



ยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น

SHORT-RANGE PERSONAL ELECTRIC TRANSPORT



นายอินทนนท์ อยู่คอน รหัส 51361889

นายภูษณะ ฤกษ์ทิ รหัส 51363012

คณะวิศวกรรมศาสตร์
..... ๕ S.A. 25๕๕
..... 1606๙๕07
..... ผ.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 0๗๖๘

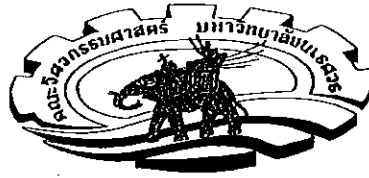
25๕4

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร


ปีการศึกษา 2554




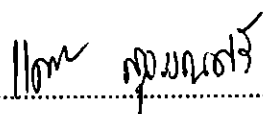
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น
ผู้ดำเนินโครงการ นายอินทนนท์ อยู่คอน รหัส 51361889
นายภูชนะ ภูณชี รหัส 51363012
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


.....กรรมการ
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


.....กรรมการ
(ดร. แททริยา สุวรรณศรี)

ชื่อหัวข้อโครงการ ยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น
ผู้ดำเนินโครงการ นายอินทนนท์ อยู่คอน รหัส 51361889
นายภูษณะ ภูมทิ รหัส 51363012
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โครงการงานเกี่ยวกับการสร้างยานพาหนะไฟฟ้าสำหรับ 1 คน เพื่อใช้ในเดินทางระยะสั้น โดยได้แรงบันดาลใจในการดำเนินโครงการนี้มาจากการตระหนักถึง สถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้แหล่งพลังงานแหล่งสำรอง กำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้ นอกจากนี้การเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงเกิด ความพยายามที่จะลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลยานพาหนะที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 24 V จ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 W เป็นต้นกำลังในการ ขับเคลื่อนยานพาหนะ โดยมีวงจรควบคุมเป็นตัวกำหนดความเร็วในการขับเคลื่อน ซึ่งใช้โพเทนชิอ มิเตอร์เป็นตัวควบคุมไอซี 555 เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่จะรับสัญญาณพัลส์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตซิง (Switching) ควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ และใช้ รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์เพื่อควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ เดินหน้าหรือถอยหลัง ยานพาหนะที่สร้างขึ้นถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถใช้งานใน พื้นที่ค่อนข้างแคบได้ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ายานพาหนะที่สร้างขึ้นสามารถวิ่งด้วยความเร็ว สูงสุด 18km/hr

Project title Short-Range Personal Electric Transport
Name Mr. Intanon Yookhon ID. 51361889
 Mr. Puchana Kuntee ID. 51363012
Project advisor Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2011

Abstract

This thesis presents a project in which a personal vehicle for short-range transport was constructed. This project was inspired by a growing realization that the global energy demand has been rapidly increased and so the energy reserves have been reduced. Fuel combustion has also caused the increase in the amount of atmospheric carbon dioxide, which results in the enhanced global warming. Therefore, the attempt to reduce the reliance on fossil fuels has been encouraged. The vehicle constructed in this project is driven by a 250-W DC motor, which consumes electricity from a 24-V battery set. The speed of the vehicle is determined by adjusting a potentiometer in such a way that an NE555 IC chip generates a pulse train with the duty cycle that is corresponding to the desired speed. The aforementioned pulse signal dictates the switching action of MOSFETs in the drive circuit in order to control the terminal voltage of the motor. In addition, forward and backward drives of the vehicle are controlled by relays that determined the flow direction of the motor current. The vehicle size was designed to be compact and is therefore suitable for running in narrow areas. The testing results showed that the vehicle could speed up to 18 km/hr.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานเล่มปริญญาบัตร คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณภาคีวิศวกรรวมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้ในการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณภาคีวิศวกรรวมอุตสาหกรรมที่ให้ยืมอุปกรณ์เชื่อมต่อโครงสร้างของยานพาหนะที่สร้างขึ้น ซึ่งถือเป็นอย่างมากต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณนายนิติกร ขอดเปลี่ยน ที่ช่วยกลึงอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดควบคุมการห้ามล้อ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ บริษัทปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย สํารวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ทุนการศึกษาและเป็นส่วนหนึ่งของทุนทรัพย์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน รวมถึงทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่คอยเป็นกำลังใจ จนทำให้ทำให้ประสบความสำเร็จดังเช่นทุกวันนี้

นายอินทนนท์ อยู่คอน

นายภูษนะ กุณที

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงาน.....	2
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์.....	4
2.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.1.2 การทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า.....	7
2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	7
2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	9
2.3.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	9
2.3.2 ปฏิกริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	10
2.3.3 อัตราการคายประจุ.....	12
2.3.4 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 หลักการควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	16
2.4.1 แผนภาพวงจรภายในไอซี NE555	17
2.4.2 หลักการทำงานของไอซี NE555.....	18
2.5 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	23
2.5.1 โครงสร้างของรีเลย์	24
2.5.2 หลักการทำงานของรีเลย์.....	24
บทที่ 3 การสร้างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	25
3.1 หลักการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคล.....	25
3.2 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	26
3.2.1 การควบคุมความเร็ว	26
3.2.2 การกลับทิศทางการหมุน	29
3.3 การสร้างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	29
3.4 การควบคุมการทำงานของยานพาหนะ	31
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	32
4.1 การวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่	32
4.2 การวัดค่ากระแสในยานความเร็วที่ใช้งาน	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	34
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	34
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	61
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	65



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติการทำงานของ Reset-Set Flip-Flop.....	18
4.1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ.....	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.2 เปลือกหรือโครงของมอเตอร์กระแสตรง.....	5
2.3 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก.....	5
2.4 โรเตอร์.....	6
2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	7
2.6 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส.....	8
2.7 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง.....	8
2.8 โครงสร้างภายในของเบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	9
2.9 การเกิดปฏิกิริยาภายในเบตเตอรี่เมื่อคายประจุ.....	10
2.10 การคายประจุของเบตเตอรี่.....	11
2.11 การเกิดปฏิกิริยาภายในเบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ.....	11
2.12 กราฟคุณสมบัติขณะการคายประจุของเบตเตอรี่ NP4-12.....	13
2.13 กราฟเปรียบเทียบความลึกในการคายประจุกับอายุการใช้งาน.....	13
2.14 การต่อเบตเตอรี่แบบอนุกรม.....	15
2.15 การต่อเบตเตอรี่แบบขนาน.....	15
2.16 การต่อเบตเตอรี่แบบผสม.....	15
2.17 การขับเคลื่อนมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกด้วยการควบคุมกำลัง.....	16
2.18 แผนภาพวงจรภายใน ไอซี NE555.....	17
2.19 โครงสร้างภายนอกของ ไอซี NE555.....	18
2.20 การต่อใช้งาน ไอซี NE555 ในวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์.....	19
2.21 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจระอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และแรงดันของ.....	20
2.22 แผนภาพวงจรการกลับขั้วคลวคอาร์เมเจอร์.....	23
2.23 แผนภาพวงจรการกลับขั้วคลวคสนาม.....	23
2.24 โครงสร้างของรีเลย์.....	24
3.1 แผนภาพการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคล.....	25
3.2 วงจรควบคุมความเร็วและวงจรถับทิศทางหมุนมอเตอร์.....	26
3.3 วงจรควบคุมความเร็วและวงจรถับทิศทางหมุนมอเตอร์.....	30
3.4 ส่วนประกอบหลักของยานพาหนะไฟฟ้าที่สร้างขึ้น.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แผงสวิตช์ควบคุมแบบการทำงาน.....	31
4.1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ.....	33



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันคนส่วนใหญ่กำลังมีความกังวลเกี่ยวกับการใช้น้ำมันที่มีอยู่จำกัดอย่างสิ้นเปลือง ส่งผลให้ราคาน้ำมันผันผวนเป็นอย่างมากจนไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าราคาน้ำมันจะพุ่งขึ้นสูงไปอีกในเวลาใด รวมถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และมลพิษชั้นสู่ชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการทำลายทั้งชั้นบรรยากาศและสิ่งแวดล้อมบนพื้นดิน ทำให้คนส่วนใหญ่ตระหนักถึงผลกระทบของการใช้น้ำมัน และหันมาพึ่งพาการใช้ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันน้อยลง หรือใช้ยานพาหนะที่ใช้ทรัพยากรด้านอื่นเป็นเชื้อเพลิง โดยที่ทางภาครัฐและเอกชนหันมาสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฮบริดจ์ (Hybrid Car) ซึ่งเป็นรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนร่วมกับการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า และรถยนต์ขนาดเล็ก (Eco car) ซึ่งไม่ได้ทำให้เราเลิกพึ่งพาการใช้น้ำมัน เพียงแต่ลดการใช้น้ำมันให้น้อยลงเท่านั้น และในปัจจุบันผู้คนต่างใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบแม้กระทั่งการเดินทางในระยะทางใกล้ (2-3 km) ยังนิยมใช้ยานพาหนะเพราะต้องการประหยัดเวลาและลดความเหนื่อยล้าในการเดินทาง

เนื่องจากการเดินทางในระยะใกล้ที่มักไม่มีความจำเป็นต้องใช้รถยนต์ หรือรถจักรยานยนต์ ผู้ดำเนินโครงการจึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างยานพาหนะขนาดเล็กที่สามารถช่วยให้เดินทางไปได้ในพื้นที่ราบแม้เป็นเส้นทางแคบ และมีระยะทางไม่ไกลนัก ยังช่วยลดการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะใช้พลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานหลักและพลังงานชนิดเดียวในการขับเคลื่อนยานพาหนะนี้ จึงเป็นการช่วยลดการทำลายสิ่งแวดล้อม และประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงได้ด้วย นอกจากนี้ขนาดของยานพาหนะที่มีขนาดเล็กทำให้สามารถหาสถานที่ในการจอดได้ง่าย โดยสามารถนำยานพาหนะนี้ไปใช้งานได้ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า และการใช้งานทั่วไปได้อย่างสะดวก รวมทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาเพื่อสร้างยานพาหนะไฟฟ้าในลักษณะอื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างยานพาหนะสำหรับ 1 คน เพื่อเดินทางในระยะสั้นโดยขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่
24 โวลต์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบและประกอบโครงสร้างยานพาหนะส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น
- 2) ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น
- 3) แหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนมาจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขนาด 24 โวลต์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555		
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาหลักการทำงานและเลือกอุปกรณ์เพื่อใช้ในโครงการ										
2) ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการขับเคลื่อน										
3) ออกแบบและประกอบโครงสร้างของยานพาหนะ										
4) ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน										
5) สรุปผลการดำเนินโครงการและจัดทำสรุปเล่มปริญาานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

การใช้พาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้นช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง และลดการสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ขนาดของยานพาหนะมีขนาดเล็กทำให้สามารถหาสถานที่ในการจอดได้ง่าย สามารถนำยานพาหนะนี้ไปใช้งานได้ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า และใช้เป็นต้นแบบในการสร้างยานพาหนะไฟฟ้าในลักษณะอื่น

1.6 งบประมาณ

1) ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	1,300 บาท
2) โครงสร้างของยานพาหนะไฟฟ้า	7,000 บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	700 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (เก้าพันบาทถ้วน)	<u>9,000 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



บทที่ 2

หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์

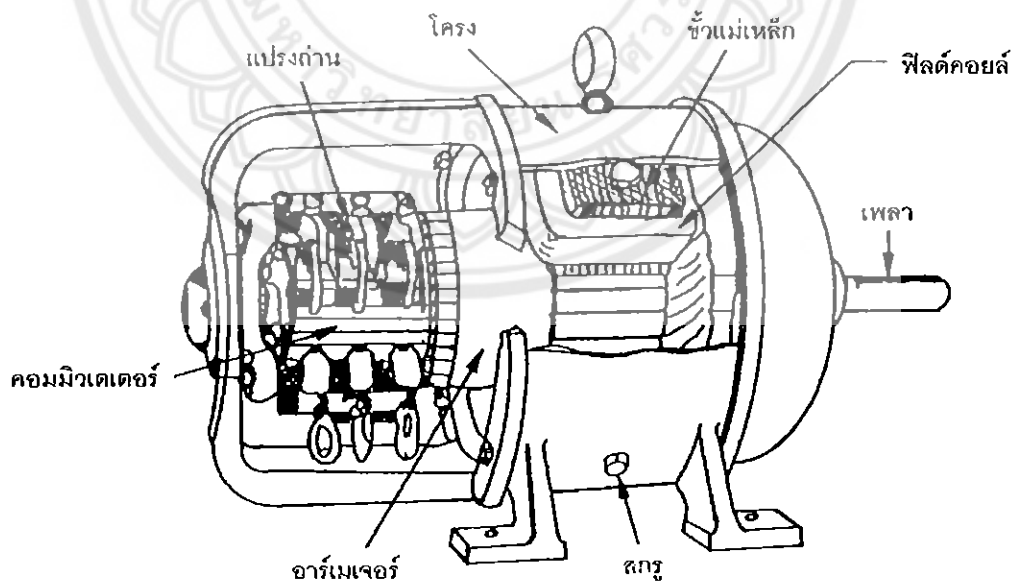
โครงสร้างของยานพาหนะส่วนบุคคลสำหรับเดินทางระยะสั้นที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย อุปกรณ์หลัก ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่เป็นส่วนรับกำลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อน แบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และวงจรกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเดินหน้าหรือถอยหลัง

2.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าคือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเข้าที่ขั้วจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

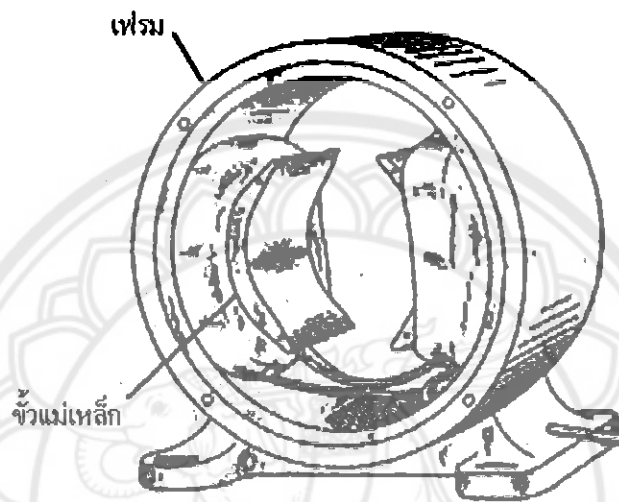
โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [1]

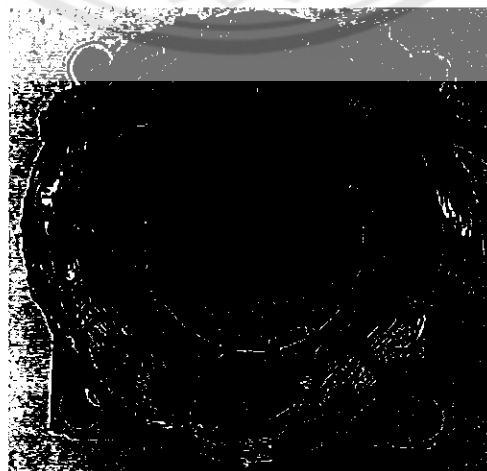
1) สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

ก) เปลือกหรือ โครง (Frame) เป็น โครงที่อยู่ภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินให้กับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือ ไปยังขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้ความแข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอกกลม แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปลือกหรือ โครงของมอเตอร์กระแสตรง [2]

ข) ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field poles) เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่าน ฟลักซ์แม่เหล็กนี้ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก [3]

- 2) โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดกำลังงานมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีแกนวางอยู่ในร่องลื่น (Bearing) ประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End plate) ของมอเตอร์



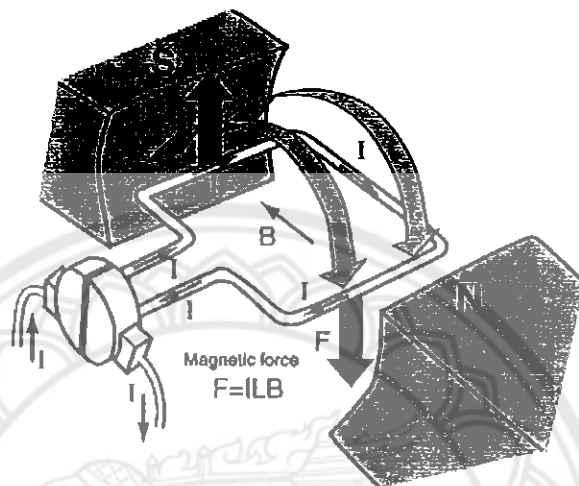
รูปที่ 2.4 โรเตอร์ [2]

โรเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

- ก) แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนร่องลื่นเพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวตั้งไม่มีการสั่นสะเทือน
 - ข) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated sheet steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)
 - ค) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวนไมกา (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon brushes)
 - ง) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ และจำนวนรอบจะมากหรือน้อย นั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ
- 3) แปรงถ่าน แท่งแปรงถ่านอาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟต์ หรือคาร์บอนกับทองแดง เมื่อเครื่องจักรกลทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านจะทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ส่งไปสู่วงจรภายนอก และเมื่อเครื่องจักรกลทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแปรงถ่านจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

2.1.2 การทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าคือ เครื่องจักรกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้ลวดตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.5



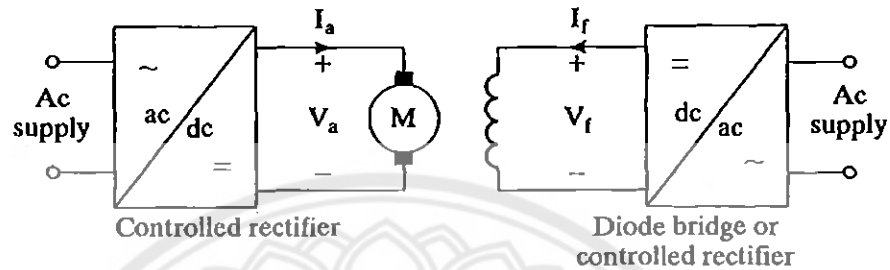
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [4]

จากรูปที่ 2.5 เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์และขลวลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ทางด้านขวามือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านซ้ายมือเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ ๆ กันทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักกันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์เปลี่ยนไปอยู่อีกปลายหนึ่งของขลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ ซึ่งหมายถึงเครื่องจักรกลกำลังทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

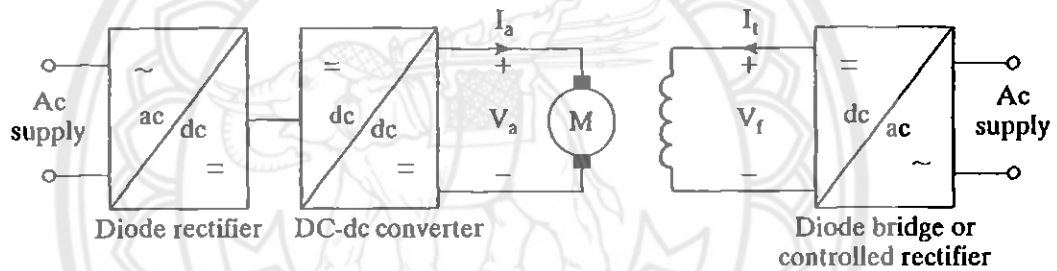
2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจากตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสสร้างแรงดันด้านออกกระแสตรงที่ปรับค่าได้จากแรงดันไฟกระแสสลับที่มีค่าคงที่ ในขณะที่ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้จากแรงดันกระแสตรงที่มีค่าคงที่ ด้วยคุณสมบัติในการสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสและ

ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงจึงก่อให้เกิดวิวัฒนาการทางด้านอุปกรณ์ควบคุมและการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ที่มีระดับกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ไม่กี่แอมป์จนถึงหลายเมกะวัตต์ ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสนิยมใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงดังรูปที่ 2.6 อีกหนึ่งทางเลือกคือการใช้ตัวเรียงกระแสแบบไดโอดร่วมกับตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงดังรูปที่ 2.7 [5]



รูปที่ 2.6 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส [5]



รูปที่ 2.7 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง [5]

สมการที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$E_g = k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.1)$$

$$V_a = R_a I_a + E_g = R_a I_a + k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.2)$$

$$T_d = k \cdot I_f \cdot I_a = B\omega + T_L \quad (2.3)$$

เมื่อ E_g = แรงเคลื่อนไฟฟ้าตักกลับ (Back emf) มีหน่วย (V)

V_a = แรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ มีหน่วย (V)

k = ค่าคงที่ของมอเตอร์ มีหน่วย (V/A.rad/s)

I_f = กระแสสนาม (Field current) มีหน่วย (A)

I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current) มีหน่วย (A)

ω = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ มีหน่วย (rad/s)

R_a = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ มีหน่วย (Ω)

T_d = แรงบิด (Developed torque) มีหน่วย (N·m)

T_L = แรงบิด โหลด (Load torque) มีหน่วย (N·m)

B = ค่าคงที่แรงเสียดทาน มีหน่วย (N·m/rad/s)

กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์สร้างขึ้นคำนวณหาได้จาก

$$P_d = T_d \omega \tag{2.4}$$

จากสมการที่ (2.1) เราสามารถเขียนสมการความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกได้ดังนี้

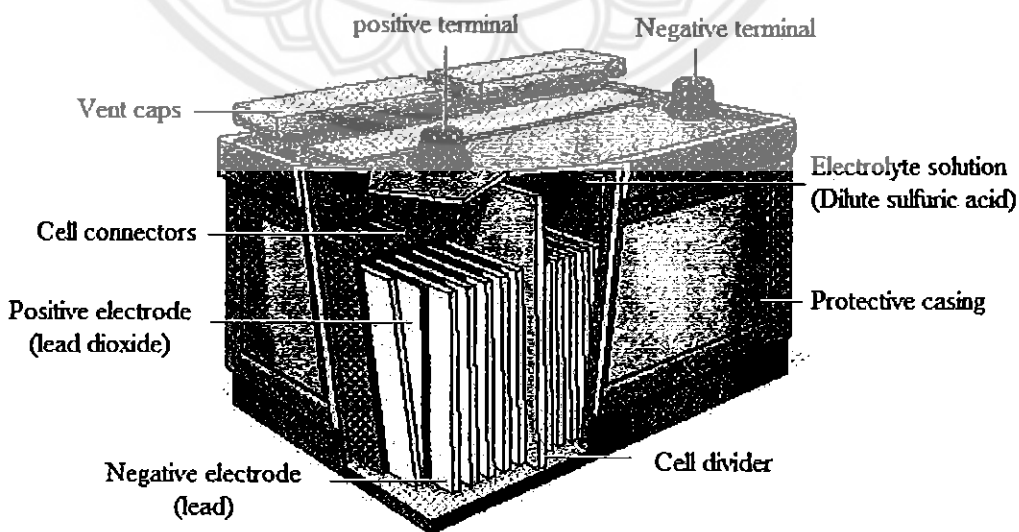
$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{k \cdot I_f} \tag{2.5}$$

2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

แบตเตอรี่ที่ใช้กับยานพาหนะส่วนบุคคลเดินทางระยะสั้นเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วชนิดแห้ง มีข้อดีคือ น้ำหนักเบา บำรุงรักษาง่าย ขนาดไม่ใหญ่มาก และอายุการใช้งานนาน

2.3.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วมีส่วนต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



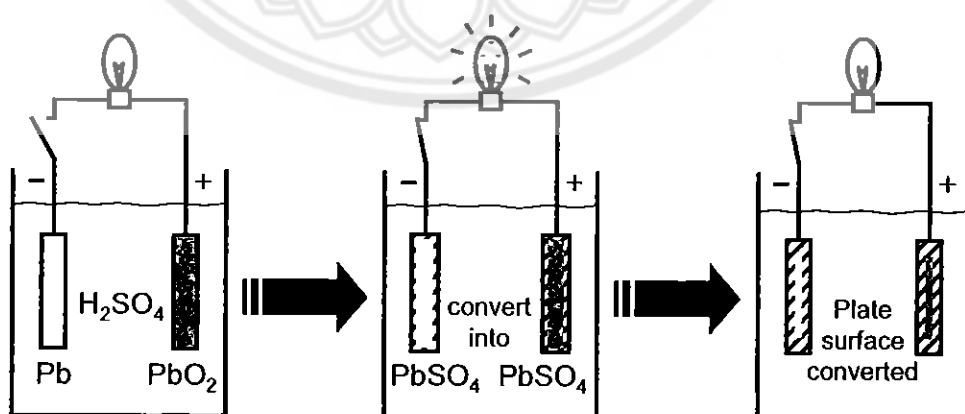
รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว [6]

แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิดคือแผ่นบวกและแผ่นลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกันจนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกั้นไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น (Separators) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ธาตุบวก และธาตุลบแตะกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้ น้ำกรดหรือน้ำหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นลบ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจางประกอบด้วยกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณ 38% ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดมีค่า 1.26-1.28 ที่อุณหภูมิ $20^\circ C$

เซลล์ (Cell) ในแบตเตอรี่คือช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวกและธาตุลบซึ่งวางสลับกันและกันด้วยแผ่นกั้นแล้วจุ่มลงในกรด โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะสร้างให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 V ต่อเซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่นั้น ๆ เช่น แบตเตอรี่ที่มี 6 เซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12 V [6]

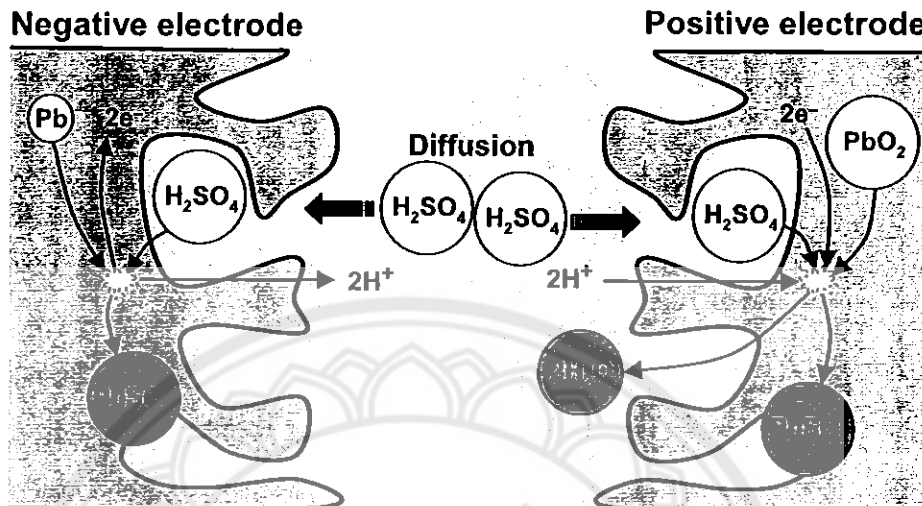
2.3.2 ปฏิกริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

เราสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่ซึ่งจะมีการคายประจุแสดงดังรูปที่ 2.9 กำหนดให้แบตเตอรี่มีประจุเต็ม (Fully charged condition) ก่อนจะต่อกับโหลด เนื้อสารที่ขั้วลบจะเป็นตะกั่วส่วนขั้วบวกจะเป็นตะกั่วออกไซด์ หลังจากนำโหลดมาต่อ แบตเตอรี่จะเริ่มคายประจุโดยเนื้อสารที่ขั้วลบและขั้วบวกจะทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จนกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต การคายประจุของแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลงเมื่อเนื้อสารทั้งขั้วลบและขั้วบวกกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตทั้งหมด



รูปที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ

ในระหว่างที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จึงเกิดกระแสไหลผ่าน โหลด ซึ่งค่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่เนื้อสารสัมผัสกับน้ำกรด

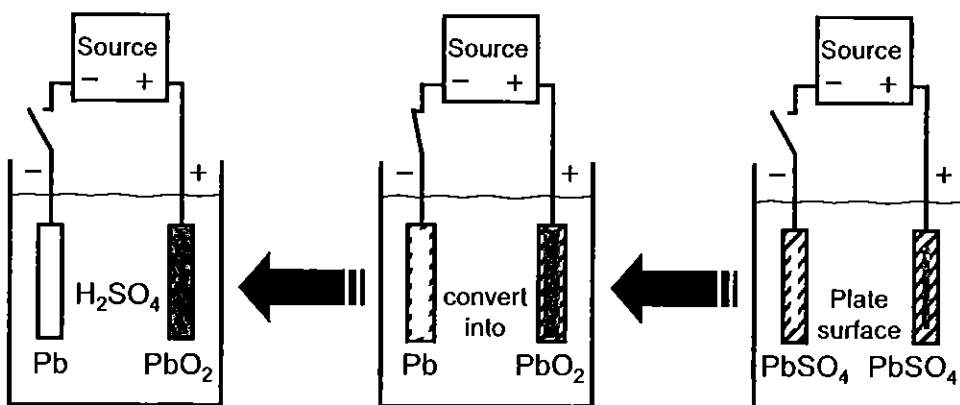


รูปที่ 2.10 การคายประจุของแบตเตอรี่

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการเคมีต่อไปนี้



จากสมการที่ (2.6) การคายประจุจะอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากซ้ายไปขวา ในขณะที่การอัดประจุแบตเตอรี่จะอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสมการจากขวาไปซ้าย เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ โดยเนื้อสารที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจากการอัดประจุ [7] แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ

2.3.3 อัตราการคายประจุ

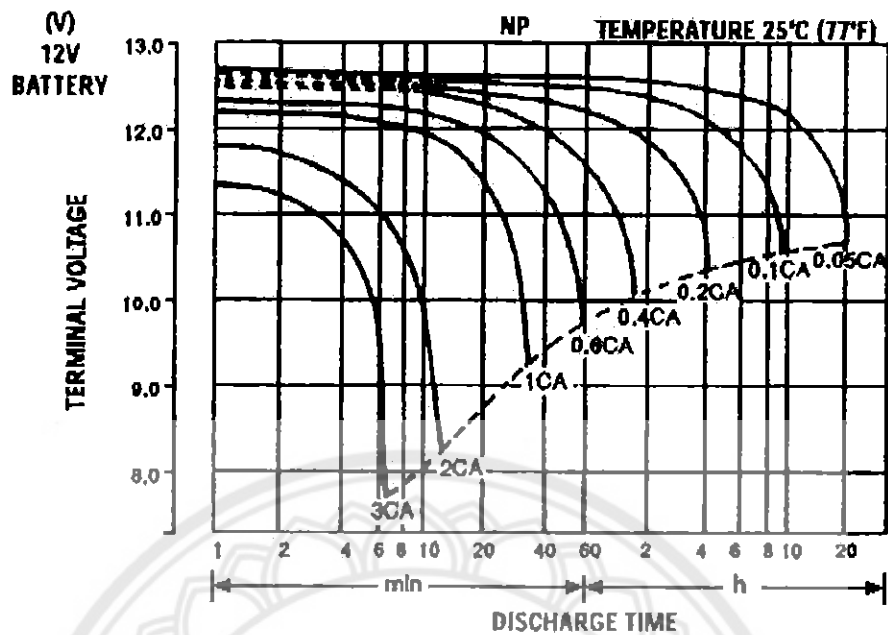
อัตราการคายประจุ หรือที่เรียกว่า ซีเรต (C_{rate}) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วไม่ควรเกิน 0.2C หรือ 20% ของความจุ ถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้นประสิทธิภาพของมันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม เราไม่ควรจะคายประจุในอัตราที่มากกว่า 1C

รอบของการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200 ถึง 300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุ (Depth of discharge: DOD) การอัดประจุ การบำรุงรักษาและอุณหภูมิ ในการใช้งานสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานลดลงคือการกัดกร่อนที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกัดกร่อนนี้จะเกิดมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

การใช้งานแบตเตอรี่จำเป็นต้องศึกษาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ ได้แก่

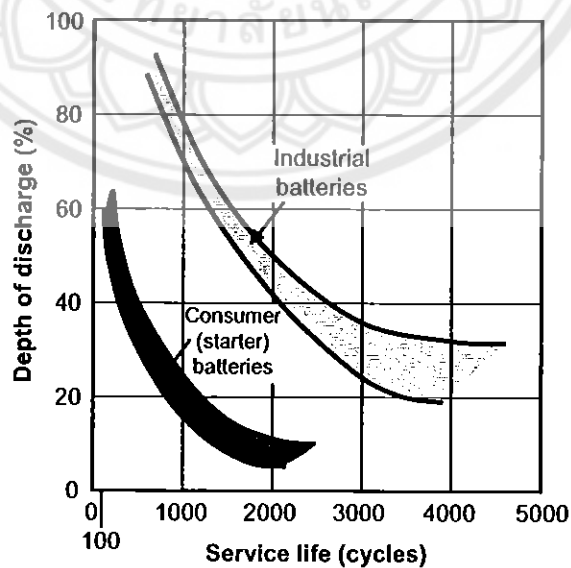
- 1) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery capacity) มีหน่วยคือ “แอมแปร์-ชั่วโมง” (Ah) หรือ “วัตต์-ชั่วโมง” (Wh) ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายได้ เราสามารถคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ได้ด้วยการคายประจุของแบตเตอรี่ความจุที่ใช้งานได้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้าง ซึ่งเชื่อมโยงกับการออกแบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ปริมาณของตะกั่ว ตะกั่วออกไซด์ น้ำกรดความหนาของแผ่นโลหะ และผิวสัมผัสของโลหะ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความจุของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสูงขึ้น แต่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ค่าพลังงานสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ ณ ค่ากระแส และอุณหภูมิค่าหนึ่งที่กำหนดโดยผู้ผลิต เรียกว่า พิกัดความจุ (Rated capacity หรือ Nominal capacity) ของแบตเตอรี่
- 2) จุดสิ้นสุดของการคายประจุ (End of discharge) คือระดับแรงดันที่เราอมให้แบตเตอรี่คายประจุได้ก่อนจะสิ้นสุดกระบวนการคายประจุจุดสิ้นสุดของการคายประจุจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสคายประจุ ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตดังรูปที่ 2.12 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว NP4-12 ซึ่งค่าพิกัดความจุมีค่า 4 Ah ที่กระแส 0.2 A (0.05C) อุณหภูมิ 25°C และจุดสิ้นสุดการคายประจุที่ 10.7 V จะเห็นว่าถ้าแบตเตอรี่คายประจุที่กระแสสูงกว่า 0.2 A จุดสิ้นสุดการคายประจุจะต่ำกว่าเนื่องจากยังมีเนื้อสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำกรดต่อได้อีก แต่ค่าความจุที่ใช้งานได้จะลดลงจากค่าพิกัด

DISCHARGE CHARACTERISTIC CURVES



รูปที่ 2.12 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12

- 3) อายุการใช้งาน (Service life) ของแบตเตอรี่ถูกกำหนดในรูปของจำนวนรอบของการอัดและคายประจุ (Charge-discharge cycle) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความลึกในการคายประจุแต่ละครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.13 ถ้าความลึกในการคายประจุมีค่าสูงจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง



รูปที่ 2.13 กราฟเปรียบเทียบความลึกในการคายประจุกับอายุการใช้งาน

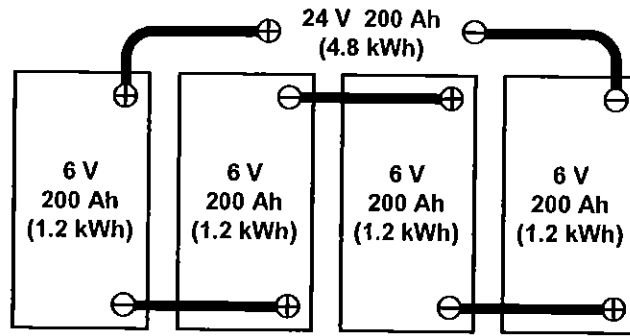
การคายประจุต่ำกว่าจุดสิ้นสุดของการคายประจุ (Deep discharge) จะทำให้แบตเตอรี่ทำงานหนักเกินไป หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ต้องรีบอัดประจุคืนให้เต็ม มิฉะนั้นจะเหลือผลิตภัณฑ์ที่ขี้บวมและขี้ลบ หากปล่อยไว้นานผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะโตขึ้นจนยากต่อการเปลี่ยนกลับคืนเป็นตะกั่ว (ที่ขี้ลบ) และตะกั่วออกไซด์ (ที่ขี้บวม) ใ้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเกิดซัลเฟชัน” (Sulphation) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นสั้นลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อสารที่จะทำปฏิกิริยา ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการป้องกันการคายประจุต่ำกว่าจุดสิ้นสุดการคายประจุ (Deep discharge protection) โดยวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการวัดค่าและตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา

- 4) จุดสิ้นสุดการอัดประจุ (End of charge) ในการอัดประจุแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้แรงดันของแหล่งจ่ายสูงกว่า เช่น ประมาณ 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 V เมื่ออัดประจุจนแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้มีน้ำในน้ำกรดแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขี้ลบและก๊าซออกซิเจนที่ขี้บวม ถ้าอัดประจุมากเกินไปจะทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ลดลง นอกจากนี้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูงยังทำให้เกิดความเครียดในเนื้อสาร ซึ่งทำให้การเกาะตัวของโมเลกุลในเนื้อสารแย่งจนส่งผลให้เนื้อสารบางส่วนหลุดออกจากขี้ ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียความจุที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ ดังนั้นในระหว่างการอัดประจุจึงต้องมีการจำกัดแรงดันและกระแส เช่น การอัดประจุด้วยกระแสไม่เกิน 1 A และใช้แรงดันในการอัดประจุประมาณ 2.3-2.4 V/cell หรือ 14.4 V (สำหรับแบตเตอรี่ 12 V) ที่อุณหภูมิ 20°C [7]

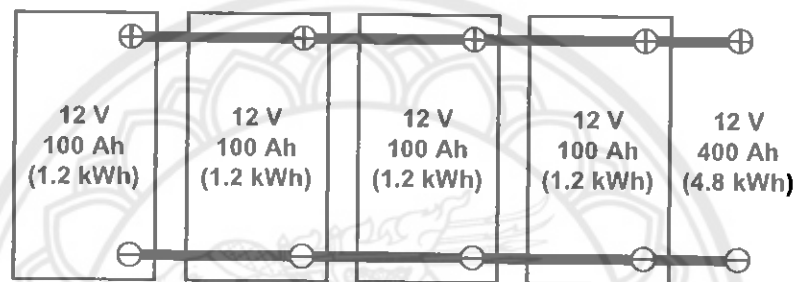
2.3.4 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม (Series connection) เป็นการนำขั้วต่างกันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อเรียงกัน โดยสามารถทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.14 จะทำให้มีค่าแรงดันด้านออกของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น การต่ออนุกรมนี้จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดความจุเท่ากันพลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่อนุกรมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัวคูณกับพิกัดความจุของแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน (Parallel connection) เป็นการนำขั้วเดียวกันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อเรียงกัน โดยสามารถทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.15 เป็นการเพิ่มกระแสด้านออกให้ค่าที่ต้องการ การต่อขนานแรงดันแบตเตอรี่จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันเท่ากัน พลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่แบบขนานจะมีค่าเท่ากับแรงดันคูณกับผลรวมของพิกัดความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัว

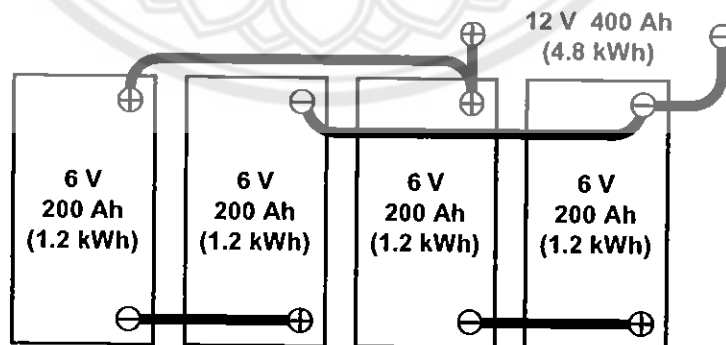


รูปที่ 2.14 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม



รูปที่ 2.15 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

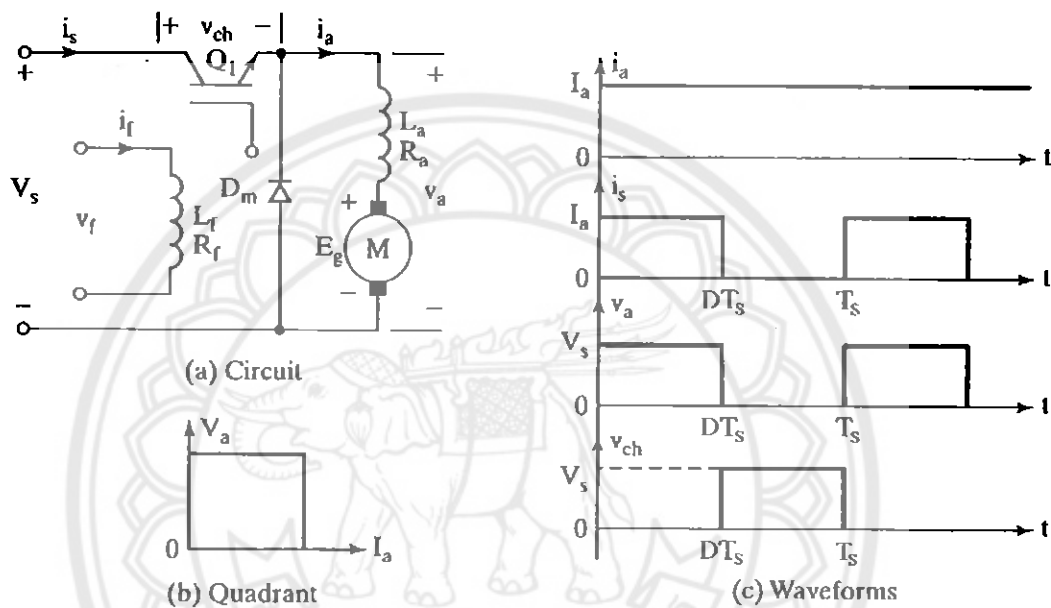
การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนานร่วมกัน (Series-parallel connection) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มทั้งพิกัดแรงดันและความจุพลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่แบบผสมจะมีค่าเท่ากับแรงดันคูณกับผลรวมของพิกัดความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัว [7]



รูปที่ 2.16 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

2.4 หลักการควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

เนื่องจากการใช้งานยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลต้องมีการควบคุมความเร็วในการขับเคลื่อน จึงต้องมีวงจรควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยการควบคุมกำลังหรือการควบคุมการเร่งใช้ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเพื่อควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ แผนภาพวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกด้วยการควบคุมกำลังแสดงดังรูปที่ 2.17 การขับเคลื่อนนี้เป็นแบบ 1 ควอดแรนต์



รูปที่ 2.17 การขับเคลื่อนมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกด้วยการควบคุมกำลัง [5]

$$\text{ค่าเฉลี่ยของแรงดันอาร์เมเจอร์: } V_a = D \cdot V_s \tag{2.7}$$

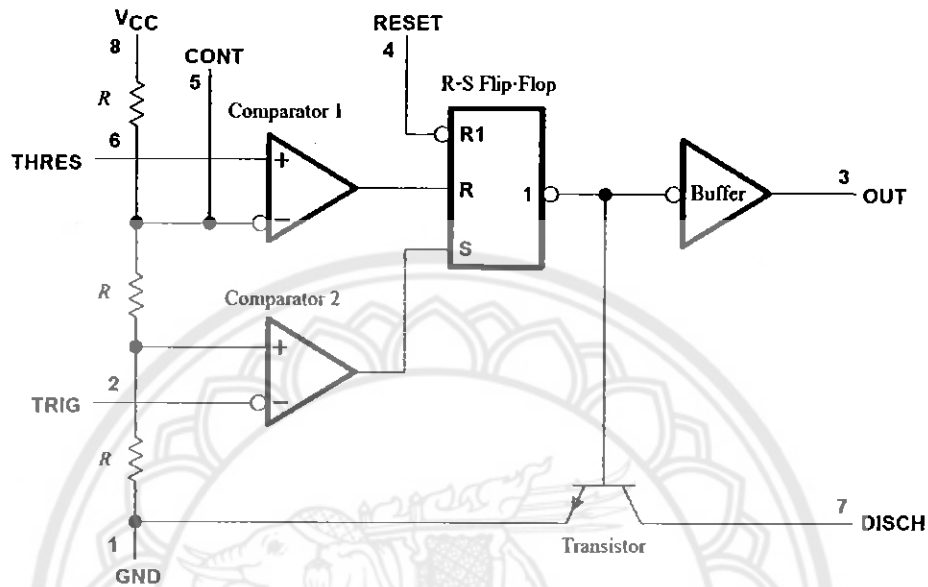
$$\text{กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับ: } P_o = V_a \cdot I_a = D \cdot V_s \cdot I_a \tag{2.8}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้า: } I_s = D \cdot I_a \text{ (ถ้าไม่คิดกำลังสูญเสีย)} \tag{2.9}$$

จากสมการที่ (2.8) จะเห็นว่าเราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลไปสู่มอเตอร์รวมทั้งความเร็วรอบของมอเตอร์ได้โดยปรับค่าดิวิตีไซเคิล (D) โดยใช้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าดิวิตีไซเคิลเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ นำไปป้อนให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อกำหนดค่าแรงดันเฉลี่ย (V_a) ที่ป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อเป็นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ [5] ซึ่งการสร้างสัญญาณพัลส์นั้นสามารถสร้างได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด เช่น ทรานซิสเตอร์ ไอซีออปแอมป์ และไอซีหมายเลข 555 เป็นต้น โดยจะเลือกใช้ไอซีหมายเลข 555 มาต่อเป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ ทั้งนี้เพราะสามารถนำมาต่อใช้งานง่าย ราคาถูก และมีเสถียรภาพที่ดี

2.4.1 แผนภาพวงจรภายในไอซี NE555

ไอซี NE555 เป็นวงจรรวมโดยภายในไอซีประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดมาต่อร่วมกันดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนภาพวงจรภายในไอซี NE555 [6]

จากรูปที่ 2.18 โครงสร้างภายในไอซีประกอบด้วย

- 1) ออปแอมป์ 2 ตัวทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ (Comparator) สัญญาณอินพุตที่ขาบวกและขาลบ ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ขาบวกมีค่ามากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ขาลบ เอาท์พุทจะเท่ากับไฟเลี้ยงวงจร (V_{CC}) หรือ ลอจิก "1" ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ขาบวกมีค่าน้อยกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ขาลบ เอาท์พุทจะเท่ากับ 0 V หรือ ลอจิก "0"
- 2) ตัวต้านทาน (Resistor) 3 ตัว มีค่าความต้านทาน $5\text{ k}\Omega$ เท่ากันทั้ง 3 ตัว ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ $1/3 V_{CC}$
- 3) ฟลิปฟลอปชนิด Reset-Set Flip-Flop เป็นอุปกรณ์ดิจิทัลมีสถานะอินพุตสองสถานะ คือ S (Set) และ R (Reset) มีเอาท์พุท Q และ \bar{Q} โดยที่ \bar{Q} จะมีสถานะตรงข้ามกับ Q เสมอ โดยมีคุณสมบัติการทำงานดังตารางที่ 2.1
- 4) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ชนิด NPN ทำหน้าที่ขยายประจุให้กับตัวเก็บประจุที่นำมาต่อภายนอก เมื่อ เอาท์พุท \bar{Q} มีลอจิก "1" ทำให้มีกระแสเบสเกิดขึ้น กระแสคอลเลคเตอร์ไหลจนทรานซิสเตอร์เกิดการอิ่มตัวทำให้แรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) เท่ากับ 0 V หรือ ทำให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) [8]

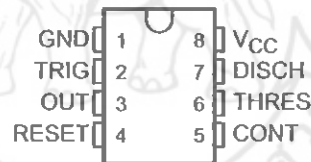
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติการทำงานของ Reset-Set Flip-Flop

S	R	Q	\bar{Q}	สถานะการทำงาน
0	0	Q เดิม	\bar{Q} เดิม	เก็บค่าเดิมไว้ไม่เปลี่ยนแปลง (Hold State)
1	0	1	0	เซต (Set)
0	1	0	1	รีเซต (Reset)
1	1	-	-	ไม่ใช้งาน (Indeterminate)

5) บัฟเฟอร์ (Buffer) ให้ค่าระดับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเหมือนระดับสัญญาณทางด้านอินพุต บัฟเฟอร์สามารถนำไปเป็นตัวขับค่าระดับสัญญาณให้มีความแรงยิ่งขึ้น

2.4.2 หลักการทำงานของไอซี NE555

ไอซี NE555 ประกอบด้วยขาที่เป็นส่วนต่อกับภายนอกทั้งหมด 8 ขา ดังรูปที่ 2.19 ในการประยุกต์ใช้งานสามารถต่อร่วมกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อสร้างวงจรมัลติไวเบรเตอร์ (Multivibrator) ซึ่งสามารถผลิตพัลส์ที่มีความถี่ต่าง ๆ ออกมาได้



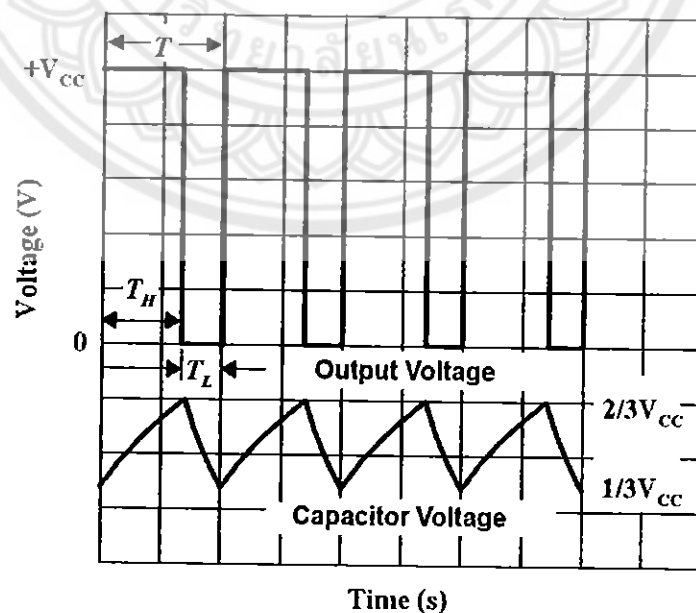
รูปที่ 2.19 โครงสร้างภายนอกของไอซี NE555

วงจรมัลติไวเบรเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

- 1) วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable multivibrator) การทำงานในโหมดนี้จะเป็นแบบซิงเกิ้ลช็อต (Single-shot) หรือ วันช็อต (One-shot) โดยการสร้างสัญญาณครั้งเดียว ประยุกต์การใช้งานสำหรับการนับเวลา การตรวจสอบพัลส์ สวิตช์สัมผัส เป็นต้น
- 2) วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable multivibrator) การทำงานในโหมดนี้จะทำงานเป็นออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) โดยการผลิตสัญญาณพัลส์ออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ ไฟกระพริบ วงจรกำเนิดพัลส์ต่อเนื่อง วงจรกำเนิดเสียง การใช้งานเพื่อเตือนภัย เป็นต้น

เมื่อแรงดันที่สะสมในตัวเก็บประจุ (V_{C1}) มากกว่า $1/3 V_{CC}$ แต่น้อยกว่า $2/3 V_{CC}$ แรงดันที่ขาของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะสูงกว่าแรงดันที่ขาบวกเพราะแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ตัวที่ 2 เท่ากับ $1/3 V_{CC}$ เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็นลอจิก "0" ส่วนที่ขาบวกของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะมีแรงดันต่ำกว่าที่ขาลบ เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็นลอจิก "0" ดังนั้นฟลิปฟลอปจะอยู่ในสถานะเก็บค่าเดิมไว้ไม่เปลี่ยนแปลง (Hold state) ทำให้ \bar{Q} เป็นลอจิก "0" ดังเดิม ขณะนี้ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะไม่ทำงาน ทำให้ตัวเก็บประจุ C_1 จะทำการเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน R_A และ R_B ส่วนเอาท์พุทที่ขา 3 จะเป็นลอจิก "1" หรือ V_{CC} นั่นเอง

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 เก็บประจุจนแรงดันประมาณ $2/3 V_{CC}$ แรงดันที่ขาของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะสูงกว่าแรงดันที่ขาบวกเพราะแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ตัวที่ 2 เท่ากับ $1/3 V_{CC}$ เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็นลอจิก "0" ส่วนที่ขาบวกของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะมีแรงดันสูงกว่าที่ขาลบ เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็นลอจิก "1" ทำให้สถานะของฟลิปฟลอปเป็นรีเซต (Reset) ผลคือทำให้ \bar{Q} เป็นลอจิก "1" ขณะนี้ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงาน ทำให้ตัวเก็บประจุ C_1 คายประจุผ่าน R_B และ ทรานซิสเตอร์ Q_1 ส่วนเอาท์พุทที่ขา 3 จะเป็นลอจิก "0" หรือ 0 V นั่นเอง โดยตัวเก็บประจุ C_1 จะคายประจุจนกระทั่งแรงดันลดลงเหลือ $1/3 V_{CC}$ ที่จุดนี้เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็นลอจิก "1" ทำให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสถานะเซต (Set) อีกครั้ง ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดทำงาน [10] สภาวะการทำงานจะเป็นเช่นนี้สลับกันไป แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างแรงดัน $1/3 V_{CC}$ ถึง $2/3 V_{CC}$ ส่วนเอาท์พุทที่ขา 3 ของไอซี NE555 จะเป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีสองช่วง คือช่วงแรงดันเป็นบวก (V_{CC}) และช่วงแรงดันเป็น 0 V ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 รูปสัญญาณแรงดันเอาท์พุทของวงจระสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และแรงดันของตัวเก็บประจุ C_1

จากรูปที่ 2.21 เมื่อพิจารณาวงจรอะสแตเบิลมีลติไวเบรเตอร์จะเห็นว่าคาบเวลา (T) ของแรงดันด้านออกที่ขา 3 ของ ไอซี 555 มีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาในการสะสมประจุ (T_{μ}) รวมกับช่วงเวลาในการคายประจุ (T_d) โดยส่วนของการวิเคราะห์ช่วงเวลาในการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ของตัวเก็บประจุ C , สามารถวิเคราะห์ได้จากผลตอบสนองชั่วครู่ของแรงดันไฟฟ้าในวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC) ดังนี้

จากสมการแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจร RC [11] คือ

$$v_C = E - (E - E_0)e^{-t/RC} \quad (2.10)$$

เมื่อ v_C = แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ หน่วยโวลต์ (V)

E = แรงดันที่ป้อนเข้าวงจร หน่วยโวลต์ (V)

E_0 = แรงดันเริ่มต้นของตัวเก็บประจุ (Initial voltage) หน่วยโวลต์ (V)

t = เวลาในการเก็บหรือคายประจุของตัวเก็บประจุ หน่วยวินาที (s)

R = ความต้านทานในวงจร หน่วยโอห์ม (Ω)

C_1 = ค่าความจุเก็บประจุในวงจร หน่วยฟารัด (F)

จากสมการที่ (2.10) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$v_C = E - (E - E_0)e^{-t/RC_1}$$

$$(E - E_0)e^{-t/RC_1} = E - v_C$$

$$e^{-t/RC_1} = \frac{(E - v_C)}{(E - E_0)}$$

$$e^{t/RC_1} = \frac{(E - E_0)}{(E - v_C)}$$

$$\frac{t}{RC_1} = \ln \frac{(E - E_0)}{(E - v_C)}$$

$$t = RC_1 \ln \frac{(E - E_0)}{(E - v_C)} \quad (2.11)$$

ขณะที่ตัวเก็บประจุ C_1 ทำการสะสมประจุผ่านความต้านทาน R_A และ R_B จนมีแรงดันจาก $1/3 V_{CC}$ จนถึง $2/3 V_{CC}$ ดังนั้น แรงดันที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ (E_0) มีค่าเท่ากับ $1/3 V_{CC}$ และ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (v_C) เท่ากับ $2/3 V_{CC}$ และแรงดันที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุเท่ากับ V_{CC}

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.11) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} T_H &= (R_A + R_B)C_1 \ln \frac{(V_{CC} - 1/3V_{CC})}{(V_{CC} - 2/3V_{CC})} \\ &= (R_A + R_B)C_1 \ln 2 \\ &= 0.693(R_A + R_B)C_1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

ขณะที่ตัวเก็บประจุ C_1 ภายประจุผ่านความต้านทาน R_B จะมีแรงดันลดลงจาก $2/3 V_{CC}$ เหลือ $1/3 V_{CC}$ ดังนั้น แรงดันที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ (E_0) มีค่าเท่ากับ $2/3 V_{CC}$ และ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในเทอมของเวลา (v_c) เท่ากับ $1/3 V_{CC}$ และแรงดันที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุเท่ากับ $0 V$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.11) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} T_L &= R_B C_1 \ln \frac{(0 - 2/3V_{CC})}{(0 - 1/3V_{CC})} \\ &= R_B C_1 \ln 2 \\ &= 0.693 R_B C_1 \end{aligned} \quad (2.13)$$

เนื่องจากคาบเวลา (T) ของแรงดันออกที่ขา 3 ของ ไอซี 555 มีค่าเท่ากับ $T_H + T_L$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} T &= T_H + T_L \\ &= 0.693(R_A + 2R_B)C_1 \end{aligned} \quad (2.14)$$

จะได้ ความถี่ของสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_A + 2R_B)C_1} \quad (2.15)$$

ค่าคิวดีไซเคล (D) หาได้จากช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C_1 สะสมประจุต่อคาบเวลาซึ่งแสดงได้ดังนี้

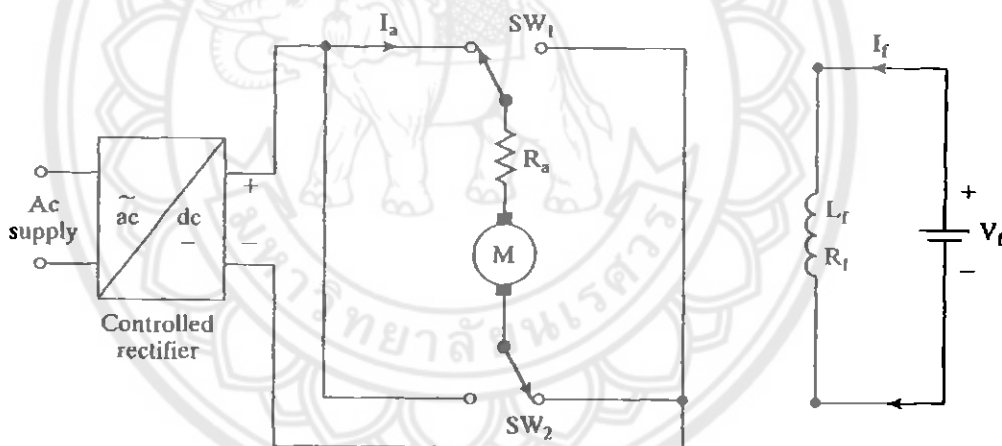
$$D = \frac{T_H}{T} \times 100\% \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.12), (2.13), (2.14), (2.15), (2.16) ได้นั้นสามารถนำไปใช้ในการออกแบบวงจร โดยสามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน R_A และ R_B ค่าตัวเก็บประจุ C_1 คาบเวลา (T) ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็นลอจิก "1" (T_H) และ ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็นลอจิกค่า "0" (T_L) ในหนึ่งคาบเวลา

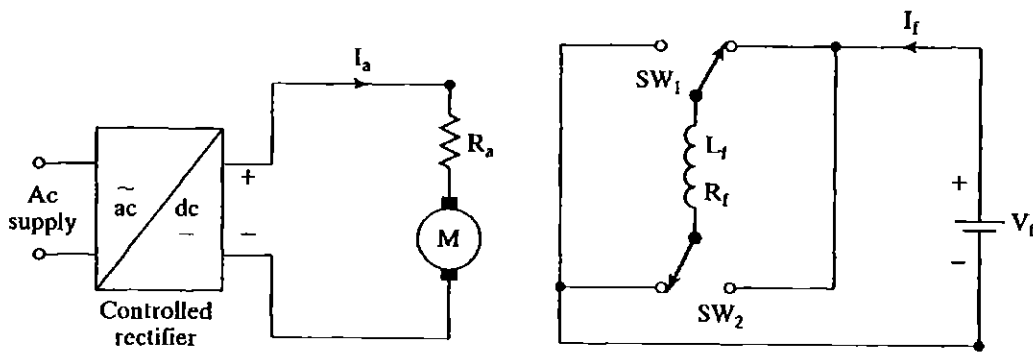
ค่าความถี่ไซเคิล (D) ที่สอดคล้องกับความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ต้องการใช้ในวงจรสแตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้ด้วย

2.5 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ในการขับเคลื่อนยานพาหนะส่วนบุคคลเส้นทางระยะสั้นใช้กลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อกำหนดการเดินหน้าและถอยหลังของยานพาหนะ โดยการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 2.22 หรือในการกลับขั้วขดลวดสนามดังรูปที่ 2.23 ซึ่งจะทำในขณะที่กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นศูนย์เพื่อเลี่ยงการกระชากของแรงดันเหนี่ยวนำ (Inductive voltage surge) โดยปกติ มุมยังจะถูกปรับเพื่อให้เกิดจังหวะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์และมีช่วงเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead time) ประมาณ 2-10 ms เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากขดลวดสนามมีค่าคงตัวทางเวลาค่อนข้างมาก การกลับขั้วขดลวดสนามจึงใช้เวลานานกว่า โดยในการทำงานสามารถใช้รีเลย์เป็นสวิตช์ในการกลับขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงได้



รูปที่ 2.22 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์

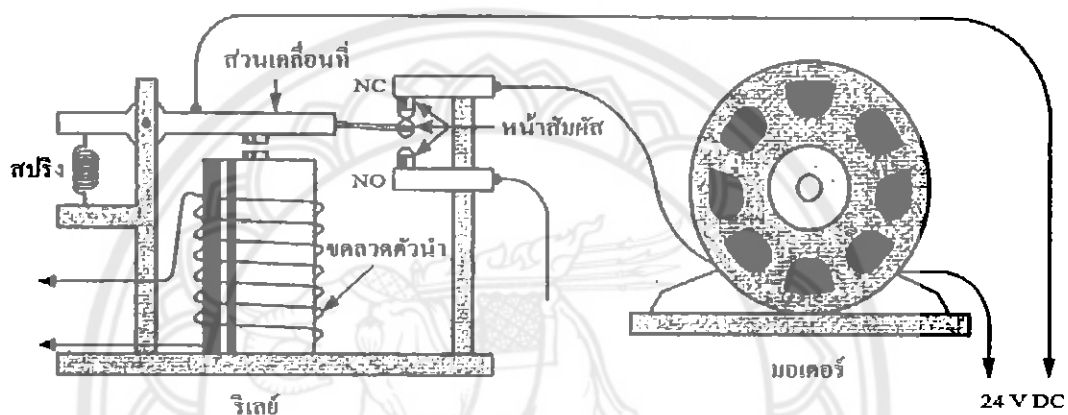


รูปที่ 2.23 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดสนาม

2.5.1 โครงสร้างของรีเลย์

โครงสร้างพื้นฐานของรีเลย์ (Relay) ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.24 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

- 1) ขดลวดค้วนำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่าน
- 2) ส่วนเคลื่อนที่ ทำหน้าที่เปิดปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์
- 3) สปริง ทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของส่วนเคลื่อนที่เพื่อให้กลับไปยังหน้าสัมผัสเดิม
- 4) หน้าสัมผัสของรีเลย์ ทำหน้าที่ตัดต่อวงจร



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของรีเลย์ [12]

2.5.2 หลักการทำงานของรีเลย์

จะเริ่มทำงานได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ขดลวดค้วนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดึงดูดแกนของส่วนเคลื่อนที่ ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กสามารถชนะแรงต้านของสปริงได้ก็จะดึงแกนของส่วนเคลื่อนที่ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์มาอยู่ในตำแหน่งอีกทางหนึ่ง แต่ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไม่สามารถชนะแรงต้านของสปริงได้ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะอยู่ในตำแหน่งเดิม รีเลย์จะมีหน้าสัมผัสอยู่ด้วยกันสองส่วน คือส่วนปกติปิดและส่วนปกติเปิด รีเลย์ส่วนปกติปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิดเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และหน้าสัมผัสจะเปิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และในส่วนปกติเปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์จะเปิดเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และหน้าสัมผัสจะปิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์

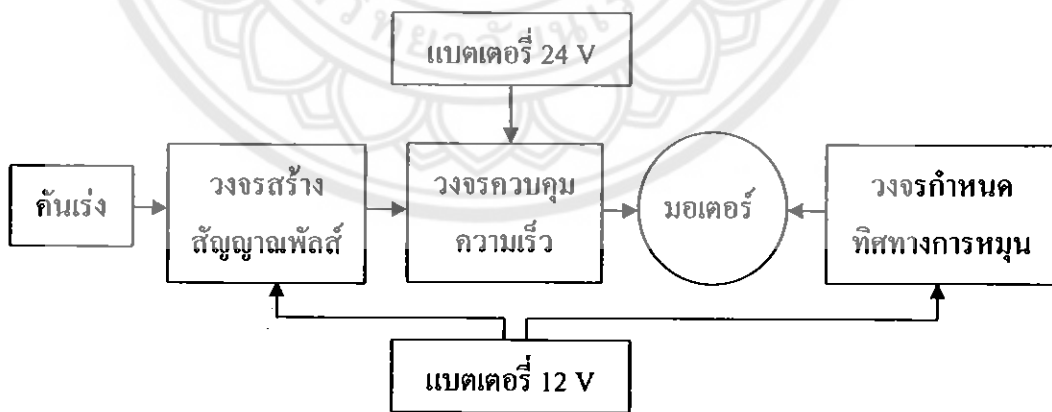
บทที่ 3

การสร้างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

จากการศึกษาหลักการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงในบทที่ 2 ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรขับเคลื่อน โดยประกอบขึ้นจากวงจรควบคุมความเร็วและวงจรถูกกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

3.1 หลักการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคล

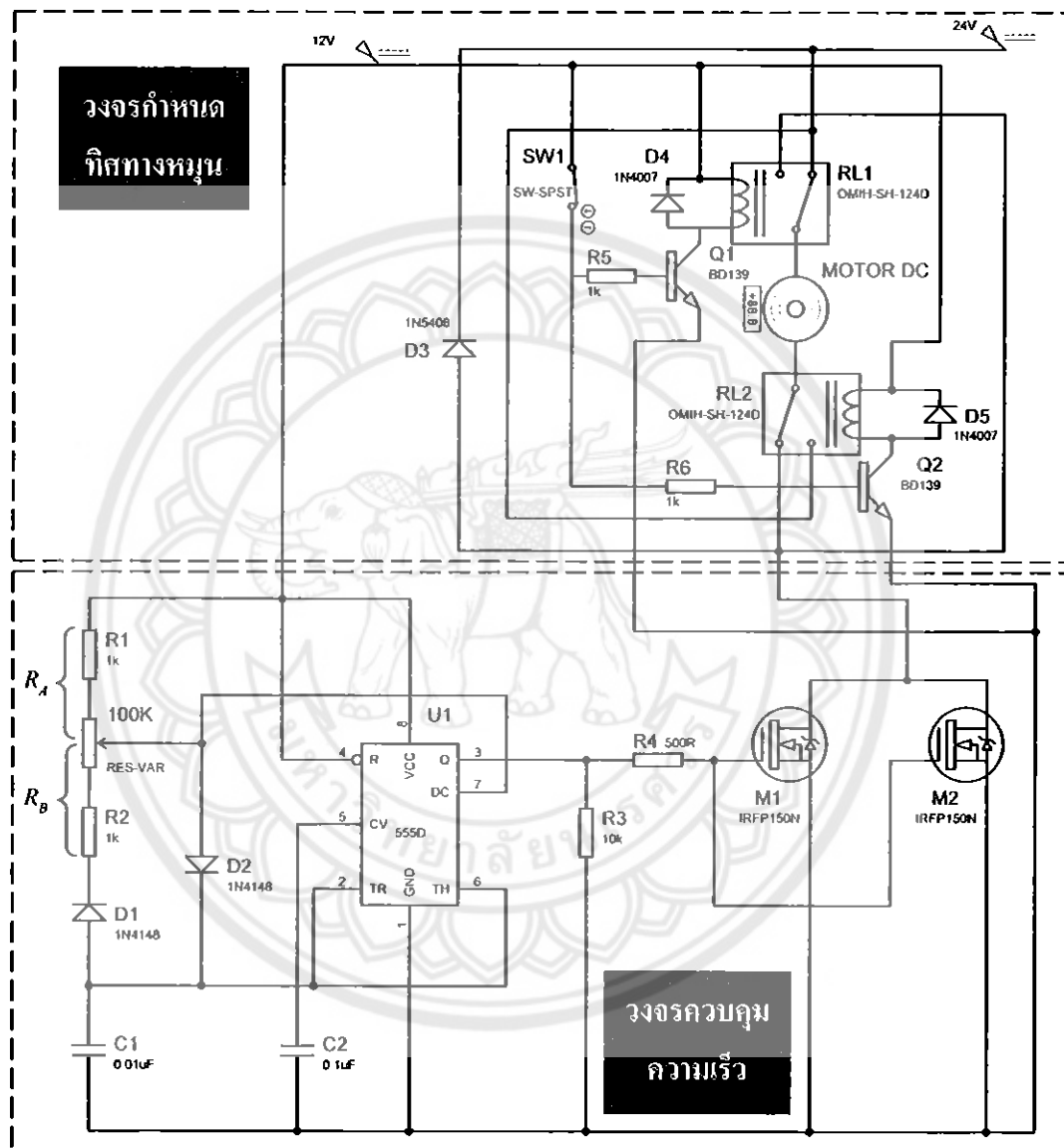
การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีหลักการหลายประเภทตามการใช้งาน โดยในโครงการนี้ได้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 24 V ซึ่งได้มาจากการต่ออนุกรมกันของแบตเตอรี่ 12 V จำนวน 2 ลูก และมีส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ วงจรควบคุมความเร็ว [13] และวงจรถูกกำหนดทิศทางการหมุนเพื่อควบคุมให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังตามต้องการ หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ผู้ดำเนินโครงการได้ศึกษาจาก [13] แล้วปรับปรุงรูปแบบของวงจรเพื่อให้สามารถควบคุมค่าดีดิวซ์เกิลให้มีค่าตั้งแต่ 1% ถึง 99% และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในวงจรเพื่อให้สัญญาณพัลส์จากวงจระอสเตเบิลมีลดีไวเบรเตอร์มีความถี่ใช้งานสูงขึ้น ส่งผลให้มอเตอร์เดินเรียบขึ้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคล

3.2 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

ในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ผู้ดำเนินโครงการได้นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาจากเอกสารอ้างอิง [10, 11, 13] มาประยุกต์ใช้ โดยวงจรแยกออกเป็นสองส่วนคือ วงจรควบคุมความเร็วและวงจรถ้าหนดทิศทางการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมความเร็วและวงจรถ้าหนดทิศทางหมุนมอเตอร์

3.2.1 การควบคุมความเร็ว

การใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนกำลังในการขับเคลื่อนยานพาหนะ เราอาศัยวงจรควบคุมความเร็วเป็นตัวกำหนดความเร็วในการขับเคลื่อนเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ขับขี่ วงจร

ควบคุมความเร็วประกอบด้วยวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ซึ่งสร้างจากไอซี NE555 เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 3.2 ในการออกแบบเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรแสดงได้ดังนี้

การออกแบบเริ่มจากการกำหนดความถี่ใช้งานของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ตามต้องการ ถ้าหากกำหนดความถี่ต่ำเกินไปจะทำให้มอเตอร์สั่น แต่ถ้ากำหนดความถี่สูงเกินไปจะทำให้หัวตัวเก็บประจุ C_1 ที่มีความจุน้อย ๆ ด้ยยาก ดังนั้นในโครงการนี้ได้เลือกค่าความถี่เท่ากับ 1.5 kHz โดยจะหาค่าคาบเวลาได้จากสมการที่ (2.15)

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1.5 \times 10^3} = 0.667 \text{ ms}$$

เนื่องจากวงจรที่ออกแบบไว้นั้นในช่วงอัดประจุของ C_1 กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_A เท่านั้น โดยไม่ผ่านตัวต้านทาน R_B เพราะมีไดโอด D_1 และ D_2 คอยควบคุมทิศทางการไหลของกระแสดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้นจากสมการที่ (2.12) เวลาในการสะสมประจุ (T_H) มีค่า

$$T_H = 0.693(R_A)C_1 \quad (3.1)$$

ในขณะที่คายประจุกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทาน R_B จะมีเวลาในการคายประจุ (T_L) ดังสมการที่ (2.13) เมื่อรวมเข้ากับช่วงอัดประจุจากสมการที่ (3.1) แล้วจะได้คาบเวลาดังนี้

$$T = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (3.2)$$

จากนั้นทำการเลือกค่าความต้านทาน R_A และ R_B โดยเลือกให้โพเทนชิโอมิเตอร์มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทาน (R_1 และ R_2) มากพอจะทำให้การปรับค่าความถี่ได้เต็มที่มีค่าใกล้เคียง 0% ถึง 100% โดยเราจะเลือกโพเทนชิโอมิเตอร์ขนาด 100 k Ω และตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ขนาด 1 k Ω เท่ากันจากนั้นทำการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุจากสมการที่ (3.2)

$$T = 0.693(R_A + R_B)C_1$$

$$0.667 \times 10^{-3} = 0.693 \times (102 \times 10^3) \times C_1$$

$$C_1 = 9.4 \text{ nF}$$

เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด 9.4 μF ไม่มีขายทั่วไปผู้ดำเนินโครงการได้จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10 nF ที่หาซื้อได้ง่ายและมีค่าความจุไฟฟ้าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ เมื่อนำสมการที่ (3.2) ไปแทนค่าลงในสมการที่ (2.15) จะได้ความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ

$$f = \frac{1}{0.693(R_A + R_B)C_1}$$

$$f = \frac{1}{0.693 \times (102 \times 10^3) \times 10 \times 10^{-9}} = 1.415 \text{ kHz}$$

ค่าความถี่ไซเคิลหาได้จากสมการที่ (2.18)

$$D = \frac{T_H}{T} \times 100\%$$

$$D = \frac{0.693(R_A)C}{0.693(R_A + R_B)C} \times 100\%$$

$$= \frac{R_A}{R_A + R_B} \times 100\% \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.3) ค่าความถี่ไซเคิลน้อยที่สุด (D_{\min}) มีค่าเท่ากับ

$$D_{\min} = \frac{1 \times 10^3}{(100 \times 10^3) + (2 \times 10^3)} \times 100\% = 0.98\%$$

จากสมการที่ (3.3) ค่าความถี่ไซเคิลมากที่สุด (D_{\max}) มีค่าเท่ากับ

$$D_{\max} = \frac{101 \times 10^3}{(100 \times 10^3) + (2 \times 10^3)} \times 100\% = 99.02\%$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรที่ออกแบบสามารถปรับค่าความถี่ไซเคิลได้ตั้งแต่ประมาณ 1% ถึง 99% โดยค่าความถี่ไซเคิลนี้แสดงถึงระดับแรงดันเฉลี่ยที่มอเตอร์ได้รับ ถ้าค่าความถี่ไซเคิลมีค่าน้อยจะทำให้แรงดันเฉลี่ยที่มอเตอร์ได้รับมีค่าต่ำส่งผลให้มอเตอร์หมุนช้า แต่ถ้าค่าความถี่ไซเคิลมีค่ามากแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่าสูงส่งผลให้มอเตอร์หมุนเร็ว

ไดโอดที่เลือกใช้ในวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดที่ทนกระแสได้สูงเพราะกระแสในวงจรมีค่าเพียง 79 mA ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกใช้ไดโอดหมายเลข 1N4148 ซึ่งทนกระแสได้ 450 mA และทนแรงดันย้อนกลับได้ 100 V

ในส่วนของชุดขับมอเตอร์ที่จะรับสัญญาณพัลส์จากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้มอสเฟตกำลังชนิดเอ็น (N-channel MOSFET) เป็นอุปกรณ์สวิตชิง (Switching) เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ โดยเมื่อคิดจากค่าพิกัดของมอเตอร์ 250 W หากด้วยแรงดันใช้งาน 24 V จะได้ค่ากระแสเท่ากับ 10.42 A ดังนั้นจึงเลือกใช้มอสเฟตหมายเลข IRF150 ซึ่งทนกระแสต่อเนื่องได้ 42 A และหากกระแสที่ไหลมีลักษณะเป็นพัลส์จะทนได้ 140 A และทนแรงดันได้ 100 V จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวงจร โดยจะใช้มอสเฟตสองตัวต่อขนานกันเพื่อแบ่งกระแสไม่ให้เกิดความร้อนสะสมในมอสเฟตมากเกินไป

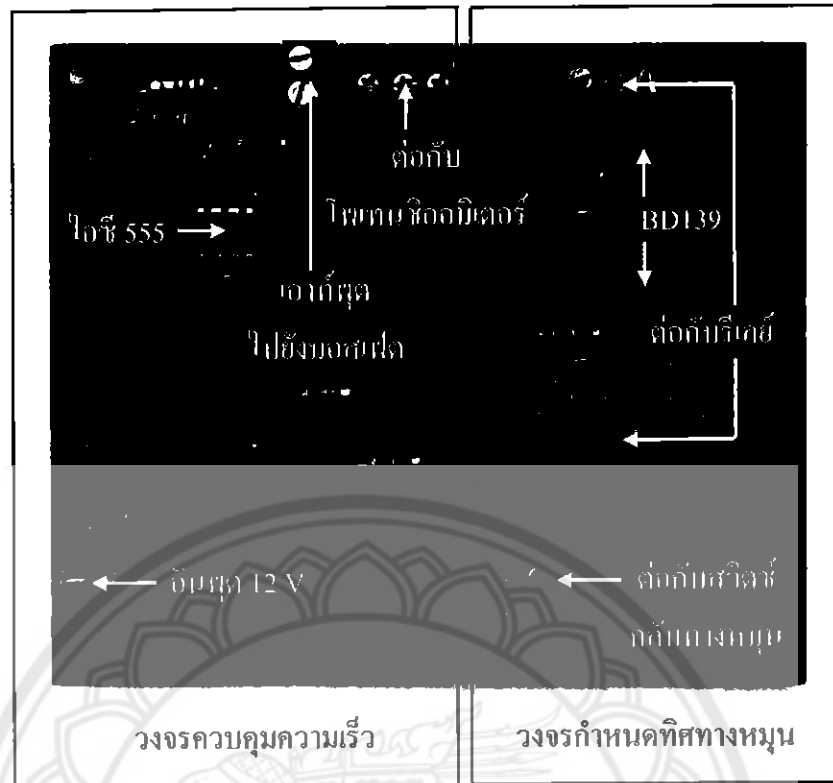
มอเตอร์จำเป็นต้องมีไดโอดฟรีวิลลิง (Free - wheeling diode) ต่อคร่อมไว้เพื่อเป็นทางเดินของกระแสในช่วงเวลาที่มอเตอร์ไม่นำกระแสในแต่ละคาบสวิตซิง เนื่องจากช่วงที่มอเตอร์ไม่นำกระแสเป็นเวลานานในแต่ละคาบสวิตซิงคือช่วงที่มีค่าความถี่เกิดน้อยซึ่งในช่วงนั้นกระแสที่มอเตอร์ใช้มีค่าน้อย ประมาณไม่เกิน 1 A จึงเลือกใช้ไดโอดหมายเลข 1N5408 ที่ทนกระแสได้ 3 A และทนแรงดันย้อนกลับได้ 1000 V

3.2.2 การกลับทิศทางการหมุน

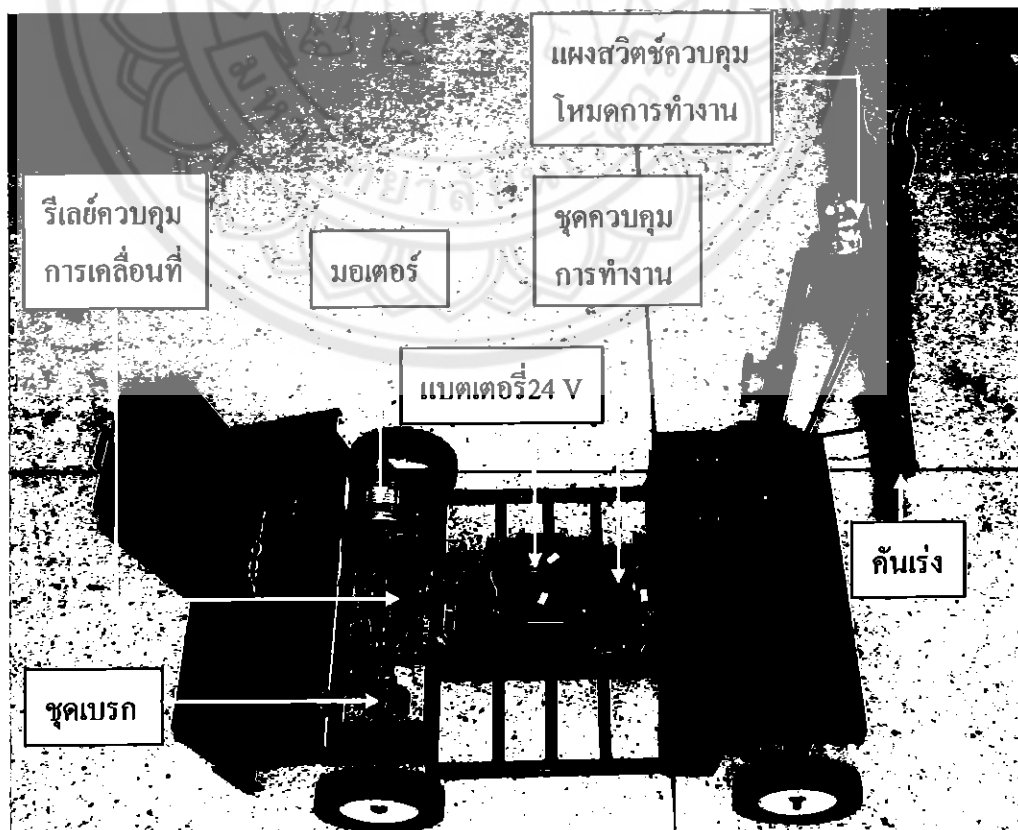
เพื่อความสะดวกในการใช้งานยานพาหนะควรมีทั้งการเดินหน้าและการถอยหลังได้ ดังนั้นมอเตอร์จึงต้องถูกควบคุมให้สามารถกลับทิศทางการหมุน ซึ่งในส่วนของวงจรกลับทิศทางการหมุนจะเลือกใช้รีเลย์มาทำเป็นสวิตช์ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสผ่านมอเตอร์ เนื่องจากรีเลย์สามารถต่อใช้งานได้ง่าย มีความทนทานในการใช้งานสูง โดยรีเลย์ที่เลือกใช้คือรีเลย์ Niles ขนาด 12 V ทนกระแสสูงสุด 25 A เนื่องจากการคำนวณค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้เท่ากับ 10.42 A ดังนั้นหน้าสัมผัสของรีเลย์จะมีกระแสไหลผ่านเท่ากับกระแสที่ไหลไปยังมอเตอร์คือ 10.42 A ซึ่งจากคุณสมบัติของรีเลย์ที่นำมาใช้งานหน้าสัมผัสจะสามารถทนกระแสได้สูงสุด 12.5 A หากโหลดมีค่าพิกัดแรงดันเป็น 24 V และในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ขดลวดรีเลย์ต้องมีการต่อไดโอดคร่อมเนื่องจากขดลวดรีเลย์เสมือนเป็นตัวเหนี่ยวนำเมื่อทรานซิสเตอร์หมายเลข BD139 ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์หยุดทำงานจะยังคงมีกระแสไหลต่อเนื่องอยู่โดยกระแสที่ไหลมีค่า 0.6 A จึงเลือกใช้ไดโอดหมายเลข 1N4007 ที่ทนกระแสได้ 1 A และทนแรงดันย้อนกลับได้ 1000 V

3.3 การสร้างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

ออกแบบและทดสอบวงจรควบคุมความเร็วและวงจรควบคุมการกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ แล้วจึงนำอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้มาต่อลงบนแผ่นอบเนกประสงค์ได้ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นนำวงจรที่สร้างขึ้นไปเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามวงจรรูปที่ 3.2 เพื่อให้ได้วงจรควบคุมการขับเคลื่อนที่สมบูรณ์ ก่อนจะนำไปประกอบเข้ากับโครงสร้างของยานพาหนะที่ได้ออกแบบและสร้างไว้แล้วดังรูปที่ 3.4



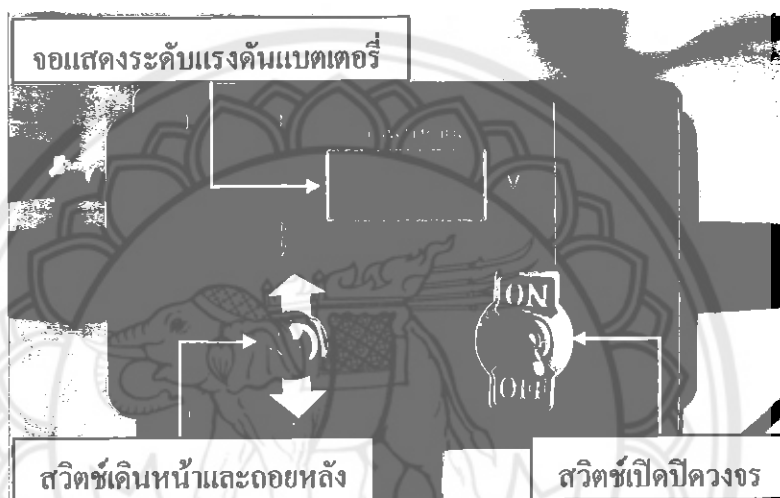
รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมความเร็วและวงจรกำหนดทิศทางหมุนมอเตอร์



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบหลักของยานพาหนะไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

3.4 การควบคุมการทำงานของยานพาหนะ

ยานพาหนะจะสามารถขับเคลื่อนได้ก็ต่อเมื่อเปิดสวิตซ์ให้วงจรขับเคลื่อนทำงานและมีระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่สูงเพียงพอ (ไม่น้อยกว่า 11.7 V ต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก) การควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสามารถทำได้ด้วยการบิดคันเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วหรือผ่อนคันเร่งเพื่อลดความเร็วลง โดยมีสวิตซ์เปิดปิด สวิตซ์ควบคุมการเดินหน้าและถอยหลัง และหน้าจอแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่อยู่บนแผงสวิตซ์ควบคุมแบบการทำงานซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางคันบังคับของยานพาหนะเพื่อให้สะดวกต่อการควบคุม ดังแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผงสวิตซ์ควบคุมแบบการทำงาน

ในส่วนของจอแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่จะแสดงแรงดันจากแบตเตอรี่ 12 V เพียงหนึ่งลูกเนื่องจากจอแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่ใช้แรงดันไฟเลี้ยงวงจร 9 V ดังนั้นจึงเลือกใช้แรงดัน 12 V ซึ่งมีระดับแรงดันใกล้เคียงกันทำให้สามารถเชื่อมสายของวงจรวัดระดับแรงดันกับสายไฟเลี้ยงวงจรเข้าด้วยกันจึงรับไฟจากแหล่งจ่ายเดียวกันได้ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน โดยในการใช้งานยานพาหนะควรจะทำการประจุแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำกว่า 11.7 V เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

หลังจากศึกษาการควบคุมมอเตอร์ในบทที่ 2 และทำการสร้างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ทดสอบการทำงานของยานพาหนะที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองวัดค่ากระแสขับเคลื่อนขณะที่ยานพาหนะเริ่มเคลื่อนที่และส่วนที่ 2 เป็นการวัดค่ากระแสในย่านความเร็วที่ใช้งาน

4.1 การวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่

ในการเริ่มเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะมีการใช้ปริมาณกระแสค่า ๆ หนึ่งที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยกระแสจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโหลดรวมคือยานพาหนะและผู้ขับขี่ เนื่องจากในการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างเพลากับล้อ

ก) การทดสอบขณะไม่มีผู้ขับขี่

การทดสอบทำโดยการต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากนั้นบิดคันเร่งขณะผู้ขับขี่ไม่ได้ยืนอยู่บนยานพาหนะแล้วอ่านค่ากระแสที่แอมมิเตอร์วัดได้ขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ โดยค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 3.21 A

ข) การทดสอบขณะมีผู้ขับขี่

การทดสอบทำโดยการต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากนั้นบิดคันเร่งขณะมีผู้ขับขี่ (น้ำหนักประมาณ 75 kg) ขึ้นอยู่บนยานพาหนะแล้วอ่านค่ากระแสที่แอมมิเตอร์วัดได้ขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ โดยค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 8.50 A

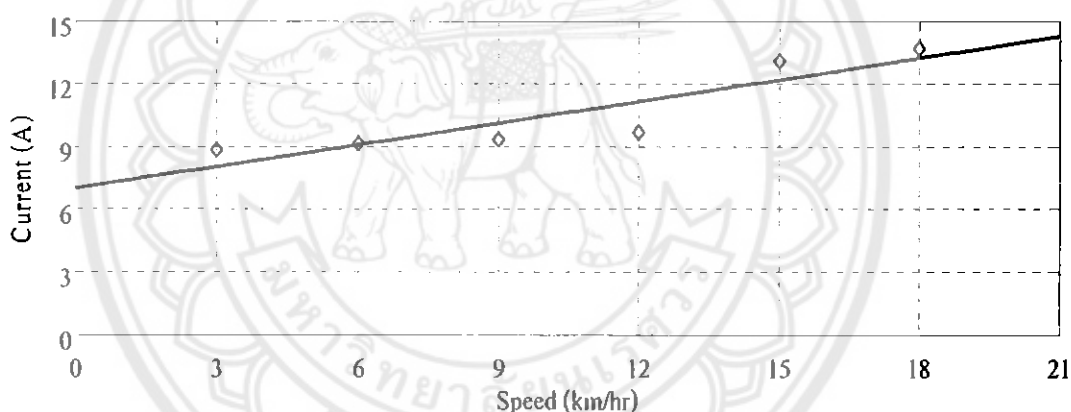
4.2 การวัดค่ากระแสในย่านความเร็วที่ใช้งาน

การวัดค่ากระแสที่ความเร็วต่าง ๆ เพื่อหาค่าปริมาณกระแสสูงสุด และหาค่าความเร็วของยานพาหนะที่มีการใช้ปริมาณกระแสน้อยที่สุด ทำให้ทราบค่าความเร็วที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถใช้งานยานพาหนะได้นานที่สุด การทดสอบได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ

ความเร็ว (km/hr)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)
3	8.85
6	9.15
9	9.32
12	9.70
15	13.08
18	13.69

จากข้อมูลปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ

ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการขับเคลื่อนของยานพาหนะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงบิดต้านอันเกิดจากความฝืดระหว่างเพลากับล้อและเพื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ การเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์นั้นทำได้โดยเพิ่มค่าคัตไชเกิล (ด้วยการบิดคันเร่ง) ส่งผลให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.8) และ (2.9) ตามลำดับ มอเตอร์จึงสร้างแรงบิดได้มากขึ้น ทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2 ภาคการศึกษา ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงาน การอธิบายข้อจำกัดของยานพาหนะที่สร้างขึ้น รวมทั้งเสนอแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้สร้างยานพาหนะไฟฟ้าสำหรับการเดินทางในระยะสั้นที่สามารถรองรับผู้ขับขี่ได้จำนวน 1 คน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 24 V ควบคุมการขับเคลื่อนด้วยวงจรควบคุมความเร็วและวงจรกำหนดทิศทางการหมุนที่ใช้สำหรับการเดินหน้าและถอยหลัง โดยยานพาหนะที่สร้างขึ้นมีขนาดความกว้าง 0.66 m ความยาว 0.95 m ความสูง 1.05 m และมีน้ำหนัก 49.96 kg โดยมีความเร็วสูงสุด 18 km/hr เนื่องจากการสร้างยานพาหนะที่มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า หรือใช้ในบริเวณที่มีเส้นทางค่อนข้างแคบ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความเร็วสูงในการขับเคลื่อน การทดสอบชี้ให้เห็นว่าค่ากระแสที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยานพาหนะมีความเร็วสูงขึ้น

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) ยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางระยะสั้น เป็นยานพาหนะ 4 ล้อแบบขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง โดยยึดเฟืองโซ่ที่ติดอยู่กับเพลาลูกตอกกับล้อด้านซ้ายเพียงด้านเดียว ในขณะที่ล้อด้านขวาหมุนอิสระเพื่อลดปัญหาในการเลี้ยว เนื่องจากถ้าล้อคู่หลังหมุนด้วยจำนวนรอบที่เท่ากันจะทำให้เกิดการกินขณะเลี้ยวเนื่องจากในขณะเลี้ยว ล้อทั้งสองมีรัศมีวงเลี้ยวไม่เท่ากันจึงมีระยะทางวิ่งไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามหากผู้ขับขี่ทำการหมุนคันบังคับไปทางด้านซ้ายจนสุดก่อนที่ยานพาหนะจะเริ่มเคลื่อนที่จะทำให้ยานพาหนะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากล้อหน้าด้านซ้ายทำมุมเกือบ 90° กับล้อหลังด้านซ้ายส่งผลให้ล้อหน้าวางตัวขวางแนวการเคลื่อนที่ของล้อหลัง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขด้วยการปรับโครงสร้างของยานพาหนะโดยใช้ล้อหลังเพียง 1 ล้อ และจัดตำแหน่งล้อไว้ตรงกลาง หรือสร้างระบบขับเคลื่อนล้อหลังทั้งสองข้างให้ทำงานอิสระต่อกันเช่นเดียวกับแบบที่ใช้ในรถยนต์นั้นคือขณะเลี้ยว ล้อที่อยู่ด้านใน

โค้งจะหมุนช้ากว่าล้อที่อยู่ด้านนอกโค้งซึ่งระบบนี้มีความซับซ้อนและใช้ต้นทุนสูงในการสร้าง

- 2) เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานของยานพาหนะเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขนาด 12 V ความจุ 21 Ah จำนวน 2 ลูก ทำให้ต้องใช้เวลานานในการอัดประจุ อีกทั้งยังมีน้ำหนักมาก ส่งผลต่อน้ำหนักรวมของยานพาหนะ ดังนั้นอาจเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน (Li-Ion) ซึ่งมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ อีกทั้งยังมีอัตราการอัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจึงไม่สามารถหยุดรถได้อย่างรวดเร็ว ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการใช้ระบบจานห้ามล้อ (Disc brake)
- 3) เนื่องจากระบบห้ามล้อที่ติดตั้งเป็นแบบก้ามปู แต่ยานพาหนะมีน้ำหนักมาก เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจึงไม่สามารถหยุดรถได้อย่างรวดเร็ว ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการใช้ระบบจานห้ามล้อ (Disc brake)

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

วงจรขับเคลื่อนของยานพาหนะไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ใช้การควบคุมความเร็วโดยการปรับค่าความต้านทานของโพเทนชิโอมิเตอร์ โดยได้นำคัมแรงของรถจักรยานยนต์มาดัดแปลงเพื่อควบคุมการปรับค่าทำให้เพิ่มความยุ่งยากในการสร้าง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงวงจรให้สามารถรองรับคัมแรงไฟฟ้าที่มีขายทั่วไปเพื่อความสะดวกในการนำมาใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กเพื่อความคล่องตัวและเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาเพื่อลดน้ำหนักรวมของยานพาหนะและทำให้มอเตอร์ใช้กระแสในการขับเคลื่อนน้อยลงส่งผลให้ใช้งานแบตเตอรี่ได้นานขึ้น หรืออาจเพิ่มขีดจำกัดของความถี่ในการขับเคลื่อน โดยออกแบบโครงสร้างของยานพาหนะให้อัตราทดระหว่างเฟืองโซ่ของมอเตอร์กับเฟืองโซ่ที่ติดอยู่กับเพลาที่มีค่าน้อยลง รวมถึงการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อและเลือกอุปกรณ์ในวงจรให้มีพิสัยสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไชชาญ หินเกิด “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, บริษัทประชาชน, กรุงเทพฯ, 2537.
- [2] รศ.ประภาส อุคคกิมพันธ์ “บรรยายพิเศษ เรื่อง เซนเซอร์ในระบบอัตโนมัติ”
- [3] <http://www.ps-thai.org>, สืบค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 2555.
- [4] www.motor.com/การทำงานของมอเตอร์ สืบค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 2555.
- [5] Muhammad H. Rashid “Power Electronics Circuits, Devices and Applications”, Pearson Education, Inc., Third Edition, 2004.
- [6] กรมสรรพสามิต, “แบตเตอรี่”, สารคดีสาร ปีที่ 5 ฉบับที่ 5, กรมสรรพสามิต, กรุงเทพฯ, 2542.
- [7] G. Hille, W. Roth, and H. Schmidt, “Course book for the seminar Photovoltaic Systems”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, 1995.
- [8] <http://eestud.kku.ac.th/>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [9] <http://www.discontinue.ob.tc/data/data1.htm>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [10] นายภัทร วัฒนเทพินทร์ “ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์”, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2538.
- [11] นายพันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ และคณะ “วงจรพัลส์และดิจิตอล”, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพฯ, กรุงเทพฯ, 2546.
- [12] <http://www.chontech.ac.th/~electric/e-learn/unit5/unit5.htm>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [13] <http://www.wara.com/modules.php?name=project&file=showproject&sid=209>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.

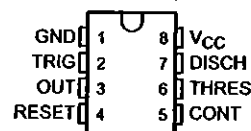


NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

- Timing From Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source up to 200 mA
- Designed To Be Interchangeable With Signetics NE555, SA555, and SE555

NE555 . . . D, P, PS, OR PW PACKAGE
SA555 . . . D OR P PACKAGE
SE555 . . . D, JG, OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



description

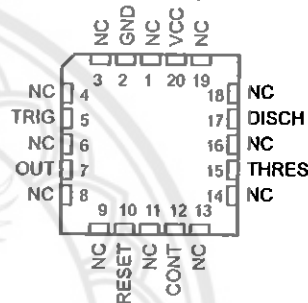
These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.

The NE555 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The SA555 is characterized for operation from -40°C to 85°C. The SE555 is characterized for operation over the full military range of -55°C to 125°C.

SE555 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGE					
	V _{THRES} MAX V _{CC} = 15 V	SMALL OUTLINE (D, PS)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	PLASTIC THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	11.2 V	NE555D NE555PS	—	—	NE555P	NE555PW
-40°C to 85°C	11.2 V	SA555D	—	—	SA555P	—
-55°C to 125°C	10.6 V	SE555D	SE555FK	SE555JG	SE555P	—

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., NE555DR). The PS and PW packages are only available taped and reeled.



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

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

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38533, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

1

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

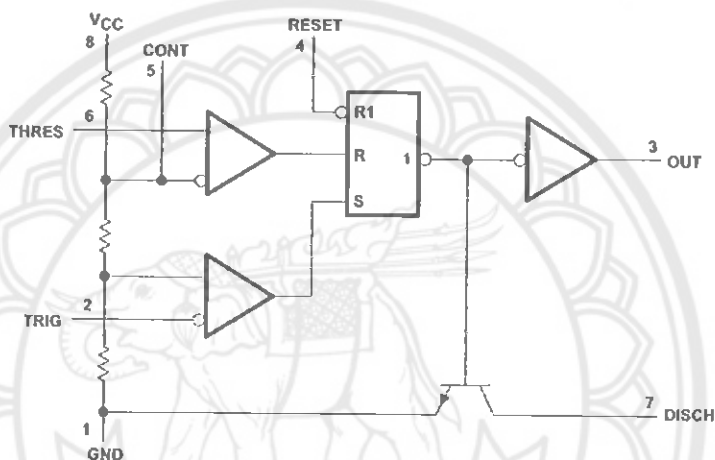
SLFS022C – SEPTEMBER 1973 – REVISED FEBRUARY 2002

FUNCTION TABLE

RESET	TRIGGER VOLTAGE†	THRESHOLD VOLTAGE†	OUTPUT	DISCHARGE SWITCH
Low	Irrelevant	Irrelevant	Low	On
High	$< 1/3 V_{DD}$	Irrelevant	High	Off
High	$> 1/3 V_{DD}$	$> 2/3 V_{DD}$	Low	On
High	$> 1/3 V_{DD}$	$< 2/3 V_{DD}$	As previously established	

† Voltage levels shown are nominal.

functional block diagram



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.

NOTE A: RESET can override TRIG, which can override THRES.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C – SEPTEMBER 1973 – REVISED FEBRUARY 2002

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	18 V
Input voltage (CONT, RESET, THRES, and TRIG)	V_{CC}
Output current	± 225 mA
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2):	
D package	97°C/W
P package	85°C/W
PS package	95°C/W
PW package	149°C/W
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, P, PS, or PW package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

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

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to GND.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
JG (SE555)	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	546 mW	210 mW

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V_{CC}	Supply voltage	SA555, NE555	4.5	16	V
		SE555	4.5	18	
V_I	Input voltage (CONT, RESET, THRES, and TRIG)		V_{CC}	V	
I_O	Output current		± 200	mA	
T_A	Operating free-air temperature	NE555	0	70	°C
		SA555	-40	85	
		SE555	-55	125	

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

electrical characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NE555 SA555			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.4	10	10.8	8.8	10	11.2	V	
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2		
THRES current (see Note 3)			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$		4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	3		6				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1.9				
TRIG current	TRIG at 0 V		0.5	0.9		0.5	2	μA	
RESET voltage level		0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V	
	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1.1					
RESET current	RESET at V_{CC}		0.1	0.4		0.1	0.4	mA	
	RESET at 0 V		-0.4	-1		-0.4	-1.5		
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9.6	10	10.4	9	10	11	V
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6		10.4				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	2.9		3.8				
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{ mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.2				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 50\text{ mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75		
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 100\text{ mA}$		2	2.2		2	2.5		
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$				0.35				
$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$				0.35					
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 5\text{ mA}$		0.1	0.2		0.1	0.35			
	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.8					
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 8\text{ mA}$		0.15	0.25		0.15	0.4			
High-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$		13	13.3		12.75	13.3	V	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	12						
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -200\text{ mA}$		12.5			12.5			
	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	3	3.3		2.75	3.3			
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$		2							
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10	12		10	15	mA
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3	5		3	8	
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10		9	13	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		2	4		2	5	

NOTE 3: This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B in the circuit of Figure 12. For example, when $V_{CC} = 5\text{ V}$, the maximum value is $R = R_A + R_B = 3.4\text{ M}\Omega$, and for $V_{CC} = 15\text{ V}$, the maximum value is $10\text{ M}\Omega$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

operating characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$ and 15 V

PARAMETER		TEST CONDITIONS†	SE555			NE555 SA555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial error of timing interval‡	Each timer, monostable§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5%	1.5%*		1%	3%		
	Each timer, astable¶		1.5%		2.25%				
Temperature coefficient of timing interval	Each timer, monostable§	$T_A = \text{MIN to MAX}$	30	100*		50		ppm/°C	
	Each timer, astable¶		90		150				
Supply-voltage sensitivity of timing interval	Each timer, monostable§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.05	0.2*		0.1	0.5	%V	
	Each timer, astable¶		0.15		0.3				
Output-pulse rise time		$C_L = 15\text{ pF},$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200*		100	300	ns	
Output-pulse fall time		$C_L = 15\text{ pF},$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200*		100	300	ns	

* On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

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

‡ Timing interval error is defined as the difference between the measured value and the average value of a random sample from each process run.

§ Values specified are for a device in a monostable circuit similar to Figure 9, with the following component values: $R_A = 2\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$, $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$.¶ Values specified are for a device in an astable circuit similar to Figure 12, with the following component values: $R_A = 1\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$, $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$.

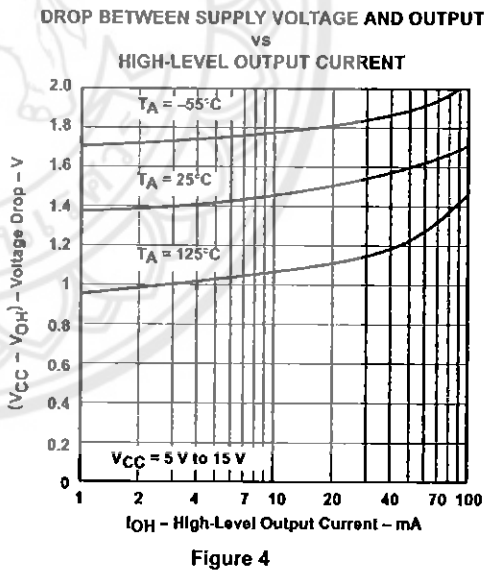
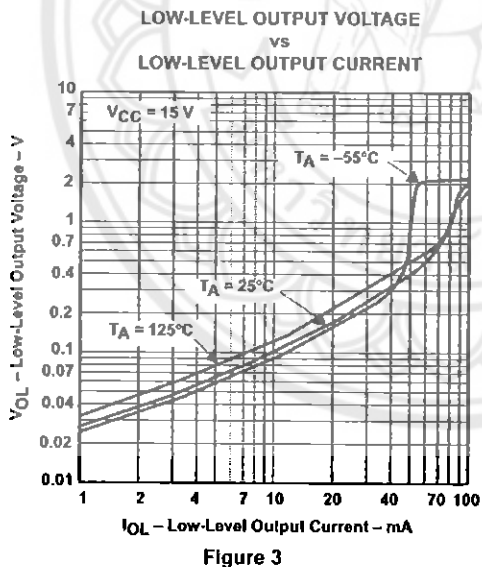
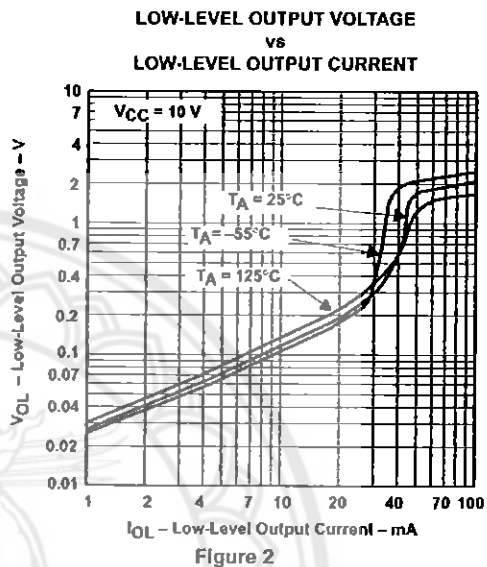
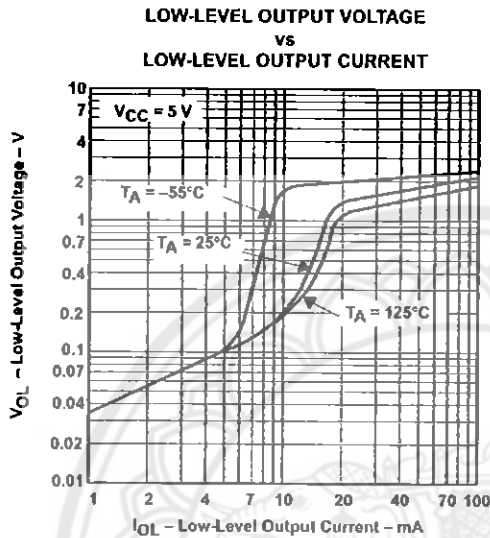

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

5

**NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS**

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

TYPICAL CHARACTERISTICS†



†Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SE555 circuits only.

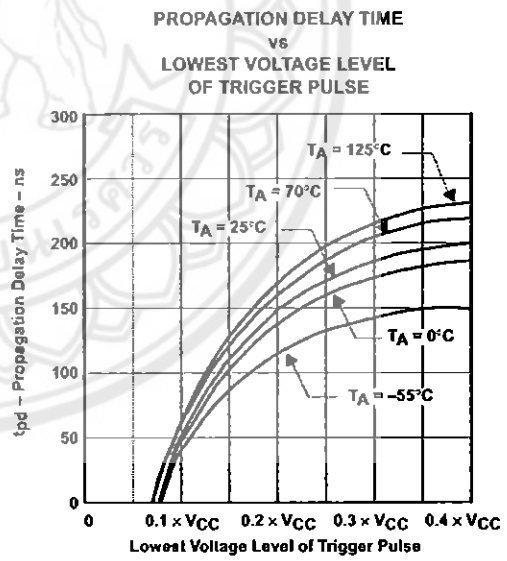
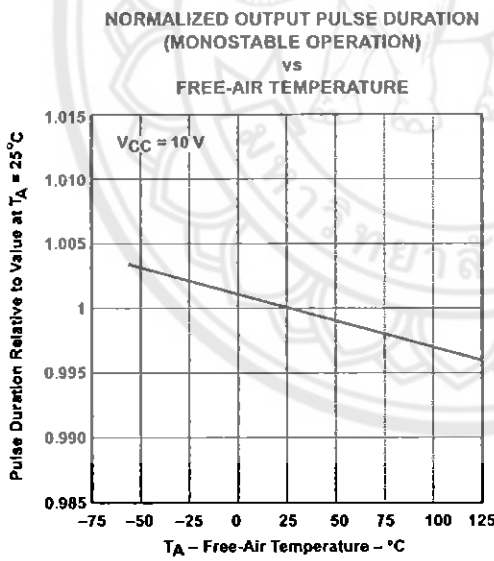
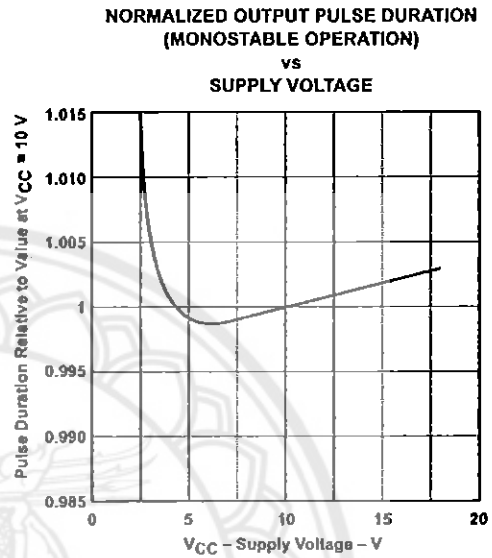
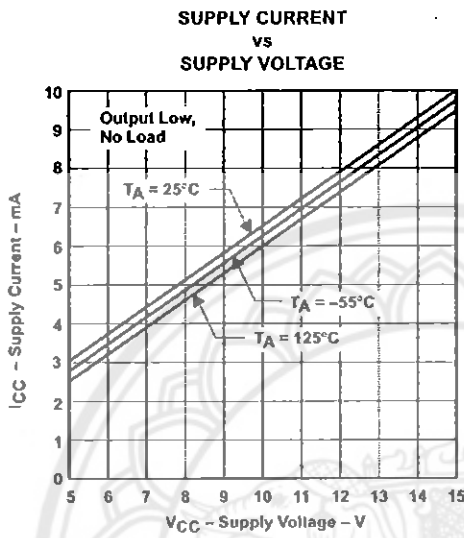


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

TYPICAL CHARACTERISTICS†



†Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SE555 series circuits only.

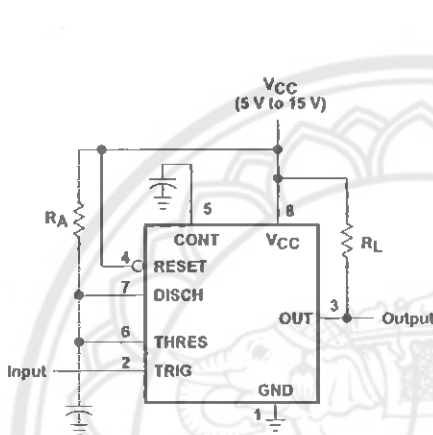
**NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS**

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION

monostable operation

For monostable operation, any of these timers can be connected as shown in Figure 9. If the output is low, application of a negative-going pulse to the trigger (TRIG) sets the flip-flop (\bar{Q} goes low), drives the output high, and turns off Q1. Capacitor C then is charged through R_A until the voltage across the capacitor reaches the threshold voltage of the threshold (THRES) input. If TRIG has returned to a high level, the output of the threshold comparator resets the flip-flop (\bar{Q} goes high), drives the output low, and discharges C through Q1.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.

Figure 9. Circuit for Monostable Operation

Monostable operation is initiated when TRIG voltage falls below the trigger threshold. Once initiated, the sequence ends only if TRIG is high at the end of the timing interval. Because of the threshold level and saturation voltage of Q1, the output pulse duration is approximately $t_w = 1.1R_A C$. Figure 11 is a plot of the time constant for various values of R_A and C. The threshold levels and charge rates both are directly proportional to the supply voltage, V_{CC} . The timing interval is, therefore, independent of the supply voltage, so long as the supply voltage is constant during the time interval.

Applying a negative-going trigger pulse simultaneously to RESET and TRIG during the timing interval discharges C and reinitiates the cycle, commencing on the positive edge of the reset pulse. The output is held low as long as the reset pulse is low. To prevent false triggering, when RESET is not used, it should be connected to V_{CC} .

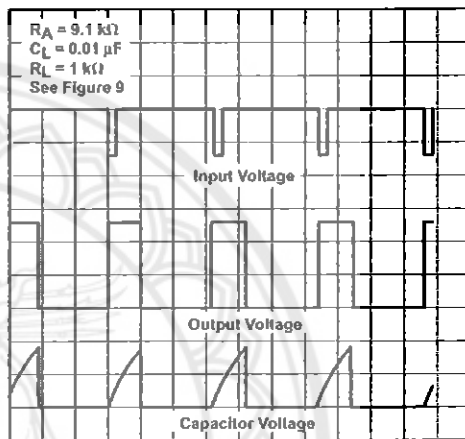


Figure 10. Typical Monostable Waveforms

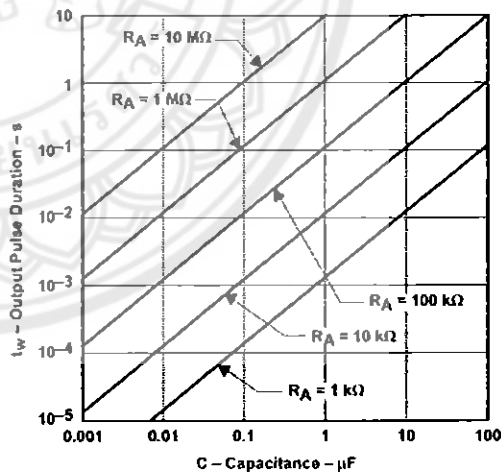


Figure 11. Output Pulse Duration vs Capacitance



POST OFFICE BOX 855303 • DALLAS, TEXAS 75265

**NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS**

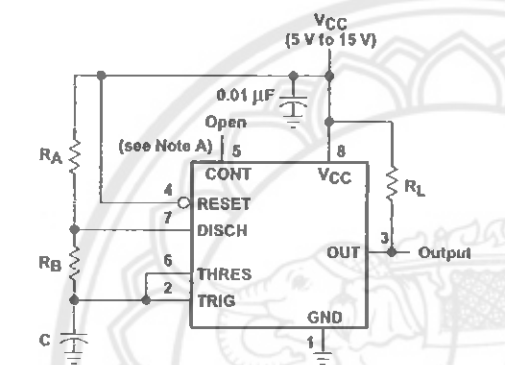
SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION

astable operation

As shown in Figure 12, adding a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 9 and connecting the trigger input to the threshold input causes the timer to self-trigger and run as a multivibrator. The capacitor C charges through R_A and R_B and then discharges through R_B only. Therefore, the duty cycle is controlled by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \times V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \times V_{CC}$). As in the monostable circuit, charge and discharge times (and, therefore, the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: Decoupling CONT voltage to ground with a capacitor can improve operation. This should be evaluated for individual applications.

Figure 12. Circuit for Astable Operation

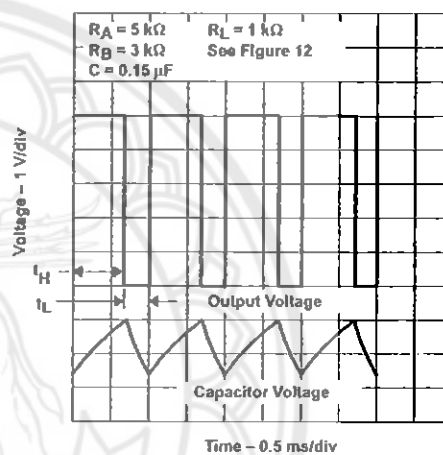


Figure 13. Typical Astable Waveforms

**NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS**

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION

astable operation (continued)

Figure 13 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration t_H and low-level duration t_L can be calculated as follows:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

Other useful relationships are shown below.

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

Output waveform duty cycle

$$= \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

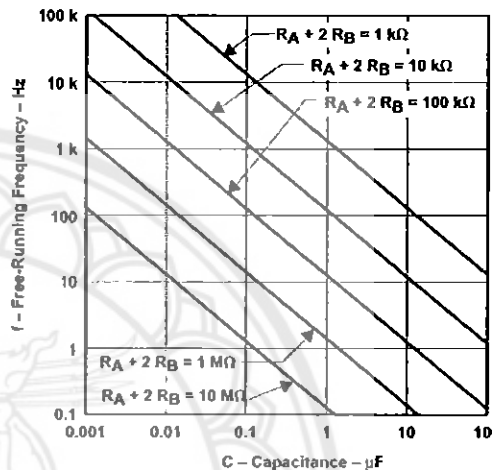
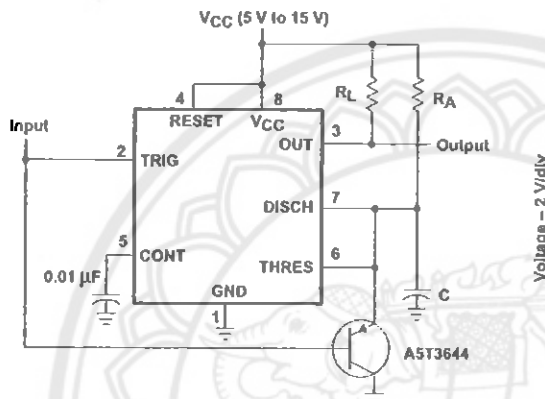


Figure 14. Free-Running Frequency

APPLICATION INFORMATION

missing-pulse detector

The circuit shown in Figure 15 can be used to detect a missing pulse or abnormally long spacing between consecutive pulses in a train of pulses. The timing interval of the monostable circuit is retriggered continuously by the input pulse train as long as the pulse spacing is less than the timing interval. A longer pulse spacing, missing pulse, or terminated pulse train permits the timing interval to be completed, thereby generating an output pulse as shown in Figure 16.



Pin numbers shown are shown for the D, JG, P, PS, and PW packages.

Figure 15. Circuit for Missing-Pulse Detector

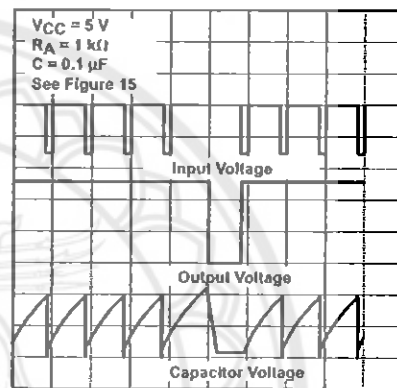


Figure 16. Completed-Timing Waveforms for Missing-Pulse Detector

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION

frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 9 can be made to operate as a frequency divider. Figure 17 shows a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

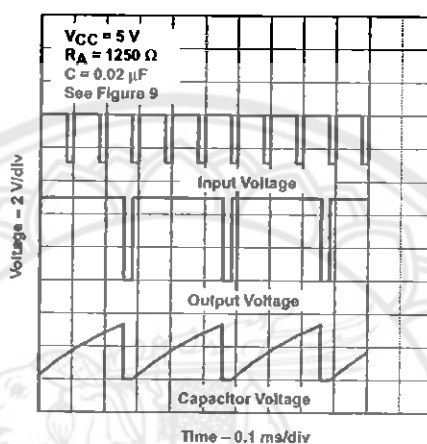


Figure 17. Divide-by-Three Circuit Waveforms

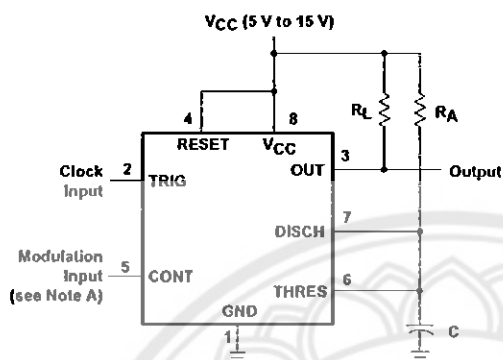
pulse-width modulation

The operation of the timer can be modified by modulating the internal threshold and trigger voltages, which is accomplished by applying an external voltage (or current) to CONT. Figure 18 shows a circuit for pulse-width modulation. A continuous input pulse train triggers the monostable circuit, and a control signal modulates the threshold voltage. Figure 19 shows the resulting output pulse-width modulation. While a sine-wave modulation signal is illustrated, any wave shape could be used.

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C -- SEPTEMBER 1973 -- REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: The modulating signal can be direct or capacitively coupled to CONT. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the timer should be considered.

Figure 18. Circuit for Pulse-Width Modulation

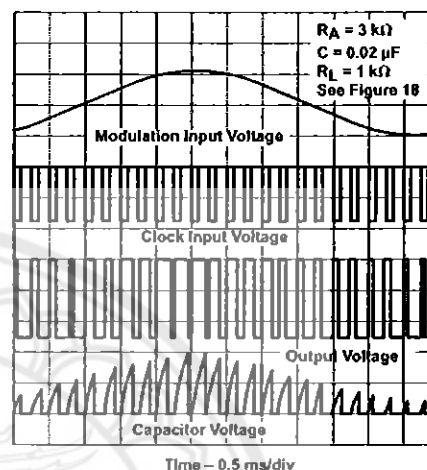
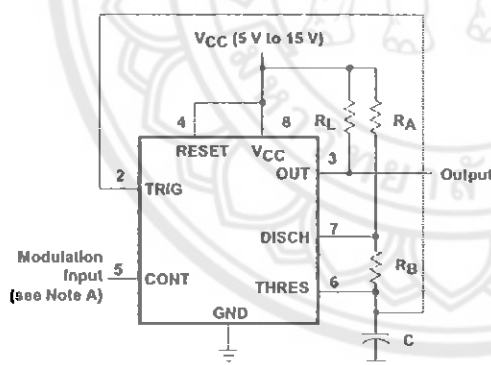


Figure 19. Pulse-Width-Modulation Waveforms

pulse-position modulation

As shown in Figure 20, any of these timers can be used as a pulse-position modulator. This application modulates the threshold voltage and, thereby, the time delay, of a free-running oscillator. Figure 21 shows a triangular-wave modulation signal for such a circuit; however, any wave shape could be used.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: The modulating signal can be direct or capacitively coupled to CONT. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the timer should be considered.

Figure 20. Circuit for Pulse-Position Modulation

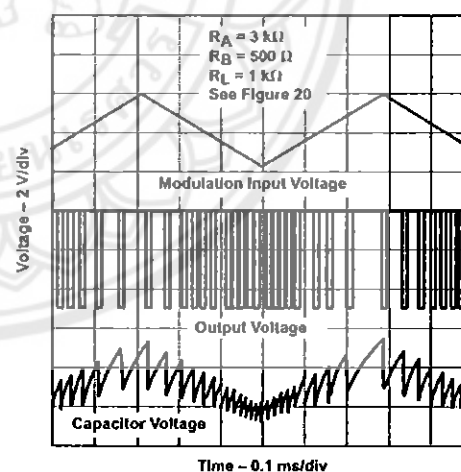


Figure 21. Pulse-Position-Modulation Waveforms

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

13

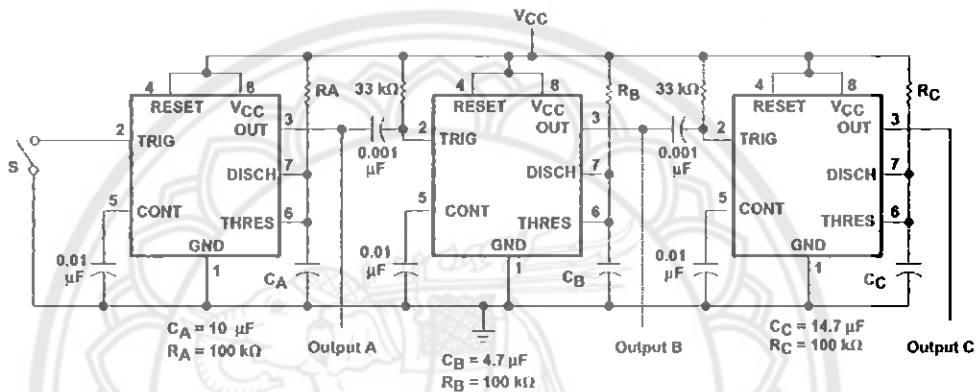
**NE555, SA555, SE555
PRECISION TIMERS**

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

APPLICATION INFORMATION

sequential timer

Many applications, such as computers, require signals for initializing conditions during start-up. Other applications, such as test equipment, require activation of test signals in sequence. These timing circuits can be connected to provide such sequential control. The timers can be used in various combinations of astable or monostable circuit connections, with or without modulation, for extremely flexible waveform control. Figure 22 shows a sequencer circuit with possible applications in many systems, and Figure 23 shows the output waveforms.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: S closes momentarily at t = 0.

Figure 22. Sequential Timer Circuit

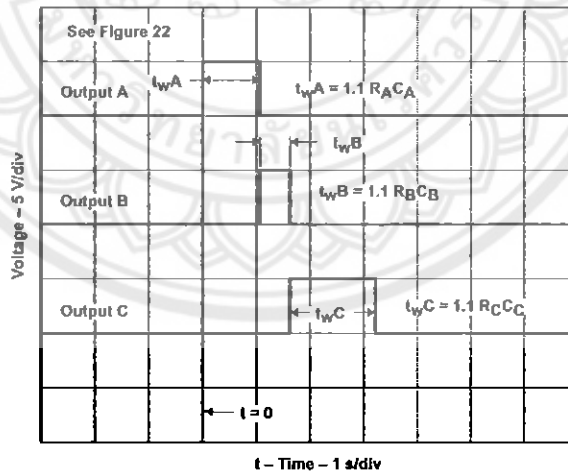


Figure 23. Sequential Timer Waveforms



POST OFFICE BOX 855303 • DALLAS, TEXAS 75265



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของมอสเฟต IRFP150N

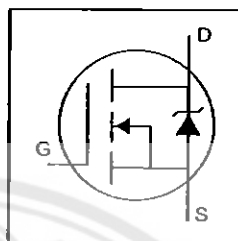
มหาวิทยาลัยนครพนม

International
IR Rectifier

PD - 91503D
IRFP150N

HEXFET® Power MOSFET

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

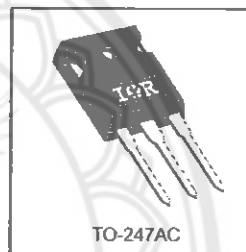


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 0.036\Omega$
$I_D = 42A$

Description

Fifth Generation HEXFETs 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-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	42	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	30	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ⓄⓄ	140	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	160	W
	Linear Derating Factor	1.1	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ⓄⓄ	420	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ⓄⓄ	22	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy Ⓞ	16	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⓄⓄ	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	—	0.95	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

www.irf.com

1

07/15/02

IRFP150N

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	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ Ⓣ
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.036	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 23A$ Ⓣ
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	14	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 22A$ Ⓣ
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
				250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	110	nC	$I_D = 22A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	15		$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	58		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 Ⓣ Ⓣ
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$ $I_D = 22A$ $R_G = 3.6\Omega$ $R_D = 2.9\Omega$ See Fig. 10 Ⓣ Ⓣ
t_r	Rise Time	—	56	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—		
t_f	Fall Time	—	40	—		
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1900	—	pF	$V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 25V$ $f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5 Ⓣ
C_{oss}	Output Capacitance	—	450	—		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	230	—		

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	42	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) Ⓣ Ⓣ	—	—	140		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 23A, V_{GS} = 0V$ Ⓣ
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	180	270	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 22A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	1.2	1.8	μC	$di/dt = 100A/\mu s$ Ⓣ Ⓣ
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- Ⓣ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- Ⓣ Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 1.7\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 22A$ (See Figure 12)
- Ⓣ $I_{SD} \leq 22A, di/dt \leq 180A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- Ⓣ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- Ⓣ Uses IRF1310N data and test conditions.

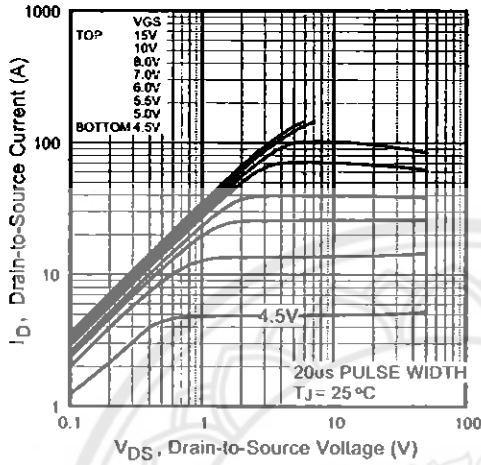


Fig 1. Typical Output Characteristics

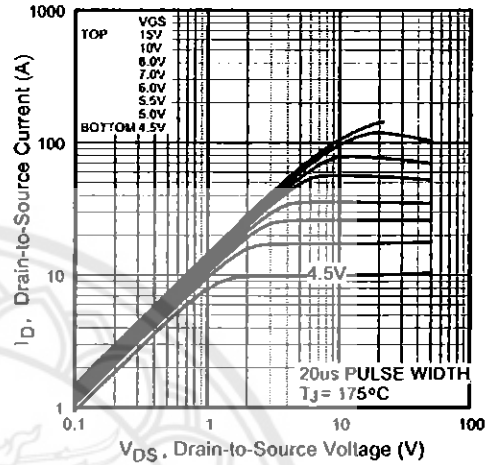


Fig 2. Typical Output Characteristics

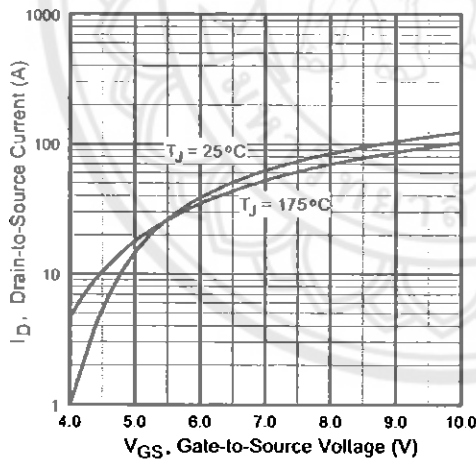


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

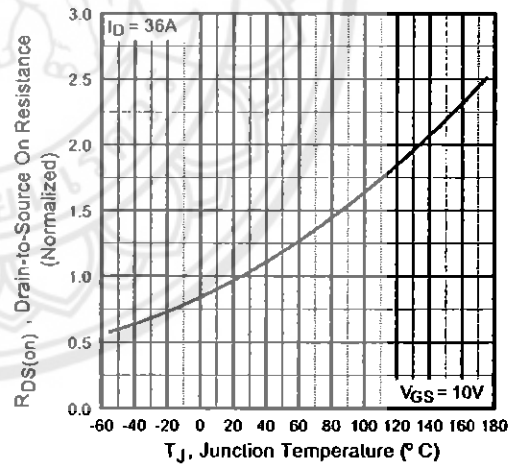


Fig 4. Normalized On-Resistance
Vs. Temperature

IRFP150N

International
IOR Rectifier

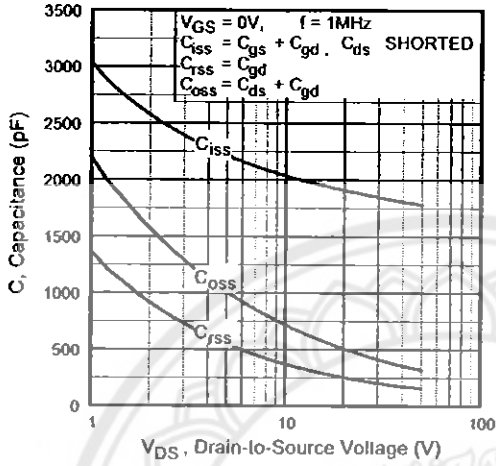


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

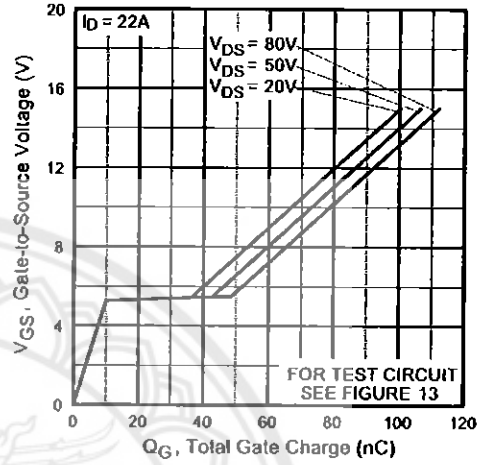


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

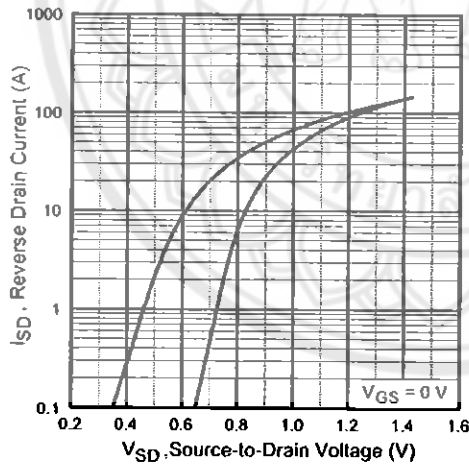


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

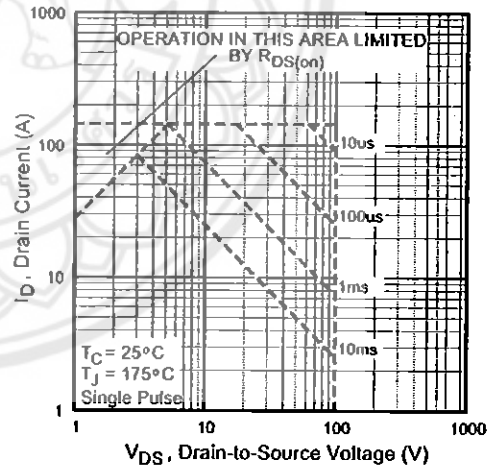


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

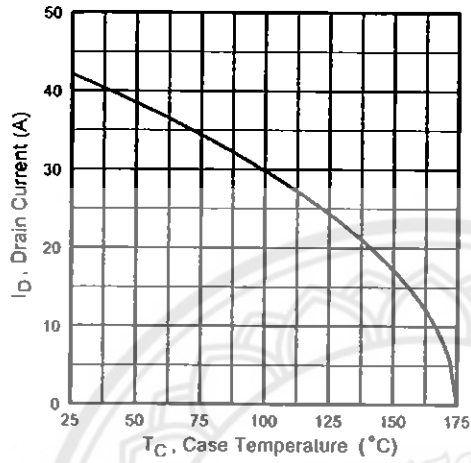


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

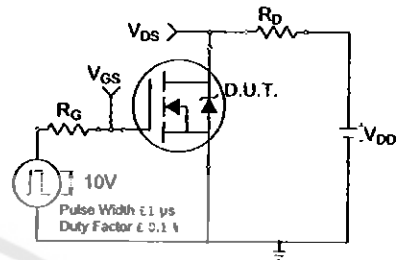


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

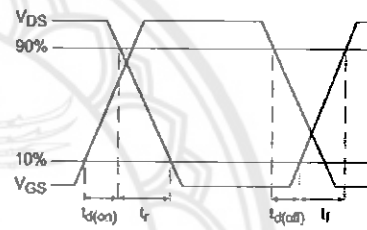


Fig 10b. Switching Time Waveforms

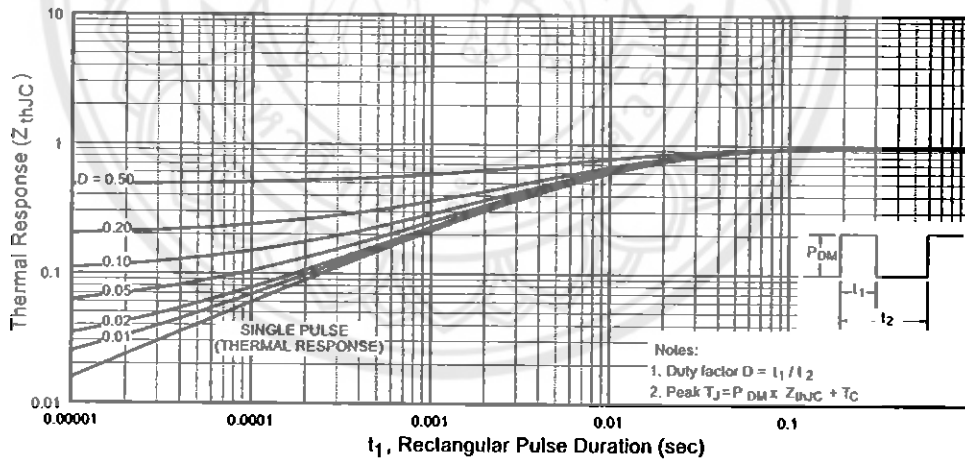


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRFP150N

International
IR Rectifier

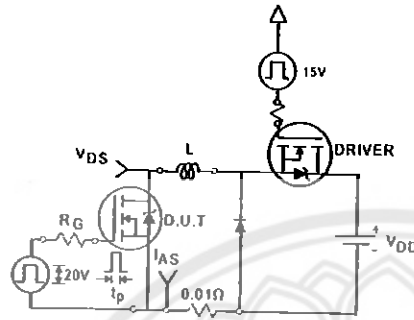


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

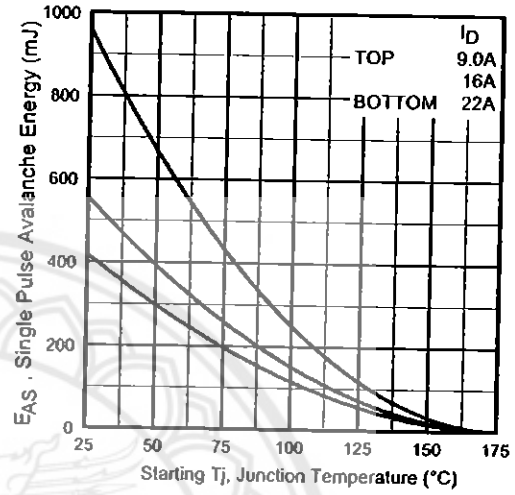


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

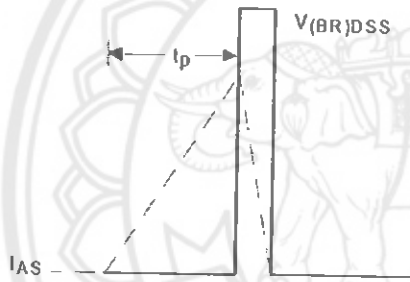


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

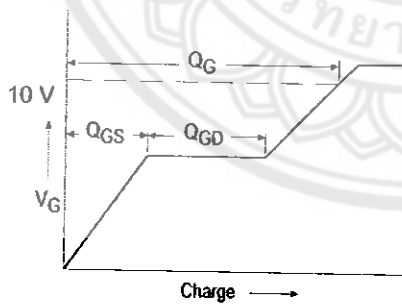


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

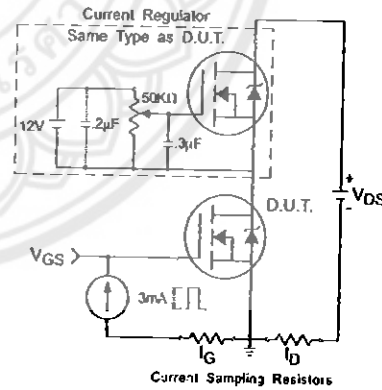
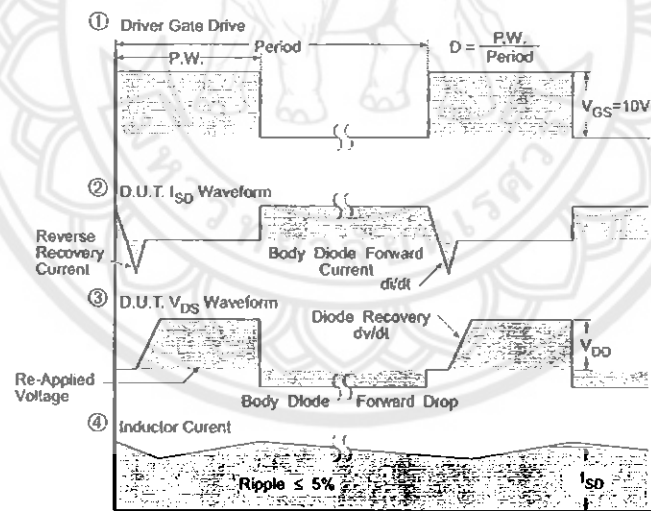
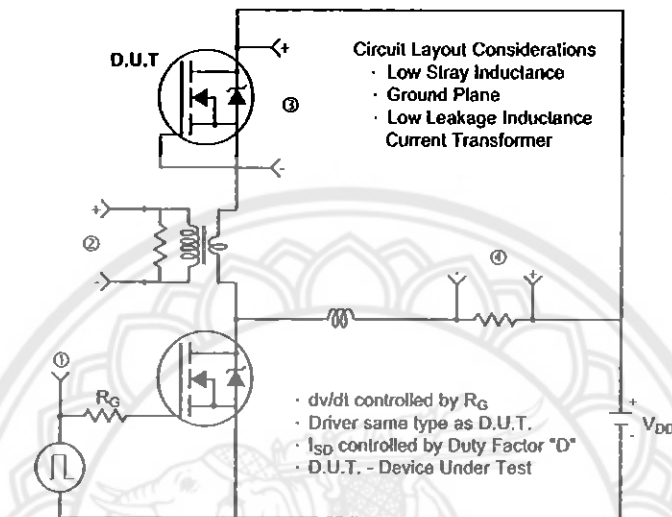


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



* $V_{GS} = 5V$ for Logic Level Devices

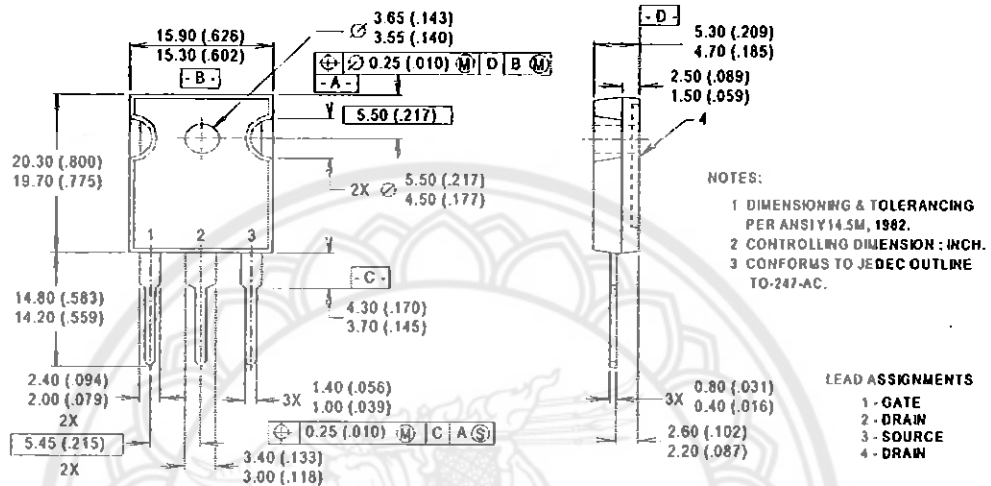
Fig 14. For N-Channel HEXFETS

IRFP150N

International
IR Rectifier

Package Outline TO-247AC Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

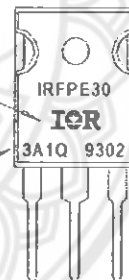


Part Marking Information TO-247AC

EXAMPLE: THIS IS AN IRFPE30 WITH ASSEMBLY LOT CODE 3A1Q

INTERNATIONAL
RECTIFIER
LOGO

ASSEMBLY
LOT CODE



PART NUMBER

DATE CODE
(YYWW)
YY = YEAR
WW WEEK

Data and specifications subject to change without notice.

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. 07/02

www.irf.com




BD135
BD139

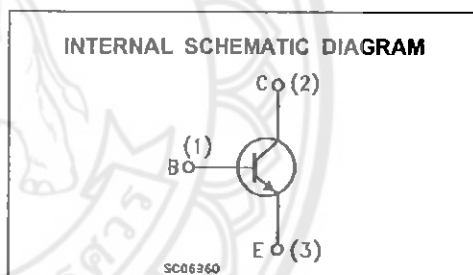
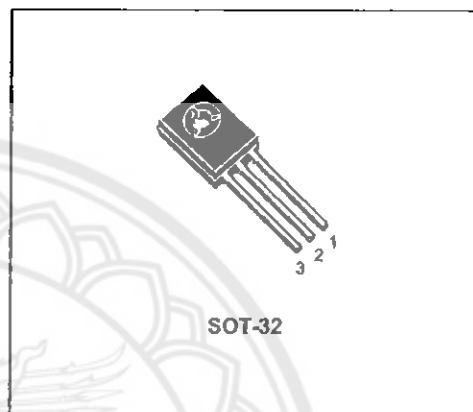
NPN SILICON TRANSISTORS

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES

DESCRIPTION

The BD135 and BD139 are silicon epitaxial planar NPN transistors in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

The complementary PNP types are BD136 and BD140 respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		BD135	BD139	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	45	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	45	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	5		V
I_C	Collector Current	1.5		A
I_{CM}	Collector Peak Current	3		A
I_B	Base Current	0.5		A
P_{Tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	12.5		W
P_{Tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		$^\circ\text{C}$

BD135 / BD139

THERMAL DATA

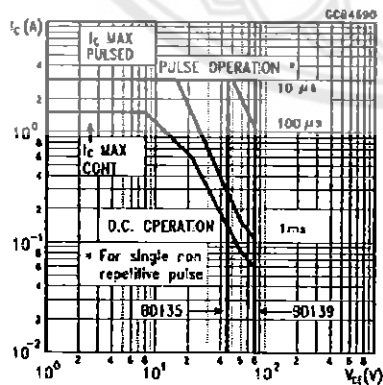
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	°C/W
------------------	----------------------------------	-----	----	------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{cbo}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 30\text{ V}$ $V_{CE} = 30\text{ V}$ $T_C = 125\text{ °C}$			0.1 10	μA μA
I_{ebo}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5\text{ V}$			10	μA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30\text{ mA}$ for BD135 for BD139	45 80			V V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $I_B = 0.05\text{ A}$			0.5	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$			1	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 5\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$	25 25 40		250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	$I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ for BD139 group 10	63		160	

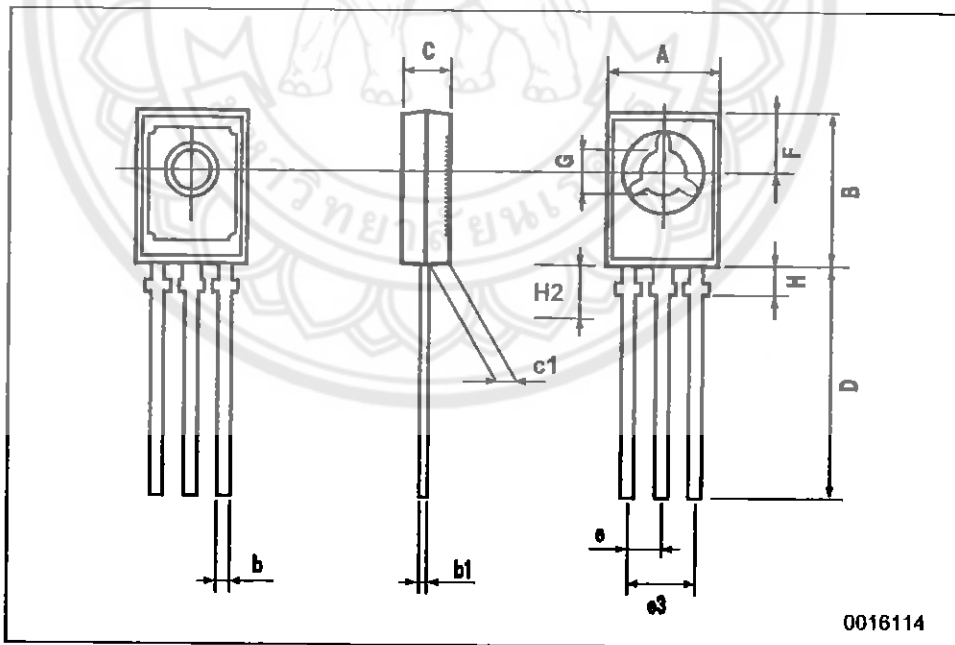
* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %

Safe Operating Area



SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	7.4		7.8	0.291		0.307
B	10.5		10.8	0.413		0.445
b	0.7		0.9	0.028		0.035
b1	0.49		0.75	0.019		0.030
C	2.4		2.7	0.040		0.106
c1	1.0		1.3	0.039		0.050
D	15.4		16.0	0.606		0.629
e		2.2			0.087	
e3	4.15		4.65	0.163		0.183
F		3.8			0.150	
G	3		3.2	0.118		0.126
H			2.54			0.100



0016114

