำลังใจต่อคณะผู้จัดทำโครงการจนโครงการสำเร็จด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 กิจกรรมดำเนินการ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม	
2.1 เพาเวอร์ซัพพลาย	4
2.2 เซอร์โวแอมพลิไฟร์	5
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.4 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	19
2.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้ฮอปแอมป์	24
บทที่ 3 การสร้างรถคนพิการไฟฟ้า	
3.1 วงจรควบคุม	26
3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์	28
3.3 วงจรไครเวอร์	34
3.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่	35
3.5 วงจรแสดงแรงดันแบตเตอรี่	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	39
3.7 แบตเตอรี่	40
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การปรับค่า Duty Cycle ของวงจรสร้างพัลส์	41
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ Duty Cycle	48
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับ Duty Cycle ที่ใช้ในการออกตัว	49
4.4 ความเร็วของรถคนพิการไฟฟ้า	50
4.5 การใช้พลังงานของรถคนพิการไฟฟ้า	50
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	51
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	63
ประวัติผู้เขียนโครงการ	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงสัญญาณพัลส์ ที่เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยม กับแรงดันไฟตรง	41
4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ Duty Cycle	48
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับ Duty Cycle ที่ใช้ ในการออกตัว	49
4.4 แสดงความเร็วสูงสุดของรถ ที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆกัน	50



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	4
2.2 วงจรพื้นฐานของเซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิด PWM แบบบริดจ์	5
2.3 วิธีการสร้าง PWM	6
2.4 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์อนุกรม ภายใต้สภาวะ โวลต์เดจกที่	8
2.5 มอเตอร์แยกปรับสนามแม่เหล็กได้	9
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของซันท์มอเตอร์ ภายใต้สภาวะ การกระตุ้นสนามแม่เหล็กและอามาเจอร์คงที่	9
2.7 รูปหน้าตัดของมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็กส่วนฟิลด์เป็นแม่เหล็ก	10
2.8 รูปหน้าตัดของมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นที่ผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร	10
2.9 รูปหน้าตัดซึ่งมองค้ำข้างของมอเตอร์	11
2.10 อาร์มาเจอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่ มีรูปร่างเป็นถ้วยตรงกระบอก	11
2.11 รูปร่างและ โครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่	12
2.12 มอเตอร์แบบ โรเตอร์เป็นขดลวดหมุนแบบรูปร่างเป็นจาน	12
2.13 มอเตอร์แบบ โรเตอร์เป็นขดลวดชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	12
2.14 ลักษณะ โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน	13
2.15 ลักษณะ โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	14
2.16 ลักษณะ โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	14
2.17 วงจรสมมูลของมอเตอร์	15
2.18 ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงพื้นฐาน	19
2.19 วงจรไฮบริดจ์ (H-Bridge Bipolar)	20
2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกับหมุนของมอเตอร์	21
2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้ากับอัตราเร็วของมอเตอร์	22
2.22 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็ว-เวลา, แรงบิด-เวลา, กำลัง-เวลา	22
2.23 วงจรพื้นฐานของการกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้อุปแอมป์	25
3.1 แสดงเป็นควบคุมด้านขวามือ	26
3.2 แสดงเป็นควบคุมด้านซ้ายมือ	27
3.3 วงจรพื้นฐานของการกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้อุปแอมป์	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดัน และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 0%	31
3.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 60 %	32
3.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 100 %	33
3.7 วงจรไครเวอร์	34
3.8 บล็อก ไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของชุดแสดงแรงดันแบบเตอร์	36
3.9 วงจรสมบูรณ์ของชุดแสดงแรงดันแบบเตอร์	37
4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 0%	42
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 20%	43
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 40%	44
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 60%	45
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 80%	46
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 100%	47

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบข่ายงานของโครงการ กิจกรรมดำเนินการ ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ และงบประมาณที่ใช้ในการสร้างโครงการ รถคนพิการไฟฟ้า 2

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันวิทยาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วและได้เข้าไปมีส่วนในการพัฒนาเทคโนโลยีในระบบอุตสาหกรรมและยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างมากอีกด้วย ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วคนที่ได้ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ก็คือคนปกติ แต่สำหรับคนพิการแล้วการนำเทคโนโลยีด้านมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์กับพวกเขาเหล่านั้นมีน้อย จึงได้มีความคิดที่จะพัฒนารถคนพิการไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวันของคนพิการมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 พัฒนารถคนพิการ ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการสร้างวงจรจับและควบคุม มอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 quadrant
- 1.2.3 เพื่อนำความรู้มาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์

1.3 ขอบข่ายงานของโครงการ

- 1.3.1 จัดการสร้างรถคนพิการไฟฟ้าที่มีความสามารถ เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวขวา, เลี้ยวซ้าย, หมุนกลับตัว และเบรก ได้ในความเร็วหลายระดับ
- 1.3.2 ขึ้นทางชันได้ไม่เกิน 15 องศา
- 1.3.3 สามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 80 กิโลกรัม

1.4 กิจกรรมดำเนินการ

กิจกรรม	พ.ช.	ช.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. เขียนโครงร่างการทำงาน	↔											
2. รวบรวมและศึกษาข้อมูล			↔									
3. ออกแบบและวิเคราะห์ระบบ					↔							
4. จัดหาอุปกรณ์						↔						
5. สร้างโครงงาน							↔					
6. ทำโครงงานฉบับร่าง									↔			
7. แก้ไขโครงงานให้สมบูรณ์											↔	
8. ส่งโครงงานฉบับสมบูรณ์												↔

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 รถคนพิการ ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีขึ้น
- 1.5.2 มีความเข้าใจในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 4 quadrant
- 1.5.3 นำความรู้มาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริง

1.6 งบประมาณ

1.6.1 ค่าอุปกรณ์วงจรรีเลย์ทรอนิกส์	1,000	บาท
1.6.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	3,000	บาท
1.6.3 แบตเตอรี่	1,500	บาท
1.6.4 วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ	2,000	บาท
รวม	7,500	บาท



บทที่ 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี อุปกรณ์ และวงจรต่างๆที่ใช้ในโครงการนี้

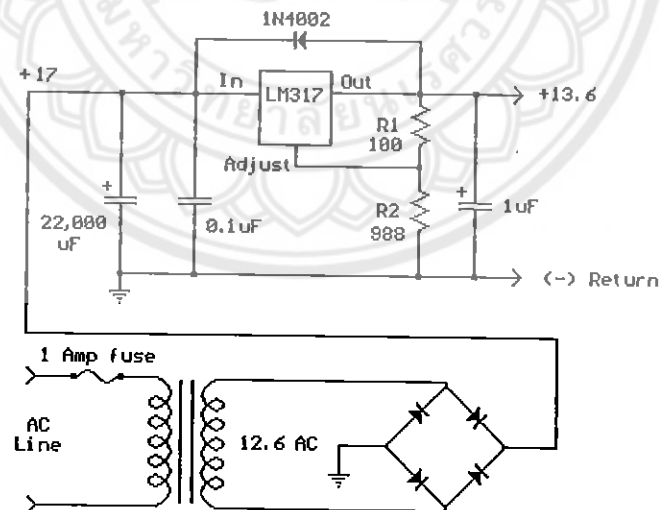
2.1 พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) [1]

วงจรพาวเวอร์ซัพพลายใช้สำหรับจ่ายพลังงานให้กับวงจรอื่นๆ โดยในวงจรพาวเวอร์ซัพพลายจะประกอบไปด้วย

2.1.1 วงจรรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ไอซีเป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันให้คงที่

2.1.2 ตัวเก็บประจุใช้เพื่อให้วงจรมีค่าต้านทานต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้นและปรับค่าการตอบสนองทางด้านทรานเซียน ของวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยการสะสมประจุไว้ เพื่อป้องกันกระแสเข้าไหลล้นในช่วงเวลาสั้นๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสไหลล้นอย่างมาก

2.1.3 ซีเนอร์ไดโอด ทำหน้าที่ป้องกันระดับแรงดันเกิน ที่เกิดจากไอซีควบคุมระดับแรงดันเกิดความผิดปกติ ซึ่งอาจทำให้แรงดันที่สูงกว่า จากแหล่งจ่ายเข้าสู่วงจรภายในโดยตรง ทำให้เกิดความเสียหายได้



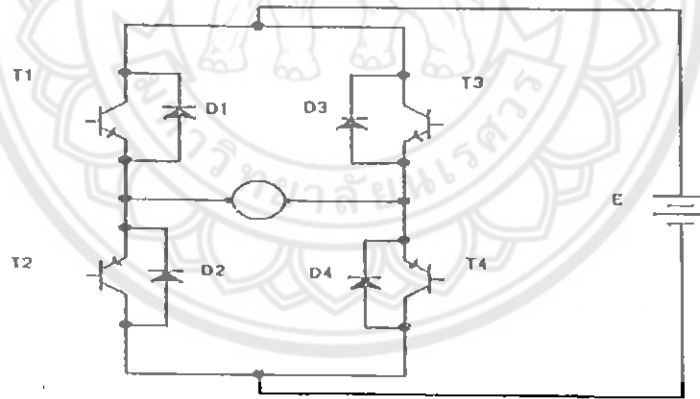
รูปที่ 2.1 แสดงวงจรพาวเวอร์ซัพพลาย

2.2 เซอร์โวแอมพลิไฟร์ (Servo Amplifier) [1]

เซอร์โวแอมพลิไฟร์ เป็นการเรียกวางจรเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ขับ เซอร์โวมอเตอร์ โดยการควบคุมความเร็วหรือตำแหน่ง ถูกนำไปใช้มากในอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ และอุปกรณ์ควบคุมเชิงเลข (Numerically Controlled Equipment) เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามวิธีใช้ขับอุปกรณ์โซลิดสเตต (Solid State) ชนิดแรกเรียกว่า เซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิดเชิงเส้น (Linear Servo Amplifier) ซึ่งขับให้มอเตอร์ทำงานอยู่ในย่านที่เป็นเชิงเส้น อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชัน

2.2.1 เซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิด PWM (Servo Amplifier Type PWM)

เพื่อเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในมอเตอร์ และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซอร์โวแอมพลิไฟร์ และเนื่องจากเซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิดเชิงเส้นมีกำลังงานสูญเสียมากกว่า เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชันจึงมีการนำเอาวิธีการพัลส์วิดท์มอดูเลชันหรือ PWM มาใช้กับเซอร์โวแอมพลิไฟร์ โดยให้มอเตอร์ทำงานเพียงสองสภาวะ คือ สภาวะทำงาน และไม่ทำงาน

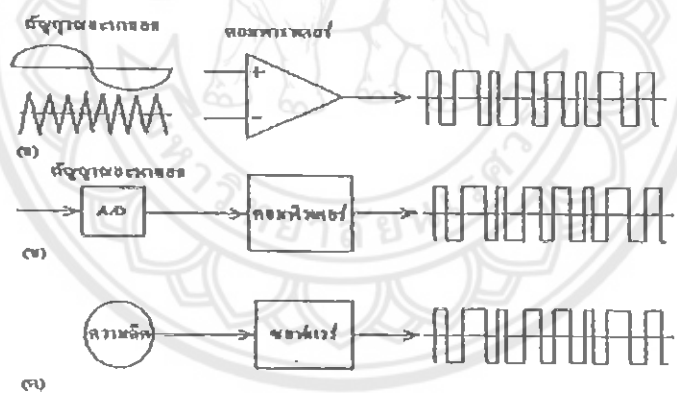


รูปที่ 2.2 วงจรพื้นฐานของเซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิด PWM แบบบริดจ์

2.2.2 การพิจารณาวิธีการพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น

พัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น หรือ PWM คือวิธีการทำให้สัญญาณอะนาล็อกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในหนึ่งคาบเวลาได้ การพิจารณาเราจะศึกษาถึงวิธีการสร้างและการคมอดูเลชั่นสัญญาณ PWM วิธีการสร้างสัญญาณ PWM ทำได้สองอย่างคือ ใช้วิธีคิจิตอล ไฮบริดจ์ และอะนาล็อก จากรูปที่ 2.3 (ก) รูปคลื่นสามเหลี่ยมจะถูกป้อนเข้าที่ขาหนึ่ง ของคอมพาราเตอร์ส่วนขาที่เหลือจะป้อนสัญญาณอะนาล็อกเข้าไป ก็จะได้สัญญาณ PWM ที่เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์โดยสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณที่จะถูกมอดูเลต ส่วนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเป็นคลื่นพาห์ในกระบวนการมอดูเลชั่น ถ้าใช้อุปกรณ์คิจิตอลหรือไมโคร โปรเซสเซอร์ แทนคอมพาราเตอร์ที่เป็นอุปกรณ์ อะนาล็อกตาม รูปที่ 2.3 (ข) สัญญาณอะนาล็อก จะถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลตัวเลขคิจิตอลป้อนเข้า ไมโครคอมพิวเตอร์ และข้อมูลนั้นจะผ่านโปรแกรมที่มีฟังก์ชันเหมือนกับคอมพาราเตอร์

ในบางครั้งอาจจะเป็นไปได้ที่สัญญาณจะถูกมอดูเลตขึ้นในความคิดของผู้ออกแบบหรือโปรแกรมเมอร์ การสร้างสัญญาณ PWM จะถูกบรรจุในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ อันเป็นวิธีการทางคิจิตอลที่สมบูรณ์แบบ ดังรูปที่ 2.3 (ค)



รูปที่ 2.3 วิธีการสร้าง PWM

- (ก) การใช้วิธีทางอะนาล็อกโดยวิธีคอมพาราเตอร์
- (ข) การใช้วิธีทางอะนาล็อกผสมกับคิจิตอลเรียกว่า ไฮบริดจ์
- (ค) การใช้วิธีทางคิจิตอลที่สมบูรณ์แบบ

2.2.3 การคิมอดูละชั้นสัญญาณ PWM

การคิมอดูละชั้นสัญญาณ PWM เป็นการนำเอารูปคลื่นสัญญาณอะนาล็อกกลับคืนมาจากรูปแบบสัญญาณที่เป็นพัลส์ ในกรณีของคิมอเตอร์ ถ้าดูจากวงจรสมมูลตามรูป หลักการในการคิมอดูละชั้นแสดงให้เห็นชัดเจนที่สุดเมื่อมอเตอร์หยุดนิ่ง ตัวเก็บประจุ (แทน โรเตอร์) ขณะเริ่มต้นจะลัดวงจรความต้านทาน R_d (กำลังงานกลที่เอาท์พุท) ซึ่งจะเป็นศูนย์เมื่อมอเตอร์หยุดนิ่ง ซึ่งจะได้วงจรสมมูลในขณะหยุดนิ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM กับกระแสในมอเตอร์

ถ้าหากไม่นำรีปเปิ้ลของกระแสมาพิจารณา รูปคลื่นของกระแส จะเหมือนกับกระแสที่ได้จากแหล่งจ่ายอะนาล็อกที่จ่ายให้กับคิมอเตอร์ ความถี่ของการมอดูเลตที่สูงก็ช่วยลดรีปเปิ้ลได้อีกทางหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อคาบเวลาของพัลส์น้อยกว่าค่าคงที่เวลา (Time Constant) มาก ๆ ในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องได้รูปคลื่นของแรงดันอะนาล็อกกลับคืนมาจากสัญญาณ PWM เนื่องจากในกรณีของมอเตอร์สัญญาณ PWM ที่ผ่านการคิมอดูละชั้นจะอยู่ในรูปกระแสซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นที่เราต้องการเพื่อสร้างแรงบิด

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [2]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ อามาเจอร์ ขั้วแม่เหล็ก คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบย่อยๆ อีก คือ เฟลา คลับลูกปืน ชุดยึดแปรงถ่าน และ โครงเครื่อง เป็นต้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor) นั้นยังสามารถจำแนกออกไปได้อีกหลายประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อวัตถุประสงค์อะไร จึงขอกล่าวรวม ๆ ที่รู้จักกันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้นก็ คือ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC. Motor), แบบอนุกรม (Series DC. Motor) และแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet DC. Motor) ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.3.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor) สามารถจำแนกออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบ โครงสร้างของอามาเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. คิมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. คิมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าเราจะพิจารณาประเภทของมอเตอร์ ตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอามาเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์เป็นขดลวดหมุน

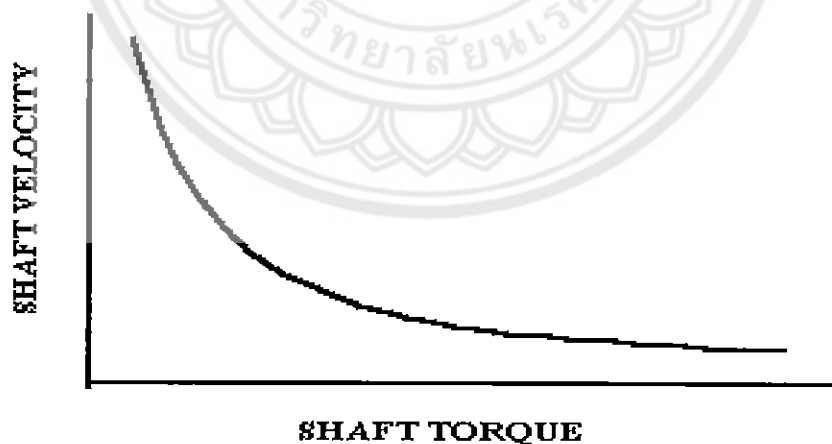
นอกจากนี้ยังมีดีซีมอเตอร์ชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบ ไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับดีซีมอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่านยกเว้น การคอมมิวเตชัน การกระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีการทางกล

2.3.1.1 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

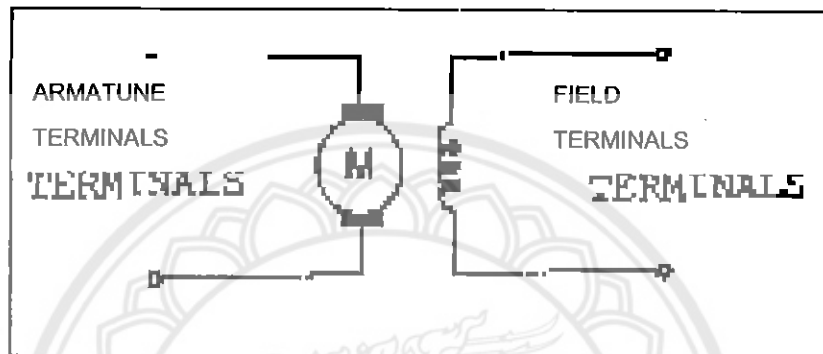
- ก.) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอามาเจอร์
- ข.) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น

มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแสคังนั้นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ และเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์คังแสดงในรูปที่ 2.4



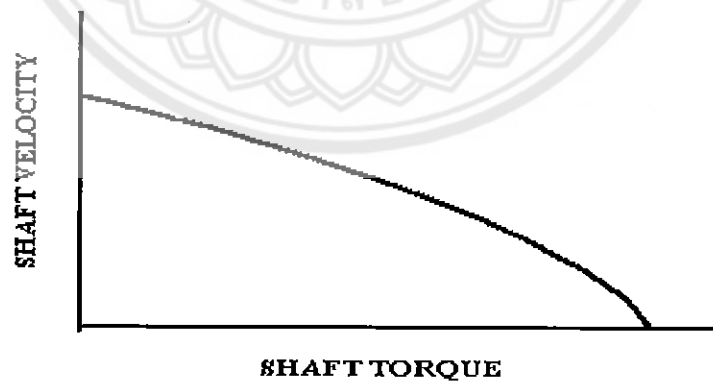
รูปที่ 2.4 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรมภายใต้สภาวะโวลต์เดจคงที่

มอเตอร์ดังกล่าวจะใช้งานในสภาวะเมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ เช่นระบบการขับเคลื่อนของรถลาก ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น แสดงในรูป 2.5 ดีซีมอเตอร์แบบนี้มักนิยมเรียกกันว่ามอเตอร์ขนาน (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอามาเจอร์ ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มอเตอร์นี้มักจะใช้งานในกรณีระบบบังคับการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 2.5 ดีซีมอเตอร์แยกปรับสนามแม่เหล็กได้

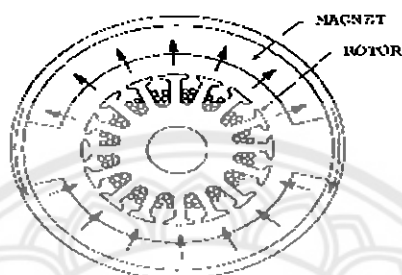
ในรูปที่ 2.6 แสดงถึงคุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็ว ของขั้วมอเตอร์ภายใต้สภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กและอามาเจอร์คงที่



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของขั้วมอเตอร์ภายใต้สภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กและอามาเจอร์คงที่

2.3.1.2 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็ก

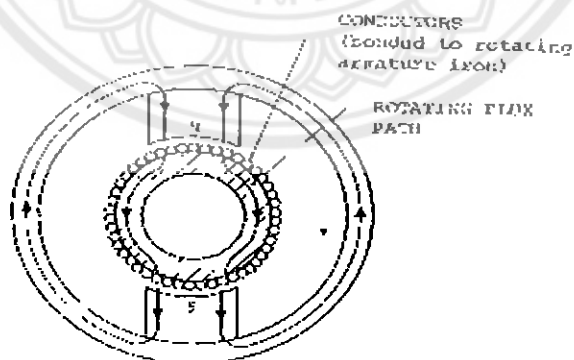
โครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบแกนเหล็กแสดงในรูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยสูงที่สุดและมีค่าอินดักแตนซ์ของโรเตอร์สูงที่สุดด้วยดังนั้นมอเตอร์นี้จึงมีปริมาณการจุกความร้อนได้สูง และสามารถจะทน โอเวอร์ โหลด ได้ในระยะเวลาที่ยาวนานโดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย



รูปที่ 2.7 รูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็กส่วนฟิลด์เป็นแม่เหล็ก

2.3.1.3 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

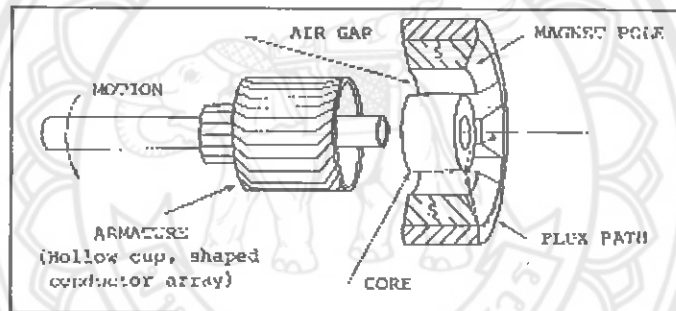
ในรูปที่ 2.8 แสดงถึงการออกแบบของโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว โดยไม่มีสล้อทำให้ได้อินดักแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือ ทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและราคาแพงกว่าแบบแกนเหล็กด้วย



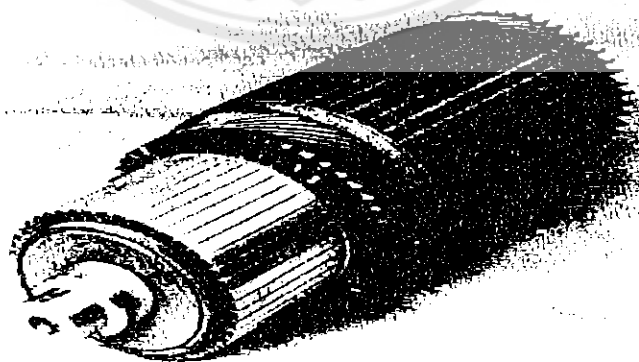
รูปที่ 2.8 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

2.3.1.4 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์แบบขดลวดหมุน

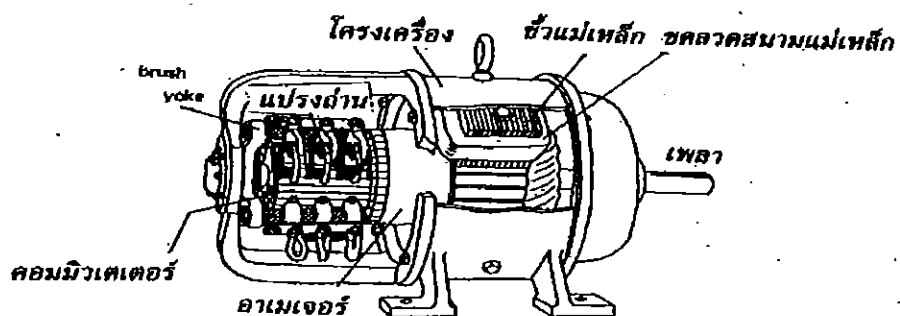
มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 2.8 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.9 นอกจากนั้นในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 เป็นรูปถ่ายของอาร์มาเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ และรูปลักษณะโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างของแม่เหล็กมอเตอร์แบบนี้มีช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบ โครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาแพง นอกจากนั้น โครงสร้างของโรเตอร์มีประจุความร้อนต่ำมาก หากเกิดโอเวอร์โวลด์ทำให้มอเตอร์ เสียหายได้ง่ายและ โรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมากคือน้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี่ แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่



รูปที่ 2.9 รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของดีซีมอเตอร์



รูปที่ 2.10 อาร์มาเจอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่ มีรูปร่างเป็นถ้วยตรงกระบอก

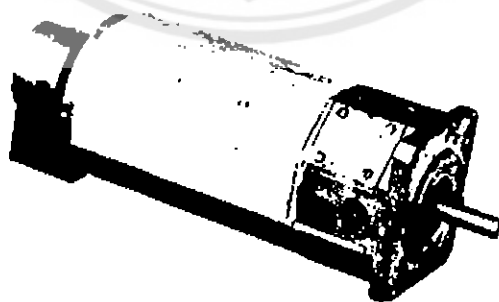


รูปที่ 2.11 รูปร่างและ โครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่



รูปที่ 2.12 คีซีมอเตอร์แบบ โรเตอร์เป็นขดลวดหมุนแบบรูปร่างเป็นงาน

ในรูปที่ 2.12 แสดงถึงขอลวดเคลื่อนที่ลักษณะหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างของอานาเจอร์ เป็นรูปร่างของงานซึ่งทำขึ้นจากขดลวดตัวนำซ้อนกันหลายๆ ชั้น ซึ่งเรามักจะเรียกว่า "Printed Motor" ตัวอย่างดัง รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 คีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

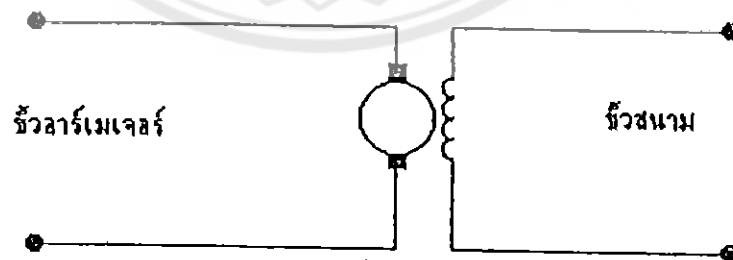
จากรูป 2.13 เป็นมอเตอร์ขนาด 7 แรงม้า ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้แรงบิดสูงถึง 100 ft-lb และพัลส์กระแสได้ถึง 800 แอมป์ ซึ่งในปัจจุบันนำมาใช้มาก เนื่องจากสามารถควบคุมตำแหน่งและให้อัตราส่วนระหว่างแรงบิดและแรงเฉื่อยได้สูง อีกทั้งมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่นๆ นอกจากนั้นความสามารถในการเพิ่มอัตราเร่งยังกระทำให้สูง 10^6 เรเดียน / วินาที²

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor) สามารถจำแนกออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบ โครงสร้างของอามาเจอร์ ในข้างต้นเราได้ทำการแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแบ่งได้เป็น 2 แบบคือคิซิมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ และ คิซิมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ ต่อไปจะจำแนกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตามการต่อของขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1. มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC. Motor)
2. มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC. Motor)
3. มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet DC. Motor)

2.3.1.5 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

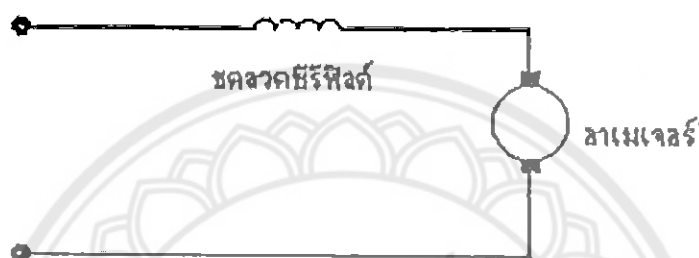
ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานมอเตอร์แบบนี้ สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอาร์เมเจอร์ เป็นผลทำให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มอเตอร์ชนิดนี้จึงมักใช้ในงานระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

2.3.1.5 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

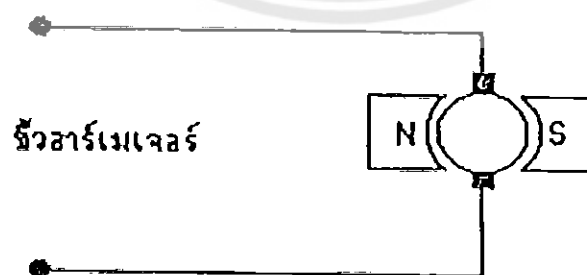
มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแสดังนั้นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ ซึ่งเราจะได้ความสัมพันธ์ ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นแบบไม่เชิงเส้น จึงเหมาะไปใช้งานเฉพาะคือ เมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำมีความเร็วสูง เช่น ระบบการขับเคลื่อนของรถลาก



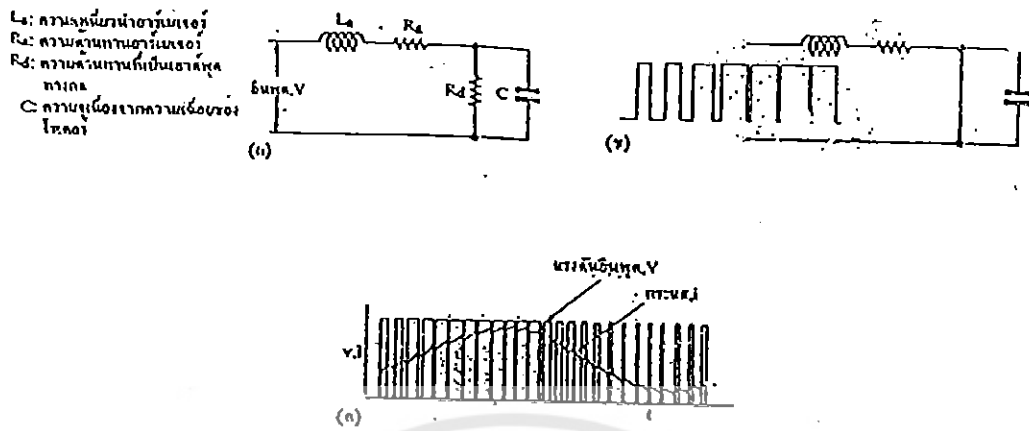
รูปที่ 2.15 ลักษณะ โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

2.3.1.6 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์แบบนี้จะใช้การกระตุ้นสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรซึ่งต่างจากที่กล่าวมาข้างต้นที่ใช้ขดลวดซึ่งแบบนี้จะให้เส้นแรงของสนามแม่เหล็กที่ค่าคงที่ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งมอเตอร์แบบนี้มีข้อดี คือ ไม่มีกำลัง สูญเสียในสนามแม่เหล็กมีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบใช้ขดลวดในการกระตุ้นที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง



รูปที่ 2.16 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลของดีซีมอเตอร์

- (ก) วงจรสมมูลทั่วไป
- (ข) วงจรสมมูลขณะมอเตอร์หยุดนิ่ง
- (ค) รูปคลื่นกระแส

2.3.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลายส่วน เช่น อามเจอร์ ขั้วแม่เหล็ก คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน นอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบย่อยๆ อีก คือ เฟลา ตลับลูกปืน ชุดยึดแปรงถ่าน และ โครงเครื่อง เป็นต้น

2.3.2.1 แกนเหล็กอาร์มาเจอร์

ส่วนของอาร์มาเจอร์ เป็นส่วนที่หมุนตัดกับสนามแม่เหล็กเพื่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า โครงสร้างของอามเจอร์ประกอบด้วยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์และขดลวดอามเจอร์ โดยที่แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอน ผิวทั้งสองข้างจะฉาบด้วยฉนวนวานิช อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์รีซิส และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก ผิวค้ำนอกของทรงกระบอกจะทำเป็นร่อง (slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกแกนเหล็กเพื่อใช้พันขดลวดอามเจอร์ ลักษณะของร่องจะมี 2 แบบ ในมอเตอร์ขนาดเล็ก หรือเครื่องที่มีความเร็วรอบสูง จะใช้ร่องแบบกึ่งปิด แต่ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ นั้นเนื่องจากขดลวดอามเจอร์เป็นขดลวดที่พันล่วงหน้าจึงจำเป็นต้องใช้ร่องแบบเปิด

2.3.2.2 ขดลวดอามาเจอร์

ทำจากเส้นลวดอบจนว่น กรณีที่มีกระแสไม่มากนักจะใช้ลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดทรงกลม ในกรณีที่มีพิกัดกระแสสูงๆ จะหันมาใช้เส้นลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบน ส่วนของขดลวดอามาเจอร์ที่บรรจุอยู่ในร่องเรียกว่า คอลด์ไซด์ (coil side) และส่วนที่เหลือของขดลวดซึ่งไม่ได้อยู่ในร่องเรียกว่า คอลด์เอ็นด์ (coil end) ปกติเมื่อพันขดลวดอามาเจอร์เสร็จแล้ว จะใช้ลึ่มไฟเบอร์สอดไว้ที่ปากร่อง เพื่อป้องกันขดลวดอามาเจอร์หลุดออกจากร่องอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางในขณะที่มอเตอร์ทำงาน

2.3.2.3 ขั้วแม่เหล็ก

เป็นส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กให้ผ่านแกนเหล็กอามาเจอร์ ขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงจะยึดติดกับ โครงเครื่อง และประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือขดลวดฟิลด์ (field coil) แกนของขั้วแม่เหล็ก (pole core) และ โปลชู (pole shoe)

1. โครงเครื่อง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ยึดแกนของขั้วแม่เหล็ก และฝาครอบของเครื่อง นอกจากนั้น ยังใช้เป็นทางผ่านของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กเดินครบวงจร โครงเครื่องอาจทำทำ ด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นที่โค้งงอเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน
2. แกนของขั้วแม่เหล็ก ทำมาจากแผ่นเหล็กลามิเนท (Laminate sheet steel) บี้มเป็นแกนของ ขั้วแม่เหล็กในแผ่นเดียวกัน แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีส่วนที่ยื่นออกจากขอบทั้งสอง บริเวณด้านหน้าของขั้วแม่เหล็ก และมีลักษณะงอตามความ โค้งของแกนแม่เหล็ก
3. ขดลวดสนามแม่เหล็ก คือขดลวดที่พันรอบแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว โดยมากมักจะใช้ขดลวด ฟิลด์ที่พัน ไว้ล่วงหน้าหุ้มจนว่นอบวานิชละเอียดอบแห้งเรียบร้อยแล้ว ไปสวมเข้ากับแกนของ ขั้วแม่เหล็ก การต่อขดลวดฟิลด์ของแต่ละขั้วเข้าด้วยกัน จะต้องทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ สลับกันไป

2.3.2.4 คอมมิวเตเตอร์

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เรียงกระแสหรือเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอามาเจอร์ให้เป็น ไฟฟ้า กระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงมีลักษณะคล้ายรูปลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้า ด้วกันเป็นรูปทรงกระบอก โดยมีแผ่นไมกาคันกลาง ความหนาของแต่ละซี่คอมมิวเตเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาด ของเครื่องและ โวลท์เตจระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ที่อยู่ติดกัน การต่อปลายสายของขดลวดอามาเจอร์เข้ากับ ซี่คอมมิวเตเตอร์ทำได้โดยต่อปลายสายของขดลวดเข้ากับไรเซอร์ (riser) ซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากปลาย ด้วนหนึ่งของแต่ละซี่คอมมิวเตเตอร์

2.3.2.5 แปร่งถ่านและชุดยึดแปร่งถ่าน

แปร่งถ่านจะสัมผัสผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อต่อวงจรขดลวดอามาเจอร์เข้ากับวงจรถายนอก แปร่งถ่านส่วนมากจะทำมาจากคาร์บอนและแกรไฟต์ แปร่งถ่านคาร์บอนทำมาจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ ใช้ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีพิกัดกระแสต่ำ แปร่งถ่านแกรไฟต์ที่ทำมาจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ โดยการเพิ่มปริมาณความร้อนจึงเปลี่ยนสภาพเป็นแกรไฟต์ แปร่งถ่านชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดี นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ชุดยึดแปร่งถ่านจะทำหน้าที่ยึดแปร่งถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม มีสปริงที่ทำหน้าที่กดแปร่งถ่านให้สัมผัสกับผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ ตลอดเวลา ปริมาณกระแสต่อพื้นที่ของแปร่งถ่านที่ใช้ แปร่งถ่านคาร์บอนจะรับกระแสได้ 4-7 แอมป์ต่อตารางซม. แปร่งถ่านแกรไฟต์จะรับกระแสได้ 6-12 แอมป์ต่อตารางซม. ดังนั้น ในเครื่องกลไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูง จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนแปร่งถ่านเข้าไปในตำแหน่งตัวนำบนแกนของล้อคเกอร์

2.3.2.6 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเวอร์แรงบิดที่มีการออกแบบให้มีลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอามาเจอร์ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ (r) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K \Phi I \quad (2.1)$$

เมื่อ

- T แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร
- Φ เส้นแรงแม่เหล็กเป็นเวเบอร์
- I กระแสเป็นแอมแปร์
- K ค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็เป็นส่วนสำคัญ โดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วมอเตอร์คือ

$$E = K \Phi N \quad (2.2)$$

เมื่อ

- E โวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลต์
 Φ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์
 N ความเร็วรอบของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที
 K ค่าคงที่

2.3.2.7 แรงบิดที่ปลายเพล (Shaft Torque)

แรงบิดที่ปลายเพลาคือแรงบิดที่เรานำไปใช้งาน

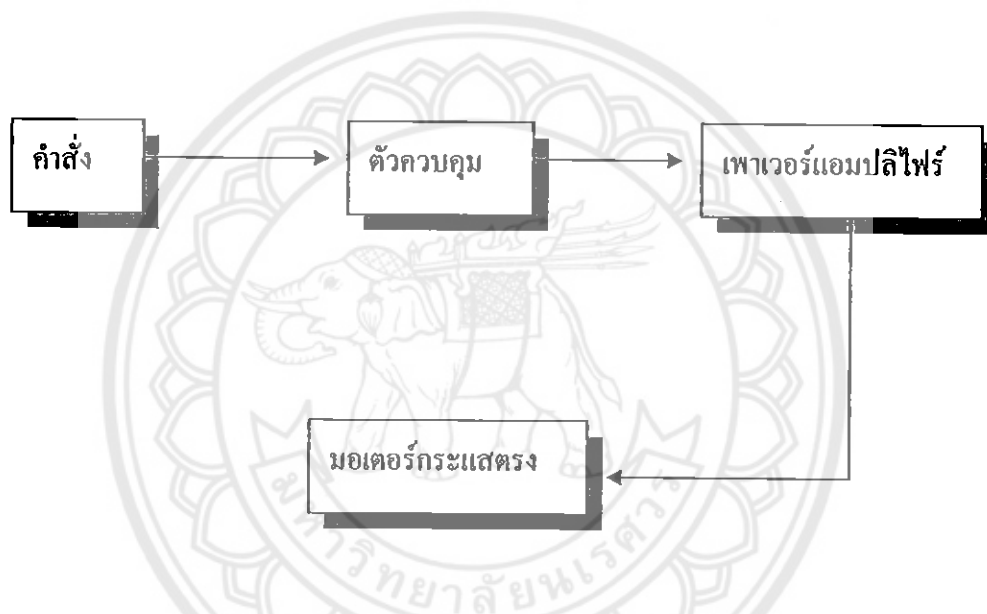
$$\begin{aligned} T_{sh} &= P_{out} / (2\pi N / 60) \\ &= 9.55 P_{out} / N \quad \text{N-M} \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อ

- T_{sh} แรงบิดที่ปลายเพลเป็นนิวตัน-เมตร
 N ความเร็วเป็นรอบต่อนาที
 P_{out} กำลังที่หุทของมอเตอร์เป็น วัตต์

2.4 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง [3-5]

ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง เริ่มต้นจากการออกคำสั่งของผู้ใช้งาน คือ การผู้ใช้งานทำการเลื่อนหรือหมุนปุ่มควบคุมความเร็วและบังคับทิศทาง และปุ่มอื่นๆ ในแป้นควบคุม เมื่อมีการออกคำสั่งควบคุมก็จะนำคำสั่งที่ได้มาดำเนินการตามเงื่อนไขต่างๆ ที่ตั้งไว้ และทำการควบคุมโดยการส่งสัญญาณพัลส์ ไปขับมอสเฟตซึ่งเป็นส่วนประกอบในส่วนของเพาเวอร์แอมพลิไฟร์ และวงจรเพาเวอร์แอมพลิไฟร์ จะทำการขับมอเตอร์กระแสตรงตามที่ผู้ใช้งานออกคำสั่ง ซึ่งกระบวนการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง แสดงไว้ดังแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 2.18 ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงพื้นฐาน

2.4.1 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นส่วนของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณควบคุมไปยังกับมอเตอร์กระแสตรงและโหลดซึ่ง อาจจะเป็นอะนาล็อกหรือดิจิทัลก็ได้ ในโครงการนี้เป็นแบบอะนาล็อก เนื่องจากว่าสัญญาณพัลส์ที่จะนำไปควบคุมวงจรส่วนใดเวอร์ เป็นสัญญาณที่ได้จากการใช้คลื่นรูปสามเหลี่ยมกับคอมพาราเรเตอร์

มอเตอร์ทุกตัวจะทำงานที่ ลอจิก 0

ถ้า Enable = 0 มอเตอร์จะ OFF

ถ้า Enable = 1 มอเตอร์จะ ON

ถ้า A = 0 และ B = 1 Q1 และ Q4 จะ ON ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์

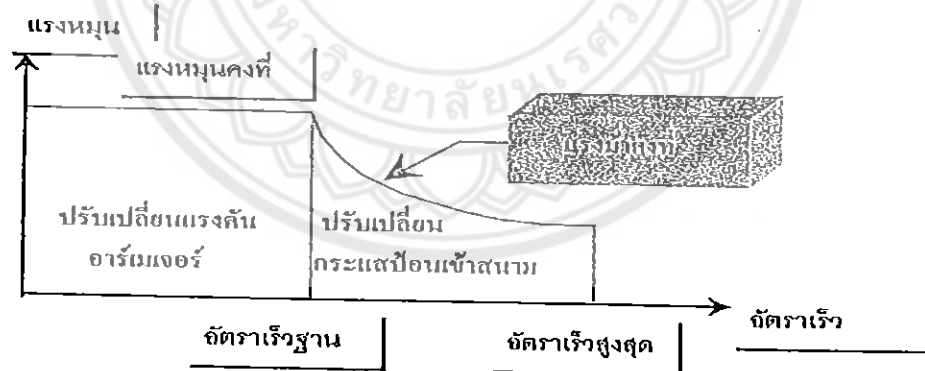
ถ้า A = 1 และ B = 0 Q2 และ Q3 จะ ON ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์อีกทิศทางหนึ่ง

หมายเหตุ A และ B ห้ามเป็นลอจิกตามกัน เพราะจะทำให้วงจรเกิดการช็อต (Short Through)

แล้วมอเตอร์จะไม่สามารถทนกระแสขณะเกิดการช็อตได้ ทำให้มอเตอร์ เกิดการเบรคควาน์หรือเสียหายนั่นเอง

2.4.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

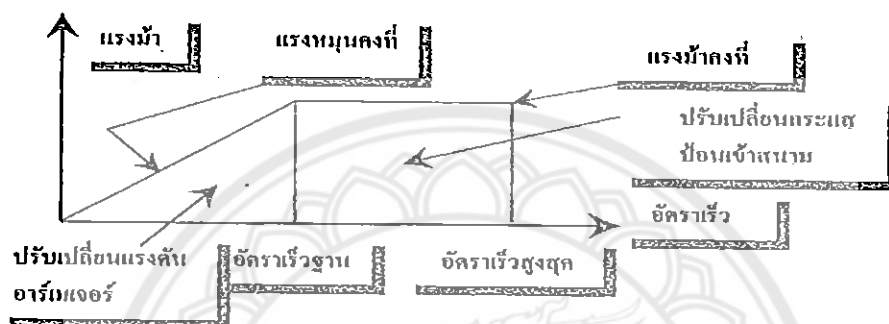
ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงประเภทแม่เหล็กถาวรนี้ การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงจะสามารถทำได้เพียงวิธีการเดียว คือการควบคุมแรงดันไฟตรงของอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage Control) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีการควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Field Control) ไม่สามารถทำได้เนื่องจากสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ประเภท แม่เหล็กถาวรนี้ เกิดจากแม่เหล็กถาวรที่อยู่ในตัวมอเตอร์เอง เราไม่สามารถที่จะทำการเพิ่มหรือลดความเข้มของสนามแม่เหล็กนี้ได้



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกับทวนของมอเตอร์

2.4.4.1 การควบคุมแรงดันไฟตรงของอาร์เมเจอร์

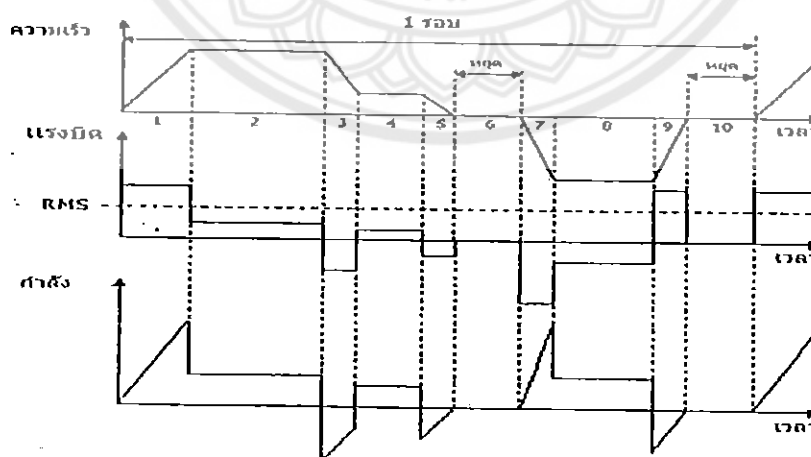
เนื่องจากว่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแปรผันตรง กับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวด อาร์มาเจอร์ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันของขดลวดอาร์เมเจอร์ วิธีการนี้จะใช้ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่พิกัด (Base Speed) คือการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ กระแสตรงโดยที่ความเร็วรอบของการใช้งานจริงอยู่ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วพิกัดของมอเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้เพราะเป็นวิธีที่ให้แรงบิดสูง



รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราเร็วของมอเตอร์

2.4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว, แรงบิด และกำลัง

ขนาดแรงดันและกระแสพิกัดของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วและแรงบิดสูงสุด ขณะที่แรงบิดสูงสุด และแรงบิดอาร์เอ็มเอส (RMS Torque) จำเป็นต้องคำนวณไว้ก่อนขณะเริ่มออกแบบ



รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็ว-เวลา, แรงบิด-เวลา, กำลัง-เวลา

2.4.4.3 แรงบิดอาร์เอ็มเอส (RMS Torque)

คำนวณดังสูตรต่อไปนี้

T_i คือ ทอร์ก

t_i คือ เวลาในแต่ละ i

$$V_i = I_m * R_m + E$$

$$E = K_e * S_m$$

$$T = K_t * I_m \text{ สำหรับมอเตอร์แบบโรตารี (Rotary Motor) หรือ}$$

$$F = K_r * I_m \text{ สำหรับมอเตอร์เชิงเส้น (Linear Motor)}$$

$$T_{sh} = \frac{9.55 P_{out}}{N} \text{ N-m}$$

โดย

V_t แรงดันที่ปลายขั้วมอเตอร์ [V]

I_m กระแสเข้ามอเตอร์ [A]

R_m ความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ []

E แรงเคลื่อนต่อต้าน (Back-EMF Voltage) [V]

T ทอร์กมอเตอร์ [Nm or lb.-in]

F แรงมอเตอร์ [N or lb.]

K_t ค่าคงที่ของทอร์กมอเตอร์ [Nm/A or lb.-in/A]

K_r ค่าคงที่ของแรงมอเตอร์ [N/A or lb./A]

K_e ค่าคงที่ของแรงดัน [V/K_{rpm} or V/ms]

S_m ความเร็วของมอเตอร์ [rpm or m/s]

N ความเร็วรอบ [rpm]

แรงดันสูงสุดและกระแสสูงสุดจะคำนวณได้จากสมการข้างต้น

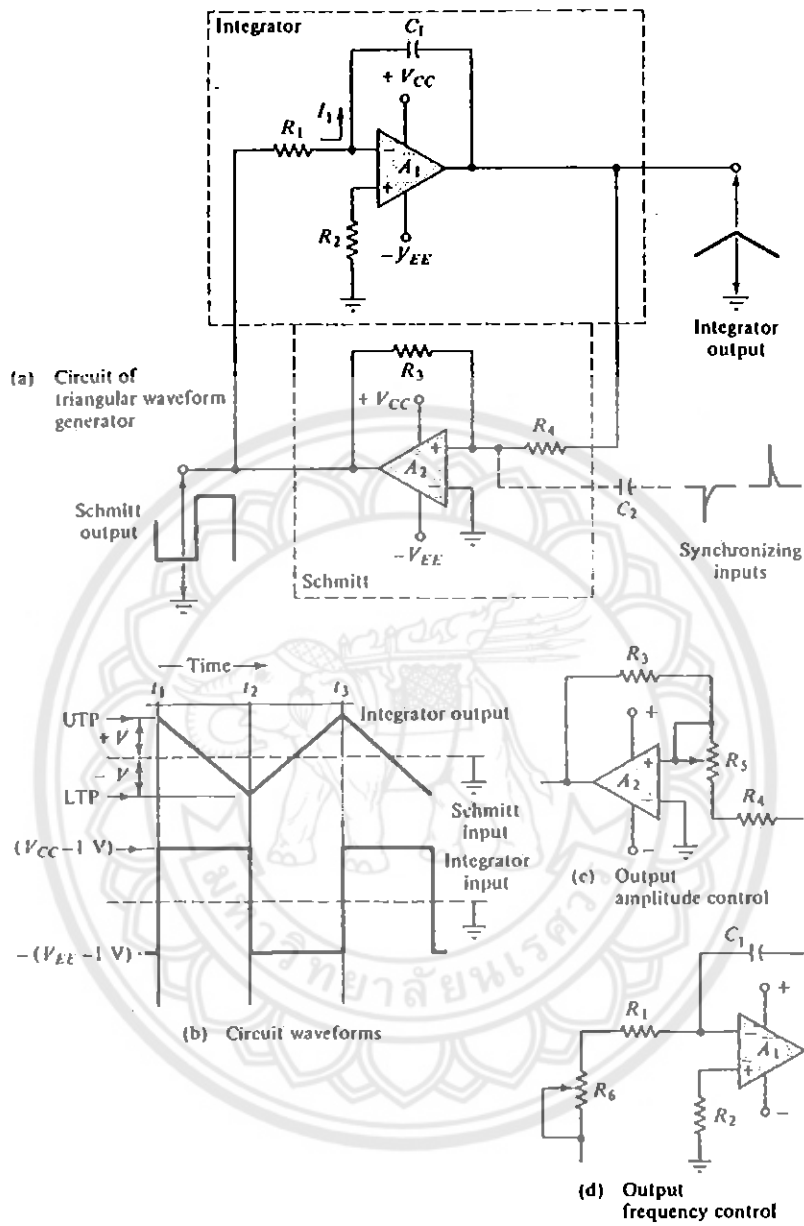
2.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้ออปแอมป์ [4]

เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้ออปแอมป์ (Opamp Triangular Waveform Generator) ประกอบไปด้วยออปแอมป์ 2 วงจร วงจรที่หนึ่งทำหน้าที่เป็นขมิตต์ทริกเกอร์ส่งสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าวงจรที่สอง ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินทิเกรเตอร์ เปลี่ยนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม

2.5.1 การทำงานของวงจร

ออปแอมป์ตัวที่ 2 (A_2) ทำงานเป็นขมิตต์ทริกเกอร์ โดยรับสัญญาณกระตุ้นจากเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 1 (A_1) ซึ่งเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า UTP ถึง LTP ตามรูปที่ 2.23 (b) ทำให้ ออปแอมป์ A_2 ผลิตคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนให้กับอินพุตของออปแอมป์ A_1 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมโดย PW ของสัญญาณเท่ากับ $t_2 - t_1$ ขนาดของสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมขึ้นอยู่กับอัตราขยายของออปแอมป์ A_2 ซึ่งสามารถปรับได้โดยปรับขยาย R_5 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าอัตราขยายของวงจร ดังรูป 2.23 (c) ถ้าหับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตปรับได้โดยปรับค่า R_1 ในรูป 2.23(a) ในทางปฏิบัติทำได้โดยการเพิ่มค่า R_6 อนุกรมกับ R_1 และปรับความถี่นี้ คือ การปรับคาบเวลาของสัญญาณ คือปรับเวลาในการเก็บประจุและคายประจุของ C_1 นั้นเอง วงจรปรับความถี่แสดงในรูป 2.23(d)

ร/ร.
ศ 2725
2545



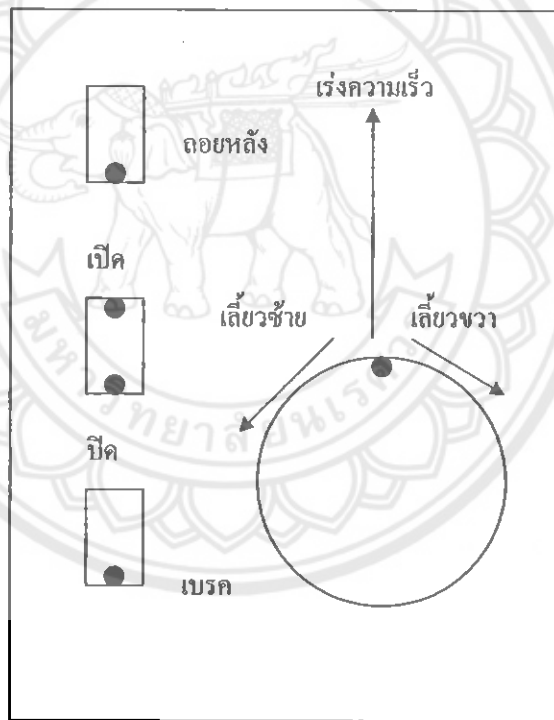
รูปที่ 2.23 วงจรพื้นฐานของการกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้โอปแอมป์

บทที่ 3

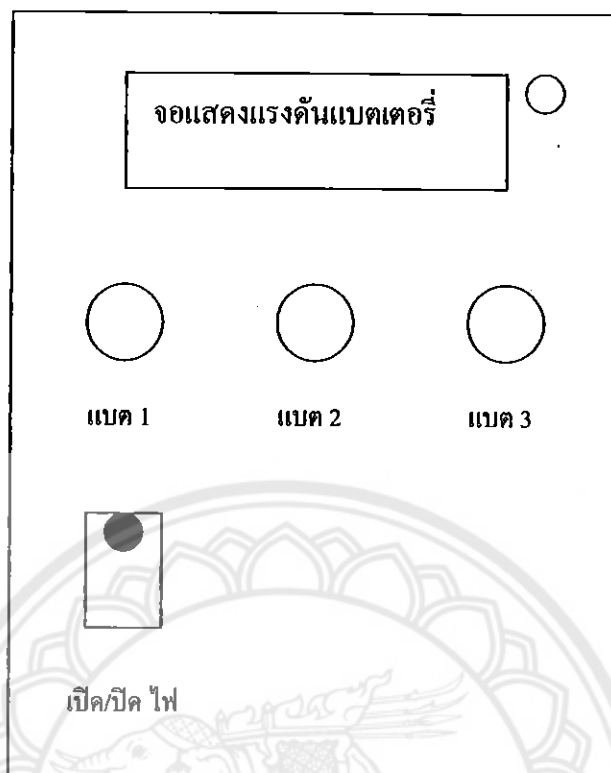
การสร้างรถคนพิการไฟฟ้า

3.1 วงจรควบคุม

ในการควบคุมทั้งความเร็วและทิศทางของตัวรถในโครงงานนี้ การควบคุมทั้งหมดเป็นแบบอะนาล็อก โดยที่เป็นควบคุมด้านขวามือจะมีปุ่มที่สามารถเลื่อนเดินหน้าและถอยหลัง และสามารถหมุนซ้ายและขวาได้ ในปุ่มเดียว ซึ่งเป็นการสะดวกต่อการบังคับรถ และยังมี ปุ่มสำหรับเลือกเดินถอยหลัง ปุ่มเบรก และปุ่มเปิดปิดรถ ส่วนเป็นควบคุมด้านซ้ายมือจะมีปุ่มสำหรับตรวจเช็คระดับแรงดันแบตเตอรี่และจอแสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่ และปุ่มเปิดปิดไฟส่องสว่างสำหรับการใช้งานเวลากลางคืน



รูปที่ 3.1 แสดงเป็นควบคุมด้านขวามือ



รูปที่ 3.2 แสดงเป็นควบคุมด้านซ้ายมือ

การควบคุมต่างๆ บนแป้นควบคุมทั้งด้านซ้ายมือและขวามือนั้นจะเป็นสวิตช์ธรรมดาในการสั่งงาน ยกเว้นเพียงปุ่มบังคับความเร็วและทิศทางเท่านั้นที่ไม่ใช่สวิตช์ เพราะว่าปุ่มบังคับความเร็วและทิศทางเป็นปุ่มที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และความเร็วของมอเตอร์ก็ถูก ควบคุมโดย Duty Cycle ของสัญญาณพัลส์ที่ไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ดังนั้นปุ่มบังคับความเร็วและทิศทาง จึงเป็นส่วนหนึ่งของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ โดยเป็นส่วนของตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวปรับแรงดันที่นำไปเปรียบเทียบกับคลื่นรูปสามเหลี่ยม เพื่อให้ได้ค่า Duty Cycle ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการเลื่อนปุ่มไปข้างหน้าเป็นการเพิ่ม Duty Cycle ก็คือการเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น โดยการเลื่อนปุ่มไปด้านหลังเป็นการเพิ่มความเร็วของรถทั้งขณะเดินหน้าและถอยหลัง

3.1.1 การใช้งานของแป้นควบคุม

1. ปุ่มเปิด/ปิด เป็นปุ่มสำหรับเปิดและปิดวงจรขับและวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ เมื่อปิดแล้วรถจะไม่สามารถขับเคลื่อนได้ แต่ยังสามารถทำการเช็คแรงดันแบตเตอรี่และทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้
2. ปุ่มบังคับความเร็วและทิศทาง เป็นปุ่มหลักที่สำหรับในการควบคุมความเร็วและทิศทางการเลี้ยวของรถ โดยเมื่อคันปุมไปข้างหน้าก็จะเป็นการเพิ่มความเร็ว และเลี้ยวซ้ายหรือขวาตามทิศทางการหมุนปุม
3. ปุ่มถอยหลัง เป็นปุ่มสำหรับเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ จากการเดินหน้าให้เปลี่ยนเป็นถอยหลัง โดยที่การควบคุมความเร็วและบังคับทิศทางของปุมบังคับทิศทางและควบคุมความเร็วยังทำได้เหมือนขณะเดินหน้าทุกอย่าง
4. ปุ่มเบรก เป็นปุ่มที่ใช้ในการหยุดการเคลื่อนที่ของรถ เมื่อกดปุ่มเบรก รถจะหยุด อย่างรวดเร็ว เนื่องจากว่าเมื่อกดปุ่มเบรกแล้ว รีเลย์จะทำการตัดแหล่งจ่ายไฟออกจากขั้วของมอเตอร์แล้วทำการช็อตขั้วทั้งสอง ของมอเตอร์โดยผ่านตัวต้านทานค่าน้อยๆ กระแสที่ไหลวนในขดลวดของมอเตอร์จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น ซึ่งเป็นเส้นแรงแม่เหล็กที่ก่อให้เกิดแรงบิดในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศทางเดิมที่มอเตอร์หมุนอยู่ก่อนที่จะเบรก ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว และจะไม่สามารถขับเคลื่อนรถได้ถ้าปุมเบรคยังถูกกดอยู่
5. ปุ่มเบต 1, เบต 2 และ เบต 3 เป็นสวิตช์กดติดปัลล้อยดับ เมื่อกดปุ่มค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะปรากฏขึ้นที่จอแสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบ seven-segment โดยจะแสดงผลเป็นเลขทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง โดยได้ทำการแยกการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่เป็นสามชุด เนื่องจากว่าในโครงการมีการใช้แบตเตอรี่ทำหน้าที่เฉพาะต่างกันแบ่งเป็นสามชุด โดยมีชุดสำหรับวงจรไมโครเวร์ หนึ่งชุด และสำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ สองชุด
6. ปุ่มเปิด/ปิด ไฟ เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับเปิดและปิดไฟส่องสว่างหน้ารถ ในกรณีที่ต้องใช้รถในเวลาากลางคืน

3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยการควบคุมแรงดันอามาเจอร์ และขับมอเตอร์กระแสตรงด้วยเซอร์โวแอมพลิไฟร์ โดยที่เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามวิธีใช้ขั้วอุปกรณ์โซลิดสเตต (Solid State) ชนิดแรกเรียกว่า เซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิดเชิงเส้น (Linear Servo Amplifier) ซึ่งขับให้มอเตอร์ทำงานอยู่ในย่านที่เป็นเชิงเส้น ส่วนการขับอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบบพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น

เพื่อเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในมอสเฟตและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ วงจร เซอร์โวแอมพลิไฟร์ และเนื่องจากเซอร์โวแอมพลิไฟร์ชนิดเชิงเส้นมีกำลังงานสูญเสียมากกว่าแบบ เซอร์โวแอมพลิไฟร์แบบพัลส์วิดธ์มอดูเลชันจึงมีการนำเอาวิธีการพัลส์วิดธ์มอดูเลชันหรือ PWM มาใช้ กับเซอร์โวแอมพลิไฟร์ โดยให้มอสเฟตทำงานเพียงสองสถานะ คือ สถานะทำงาน และ ไม่ทำงาน

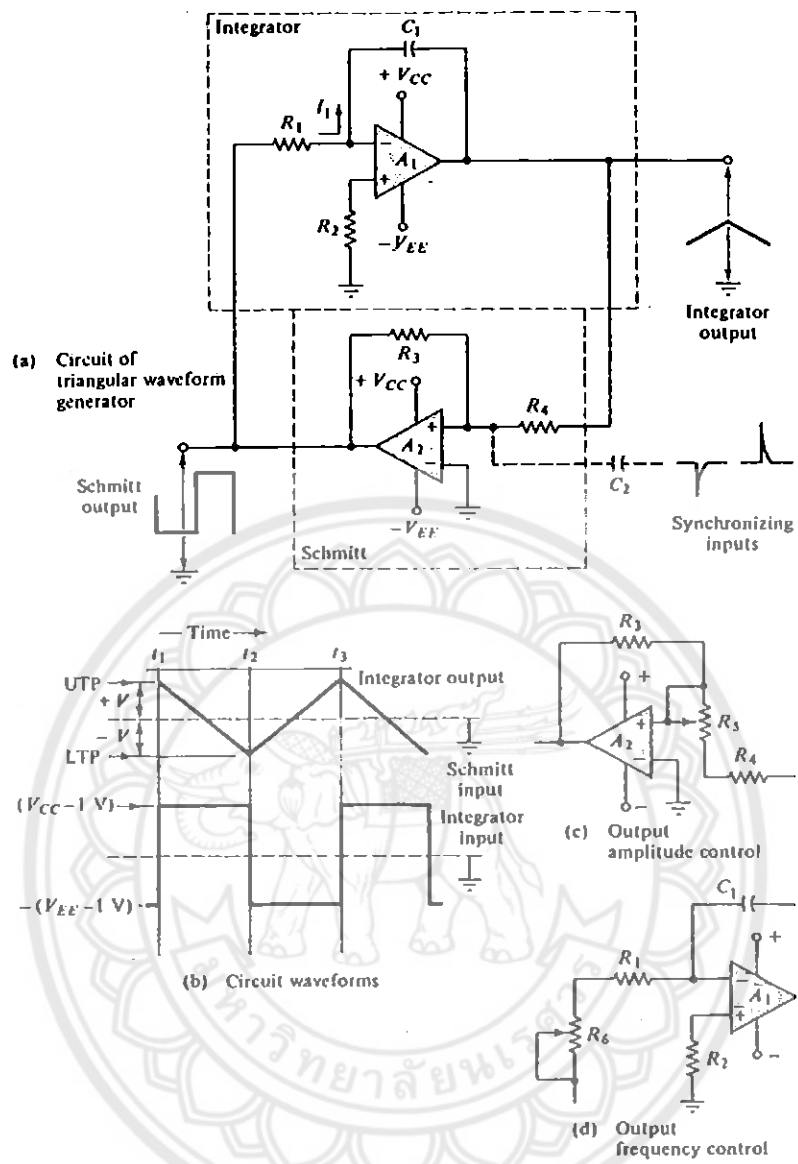
พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน หรือ PWM คือวิธีการทำให้สัญญาณอะนาล็อกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ สัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในหนึ่งคาบเวลาได้ การพิจารณาเราจะศึกษาถึงวิธีการสร้างและ การคิมอดูเลชันสัญญาณ PWM วิธีการสร้างสัญญาณ PWM ทำให้สองอย่างคือ ใช้วิธีดิจิทัล ไฮบริดจ์ และอะนาล็อก ในโครงการนี้ใช้ พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน แบบอะนาล็อก โดยหลักการสร้างพัลส์วิดธ์มอดู เลชัน จะใช้รูปคลื่นสามเหลี่ยมจะถูกป้อนเข้าที่ขาหนึ่ง ของคอมพาราเตอร์ส่วนขาที่เหลือจะป้อน สัญญาณอะนาล็อกเข้าไป ก็จะได้สัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของคอมพาราเตอร์โดยสัญญาณอะนาล็อก เป็นสัญญาณที่จะถูกมอดูเลต ส่วนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเป็นคลื่นพาห์ ในกระบวนการมอดูเลชัน

3.2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้ออปแอมป์

เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้ออปแอมป์ (Op-amp Triangular Waveform Generator) ประกอบไปด้วยออปแอมป์ 2 วงจร วงจรที่หนึ่งทำหน้าที่เป็นซิมิตต์ทริกเกอร์ส่งสัญญาณ พัลส์สี่เหลี่ยมเข้ววงจรที่สอง ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินทิเกรเตอร์ เปลี่ยนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นรูปคลื่น สามเหลี่ยม ดังรูปที่ 3.3

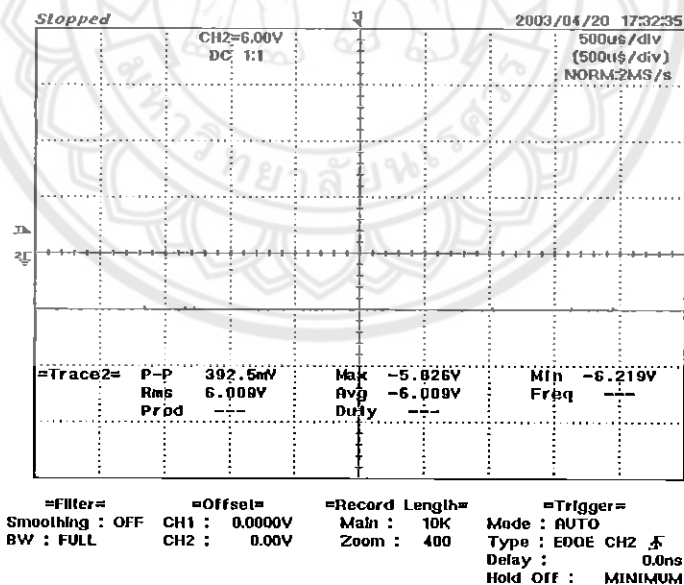
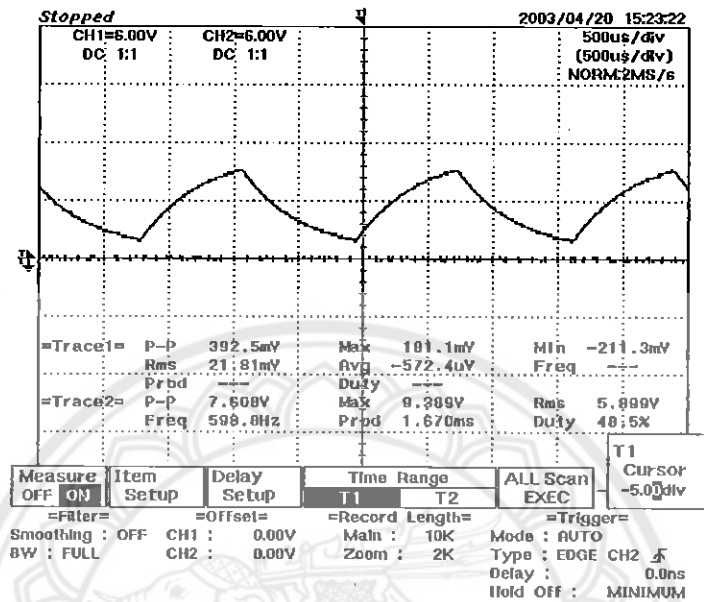
3.2.2 การทำงานของวงจร

ออปแอมป์ตัวที่ 2 (A_2) ทำงานเป็นซิมิตต์ทริกเกอร์ โดยรับสัญญาณกระตุ้นจากเอาต์พุตของ ออปแอมป์ตัวที่ 1 (A_1) ซึ่งเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า UTP ถึง LTP ตามรูป 3.3(b) ทำให้ออปแอมป์ A_2 ผลิตคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนให้กับอินพุตของออปแอมป์ A_1 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมโดย PW ของสัญญาณเท่ากับ $t_2 - t_1$ ขนาดของ สัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมขึ้นอยู่กับอัตราขยายของออปแอมป์ A_2 ซึ่งสามารถปรับได้โดยปรับขยาย R_5 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับค่าอัตราขยายของวงจร ดังรูป 3.3 (c) สำหรับความถี่ของสัญญาณ เอาต์พุตปรับได้โดยปรับค่า R_1 ในรูป 3.3(a) ในทางปฏิบัติทำได้โดยการเพิ่มค่า R_6 อนุกรมกับ R_1 และ ปรับความถี่นี้คือการปรับคาบเวลาของสัญญาณ คือปรับเวลาในการเก็บประจุและคายประจุของ C_1 นั้นเอง วงจรปรับความถี่แสดงในรูป 3.3(d)

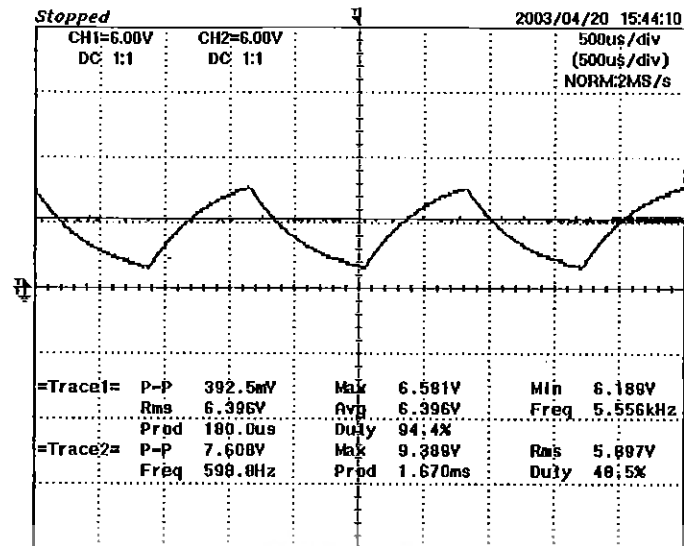


รูปที่ 3.3 วงจรพื้นฐานของการกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้โอปแอมป์

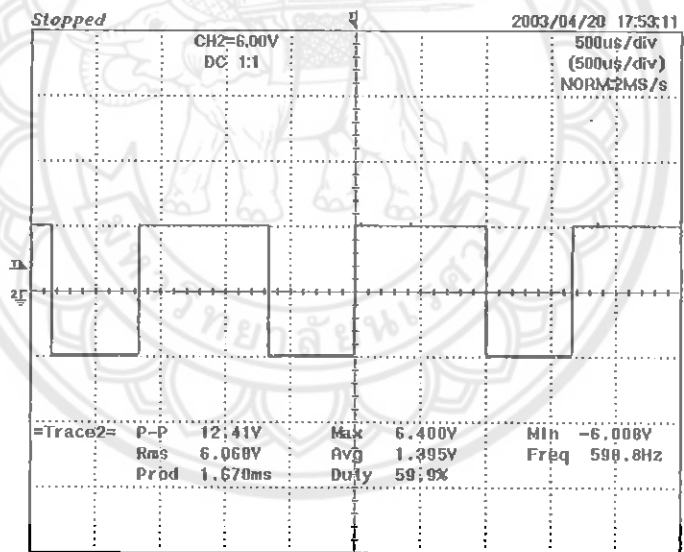
กราฟต่อไปนี้ แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยม กับแรงดันไฟตรง และกราฟ
แสดงผลที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยม กับแรงดันไฟตรง ที่ได้จากวงจรสร้างพัลส์
ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ ที่ Duty Cycle ต่างๆกัน



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง
และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 0%

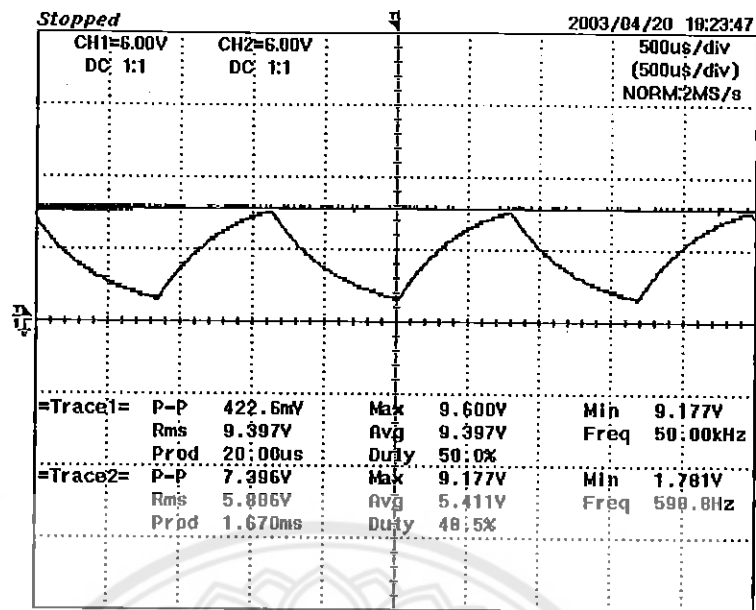


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 2K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 \neq Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

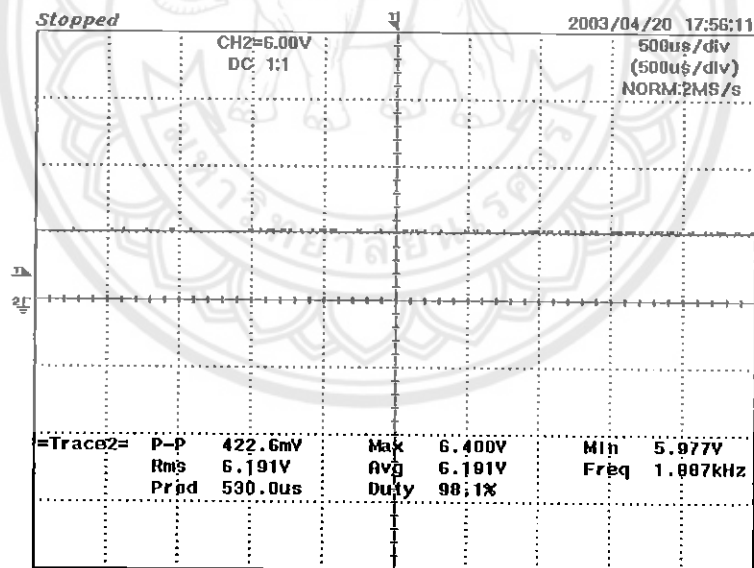


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 400
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 \neq Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดัน ไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 60 %



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 400
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 ∇ Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

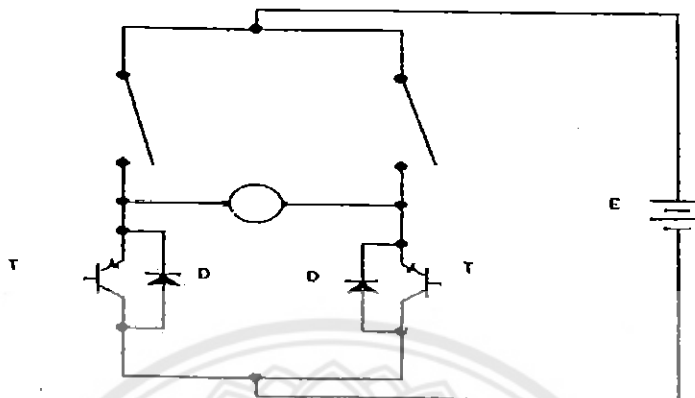


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 400
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 ∇ Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 3.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 100 %

3.3 วงจรไครเวอร์

เพื่อเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในมอสเฟตและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวงจรไครเวอร์ จึงได้ออกแบบวงจรไครเวอร์โดยใช้การทำงานร่วมกันของรีเลย์และมอสเฟตดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรไครเวอร์

โดยมีหลักการการทำงานคือสวิตช์ S1 จะทำงานสลับกันกับสวิตช์ S2 และมอสเฟต T1 จะทำงานสลับกันกับมอสเฟต T2

คือ ในสถานะที่สวิตช์ S1 ปิดวงจรสวิตช์ S2 จะเปิดวงจรและมอสเฟต T1 ก็จะนำกระแสโดยการจ่ายพัลส์ไปที่ ขาเกตของมอสเฟต T1 ส่วนที่มอสเฟต T2 จะไม่นำกระแสเพราะที่ขาเกตของมอสเฟต T2 จะถูกไฟกระแสตรงที่มีแรงดัน -12 V. จ่ายเข้าไป และในสถานะที่สวิตช์ S2 ปิดวงจรสวิตช์ S1 จะเปิดวงจรและมอสเฟต T2 ก็จะนำกระแสโดยการจ่ายพัลส์ไปที่ ขาเกตของมอสเฟต T2 ส่วนที่มอสเฟต T1 จะไม่นำกระแสเพราะที่ขาเกตของมอสเฟต T1 จะถูกไฟกระแสตรงที่มีแรงดัน -12 V. จ่ายเข้าไป เช่นเดียวกัน

ด้วยการทำงานดังกล่าวจึงทำให้มอเตอร์สามารถนำกระแสได้ทั้งสองทิศทางดังนั้นมอเตอร์จึงสามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทางคือเดินหน้าและถอยหลัง

3.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ [6]

เนื่องจากโครงการเป็นโครงการเรื่อง รถคนพิการไฟฟ้า เพราะฉะนั้น ผู้ใช้งานโครงการต้องเป็นผู้พิการ จึงไม่เป็นการสะดวกนัก ที่จะให้คนพิการต้องถอดแบตเตอรี่เข้าและออก เพื่อนำไปทำการชาร์จ เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้มากขึ้น โครงการรถคนพิการไฟฟ้าจึงได้คิดที่จะติดตั้งวงจรสำหรับทำการชาร์จแบตเตอรี่ ไว้ภายในตัวรถเสีย การชาร์จก็ทำเพียงแค่เสียบเต้าเสียบกับเต้ารับขนาด 220 โวลต์ ทั่วไปได้ทันที เนื่องจากว่าในโครงการมีการใช้แบตเตอรี่ทำหน้าที่เฉพาะต่างกัน แบ่งเป็นสามชุด โดยมีชุดสำหรับวงจรไมโครเวฟ หนึ่งชุด และสำหรับ วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ สองชุด ดังนั้น การชาร์จแบตเตอรี่ของรถคนพิการไฟฟ้า จึงมีสวิทช์ไว้เพื่อให้เลือกว่าจะทำการชาร์จแบตเตอรี่ชุดใด ซึ่งทั้งนี้สามารถตรวจสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ได้ทั้งสามชุด จากวงจรตรวจสอบแรงดันแบตเตอรี่

ในวงจรชาร์จแบตเตอรี่จะแบ่งระดับแรงดันที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ เป็น 2 ระดับ ได้แก่ ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ เมื่อทำการชาร์จจะมีการแสดงผลที่เป็นควบคุมด้านซ้าย โดยใช้ LED สีแดงแสดงการชาร์จ และเมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้ว จะมีการแสดงผลเป็น LED สีเขียว

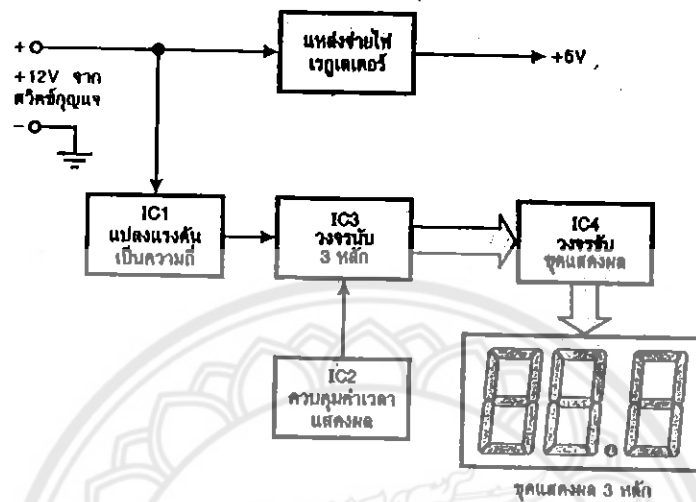
3.5 วงจรแสดงแรงดันแรงดันแบตเตอรี่ [7]

ในโครงการรถคนพิการไฟฟ้า แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำคัญที่จะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อขับเคลื่อนตัวรถ ถ้าพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่หมด หรือมีไม่เพียงพอตัวรถก็ไม่สามารถขับเคลื่อนได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องรู้ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ได้ตลอดเวลาที่ต้องการ เพื่อการนี้โครงการรถคนพิการไฟฟ้า จึงได้ติดตั้งวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ไว้ด้วย โดยจะแสดงผลค่า แรงดันแบตเตอรี่ผ่านจอแสดงผลแบบ seven-segment โดยแสดงผลเป็นเลขทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง โดยได้ทำการแยกการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่เป็นสามชุด เนื่องจากว่าใน โครงการมีการใช้แบตเตอรี่ทำหน้าที่เฉพาะต่างกันแบ่งเป็นสามชุด โดยมีชุดสำหรับวงจรไมโครเวฟ หนึ่งชุด และสำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ อีก สองชุด เพื่อเป็นการสะดวกต่อการตรวจสอบระดับแรงดันแบตเตอรี่

3.5.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจร

ก่อนที่จะทำความเข้าใจกับวงจรจริงของชุดแสดงแรงดันแบตเตอรี่นี้ ควรมาทำความเข้าใจหลักการการทำงานของบล็อกไดอะแกรม ในรูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนทำงานต่างๆ ในวงจรจริง ซึ่งจะสังเกตเห็นส่วนประกอบหลักๆ ของวงจรได้อย่างง่ายและทำความเข้าใจง่ายด้วย จากรูปก็สามารถแบ่งส่วนทำงานออกเป็นบล็อกได้ทั้งหมด 6 บล็อกด้วยกัน อาจจะมีข้อสังเกตทำไมไม่เอาคิิจิตอล โวลต์มิเตอร์มาวัดค่าแรงดันเสียเลยหรือเลือกใช้ไอซีคิิจิตอล โวลต์มิเตอร์ (A/D) ในตระกูล ICL7106/7 ของ intersil ไปเลยก็จะสะดวกดี แต่คำตอบก็คือคิิจิตอล โวลต์มิเตอร์และชุดแสดงค่าแรงดันจาก ไอซี ICL7106/7 นั้นมีราคาค่อนข้างแพง และหากนำมาติดตั้งแสดงผลในรถเพียงหน้าที่เดียว

คงจะไม่เหมาะสมและไม่คุ้มค่านัก จึงจำเป็นต้องสรรหาวงจรใหม่และราคาอุปกรณ์ที่ถูกกว่า มาทำชุดแสดงผลค่าแรงดันนี้แทน และจะต้องเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากในการต่อใช้งานด้วยสายเพียงสองเส้นคือ ไฟเลี้ยงบวก-ลบ ก็สามารถทำให้วงจรทำงานได้แล้วและเป็นการวัดค่าแรงดันไปพร้อมกันด้วย



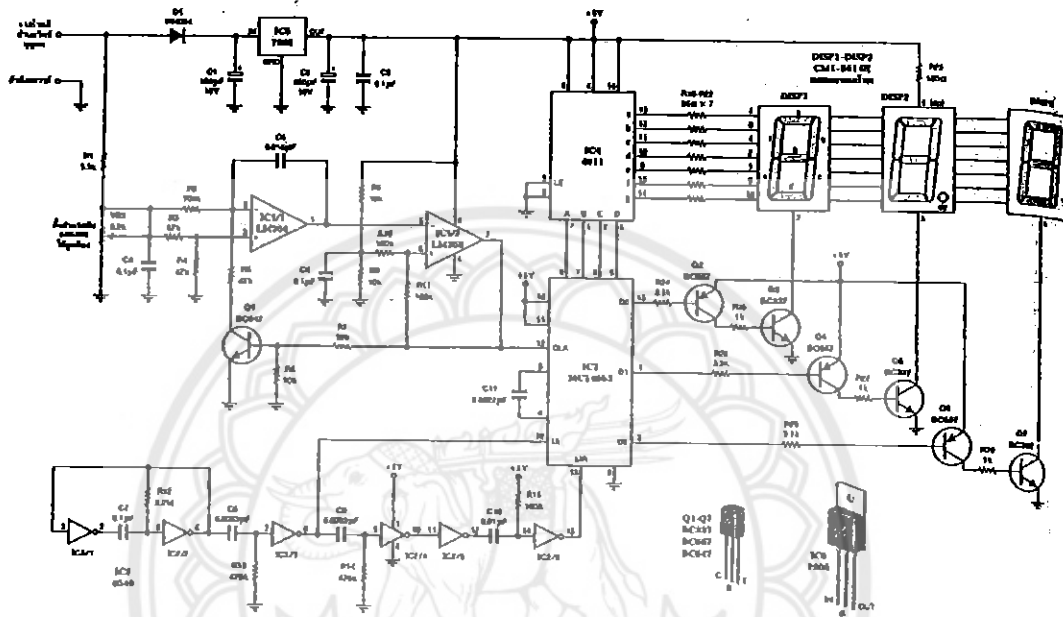
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของชุดแสดงแรงดันแบบเตอรี่

พิจารณาตามบล็อกไดอะแกรม แรงดันจากแบตเตอรี่โดยตรงจะถูกจ่ายเข้าสู่วงจรเรกูเลเตอร์ เพื่อทำการลดแรงดันและเรกูเลตให้ได้แรงดัน +5 โวลต์ จ่ายไปเลี้ยงวงจรในส่วนต่างๆ ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ วงจรขับ LED เซเวนเซกเมนต์, LED เซเวนเซกเมนต์และวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาฐานเวลา สำหรับจุดที่ต่อแรงดันอินพุตจากแบตเตอรี่นั้น ส่วนหนึ่งจะต่อผ่านวงจรแบ่งแรงดันและเซตค่าแรงดันอ้างอิงเข้าสู่อปแอมป์ เพื่อทำการแปลงแรงดันจากแบตเตอรี่ไปเป็นสัญญาณพัลส์ความถี่ใน IC1 เพื่อให้สามารถนับค่าและแสดงผลออกมาได้

ซึ่งความถี่ที่ออกมาจะผันตรงกับค่าแรงดันจากแบตเตอรี่ และสัญญาณพัลส์ความถี่ที่เกิดจากการแปลงสัญญาณ IC1 นี้ ก็จะเป็นสัญญาณนาฬิกาเข้าไปนับที่ส่วนนับสัญญาณและแสดงผล IC3 ขับผ่าน IC4 เพื่อขับ LED เซเวนเซกเมนต์แสดงผลออกมา การแสดงผลในแต่ละช่วงนั้นจะใช้การเปิดเกิดตามค่าเวลาควบคุมที่กำหนดมาจาก IC2 ซึ่งจะควบคุมการเริ่มต้นและการแสดงผลในแต่ละช่วงของแรงดันหรือกำหนดช่วงของการถอยรหัส BCD แล้วจึงแสดงผลออกมาให้เห็น

3.5.2 วงจรและการทำงาน

พิจารณาวงจรใช้งานสมบูรณ์ของชุดแสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่รถยนต์กันบ้าง ในรูปที่ 3.9 แสดงวงจรสมบูรณ์ของชุดแสดงค่าแรงดัน หากสังเกตให้ดีอุปกรณ์หลักๆ ที่กล่าวถึงในช่วงต้นของบล็อกโคโธแกรมนั้น ก็ยังถูกใช้งานอยู่ครบทุกตัว ไม่เปลี่ยนแปลง หากแต่ถ้าจะมีอุปกรณ์ย่อยประกอบรวมอยู่ด้วย



รูปที่ 3.9 วงจรสมบูรณ์ของชุดแสดงแรงดันแบตเตอรี่

การทำงานของวงจรแปลงค่าแรงดันเป็นค่าความถี่ประกอบด้วย IC1/1 และ IC1/2 โดยที่ IC1/2 นั้นจะถูกกำหนดให้เป็นวงจรแปลงสัญญาณแบบชนิดตรีโกณมิติ และค่าแรงดันอินพุตจากแบตเตอรี่ โดยตรงที่เข้ามานั้น จะต้องทำการแบ่งแรงดันให้เหมาะสมเสียก่อน ด้วยตัวต้านทาน R1 และ VR1 ซึ่งจัดเป็นวงจรแบ่งแรงดันและแชนเปลแรงดันป้อนเข้าอินพุตขา 2 ของ IC1/1 ผ่านตัวต้านทาน R2 และแรงดันอินพุตที่ผ่านการแบ่งแรงดันแล้วนี้ จะถูกหารสองด้วยชุดของตัวต้านทาน R3 และ R4 ก่อนจะป้อนเข้าที่ขา 3 ของ IC1/1 ด้วยเพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงในการเกิดสัญญาณแรมพ์

ในการทำงานแปลงแรงดันเป็นค่าความถี่นั้น เอาต์พุตขา 1 ของ IC1/1 จะให้เอาต์พุตออกมาเป็น สัญญาณแรมพ์ขึ้น / ลง ตามลักษณะการทำงานของขมิตต์ทริกเกอร์ของ IC1/2 และ Q1 ซึ่งทำหน้าที่ ป้อนกลับรูปแบบลบ โดยที่ระดับเทรสโวลต์สูงสุดและต่ำสุดของ วงจรขมิตต์ทริกเกอร์ IC1/2 นั้น จะเซตไว้ที่ระดับประมาณ 2/3 ของแรงดัน Vcc และ 1/3 ของแรงดัน Vcc ซึ่งกำหนดได้ด้วยค่าตัว ค้านทานป้อนกลับ R10 และ R11 ที่ขา 5 ของ IC1/2

จังหวะการทำงานของการทำงานแปลงแรงดันความถี่นี้จะเริ่มต้นขึ้น เมื่อมีแรงดันจากแบตเตอรี่ ป้อนเข้ามาที่อินพุตหรือต่อเข้าสู่วงจรทั้งหมด เอาต์พุตของ IC1/1 จะผลิตสัญญาณแรมพ์ขาลงอย่างเป็น เชิงเส้นและจะลดลงต่ำลงมาเรื่อยๆ จะกระทั่งถึงระดับเทรสโวลต์ต่ำสุดของ IC1/2 (ประมาณ 1.7 โวลต์) เมื่อถึงระดับเทรสโวลต์ต่ำสุดของ IC1/2 แล้วจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตขา 7 ของ IC1/2 ให้เอาต์พุต ออกมาเป็น "HIGH" ทำให้ Q1 ทำงาน พร้อมกันนั้นจะดึงระดับแรงดันที่ขา 2 ของ IC1/1 ให้ลดต่ำลง ผ่านค่า R5 และ Q1 พร้อมกับค่าแรงดันเอาต์พุตขา 1 ของ IC1/1 ก็จะเพิ่มขึ้นและถูกชาร์จประจุผ่าน C5 ในทิศทางตรงกันข้าม และเมื่อเวลาผ่านไป C5 ทำการชาร์จประจุจนค่าแรงดันที่อินพุตเพิ่มขึ้นสูงกว่า ระดับแรงดันเทรสโวลต์สูงสุดของ IC1/2 (ประมาณ 3.4 โวลต์) จะทำให้เอาต์พุตขา 7 ของ IC1/2 ให้ เอาต์พุตออกมาเป็น "LOW" ทำให้ Q1 หยุดทำงาน และสัญญาณแรมพ์ที่ขา 1 ของ IC1/1 ก็จะเริ่มลดลง อย่างเป็นเชิงเส้นอีกครั้งจนถึงระดับเทรสโวลต์ต่ำสุด การทำงานก็จะเริ่มวนรอบใหม่เป็นเช่นนี้ อย่าง ต่อเนื่อง

จากผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรมพ์ที่เอาต์พุตขา 1 ของ IC1/1 นั้น จะทำให้ได้สัญญาณ คลื่นสี่เหลี่ยมที่เอาต์พุตขา 7 ของ IC1/2 ในสัดส่วนที่เท่ากันซึ่งความถี่สัญญาณสี่เหลี่ยมนี้ไม่เพียงแต่ใช้ ขับทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อให้เกิดวนรอบการทำงานเท่านั้น หากแต่ยังเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับขา 12 ของ IC3 ซึ่งเป็นส่วนของวงจรมับอีกด้วย โดยค่าความถี่สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมนี้ จะเป็นสัดส่วนตรงกับ ค่าแรงดันทางอินพุตอีกด้วย

สำหรับวงจรมับ IC3 จะประกอบด้วยส่วนที่เกี่ยวข้องในการถอดรหัสการนับทั้งหมดประมาณ 3 ส่วน ซึ่งเอาต์พุตของการถอดรหัสนับแบบ BCD ขนาด 4 บิตในแบบมัลติเพิล็กซ์ จะออกมาทางขา 5,6,7 และ 9 ของ IC3 นี้เพื่อส่งต่อไปยังวงจรมับ LED เซเวนเซกเมนต์ต่อไป เอาต์พุตอีกส่วนหนึ่งทางขา 15,1 และ 2 (D0-D2) จะเป็นเอาต์พุตสำหรับขับขาคอมมอน (หลัก) ของ LED เซเวนเซกเมนต์แต่ละ หลักซึ่งในวงจรมับนี้มีทั้งหมด 3 หลักด้วยกัน โดยจะขับผ่าน Q2-Q7 ซึ่งต่อเป็นชุดวงจรสวิตช์ขยาย กระแสอยู่จำนวน 3 ชุดด้วยกัน ระหว่างขา 3 และขา 4 จะสังเกตเห็นตัวเก็บประจุ C11 ทำหน้าที่กำหนด ค่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ภายใน IC3 ซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะใช้เขตความเร็วของเอาต์พุตมัลติเพิล็กซ์ ให้ อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการแสดงผลนั่นเอง

เอาต์พุตขนาด 4 บิตในมัลติเพิล็กซ์เซอร์ของ IC3 จะต่อเข้าอินพุตของวงจรถอดรหัสและขับ LED เซเวนเซกเมนต์ IC4 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงรหัส BCD ขนาด 4 บิตเพื่อขับออกเอาต์พุตไปยัง LED เซเวนเซกเมนต์ โดยตัวต้านทานจำกัดกระแสให้แต่ละชุดของเซกเมนต์ค่า 56 โอห์ม (R16-R22) และใน ส่วนของเซเวนเซกเมนต์ DISP2 ที่ขา dp (หรือจุด decimal point) นั้นจะมี R23 ต่อจำกัดกระแสไว้ให้ และจะติดค้างตลอดเวลาแสดงผลเป็นจุดทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง

ในส่วนของเอาต์พุตขับคอมมอนของเซเวนเซกเมนต์นั้น เมื่อทั้งหมดเกิดการ switch on ในช่วง เวลาเกิดที่ถูกต้อง IC3 ก็จะขับเอาต์พุตออกมาทางขา 15, 1 และ 2 ซึ่งทั้ง 3 เอาต์พุตจะแอกตีฟ “LOW” และขับผ่านชุดสวิตซ์ทรานซิสเตอร์ Q2 กับ Q3 ; Q4 กับ Q5 และ Q6 กับ Q7 ซึ่งจะทำหน้าที่ขับขาคอม มอนของชุดแสดงผลในแต่ละหลักเหตุที่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ขับกระแสให้ ก็เพื่อต้องการให้เซเวน เซกเมนต์ ติดสว่างอย่าพอเพียงและสว่างเท่าๆ กันทั้ง 3 หลัก ไม่ว่าจะในแต่ละหลักจะติดครบทุกเซกเมนต์ หรือไม่ก็ตาม

3.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร เป็นมอเตอร์ที่เลือกใช้ในโครงการรถคนพิการไฟฟ้า โดยมอเตอร์แบบนี้จะใช้การกระตุ้นสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะให้เส้นแรงของ สนามแม่เหล็กที่ค่าคงที่ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งมอเตอร์แบบนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ไม่มีกำลัง สูญเสียในสนามแม่เหล็ก มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบใช้ ขดลวดในการกระตุ้นที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิดสูง ซึ่งก็เหมาะสมอย่างยิ่ง กับโครงการรถคนพิการไฟฟ้า

3.6.1 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในโครงการ

1. ขนาดแรงดันพิกัด	24	โวลต์
2. ขนาดกระแสพิกัด	4.5	แอมแปร์
3. ความเร็วรอบก่อนทดเฟือง	1200	รอบ/นาที
4. ความเร็วรอบหลังทดเฟือง	133	รอบ/นาที
5. อัตราทด	9 : 1	
6. จำนวน	2	ตัว

3.7 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ เนื่องจากว่าแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับทุกวงจรที่ต้องการใช้พลังงาน ในโครงการรถคนพิการไฟฟ้า เพื่อให้ตัวโครงการสามารถขับเคลื่อนไปได้ จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่วงจรต่างๆ ในโครงการอย่างเพียงพอ

เนื่องจากว่าในโครงการมีการใช้แบตเตอรี่ทำหน้าที่เฉพาะต่างๆ กัน จึงต้องแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็นสามชุด โดยมีแบตเตอรี่สำหรับวงจรไมโครเวอร์หนึ่งชุด และแบตเตอรี่สำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ สองชุด ดังนี้

3.7.1 แบตเตอรี่สำหรับวงจรไมโครเวอร์

แบตเตอรี่สำหรับวงจรไมโครเวอร์ มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ประเภทแบตเตอรี่	แบตเตอรี่ชนิดแห้ง
2. แรงดัน	12 โวลต์
3. กระแส	17 แอมแปร์/ชั่วโมง
4. จำนวน	2 ลูก

3.7.2 แบตเตอรี่สำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ ชุดที่ 1

แบตเตอรี่สำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ประเภทแบตเตอรี่	แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
2. แรงดัน	12 โวลต์
3. กระแส	2.5 แอมแปร์/ชั่วโมง
4. จำนวน	2 ลูก

3.7.3 แบตเตอรี่สำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ ชุดที่ 2

แบตเตอรี่สำหรับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ประเภทแบตเตอรี่	แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
2. แรงดัน	12 โวลต์
3. กระแส	4 แอมแปร์/ชั่วโมง
4. จำนวน	1 ลูก

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

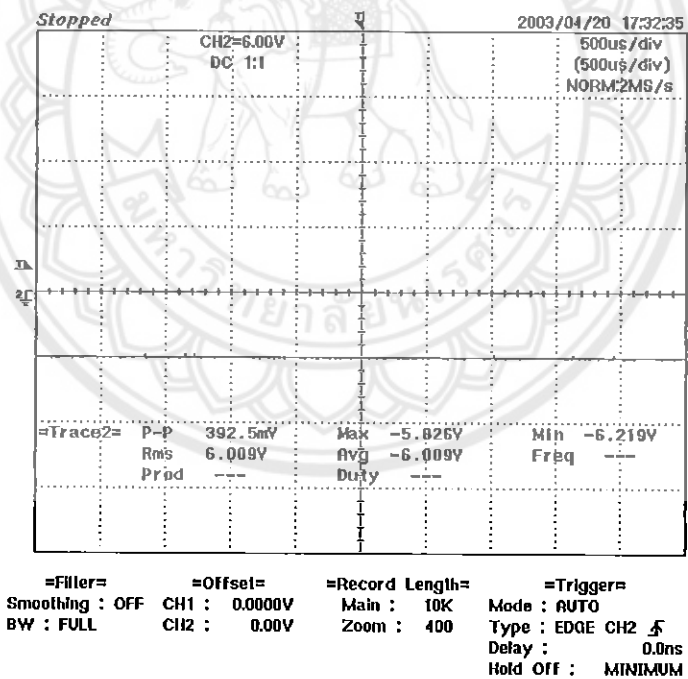
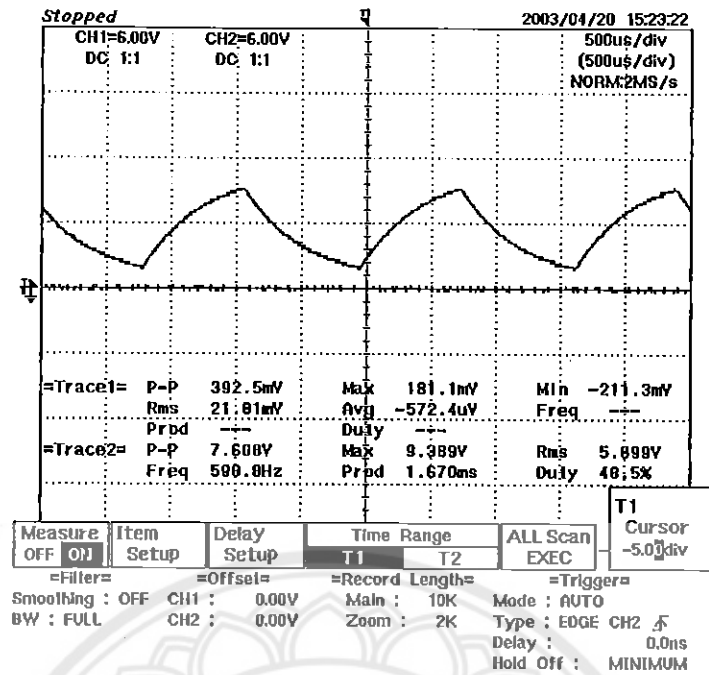
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองต่างๆที่ได้ทดลองกับโครงงานรถคนพิการไฟฟ้า เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพและเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการแก้ไขหรือพัฒนาโครงงานในอนาคต

4.1 การปรับค่า Duty Cycle ของวงจรสร้างพัลส์

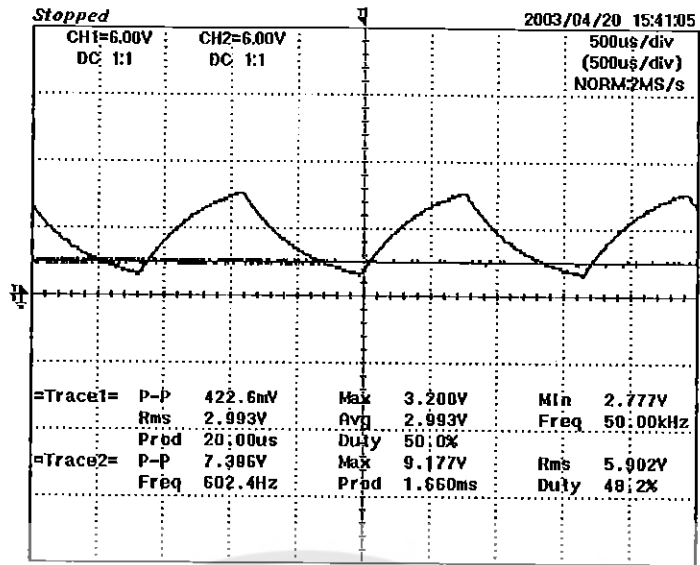
การเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยม กับแรงดันไฟตรง ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยม กับแรงดันไฟตรง ที่ได้จากวงจรสร้างพัลส์ คือสัญญาณพัลส์ โดยกราฟและตารางต่อไปนี้ จะแสดงสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle ต่างๆกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงสัญญาณพัลส์ ที่เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง

แรงดันไฟตรง (V.)	สัญญาณรูปสามเหลี่ยม(V.)	Duty Cycle (%)
-0.23	5.90	0
2.99	5.90	20
5.37	5.90	40
6.40	5.90	60
8.11	5.90	80
9.40	5.90	100



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง
และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 0%

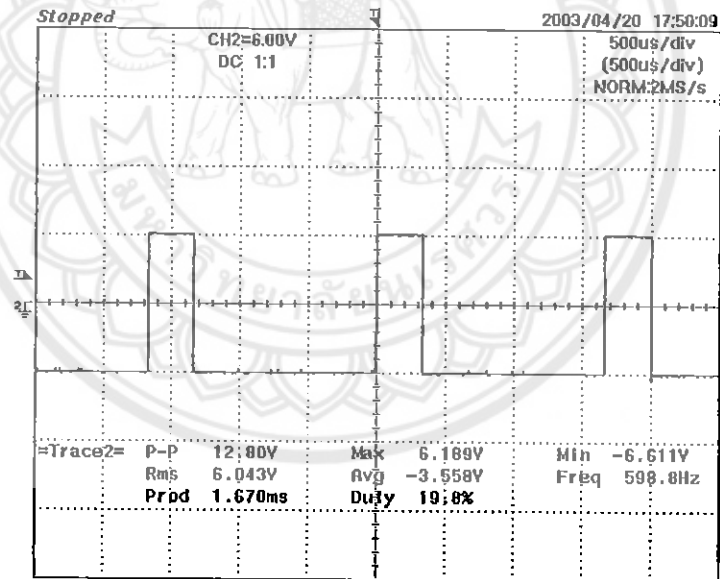


=Filler= Smoothing : OFF BW : FULL

=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 2K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM



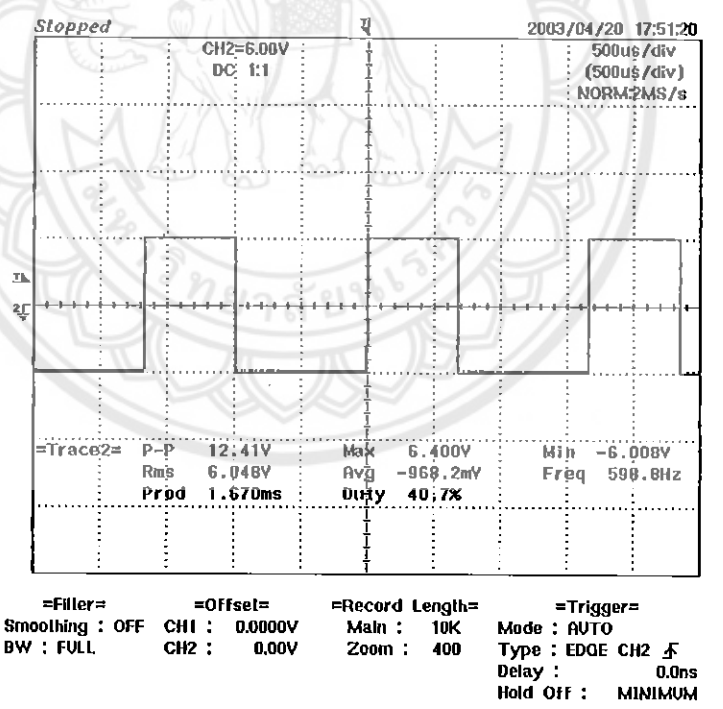
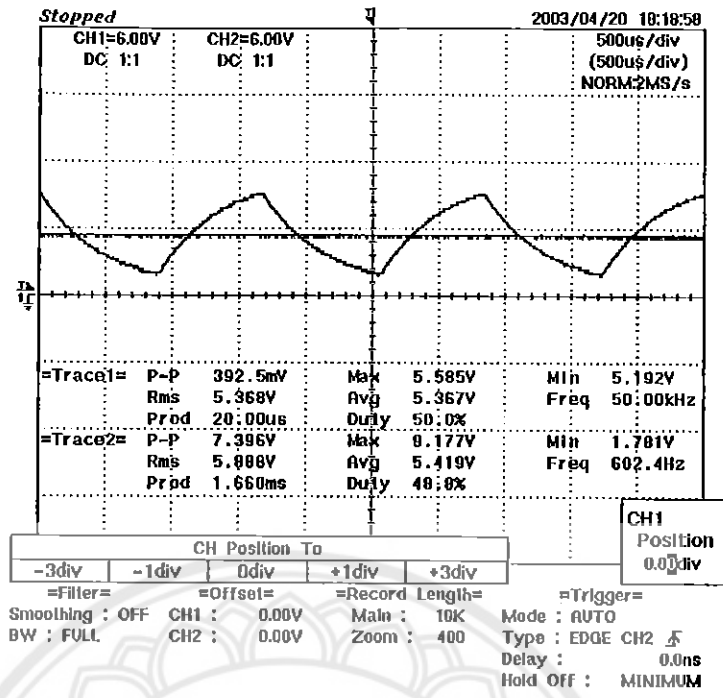
=Filler= Smoothing : OFF BW : FULL

=Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V

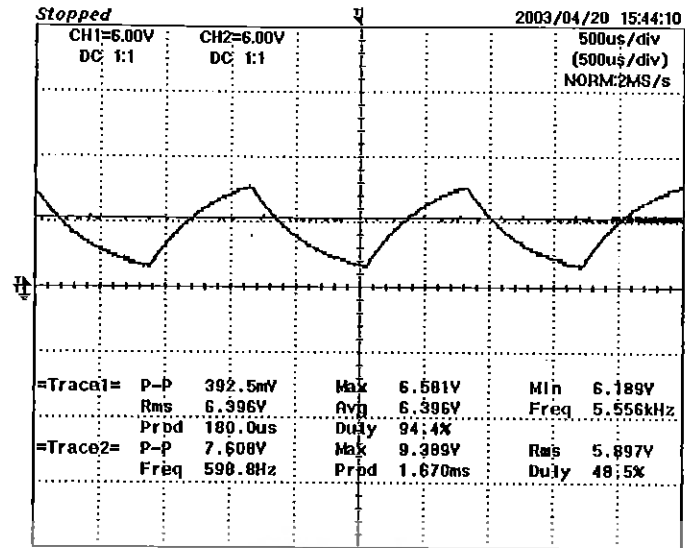
=Record Length= Main : 10K Zoom : 400

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

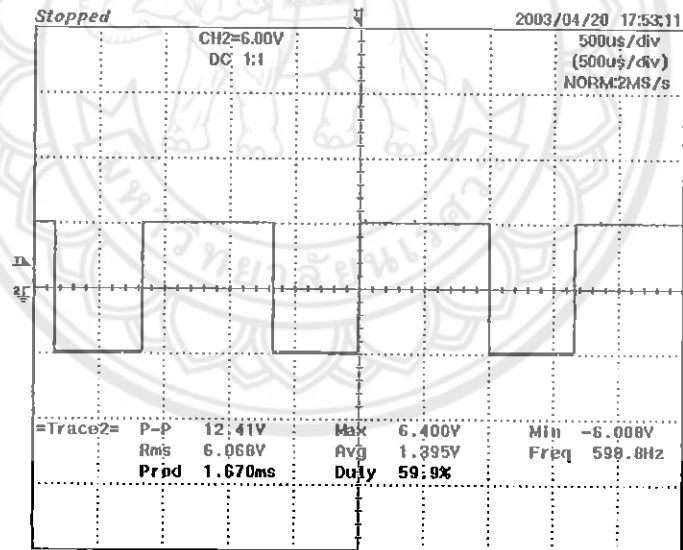
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดัน ไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 20 %



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 40 %

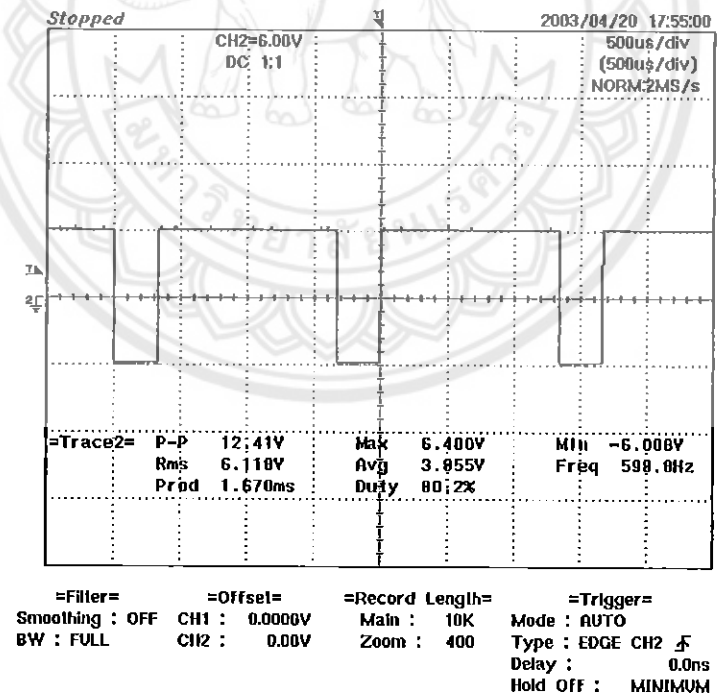
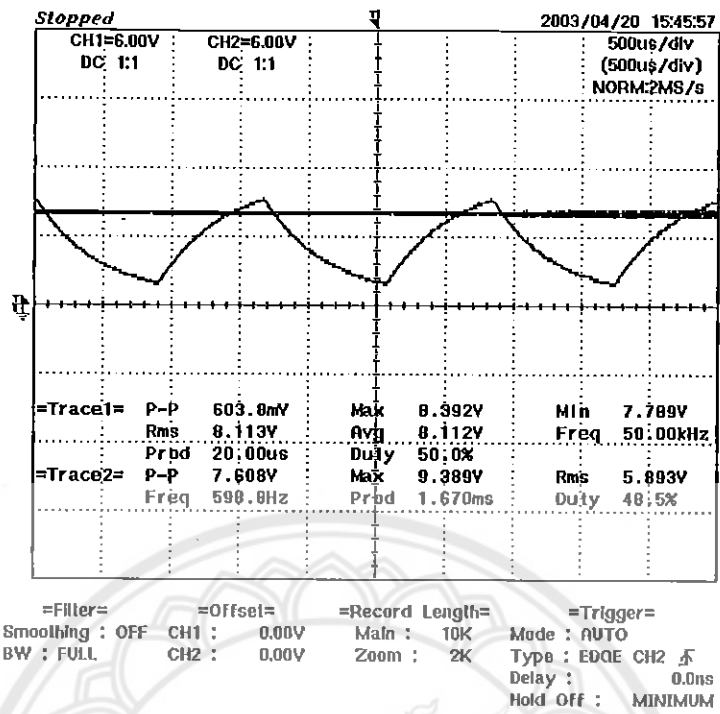


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 2K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

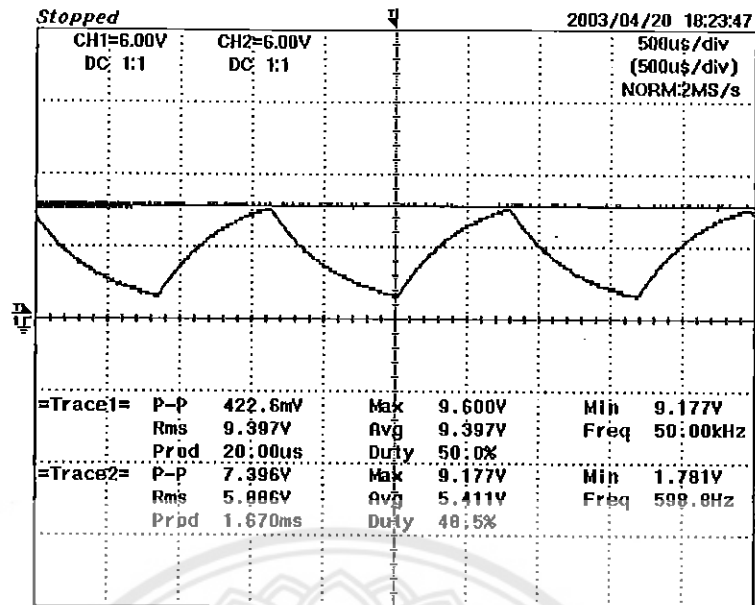


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 400
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

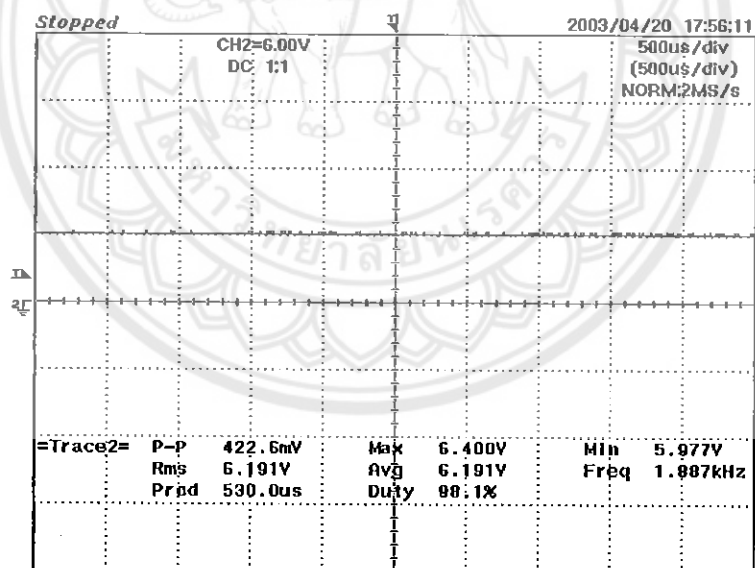
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 60 %



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 80 %



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 400 Type : EDGE CH2 \uparrow
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.0000V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 400 Type : EDGE CH2 \uparrow
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันไฟตรง และกราฟแสดงผลเป็นสัญญาณพัลส์ที่ Duty Cycle 100 %

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ Duty Cycle

การทดสอบนี้เป็นการวัดความเร็วรอบของล้อรถคนพิการไฟฟ้าที่ Duty Cycle ที่ต่างๆ กัน โดยการทดสอบนี้เป็นการทดสอบขณะ ไร้โหลด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ Duty Cycle

Duty Cycle (%)	ความเร็วล้อ (รอบ/นาที)
10	0
20	38
30	80
40	108
50	124
60	133
70	140
80	145
90	149
100	158

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับ Duty Cycle ที่ใช้ในการออกตัว

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบ การออกตัวของโครงการรถคนพิการไฟฟ้า โดยที่มีน้ำหนักบรรทุกต่างๆ กัน เพื่อจะทดสอบว่าการออกตัวของโครงการรถคนพิการไฟฟ้า ที่น้ำหนักต่างๆ จะใช้ Duty Cycle เท่าไร

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับ
Duty Cycle ที่ใช้ ในการออกตัว

น้ำหนัก (กก.)	Duty Cycle (%)
0	17
52	20
60	22
65	23
75	25
127	35
140	50

4.4 ความเร็วของรถคนพิการไฟฟ้า

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความเร็วสูงสุดของรถ ที่น้ำหนักบรรทุกต่างกัน โดยการทดสอบใช้การวัดระยะทางและจับเวลา โดยใช้ระยะทางยาว 20 เมตรในการทดสอบ

ตารางที่ 4.4 แสดงความเร็วสูงสุดของรถ ที่น้ำหนักบรรทุกต่างกัน

น้ำหนัก (กก.)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (กม./ชม.)
52	12.0	6.0
75	13.0	5.5
127	14.0	5.1
140	14.2	5.0

4.5 การใช้พลังงานของรถคนพิการไฟฟ้า

จากการทดสอบ ทำการวัดกระแสที่มอเตอร์ใช้ ในขณะต่างๆ โดยทำการทดสอบที่โหลดบรรทุกน้ำหนักที่ 52 กิโลกรัม ขณะออกตัววัดกระแสได้ 15 แอมแปร์ ขณะความเร็วคงที่วัดกระแสได้ 4 แอมแปร์

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองโครงการรถคนพิการไฟฟ้าในครั้งนี้นับว่าประสบความสำเร็จตามเป้าหมายในการปฏิบัติงานคือ ได้รับไฟฟ้าสำหรับคนพิการที่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 140 กิโลกรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักมากที่สุดที่ได้ทำการทดลอง ตัวรถคนพิการไฟฟ้าสามารถแล่นด้วยความเร็วสูงสุดที่ 6.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่น้ำหนักบรรทุก 52 กิโลกรัม และสามารถแล่นต่อเนื่องได้นานประมาณ 4 ชั่วโมง

การควบคุมที่ออกแบบ ก็ได้รถที่ใช้งานได้ง่าย ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายเอาไว้ตั้งแต่ต้นเพื่อที่จะเอื้อเพื่อความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน โดยที่มีปุ่มปรับความเร็วและเลี้ยวในปุ่มเดียวกันโดยที่ทำการปรับความเร็วโดยการเลื่อนปุ่มควบคุมขึ้นหรือลง และหมุนไปทางซ้ายหรือขวาในการบังคับทิศทางการเลี้ยวและยังมีส่วนสำหรับตรวจเช็คระดับแรงดันแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้สะดวก เนื่องจากติดตั้งวงจรชาร์จแบตเตอรี่ไว้ในตัวรถ

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

สำหรับปัญหาที่พบในการทดลองนี้มีดังนี้

1. ปัญหาในเรื่องความร้อนของตัวมอเตอร์เมื่อรถถูกใช้งานในเวลานานๆความร้อนของตัวมอเตอร์จะสูงขึ้นจนเป็นสาเหตุที่ทำให้มอเตอร์เสียหายขึ้นซึ่งก็ได้แก้ปัญหาโดยการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ให้แก่มอเตอร์แต่ละตัว และยังมีติดตั้งพัดลมระบายอากาศอีกสองตัวด้วย

2. ปัญหาในเรื่องระบบล้อและการขับเคลื่อนของตัวรถซึ่งเป็นการขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง โดยปัญหาที่เกิดขึ้นคือล้อหน้าไม่ไปในทิศทางที่บังคับซึ่งเป็นปัญหาในระบบของระบบการขับเคลื่อนซึ่งวิธีแก้ไขนั้นก็คงมีแค่วิธีเดียวคือการเปลี่ยนมาใช้การขับเคลื่อนด้วยล้อหน้า

3. จากข้อบ่งชี้ของโครงการมีการกำหนดว่ารถสามารถขึ้นทางชันได้ไม่เกิน 15 องศา แต่ไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากว่าไม่สามารถหาสถานที่ทำการทดสอบได้

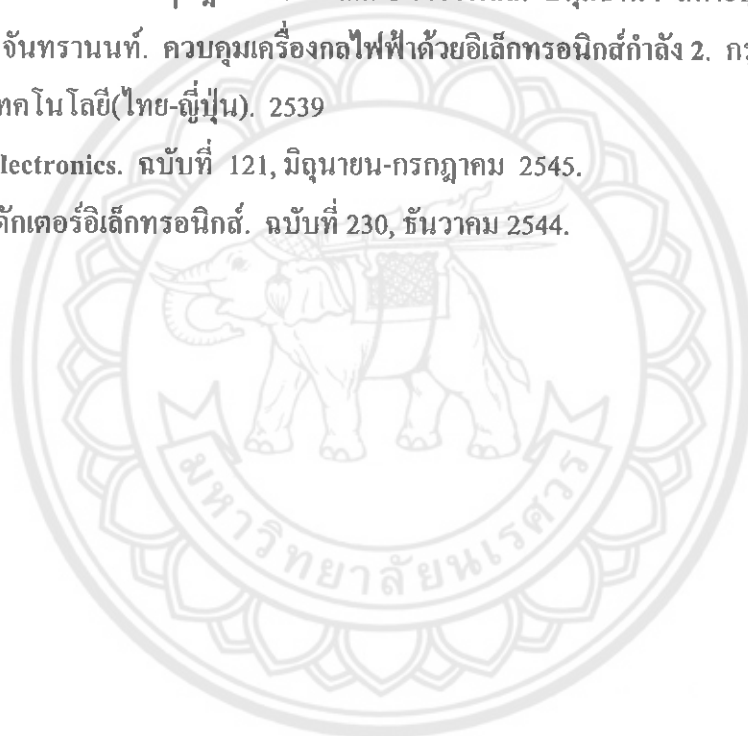
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากตัวรถไม่สามารถเลี้ยวได้ดีตามที่ต้องการ ในขณะที่เดินหน้า แต่ขณะดอยหลังตัวรถสามารถเลี้ยวได้ดีมาก ควบคุมทิศทางได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นถ้าเปลี่ยนการขับเคลื่อนจากล้อหลังเป็นขับเคลื่อนด้วยล้อหน้า จะสามารถควบคุมรถได้ดีขึ้น
2. เนื่องจากว่าโครงการมีปัญหาในเรื่องความร้อนของตัวมอเตอร์ เมื่อรถถูกใช้งานในเวลานานๆความร้อนของตัวมอเตอร์จะสูงขึ้นจนเป็นสาเหตุที่ทำให้มอเตอร์เสียหายขึ้นซึ่งสามารถได้แก้ปัญหาโดยการติดตั้ง แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ขึ้น ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศหรือ ใช้มอเตอร์ที่สามารถทนกระแสได้มากขึ้น
3. ตัวโครงงานมีน้ำหนักมากทำให้ต้องใช้พลังงานมาก ดังนั้น ถ้าสามารถลดน้ำหนักของตัวรถลงได้จะทำให้สามารถลดพิกัดกระแสขณะใช้งานได้เป็นการประหยัดยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัชวาล ขวัญแก้ว, วรวิฑูร ถาวรศิริ, วรสิทธิ์ ทองอ้อม, วิศณุกร แซ่ลิ้ม. “รถคนพิการไฟฟ้า.” ปรินญาณินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2544.
- [2] ผศ. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2541.
- [3] รศ. ดร. โคทม อารียา. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2544.
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร์. ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์. ปทุมธานี : สกายบุ๊ก. 2538.
- [5] วิชัย คังขจันทรานนท์. ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2539
- [6] Hobby Electronics. ฉบับที่ 121, มิถุนายน-กรกฎาคม 2545.
- [7] เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 230, ธันวาคม 2544.





ภาคผนวก ก

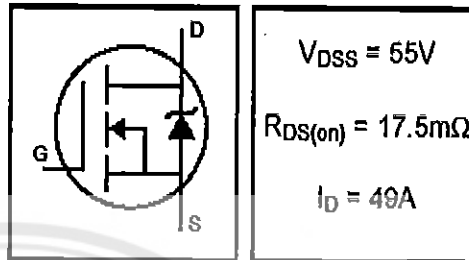
International
IR Rectifier

PD - 94053

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

**Description**

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1
01/03/01

IRFZ44N

International
IOR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ②
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	μA	$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14	nC	$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 8 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	60	—	ns	$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—	ns	$R_G = 12\Omega$
t_f	Fall Time	—	45	—	ns	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ③
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	1470	—	pF	$V_{DS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	360	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	88	—	pF	$f = 1.0MHz$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ④	—	530	150	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47mH$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	180	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_R = 25A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ③
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 0.48mH$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 25A$. (See Figure 12)

③ $I_{SD} \leq 25A, di/dt \leq 230A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

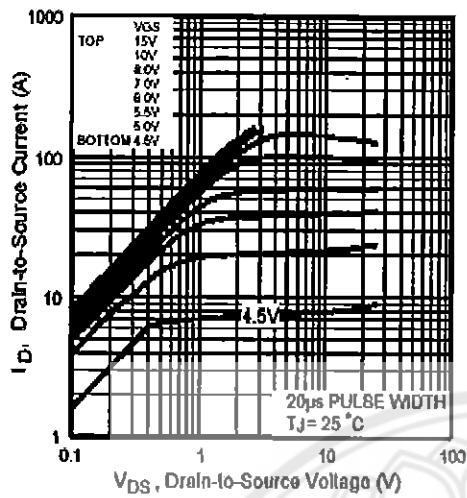


Fig 1. Typical Output Characteristics

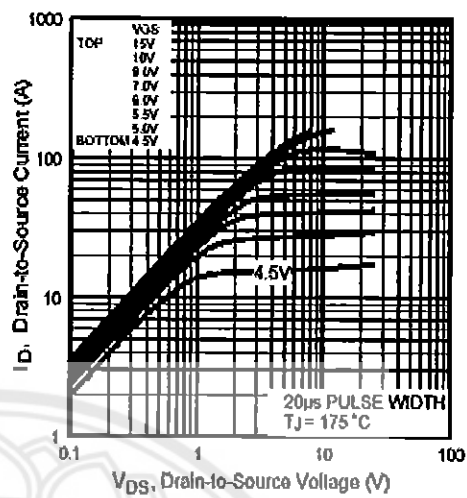


Fig 2. Typical Output Characteristics

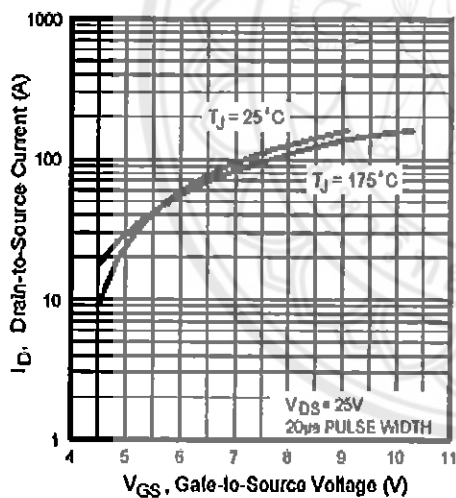


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

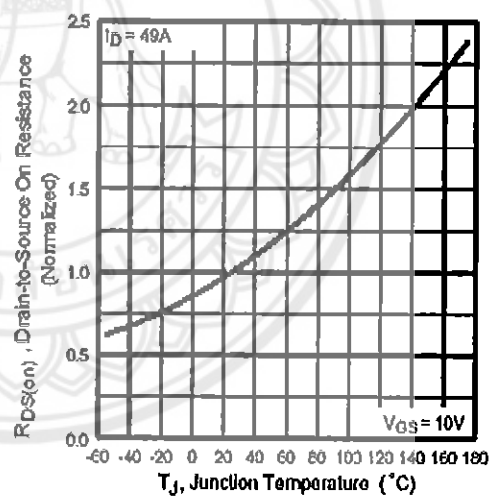


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRFZ44N

International
IGBT Rectifier

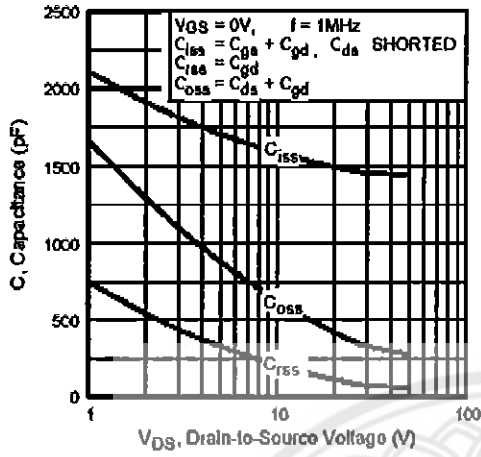


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

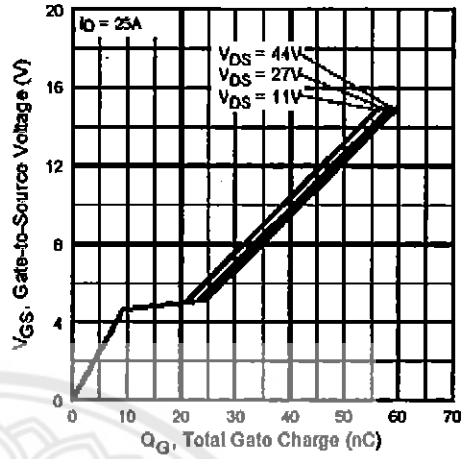


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

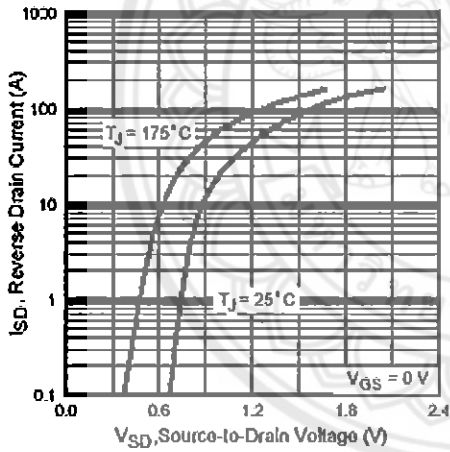


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

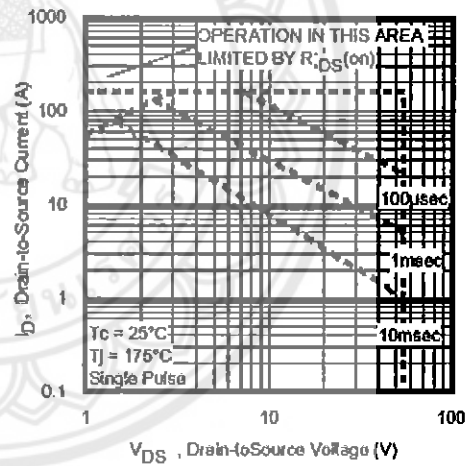


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

International
IOR Rectifier

IRFZ44N

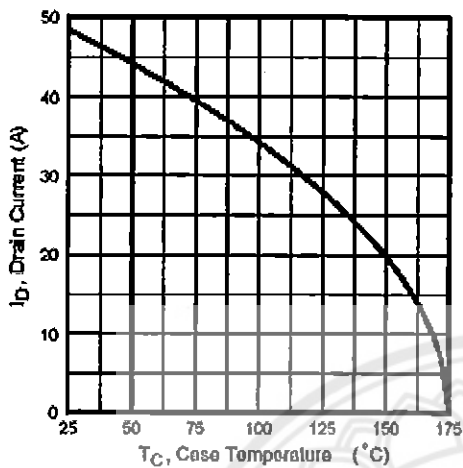


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

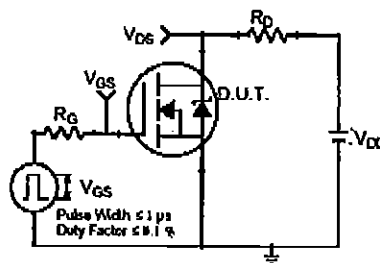


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

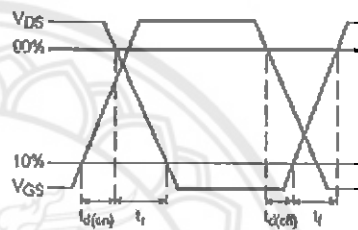


Fig 10b. Switching Time Waveforms

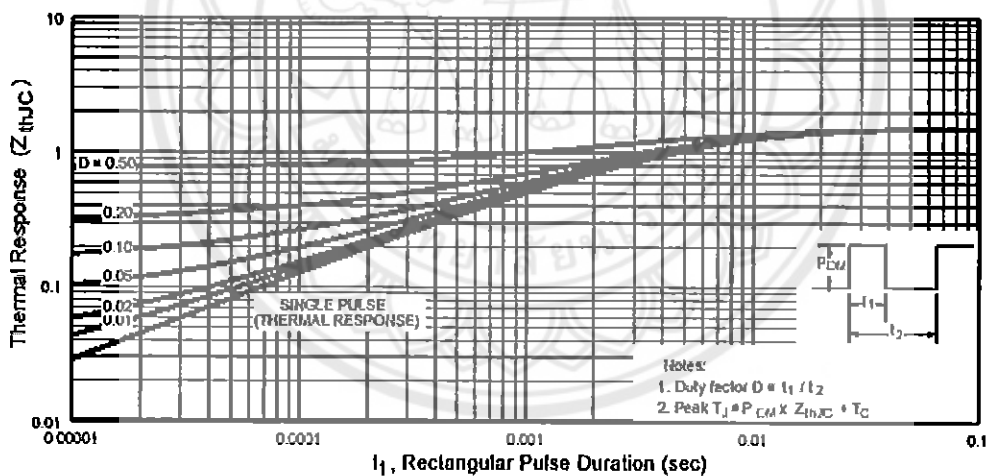


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRFZ44N

International
IR Rectifier

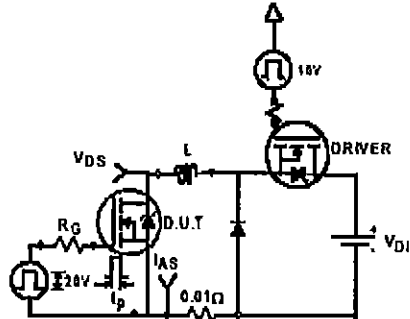


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

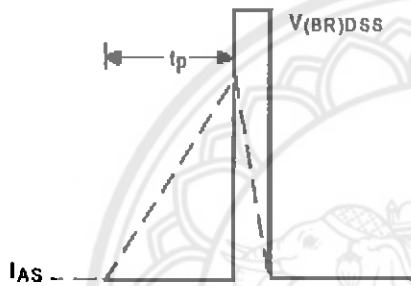


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

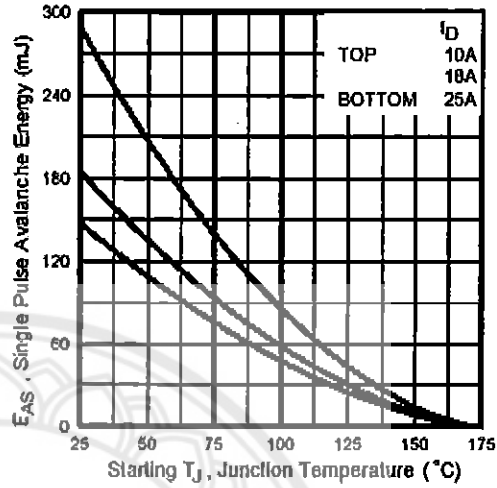


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

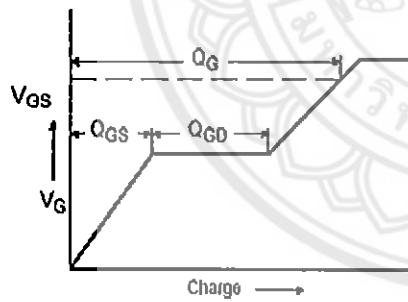


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

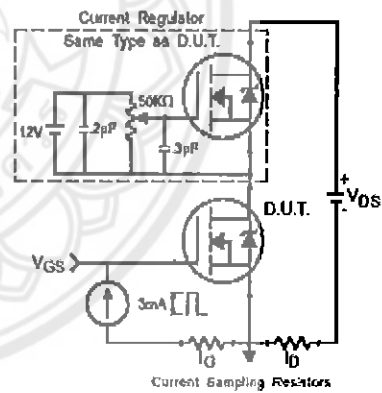
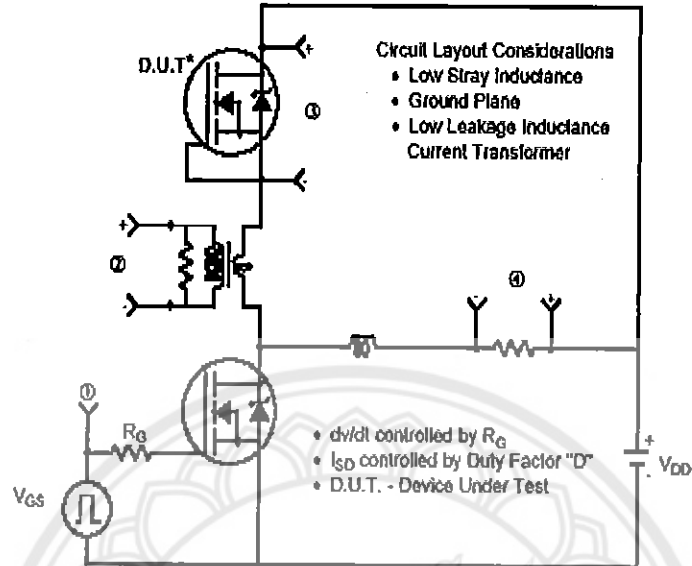
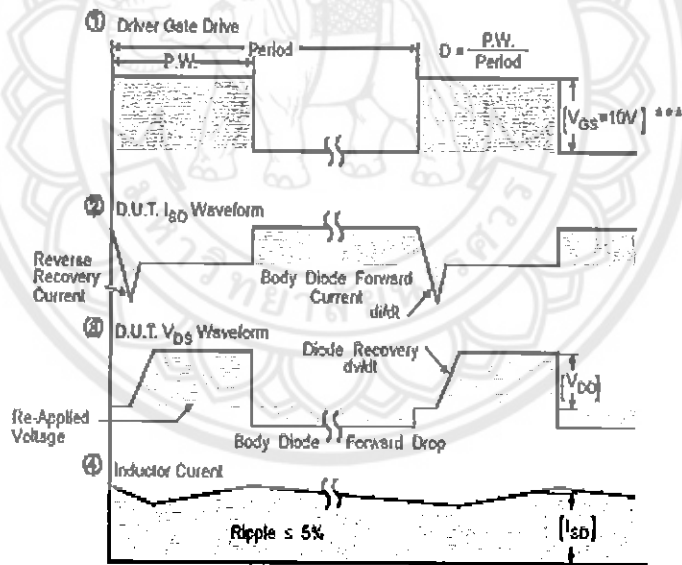


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



* Reverse Polarity of D.U.T for P-Channel



*** $V_{GS} = 5.0V$ for Logic Level and 3V Drive Devices

Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETs

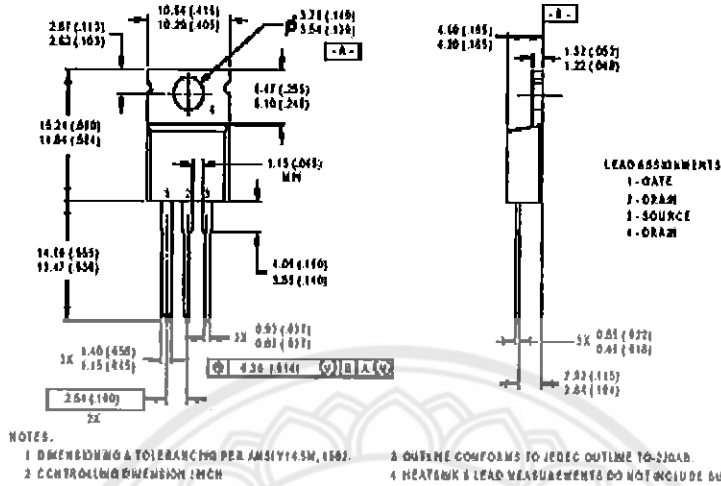
IRFZ44N

International
IR Rectifier

Package Outline

TO-220AB

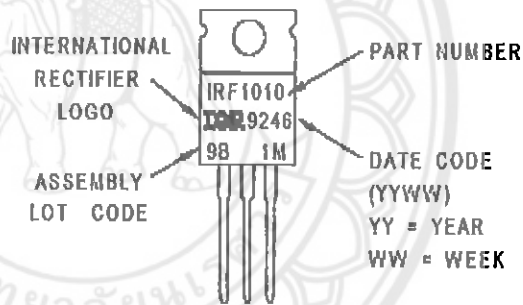
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
 WITH ASSEMBLY
 LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
 This product has been designed and qualified for the Automotive [Q101] market.
 Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

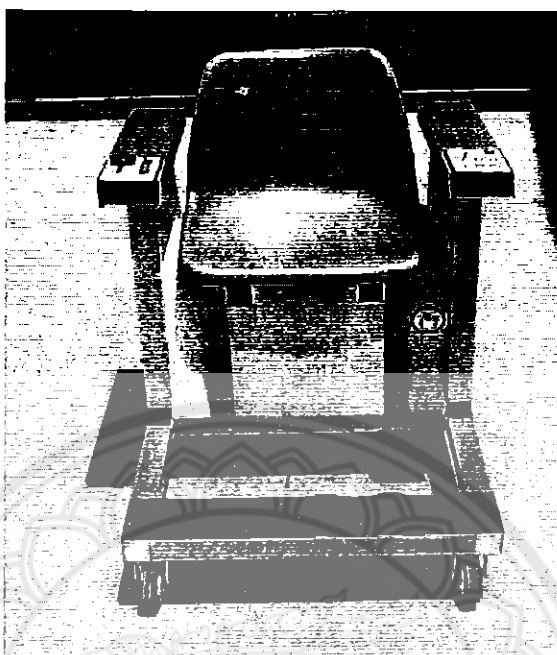
IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105

TAC Fax: (310) 252-7903

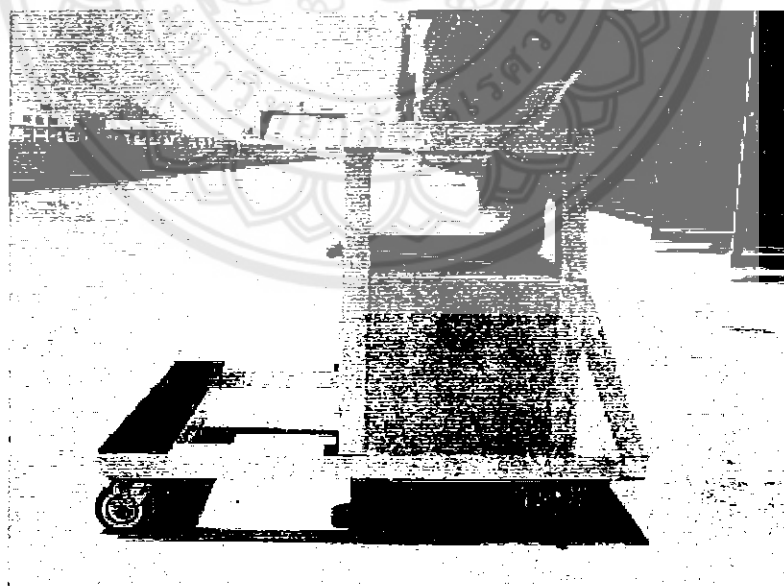
Visit us at www.irf.com for sales contact information. 01/01

www.irf.com

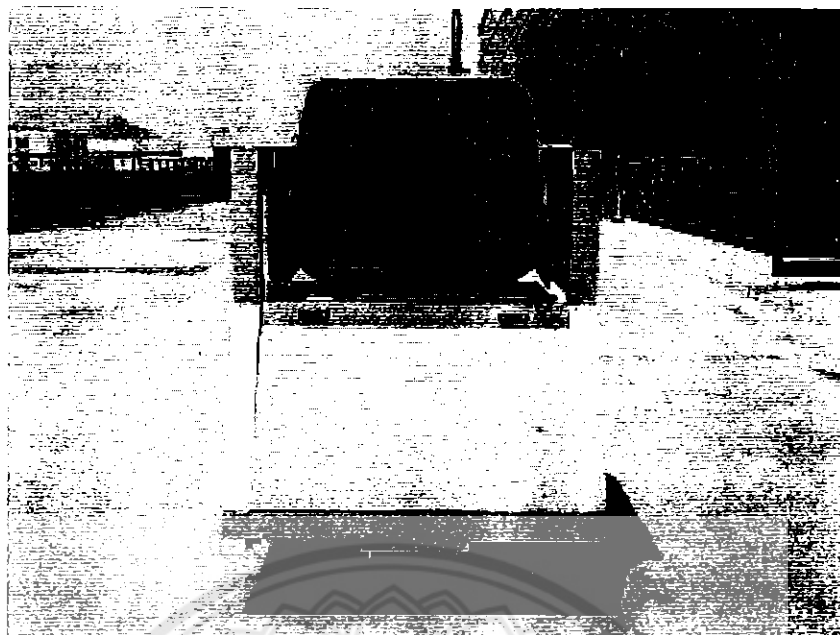
ภาคผนวก ข



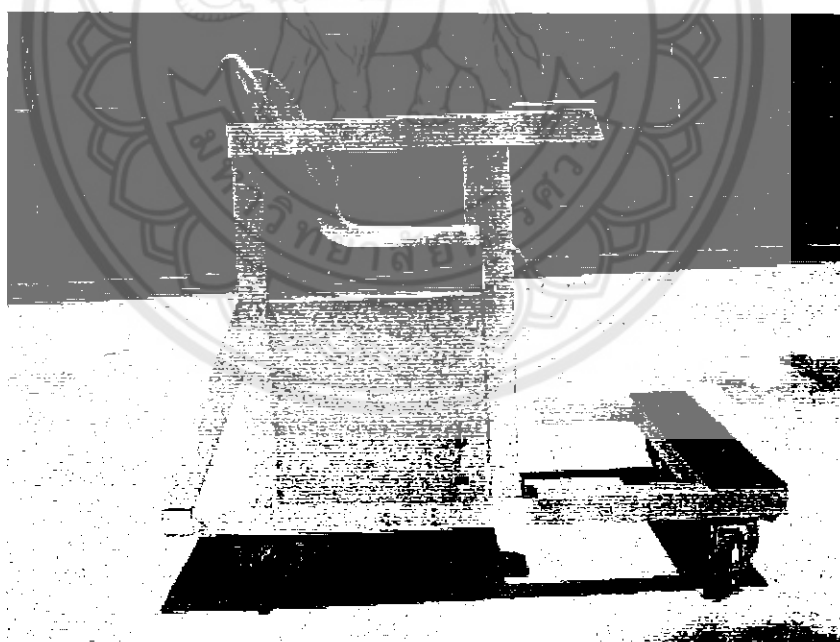
ภาพด้านหน้า



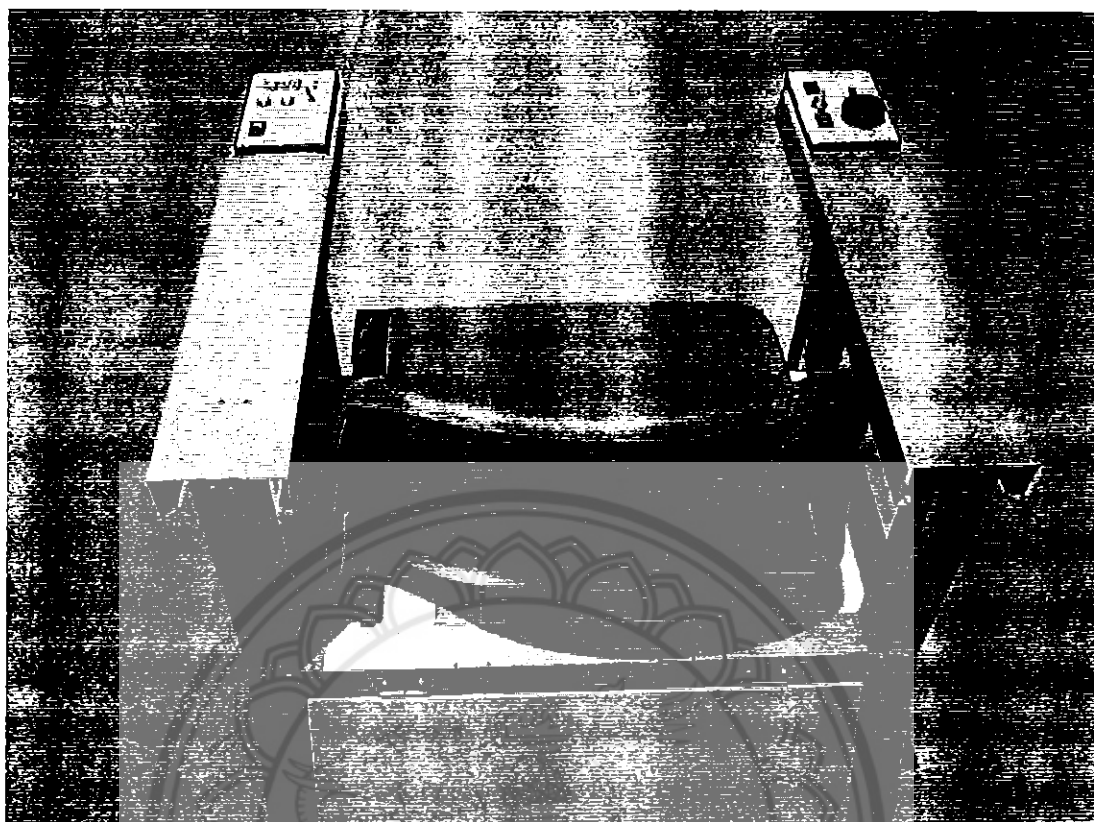
ภาพด้านซ้าย



ภาพด้านหลัง



ภาพด้านขวา



ภาพด้านบน



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ นายสมโภชน์ มหันตร์คนน์
 เกิดวันที่ 11 มกราคม 2523
 ที่อยู่ 51 หมู่ 5 ต. หนองกระทุ่ม อ. ทับทัน จ. อุทัยธานี 61120
 การศึกษา มัธยมศึกษาโรงเรียนทับทันอนุสรณ์ จังหวัดอุทัยธานี
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ นายบรรจงศักดิ์ สุขสอน
 เกิดวันที่ 5 มกราคม 2524
 ที่อยู่ 115 หมู่ 11 ต. เขาเจ็ดลูก อ. ทับคล้อ จ. พิจิตร 66230
 การศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนตะพานหิน จังหวัดพิจิตร
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ นายอาวุธ ดาด้วง
 เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม 2523
 ที่อยู่ 84/1 อ. นครไทย จ. พิจิตร 65120
 การศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนครไทย จังหวัดพิจิตร
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร