



การศึกษาวงจรควบคุมสำหรับจักรยานไฟฟ้าสองระบบ
A STUDY OF A CONTROL CIRCUIT
FOR TWO-OPERATING-MODE ELECTRIC BIKE

นายรุธิ บุนยมาลิก รหัส 48364456

นายศุภฤกษ์ ถานาเรือ รหัส 48364517

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / พ.ศ. 2553 /.....
เลขทะเบียน..... 1500-7 ๑๕1
เลขเรียกหนังสือ..... ๖๒๖
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๒๕๕๓


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2551




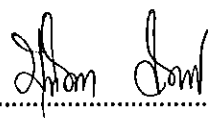
ใบรับรองโครงการวิจัย

หัวข้อโครงการ การศึกษาวงจรควบคุมสำหรับจักรยานไฟฟ้าสองระบบ
ผู้เขียนโครงการ นายรุธิ์ บุญขมาลิก รหัส 48364456
นายสุภฤกษ์ ถานาเรือ รหัส 48364517
อาจารย์ที่ปรึกษา คร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบ โครงการวิจัย

 ประธานกรรมการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

 กรรมการ
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

 กรรมการ
(ดร. มูขั้ตา สงษ์จันทร์)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาวงจรควบคุมสำหรับจักรยานไฟฟ้าสองระบบ
ผู้เขียนโครงการ	นายรุธิ บุษยมาลิก รหัส 48364456 นายศุภฤกษ์ ถานาเรือ รหัส 48364517
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษาหลักการการทำงานของจักรยานไฟฟ้าที่สามารถอัดประจุได้จากทั้งไฟฟ้าบ้านและแรงปั่นของผู้ใช้ ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาทางด้านพลังงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะน้ำมันที่มีอยู่ได้ลดน้อยลงทุกวันอันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้การใช้น้ำมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเดินทางด้วยรถจักรยานเป็นการเดินทางที่ประหยัดที่สุดแต่ก็ทำให้ผู้ใช้เกิดความเหนื่อยล้า ในปัจจุบันมีการผลิตจักรยานไฟฟ้าขึ้นมาแต่ยังมีราคาแพงและต้องใช้ไฟฟ้าบ้านเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้เล็งเห็นว่าหากมีอุปกรณ์เสริมที่ทำให้การใช้งานจักรยานไฟฟ้ามีความสะดวกสบายขึ้นในระดับหนึ่ง นั่นคือไม่จำเป็นต้องอัดประจุแบตเตอรี่กับไฟฟ้าบ้านเท่านั้น จึงพัฒนารถจักรยานไฟฟ้าที่พบอยู่ตามท้องตลาดให้กลายเป็นรถไฟฟ้าสองระบบ โดยการใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงอัดประจุแบตเตอรี่ผ่านทางวงจรควบคุม โดยใช้สวิตช์เพื่อควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

Project Title	A Study of a Control Circuit for Two-Operating-Mode Electric Bike
Name	Mr. Ruudz Boonyamalik ID. 48364456 Mr. Suparek Thanarua ID. 48364517
Project Advisor	Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic Year	2008

ABSTRACT

This project presents a study of an electric bike that can be charged by the utility line and during the ride. Apart from the environmental concern, Thailand suffers from energy problem, especially fuel and could be faced with the energy shortage in the near future. This problem is mainly caused by the population growth, which results in higher energy demand including the fuel for travelling. Although travel by bike may be least expensive, riders would be exhausted. Recently electric bikes have been launched into the market for the rider convenience. However, they are costly and require charging only from the 220-ac line. The objective of this project is therefore to develop a two-operating-mode electric bike that can be charged by the bike's dc machine during the ride, apart from the utility line, in order to provide continuous travel.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนโครงการขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยชี้แนะแนวทางตลอดการทำโครงการ นอกจากนี้ยังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่าง ๆ อันประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการอย่างยิ่ง

นอกจากนี้คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้เขียนโครงการ ทางผู้เขียนโครงการใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณคุณมนทนงค์ พิภกม คุณกฤษดา สมจิตชอบ และคุณณัฐภัทร มัทย์พงษ์ถาวร ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการช่วงแรก

ขอขอบคุณคุณอังกูร วาณิชปราการกิจ ที่ช่วยให้แนวคิด และคำปรึกษาในการออกแบบวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ รวมทั้งคำแนะนำเกี่ยวกับวงจรที่ใช้ปฏิบัติงานจริง

ขอบคุณคุณพัชรวิ ไร่สง เพื่อนนิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่แนะนำสถานที่จัดซื้ออุปกรณ์ และให้ยืมเครื่องมือในการประกอบวงจร

ขอบคุณคุณณัฐพล สิทศรีจันทร์ เพื่อนนิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ช่วยให้คำแนะนำในการต่อวงจรในตอนเริ่มต้นของการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาอย่างหาที่เปรียบมิได้ที่ให้ความรัก ความหวังดี กำลังใจ และคอยสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นายรุธิ์ บุญมาลิก

นายสุภฤกษ์ ถานาเรือ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	10
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	10
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	11
1.6 งบประมาณ.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	12
2.1.1 การทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	12
2.1.2 การทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า.....	15
2.1.3 แรงบิด.....	19
2.2 แบตเตอรี่.....	19
2.2.1 ปฏิกิริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	21
2.2.2 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่.....	24
2.2.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่.....	25
2.3 วงจรควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่.....	26
2.3.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	27
2.3.2 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	29
2.4 การเชื่อมต่อวงจรควบคุมในระบบจักรยานไฟฟ้า.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การสร้างวงจรการทำงาน.....	32
3.1 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน.....	32
3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน.....	32
3.1.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	33
3.2 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลการทดลองของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	38
4.2 ผลการทดลองของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	47
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	48
5.3.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าสองระบบ.....	48
5.3.2 วงจรควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าสองระบบ.....	48
5.3.3 ชนิดของแบตเตอรี่.....	49
5.3.4 อุปกรณ์เสริม.....	50
หนังสืออ้างอิง.....	51
ภาคผนวก ก รายละเอียดของมอเตอร์ IRF530N.....	52
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไอซี UC3843.....	55
ประวัติผู้เขียน โครงการ.....	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	การใช้ การผลิต และการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น..... 2
1.2	การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น..... 2
1.3	การผลิตพลังงานพาณิชย์ขั้นต้น..... 3
1.4	การใช้พลังงานพาณิชย์ขั้นสุดท้าย..... 4
1.5	มูลค่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย..... 4
1.6	มูลค่าการนำเข้าพลังงาน..... 5
1.7	แสดงมูลค่าการส่งออกพลังงาน..... 5
1.8	มูลค่านำเข้าพลังงานสุทธิ..... 6
1.9	การนำเข้าน้ำมันดิบ..... 6
1.10	การใช้น้ำมันสำเร็จรูป..... 7
1.11	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า..... 8
1.12	ปริมาณการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น..... 9
3.1	พิกัดต่าง ๆ ของ UC3843..... 34
4.1	ค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน เมื่อคิวดีไอเคลดคงที่เท่ากับ 0.75..... 39
4.2	ค่ากระแสด้านเข้าและแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 40
4.3	ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 41
4.4	ค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน เมื่อคิวดีไอเคลดคงที่เท่ากับ 0.3..... 44
4.5	ค่ากระแสด้านเข้าและแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 44
4.6	ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ก๊าซหุงต้มภายในปี 2550.....7
2.1	ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....12
2.2	การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....13
2.3	ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา.....15
2.4	การสร้างแรงบิดจนทำให้อาร์เมเจอร์หมุน.....17
2.5	โครงสร้างเบตเตอร์.....20
2.6	การเกิดปฏิกิริยาภายในเบตเตอร์เมื่อคายประจุ.....21
2.7	การคายประจุของเบตเตอร์.....21
2.8	การเกิดปฏิกิริยาภายในเบตเตอร์เมื่ออัดประจุ.....22
2.9	กราฟแสดงแรงดันขณะการคายประจุของเบตเตอร์กับเวลาในการคายประจุ.....23
2.10	กราฟแสดงอายุการใช้งานของเบตเตอร์.....23
2.11	การนำเบตเตอร์มาต่อแบบขนาน.....24
2.12	การนำเบตเตอร์มาต่อแบบอนุกรม.....25
2.13	การนำเบตเตอร์มาต่อแบบผสม.....25
2.14	วงจรแปลงกำลังไฟกระแสตรงสองทิศทาง.....27
2.15	วงจรทอนระดับแรงดัน.....27
2.16	วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด.....28
2.17	วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด.....28
2.18	วงจรควบคุมการคายประจุของเบตเตอร์.....29
2.19	วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด.....29
2.20	วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด.....29
2.21	วงจรควบคุมการอัดและคายประจุของเบตเตอร์.....30
2.22	วงจรควบคุมการอัดประจุของเบตเตอร์.....30
2.23	วงจรควบคุมการคายประจุของเบตเตอร์.....31
3.1	รูปและขาต่าง ๆ ของ UC3843.....33
3.2	แผนภาพของวงจรภายใน UC3843.....34
3.3	แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรทอนระดับแรงดัน.....35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4	แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหน้า).....35
3.5	แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหลัง).....35
3.6	แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรทอนระดับแรงดัน.....36
3.7	แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหน้า).....36
3.8	แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหลัง).....37
4.1	สัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ควิต์ไซเคลเท่ากับ 0.7.....38
4.2	สัญญาณแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน.....39
4.3	ค่าแรงดันด้านออกเทียบกับควิต์ไซเคลของวงจรทอนระดับแรงดัน.....40
4.4	ค่าประสิทธิภาพเทียบกับควิต์ไซเคลของวงจรทอนระดับแรงดัน.....42
4.5	สัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ควิต์ไซเคลเท่ากับ 0.3.....43
4.6	สัญญาณแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน.....43
4.7	ค่าแรงดันด้านออกเทียบกับควิต์ไซเคลของวงจรทอนระดับแรงดัน.....45
4.8	ค่าประสิทธิภาพเทียบกับควิต์ไซเคลของวงจรทอนระดับแรงดัน.....46
5.1	วงจรควบคุมการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าสองระบบ.....48
5.2	การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านวงจรทอนระดับแรงดัน.....49
5.3	การให้แบตเตอรี่ขั้วมอเตอร์โดยตรง.....49
5.4	คันเร่ง.....50
5.5	มิเตอร์วัดความเร็วและปริมาณประจุของแบตเตอรี่.....50
5.6	ไฟหน้า ไฟท้าย และไฟเลี้ยว.....50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาทางด้านพลังงาน โดยเฉพาะด้านน้ำมันที่นับวันก็จะลดน้อยลงไปทุกวันและราคายังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาผลาญน้ำมัน ทำให้ประชาชนผู้ใช้รถยนต์หันมาเดินทางโดยการใช้ทางเลือกอื่นกันมากขึ้น อาทิเช่น การนำรถยนต์ไปติดตั้งระบบแก๊ส และการเดินทางโดยการใช้บริการของขนส่งมวลชน สถานการณ์พลังงานในปี พ.ศ. 2550 และแนวโน้มในปี พ.ศ. 2551 ที่สรุปโดยกระทรวงพลังงาน [1] มีดังต่อไปนี้

ก) ภาพรวมพลังงานปี 2550

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ คาดการณ์แนวโน้มเศรษฐกิจไทยในปี 2550 ขยายตัว 4.5% อัตราเงินเฟ้ออยู่ที่ระดับ 1.6 คุลบัญชีเงินสะพัดเกินดุลเล็กน้อย โดยมีการฟื้นตัวของอุปสงค์ภายในประเทศ และการเบิกจ่ายงบประมาณรัฐบาลที่ได้ตามเป้า รวมทั้งการส่งออกที่ขยายตัวได้ในเกณฑ์ดีแม้ว่าจะเริ่มชะลอตัวลงในครึ่งหลังของปี เนื่องจากเศรษฐกิจโลกชะลอตัว อย่างไรก็ตามการส่งออกก็ยังเป็นตัวขับเคลื่อนหลักของปี 2550 และคาดว่าเศรษฐกิจไทยปี 2551 จะขยายตัว 4.0-5.0% มีลักษณะสมดุลมากขึ้น โดยที่อุปสงค์ภายในประเทศขยายตัวดีขึ้น และชัดเจนผลกระทบการส่งออกที่ชะลอตัว ปัจจัยภายในประเทศมีแนวโน้มปรับตัวดีขึ้นได้แก่ อัตราดอกเบี้ยต่ำ อัตราการว่างงานต่ำการดำเนินนโยบายงบประมาณขาดดุล และความชัดเจนในด้านการเมืองจะมีผลให้ความเชื่อมั่นของประชาชนดีขึ้น แต่แรงกดดันจากต้นทุนราคาน้ำมันจะทำให้อัตราเงินเฟ้อสูงขึ้นเป็นประมาณ 3.0-3.5% และมีความเสี่ยงจากปัจจัยภายนอกทั้งราคาน้ำมันที่สูงขึ้น และการชะลอตัวเศรษฐกิจโลก ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อภาพรวมการใช้พลังงานของประเทศซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1.1

การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์เริ่มต้นอยู่ที่ระดับ 1,605 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้น 3.8% เมื่อเทียบกับปีที่แล้ว โดยการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น 6.6% การใช้ถ่านหินนำเข้าเพิ่มขึ้น 28.2% เนื่องจากบริษัท บีแอลซีพีเพาเวอร์ จำกัด ซึ่งใช้ถ่านหินนำเข้าเป็นเชื้อเพลิงเริ่มผลิตตั้งแต่เดือนเมษายน 2549 เป็นต้นมา สามารถผลิตได้เต็มที่ในปีนี้ ในขณะที่การใช้น้ำมันลดลงจากปีก่อน 1.6% เนื่องจากราคาน้ำมันทรงตัวอยู่ในระดับสูง และกฟผ. ลดการใช้น้ำมันเตาในการผลิตไฟฟ้าลงมาก การใช้ถ่านหินลดลง 6.6% และการใช้ไฟฟ้าพลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้าลดลง 6.2% ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 การใช้ การผลิต และการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น
(หน่วยเทียบกับพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน) [1]

ปี	2546	2547	2548	2549	2550
การใช้	1,346	1,469	1,520	1,547	1,605
การผลิต	666	676	743	765	794
การนำเข้า (สุทธิ)	868	988	980	978	1,004
การนำเข้า/การใช้ (%)	65	67	64	63	63
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)					
การใช้	5.0	9.1	3.5	1.8	3.8
การผลิต	5.5	1.5	9.9	3.0	3.8
การนำเข้า (สุทธิ)	8.9	13.8	-0.9	-0.2	2.7
GDP (%)	7.1	6.3	4.5	5.0	4.5

ตารางที่ 1.2 การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น (หน่วย: เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน) [1]

ปี	2546	2547	2548	2549	2550
การใช้	1,346	1,469	1,520	1,547	1,605
น้ำมัน	624	705	689	673	662
ก๊าซธรรมชาติ	496	518	566	579	617
ถ่านหิน	89	94	107	143	184
ลิกไนต์	101	119	125	108	101
พลังงานน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	36	32	33	44	41
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)					
การใช้	5.0	9.1	3.5	1.8	3.8
น้ำมัน	5.9	13.1	-2.3	-2.4	-1.6
ก๊าซธรรมชาติ	6.1	4.4	9.2	2.3	6.6
ถ่านหิน	27.0	5.9	13.8	33.6	28.2
ลิกไนต์	-14.4	18.4	4.6	-13.7	-6.6
พลังงานน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	-3.4	-12.1	2.4	35.2	-6.2

การผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น อยู่ที่ระดับ 794 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อน 3.8% โดยการผลิตน้ำมันดิบ คอนเดนเสท และก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นมาก แต่การผลิตลิกไนต์ของภาคเอกชนลดลงมากเช่นกัน-เนื่องจากบริษัท ลานนารีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) หยุดทำการผลิตเพราะปริมาณสำรองลิกไนต์และสัมปทานหมดลงดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 การผลิตพลังงานพาณิชย์ขั้นต้น (หน่วย: เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน) [1]

ปี	2546	2547	2548	2549	2550
การผลิต	666	676	743	765	794
น้ำมันดิบ	96	86	114	129	134
คอนเดนเสท	57	62	63	68	71
ก๊าซธรรมชาติ	373	388	412	423	453
ลิกไนต์	108	115	129	110	102
ไฟฟ้าพลังน้ำ	32	26	25	35	34
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)					
การผลิต	5.5	1.5	9.9	3.0	3.8
น้ำมันดิบ	27.5	-11.2	33.2	13.2	4.3
คอนเดนเสท	16.6	8.8	1.9	8.3	4.2
ก๊าซธรรมชาติ	4.6	3.9	6.2	2.7	7.1
ลิกไนต์	-8.2	6.5	12.2	-14.8	-7.1
ไฟฟ้าพลังน้ำ	-2.2	-18.4	-3.6	40.2	-3.9

การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้าย อยู่ที่ระดับ 1,091 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อน 4.1% โดยน้ำมันสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น 1.7% ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น 22.7% ถ่านหินนำเข้าเพิ่มขึ้น 13.8% เพื่อทดแทนลิกไนต์ในประเทศ และไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 4.9% ขณะที่ลิกไนต์ลดลง 21.3% โดยสัดส่วนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายของน้ำมันสำเร็จรูปยังคงครองสัดส่วนการใช้สูงสุดอยู่ที่ 59% รองลงมาเป็นไฟฟ้า 21% ลิกไนต์ถ่านหินนำเข้า 13% และก๊าซธรรมชาติ 7% ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 การใช้พลังงานพาณิชย์ขั้นสุดท้าย (หน่วย: เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน) [1]

ปี	2546	2547	2548	2549	2550
การใช้	931	1,040	1,046	1,049	1,091
น้ำมันสำเร็จรูป	612	680	654	637	647
ก๊าซธรรมชาติ	46	54	55	59	73
ถ่านหินน้ำแข็ง	61	67	81	100	114
ถิกไนต์	24	37	42	30	23
ไฟฟ้า	187	202	214	223	234
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)					
การใช้	5.8	11.8	0.6	0.2	4.1
น้ำมันสำเร็จรูป	5.7	11.2	-3.9	-2.6	1.7
ก๊าซธรรมชาติ	7.9	17.5	2.2	7.1	22.7
ถ่านหินน้ำแข็ง	52.8	9.3	21.6	22.9	13.8
ถิกไนต์	-43.6	54	13.5	-31.3	-21.3
ไฟฟ้า	6.9	7.7	5.9	4.5	4.9

มูลค่าพลังงานการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย มีมูลค่า 1,487,130 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อน 157,094 ล้านบาท หรือคิดเป็น 11.8% โดยมูลค่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทุกชนิดเพิ่มขึ้น กล่าวคือ มูลค่าการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น 11.7% มูลค่าการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น 34.3% มูลค่าการใช้ถิกไนต์/ถ่านหินเพิ่มขึ้น 37.4% มูลค่าการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 11.1% และมูลค่าการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น 4.3% ดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 มูลค่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (หน่วย: ล้านบาท) [1]

ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550
น้ำมันสำเร็จรูป	515,319	605,372	783,671	838,512	936,398
ก๊าซธรรมชาติ	13,793	16,539	20,260	27,551	36,997
ถิกไนต์/ถ่านหิน	9,223	13,413	18,058	17,342	23,830
ไฟฟ้า	265,771	300,393	327,642	354,070	393,375
พลังงานทดแทน	75,122	86,235	95,541	92,561	96,529
รวม	879,229	1,021,953	1,245,171	1,330,036	1,487,130

การนำเข้าพลังงาน ในปีนี้มีมูลค่ารวม 869,038 ล้านบาท ลดลงจากปีก่อน 50,030 ล้านบาท หรือคิดเป็น 5.4% โดยการนำเข้าน้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป และไฟฟ้าลดลง แต่การนำเข้าถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 มูลค่าการนำเข้าพลังงาน (หน่วย: ล้านบาท) [1]

ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550	% การเปลี่ยนแปลง
น้ำมันดิบ	346,057	486,627	644,933	753,783	702,637	-6.8
น้ำมันสำเร็จรูป	30,753	41,533	55,680	60,253	50,146	-16.8
ก๊าซธรรมชาติ	42,635	46,053	62,827	77,843	79,761	2.5
ถ่านหิน	9,370	12,275	15,422	18,896	29,407	55.6
ไฟฟ้า	4,159	5,659	7,114	8,294	7086.67	-14.6
รวม	432,956	592,148	785,976	919,068	869,038	-5.4

การส่งออกพลังงาน ในปีนี้มีมูลค่ารวม 204,898 ล้านบาท ลดลงจากปีก่อน 14,593 ล้านบาท หรือคิดเป็น 6.6% โดยการส่งออกน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปมีมูลค่ารวม 202,752 ล้านบาท หรือคิดเป็น 98% ลดลงจากปีก่อน 15,009 ล้านบาท ลดลง 6.9% ดังแสดงในตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 แสดงมูลค่าการส่งออกพลังงาน (หน่วยเป็นล้านบาท) [1]

ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550	%การเปลี่ยนแปลง
น้ำมันดิบ	29,356	33,883	52,858	56,835	44,038	-22.5
น้ำมันสำเร็จรูป	50,774	86,458	111,534	160,926	158,714	-1.4
ไฟฟ้า	499	646	1,325	1,692	2,146	24.0
รวม	80,629	120,989	165,718	219,491	204,898	-6.6

การนำเข้าพลังงานสุทธิ ในปีนี้มีมูลค่ารวม 664,140 ล้านบาท ลดลงจากปีก่อน 35,438 ล้านบาท หรือคิดเป็น 5.1% โดยมูลค่านำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปสุทธิ อยู่ที่ 550,031 ล้านบาท ลดลงจากปีก่อนถึง 7.8% ซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยราคาน้ำมันลอยตัวตามตลาดโลก เพื่อสะท้อนให้เห็นราคาที่แท้จริงจึงทำให้ประชาชนประหยัดการใช้น้ำมันลงอย่างเห็นได้ชัด และส่วนหนึ่งหันไปใช้พลังงานอื่นทดแทน เช่น ก๊าซธรรมชาติ (NGV) และถ่านหินนำเข้าดังแสดงในตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 มูลค่านำเข้าพลังงานสุทธิ (หน่วย: ล้านบาท) [1]

ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550	(%)
- น้ำมันดิบ -	316,701	425,744	592,075	696,948	658,599	-5.5
น้ำมันสำเร็จรูป	-20,039	-44,925	-55,854	-100,673	-108,568	7.8
ก๊าซธรรมชาติ	42,635	46,053	62,827	77,843	79,761	2.5
ถ่านหิน	9,370	12,275	15,422	18,896	29,407	55.6
ไฟฟ้า	3,660	5,013	5,789	6,564	4,941	-24.7
รวม	352,327	471,160	620,259	699,578	664,140	-5.1

สถานการณ์พลังงานน้ำมันดิบ การนำเข้าน้ำมันดิบในปี 2550 ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกพุ่งสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์โดยในช่วงเมษายน-สิงหาคม 2550 ราคาน้ำมันดิบประเทศคูโบอยู่ในระดับ 64-69 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล และเพิ่มสูงขึ้นกว่า 86 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2550 ซึ่งมีผลให้ไทยลดการนำเข้าลง โดยปริมาณการนำเข้าลดลง 2.5% และมูลค่าลดลง 6.8% ดังแสดงในตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 การนำเข้าน้ำมันดิบ [1]

ข้อมูล	2546	2547	2548	2549	2550	อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)		
						2548	2549	2550
ปริมาณ (พันบาร์เรลต่อวัน)	776	870	828	829	808	-4.9	0.2	-2.5
มูลค่า (พันล้านบาท)	346	487	645	754	703	32.5	16.9	-6.8

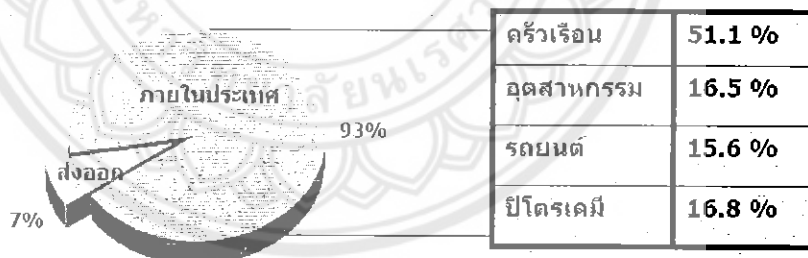
การใช้น้ำมันสำเร็จรูปมีปริมาณรวม 701 พันบาร์เรลต่อวัน ลดลงจากปีก่อน 0.6% เนื่องจากราคาน้ำมันอยู่ในระดับสูงจากการปล่อยลอยตัว ประกอบกับมาตรการประหยัดพลังงานของภาครัฐซึ่งส่งผลให้การใช้น้ำมันเบนซิน และดีเซลชะลอตัวลง อีกทั้งการผลิตการใช้น้ำมันเตาลดถึง 29.1% จึงทำให้ภาพรวมการใช้น้ำมันลดลง ขณะที่การใช้น้ำมันเครื่องบิน และก๊าซหุงต้ม (LPG) สูงขึ้นมาก เนื่องจากรัฐบาลยังคงอุดหนุนราคาก๊าซหุงต้มอยู่ดังแสดงในตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 การใช้น้ำมันสำเร็จรูป (หน่วย: พันบาร์เรลต่อวัน) [1]

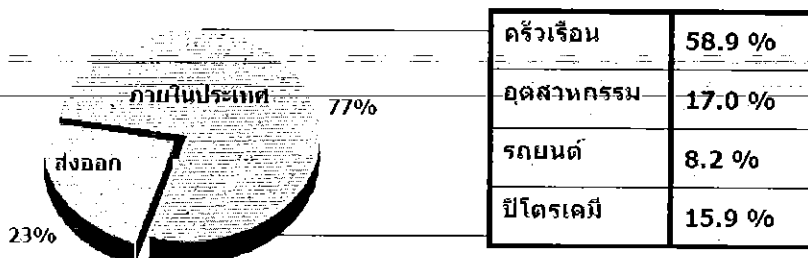
ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550	อัตราการเปลี่ยนแปลง(%)		
						2548	2549	2550
เบนซิน	132	132	125	124	126	-5.3	-0.4	1.1
ดีเซล	302	356	338	317	322	-5.4	-6.2	1.6
ก๊าซ	0.62	0.40	0.37	0.34	0.32	-8.6	-7.4	-5.9
เครื่องบิน	65	73	74	78	85	1.1	5.2	8.9
น้ำมันเตา	86	104	107	101	71	2.3	-5.6	-29.1
LPG	69	69	75	86	97	8.1	14.1	12.9
รวม	654	735	719	706	701	-2.3	-1.8	-0.6

จากการที่รัฐบาลอุดหนุนราคาก๊าซหุงต้มมาโดยตลอด ขณะที่ปล่อยเสรีราคาน้ำมันเบนซิน มีผลให้ระดับราคาของเชื้อเพลิงทั้งสองแตกต่างกันมาก ผู้ใช้รถยนต์โดยเฉพาะรถแท็กซี่ได้รับเปลี่ยนเครื่องยนต์ไปใช้ก๊าซหุงต้มแทนเป็นผลให้การใช้ก๊าซหุงต้มในรถยนต์สูงขึ้น โดยตลอด (รูปที่ 1.1) ซึ่งถ้าหากสถานการณ์ยังเป็นอยู่ในลักษณะนี้ คาดว่าในปี 2551-2552 เราอาจจำเป็นต้องนำเข้ก๊าซหุงต้มมาใช้ในประเทศ

ปี 2550



ปี 2546



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ก๊าซหุงต้มภายในปี 2550 [1]

การใช้ไฟฟ้ารวมทั้งประเทศในปี 2550 อยู่ที่ระดับ 133,102 kW/h ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อน 4.6% ซึ่งขยายตัวในอัตราที่ชะลอตัวลงจากปีก่อนสอดคล้องตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจไทยปีนี้ที่ชะลอตัวลง โดยเฉพาะในช่วงครึ่งปีแรกการใช้ขยายตัวประมาณ 3.7% และได้ปรับสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงครึ่งปีหลังแบ่งเป็นการใช้ในเขตนครหลวง 42,393 kW/h เพิ่มขึ้น 2.2% เขตภูมิภาค 88,020 kW/h เพิ่มขึ้น 5.7% และการใช้จากลูกค้าตรงของกฟผ. 2,690 kW/h เพิ่มขึ้น 8.1% ดังแสดงในตารางที่ 1.11

ตารางที่ 1.11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) [1]

ชนิด	2546	2547	2548	2549	2550	อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)		
						2548	2549	2550
นครหลวง	37,226	39,120	40,111	41,482	42,393	5.1	2.5	2.2
ภูมิภาค	67,033	73,078	78,118	83,268	88,020	9.0	6.9	5.7
ลูกค้าตรงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	1,949	2,128	2,409	2,487	2,690	9.2	13.2	8.1
รวม	106,208	114,326	120,637	127,237	133,102	7.6	5.5	4.6

ข) แนวโน้มการใช้พลังงานปี 2551

จากการประมาณการภาวะเศรษฐกิจของไทย โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) คาดว่าในปี 2551 เศรษฐกิจจะขยายตัว 4.0-5.0% สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจจึงประมาณการความต้องการพลังงานของประเทศภายใต้สมมุติฐานดังกล่าว ซึ่งพอสรุปสถานการณ์พลังงานในปี 2551 ได้ดังนี้

ความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น คาดว่าจะอยู่ที่ระดับ 1,673 พันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2550 หรือคิดเป็น 4.2% โดยความต้องการน้ำมันยังคงลดลงเล็กน้อย ขณะที่ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น 12.4% และลิกไนต์/ถ่านหิน เพิ่มขึ้น 1.8% ปริมาณการใช้น้ำมันคาดว่าจะใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา โดยประมาณการความต้องการน้ำมันเบนซินลดลงเล็กน้อย การใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น 0.4% ก๊าซหุงต้ม น้ำมันก๊าดและเครื่องบินจะมีการใช้เพิ่มขึ้น 6.6% และ 6.2% แต่การใช้น้ำมันเตายังคงลดลงค่อนข้างมากตามแผนของกฟผ. โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1.12

ตารางที่ 1.12 ปริมาณการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น (หน่วย: เทียบเท่าพันบาร์เรลต่อวัน) [1]

ปี	2546	2547	2548	2549	2550	2551
การใช้	1346	1469	1520	1547	1605	1673
น้ำมัน	624	705	689	673	662	659
ก๊าซธรรมชาติ	496	518	566	579	617	693
ลิกไนต์/ถ่านหิน	89	213	232	252	284	288
พลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	101	32	33	44	41	33
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)						
การใช้	5.0	9.1	3.5	1.8	3.8	4.2
น้ำมัน	5.9	12.1	-2.3	-2.3	-1.6	-0.5
ก๊าซธรรมชาติ	6.1	4.4	9.3	2.3	6.6	12.4
ลิกไนต์/ถ่านหิน	27.0	12.7	8.9	8.6	12.7	1.8
พลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	-14.4	-12.1	3.1	33.3	-6.2	-19.5

ในช่วงปี 2548 และ 2549 การใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลได้ลดลงและชะลอตัวลงอย่างชัดเจน เนื่องจากผลของประกาศลอยตัวราคาน้ำมันเบนซินตั้งแต่ปลายปี 2547 และลอยตัวน้ำมันดีเซลในช่วงกลางปี 2548 ทำให้ราคาขายปลีกน้ำมันปรับตัวสูงขึ้น เป็นผลให้ประชาชนหันมาประหยัดการใช้น้ำมันมากขึ้น ขณะที่ในปี 2550 นั้น การใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะราคาน้ำมันยังคงทรงตัวอยู่ในระดับสูง อย่างไรก็ตามในปี 2551 คาดว่าการใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลจะลดลง เนื่องจากผู้ใช้รถมีทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงอื่นทดแทนน้ำมัน ได้แก่ ก๊าซหุงต้ม และก๊าซธรรมชาติ โดยคาดว่า การใช้น้ำมันเบนซินจะลดลง 0.3% และการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น 0.4% สำหรับการใช้อีก๊าซหุงต้ม ในรถยนต์คาดว่าอัตราเพิ่มของการใช้จะชะลอตัวลงจากปี 2550 เนื่องจากรัฐบาลได้ลอยตัวราคาก๊าซหุงต้มในเดือนธันวาคมปีนี้ ทำให้ราคาสูงขึ้นและรถแท็กซี่ส่วนหนึ่งหันไปใช้ก๊าซธรรมชาติมากขึ้นตามนโยบายรัฐบาล ดังนั้นจึงคาดว่า การใช้อีก๊าซหุงต้มจะยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ชะลอตัว 6.6% จึงทำให้ประชาชนส่วนใหญ่หันมาใช้พลังงานทดแทน และการเดินทางที่ประหยัดน้ำมัน

อย่างไรก็ตาม สำหรับการเดินทางในระยะใกล้ (ไม่เกิน 2 km) การใช้จักรยานถือเป็นทางเลือกที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากเพราะนอกจากจะช่วยลดการใช้น้ำมันแล้ว ยังเป็นการออกกำลังกายอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันคนนิยมใช้จักรยานเพื่อการเดินทางระยะใกล้ การนำจักรยานที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดมาปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและระยะที่สามารถเดินทางได้จึงน่าจะช่วยเพิ่มความนิยมในการใช้จักรยานได้ ผู้ทำโครงการจึงใช้แบบเตอริมาช่วยในการขับเคลื่อน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. การใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้โครงการสามารถใช้เครื่องจักรเพียงตัวเดียว
2. เนื่องจากแบตเตอรี่ถูกอัดประจุขณะที่เราขี่จักรยาน ทำให้แรงปั่นถูกใช้งานได้อย่างคุ้มค่า
3. การใช้จักรยานในการเดินทางช่วยลดการใช้น้ำมัน และจักรยานไฟฟ้านี้ช่วยผ่อนแรงในการปั่นขณะที่ทำให้การเดินทางเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1.6 งบประมาณ

ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่ม	1,000 บาท
วงจรควบคุมการอัดประจุ	1,000 บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน)	2,000 บาท
หมายเหตุ: ถ้าวัดเสียทุกรายการ	



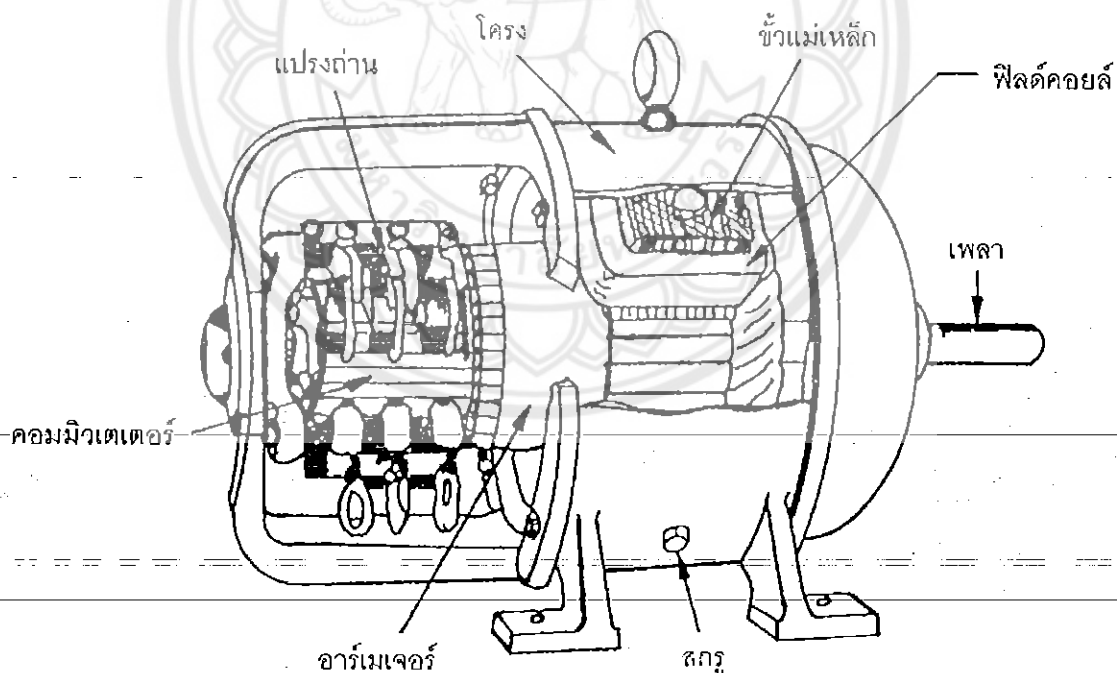
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ส่วนประกอบหลักของจักรยานไฟฟ้าสองระบบที่ศึกษาในโครงการนี้คือเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC machine) แบตเตอรี่ (Battery) และวงจรควบคุมกับอัดและคายประจุ (Charge-discharge regulator) ในบทนี้จึงได้อธิบายทฤษฎีและหลักการดำเนินงานพื้นฐานของอุปกรณ์หลักดังกล่าว

2.1 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ ในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงมีการแปลงรูประหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยทั่วไปเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานเป็นได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (DC generator) และมอเตอร์ไฟฟ้า (DC motor) โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

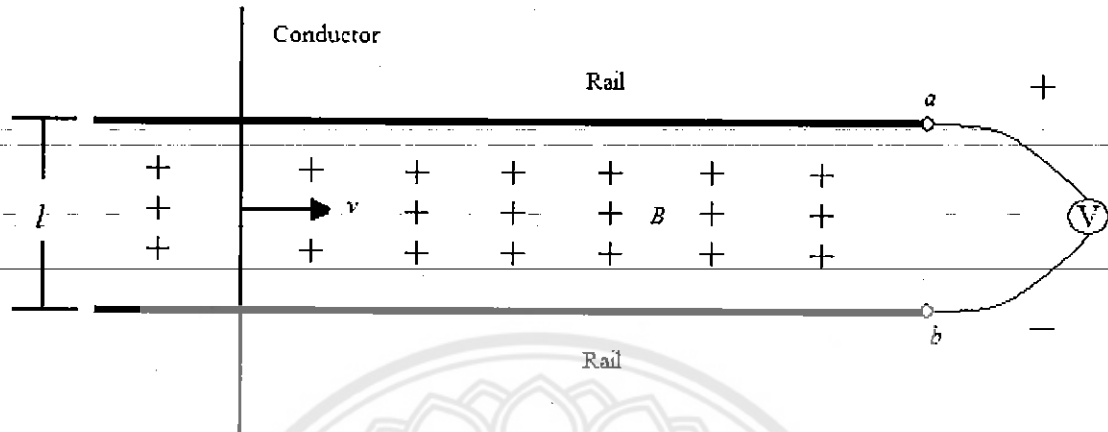


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]

2.1.1 การทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator action)

ขณะที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะสร้างแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออก (Output) ของเครื่องจักร หลักการพื้นฐานในการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าสามารถอธิบายได้โดยพิจารณารูปที่ 2.2 ส่วนของแท่งตัวนำอันหนึ่งมีความยาว l วางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B แท่งตัวนำสามารถเคลื่อนที่และสัมผัสกับรางคู่ขนานซึ่งเชื่อมต่อกับ โวลต์มิเตอร์เพื่อวัดแรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างจุด a และจุด b



รูปที่ 2.2 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [3]

ถ้าแท่งตัวนำเคลื่อนที่ไปทางขวาตามรูปที่ 2.2 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ซึ่งมึใจความว่า “แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electromotive force, EMF) จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในวงจรที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ถ้า (1) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลง หรือ (2) มีการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างแท่งตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก” โดยการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าตามรูปที่ 2.3 จะสอดคล้องกับกรณีที่สอง

เมื่อแท่งตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ภายใต้อสนามแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter) และคำนวณได้จาก

$$\mathcal{E} = l\vec{v} \times \vec{B} \tag{2.1}$$

โดยที่

\mathcal{E} คือเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

l คือความยาวของแท่งตัวนำในสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร (m)

\vec{v} คือเวกเตอร์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

\vec{B} คือเวกเตอร์ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจะเป็นไปตามกฎมือขวา ถ้าสนามแม่เหล็กหรือการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำมีการกลับทิศ จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับขั้ว แต่หากทั้งสนามแม่เหล็กและการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำกลับทิศ ขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะคงเดิม

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าคำนวณได้จาก

$$e = lvB \sin \theta \quad (2.2)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่าง v และ B

เราจะพบว่าขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเมื่อ $\theta = 90^\circ$ นั่นคือทิศการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็ก เราสามารถเขียนได้ว่า

$$e = lvB \quad (2.3)$$

จริง ๆ แล้วแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกชนิดจะเป็นไฟกระแสสลับในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นสะพานไฟเชื่อมต่อระหว่างแท่งตัวนำของอาร์เมเจอร์ (Armature) กับแปรงถ่าน (Brush) ออกสู่วงจรภายนอกแล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงแรงดันไฟกระแสสลับที่ถูกสร้างขึ้นภายในเครื่องจักรให้กลายเป็นแรงดันไฟกระแสตรงที่ขั้วด้านออกของเครื่องจักร

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สร้างขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์ จำนวนขั้วแม่เหล็ก และลักษณะการเชื่อมต่อของแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์ นั่นคือ

$$E_a = \frac{ZP}{60a} \phi n = k_g \phi n \quad (2.4)$$

หรือ

$$E_a = \frac{ZP}{2\pi a} \phi \omega = k_m \phi \omega \quad (2.5)$$

โดยที่

E_a คือแรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

Z คือจำนวนแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์

P คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก

a คือจำนวนเส้นทางขนานบนอาร์เมเจอร์

ϕ คือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์ (Wb)

n คือความเร็วรอบของโรเตอร์ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

ω คือความเร็วรอบของโรเตอร์ มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

k_g คือค่าคงที่ของเครื่องจักร ($k_g = ZP/60a$)

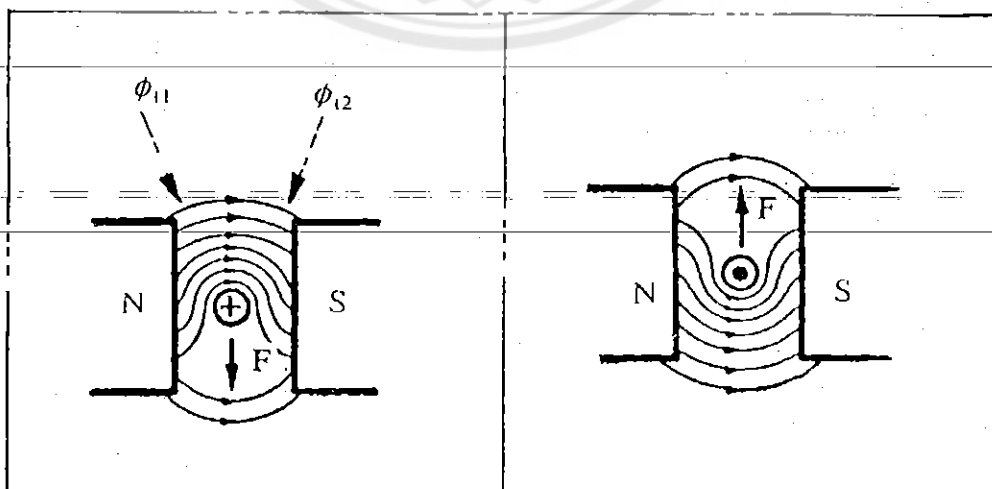
k_m คือค่าคงที่ของเครื่องจักร ($k_m = ZP/2\pi a$)

จะเห็นว่าเราสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างขึ้นได้โดยควบคุมความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลัง (Prime mover) หรือควบคุมกระแสกระตุ้นเพื่อเปลี่ยนค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก

2.1.2 การทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า (Motor action)

หน้าที่ของมอเตอร์ไฟฟ้าคือการสร้างแรงบิด (Torque) ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หมุน ในการนี้ มอเตอร์จำเป็นต้องสร้างแรง (Force) เพื่อจะทำให้เกิดแรงบิด ซึ่งทำได้โดยวางแท่งตัวนำไว้ในสนามแม่เหล็กแล้วปล่อยกระแสให้ไหลผ่านแท่งตัวนำนั้น ในทางปฏิบัติจะมีแท่งตัวนำจำนวนมากอยู่บนอาร์เมเจอร์ ดังนั้นในมอเตอร์กระแสตรง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะจ่ายให้มอเตอร์ผ่านทางแปรงถ่าน คอมมิวเตเตอร์จะเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในกลุ่มแท่งตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก นั่นคือกระแสในแท่งตัวนำแต่ละตัวจะไหลกลับทิศเมื่อแท่งตัวนำนั้นเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง (ขั้วที่ต่างกัน) ที่อยู่ติดกัน ผลที่เกิดขึ้นคือแท่งตัวนำทั้งหมดจะถูกแรงกระทำในทิศเดียวกัน จึงทำให้อาร์เมเจอร์หมุน

การเกิดแรงกระทำบนแท่งตัวนำที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งจากขั้วเหนือ ไปขั้วใต้ เมื่อมีกระแสไหลเข้าสู่แท่งตัวนำ (รูปซ้าย) กระแสจะสร้างสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำ โดยมีทิศตามเข็มนาฬิกา ซึ่งไปเสริมความเข้มสนามแม่เหล็กที่อยู่เหนือแท่งตัวนำและหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้ตัวนำ ทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งเดิมมีค่าสม่ำเสมอเกิดความผิดเพี้ยนไป นั่นคือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กด้านบนสูงกว่าด้านล่าง ผลคือเส้นแรงแม่เหล็กด้านบนพยายามบิดตัวให้กลับสู่สภาพเดิม จึงเกิดการดันแท่งตัวนำให้เคลื่อนที่ลง เมื่อกระแสไหลผ่านแท่งตัวนำในทิศพุ่งออก (รูปขวา) จะเกิดผลตรงกันข้ามกับที่อธิบาย



รูปที่ 2.3 ทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา [2]

มาข้างต้น นั่นคือกระแสจะสร้างสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำในทิศทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งไปเสริมความเข้มสนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้แท่งตัวนำและหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่อยู่เหนือตัวนำ ทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กด้านล่างสูงกว่าด้านบน จึงเกิดการดันแท่งตัวนำให้เคลื่อนที่ขึ้น

แรงผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.3 จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแท่งตัวนำและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือกับขั้วใต้ดังนี้

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad (2.6)$$

โดยที่

\vec{F} คือเวกเตอร์ของแรงผลักแท่งตัวนำ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

l คือความยาวของตัวนำในสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร (m)

\vec{I} คือเวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้าในแท่งตัวนำ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

\vec{B} คือเวกเตอร์ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ทิศของแรงที่กระทำบนแท่งตัวนำจะเป็นไปตามกฎมือขวา ถ้าทิศการไหลของกระแสหรือทิศของสนามแม่เหล็กมีการกลับทิศ จะทำให้แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำมีการกลับทิศ แต่หากทั้งกระแสและสนามแม่เหล็กกลับทิศ แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำจะมีทิศคงเดิม

ขนาดของแรงจะคำนวณได้จาก

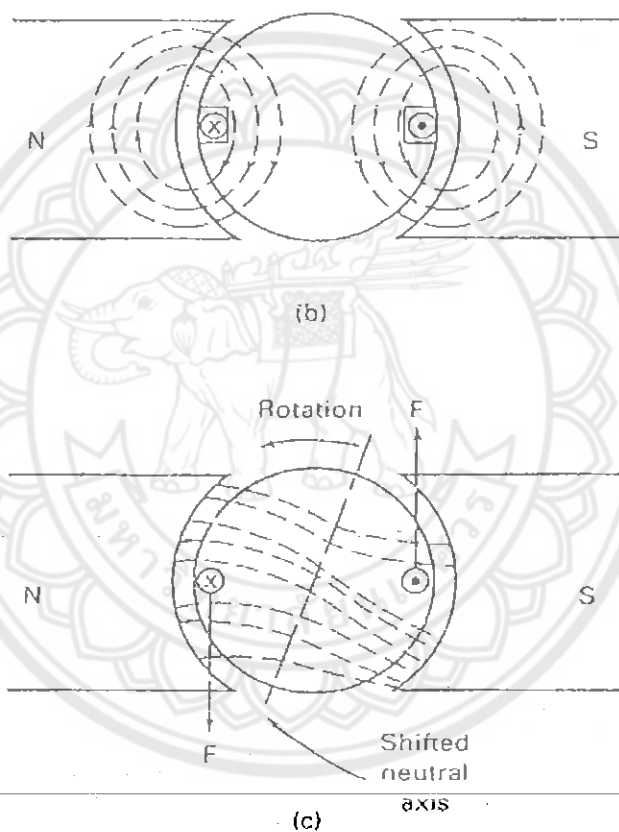
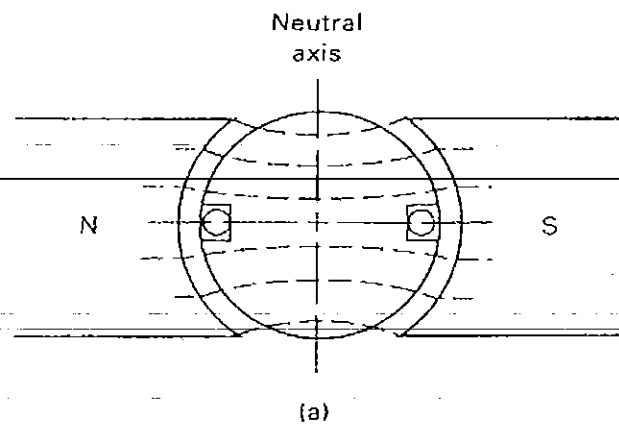
$$F = I l B \sin \theta \quad (2.7)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่าง \vec{I} และ \vec{B}

เราจะพบว่าขนาดของแรงจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\theta = 90^\circ$ นั่นคือทิศการไหลของกระแสในแท่งตัวนำตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็ก เราสามารถเขียนได้ว่า

$$F = I l B \quad (2.8)$$

รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงการสร้างแรงเพื่อทำให้เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ในมอเตอร์กระแสตรงเมื่อแท่งตัวนำที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (รูป a) มีกระแสไหลผ่าน กระแสจะสร้างสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำ (รูป b) ทำให้สนามแม่เหล็กหลักของมอเตอร์ผิดเพี้ยนไป (รูป c) จึงเกิดแรงกระทำบนแท่งตัวนำที่ทำให้เคลื่อนที่จากบริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กมีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ในที่นี้ความหนาแน่นสูงสุดเกิดขึ้นในบริเวณด้านบนของขดลวดด้านซ้าย (ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ) และด้านล่างของขดลวดด้านขวา (ที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้) จึงเกิดแรงกระทำบนอาร์เมเจอร์ทำให้หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.4 การสร้างแรงบิดจนทำให้อาร์เมเจอร์หมุน [3]

(a) แท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์วางอยู่ในสนามแม่เหล็กหลัก

(b) สนามแม่เหล็กที่สร้างจากกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์

(c) การเกิดแรงกระทำต่อแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์

จากหลักการทำงานของมอเตอร์ แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำบนอาร์เมเจอร์ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องแท่งตัวนำดังกล่าว เนื่องจากแท่งตัวนำเหล่านี้มีกระแสไหลผ่าน จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในแท่งตัวนำ ดังนั้นขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนจะเกิดการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย แต่การทำงานเป็นมอเตอร์จะมีผลมากกว่าการ

ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพราะทิศการไหลของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ถูกกำหนดโดยแหล่งจ่ายซึ่งคงที่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะมีทิศตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเพื่อจำกัดค่ากระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่ในระดับที่เพียงพอจะขับโหลด เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ต้านแรงดันแหล่งจ่ายโดยตรง ตามกฎของเลนส์ (Lenz's law) จึงเรียกว่า "แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ" (Counter EMF หรือ Back EMF)

ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะถูกสร้างขึ้นในแท่งตัวนำเดียวกันนั้น เพราะแท่งตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการ ทำงานเป็นมอเตอร์ ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ถูกกำหนดโดยกฎมือขวา

จากกฎของโอห์ม เราสามารถคำนวณหากระแสอาร์เมเจอร์ได้จาก

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} \quad (2.9)$$

โดยที่

I_a คือกระแสอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

V_t คือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องจักร มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

E_a คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

R_a คือค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

ในมอเตอร์กระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจำกัดกระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่ในระดับที่โหลดต้องการ ดังนั้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่าย ($=V_t$) โดยทั่วไป แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะมีค่าอยู่ในช่วง 80% ถึง 95% ของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว

จากสมการ (2.9) จะพบว่าผลต่างระหว่างแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับจะบ่งบอกถึงค่ากำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์ (Armature copper loss) เพราะ

$$V_t - E_a = I_a R_a$$

คูณทั้งสองข้างของสมการด้วย I_a

$$V_t I_a - E_a I_a = I_a^2 R_a$$

จัดรูป

$$V_t I_a - I_a^2 R_a = E_a I_a \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.10) ผลคูณระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับและกระแสอาร์เมเจอร์คือกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้น (Developed power, P_d) นั่นคือ

$$P_d = E_a I_a \quad (2.11)$$

กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้สามารถคำนวณจากผลต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ $V_a I_a$ และกำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์ $I_a^2 R_a$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับสูงเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้จะทำงานมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับต่ำ ในทางปฏิบัติหลักการนี้นำไปสู่การออกแบบให้ความต้านทานของอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำ เพื่อให้กำลังสูญเสียในอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำ

2.1.3 แรงบิด

กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าเพียงพอในการขับโหลดทางกลที่เพลของมอเตอร์ นอกเหนือไปจากการเอาชนะค่าความสูญเสียทางกลของตัวมอเตอร์เองซึ่งประกอบด้วย กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core losses) แรงต้านของอากาศ (Windage) ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่มอเตอร์หมุน และแรงเสียดทาน (Friction losses) ที่เกิดขึ้นในแบริ่ง (Bearing) ที่รองรับอาร์เมเจอร์

จากการศึกษากลศาสตร์ เรารู้ว่าแรงบิดคำนวณได้จากผลคูณระหว่างแรงและแขนของแรง (Arm) ในกรณีของเครื่องจักรกลไฟฟ้า แขนของแรงคือความยาวของรัศมีของอาร์เมเจอร์

$$T = F \cdot r = I B \cdot r \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.3) และ (2.12) เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับได้ดังนี้

$$E_a I_a = T \omega \quad (2.13)$$

สมการ (2.13) บ่งบอกกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับกำลังทางกลที่เกิดขึ้น ความสัมพันธ์นี้ใช้ได้กับทั้งการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการทำงานเป็นมอเตอร์ นอกจากนี้สมการนี้ยังยืนยันหลักการแปลงพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซึ่งได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น

จากสมการ (2.5) และ (2.13)

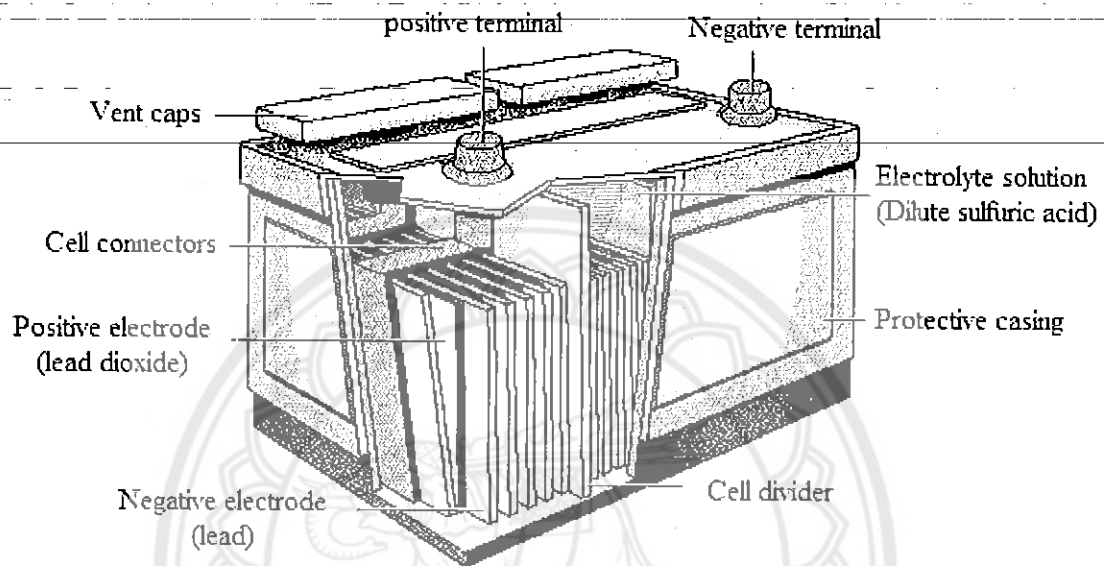
$$T = \frac{E_a I_a}{\omega} = \frac{ZP}{2\pi a} \phi I_a = k_m \phi I_a \quad (2.14)$$

2.2 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้กับรถจักรยานไฟฟ้าที่พบเห็นตามท้องตลาดจะเป็นชนิดแห้ง ได้แก่ นิกเกิลแคดเมียม (NiCd) นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH) และลิเทียมโพลีเมอร์ (Li-Po) มีข้อดีคือน้ำหนักเบา บำรุงรักษาง่าย และขนาดไม่ใหญ่มาก ส่วนข้อเสียคือราคาแพง ประสิทธิภาพต่ำกว่า และอายุการใช้

งานสั้นกว่าเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วที่มีพิกัดเท่ากัน [4] ซึ่งเป็นชนิดของแบตเตอรี่ที่กลุ่มผู้ทำโครงการฯ ได้ศึกษาเพื่อนำมาใช้ในโครงการนี้

--- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วมีคุณสมบัติเด่นคือ ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง มีแรงดันต่อเซลล์สูง (จึงให้พลังงานไฟฟ้าสูง) ดูแลรักษาง่าย และหาซื้อได้ทั่วไป [4] ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



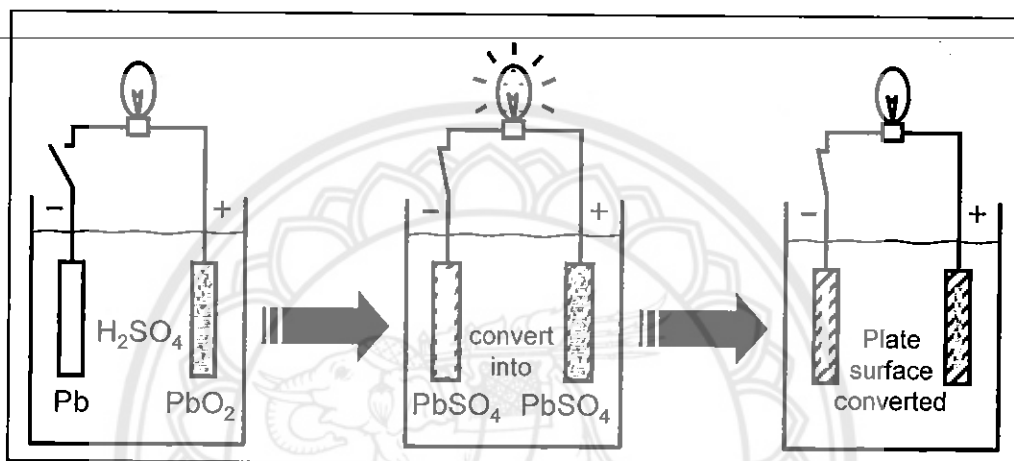
รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ [5]

แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิด คือ แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกัน จนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกันไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกัน (Separators) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบแตะกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกันนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้ น้ำกรดหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจาง ประกอบด้วยกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณ 38% ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดมีค่า 1.260-1.280 ที่อุณหภูมิ $20^\circ C$

เซลล์ (Cell) ในแบตเตอรี่คือช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวกและลบซึ่งวางสลับกันและกันด้วยแผ่นกันแล้วจุ่มในน้ำกรด ในแต่ละเซลล์ก็จะมีส่วนบนเป็นที่เติมน้ำกรดและมีฝาปิดป้องกันน้ำกรดกระเด็นออกมา ฝาปิดนี้จะมีรูระบายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 V ต่อเซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่นั้น ๆ เช่น แบตเตอรี่ที่มี 6 เซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12 V

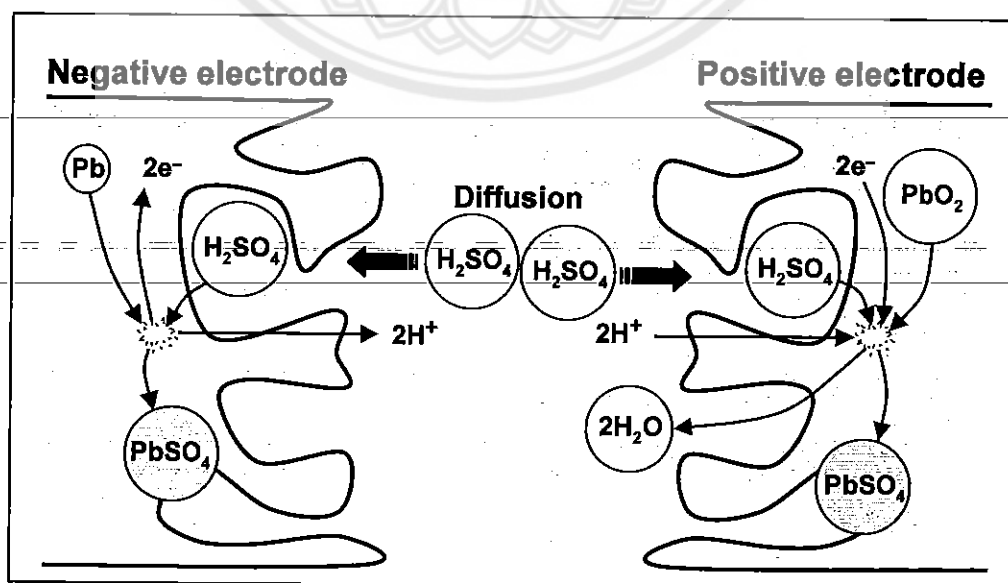
2.2.1 ปฏิกริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

เราสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่ขณะคายประจุแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 กำหนดให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพอัดประจุเต็ม (Fully charged condition) ก่อนจะต่อกับโหลด เนื้อสารที่ขั้วลบจะเป็นตะกั่ว ส่วนขั้วบวกจะเป็นตะกั่วออกไซด์ หลังจากนำโหลดมาต่อ แบตเตอรี่จะเริ่มคายประจุโดยเนื้อสารที่ขั้วลบและขั้วบวกจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำยาอิเล็กโทรไลต์จนกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต การคายประจุของแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลงเมื่อเนื้อสารทั้งขั้วลบและขั้วบวกกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตทั้งหมด



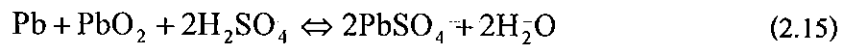
รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ

ในระหว่างที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จึงเกิดกระแสไหลผ่านโหลด ซึ่งค่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่เนื้อสารสัมผัสกับน้ำกรด

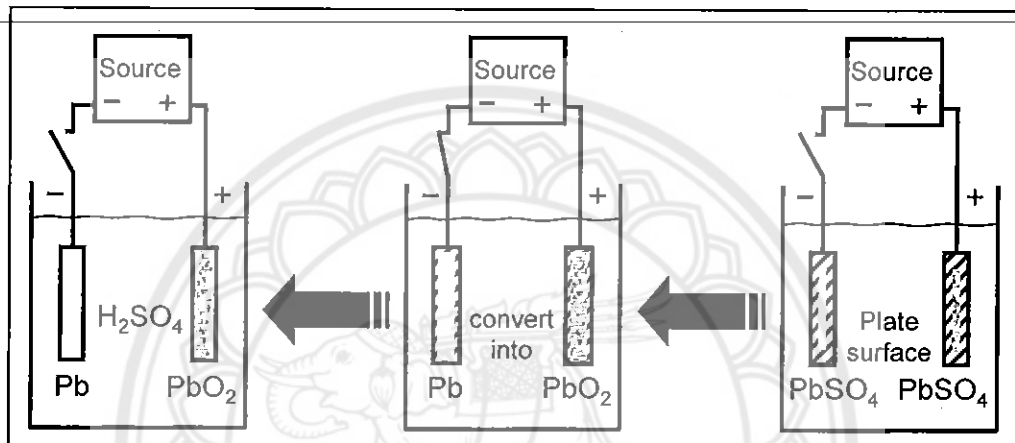


รูปที่ 2.7 การคายประจุของแบตเตอรี่

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเคมีต่อไปนี้



จากสมการที่ (2.15) การคายประจุจะอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากซ้ายไปขวา ในขณะที่การอัดประจุแบตเตอรี่จะอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสมการจากขวาไปซ้าย เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ โดยเนื้อสารที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจากการคายประจุ ดังแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ

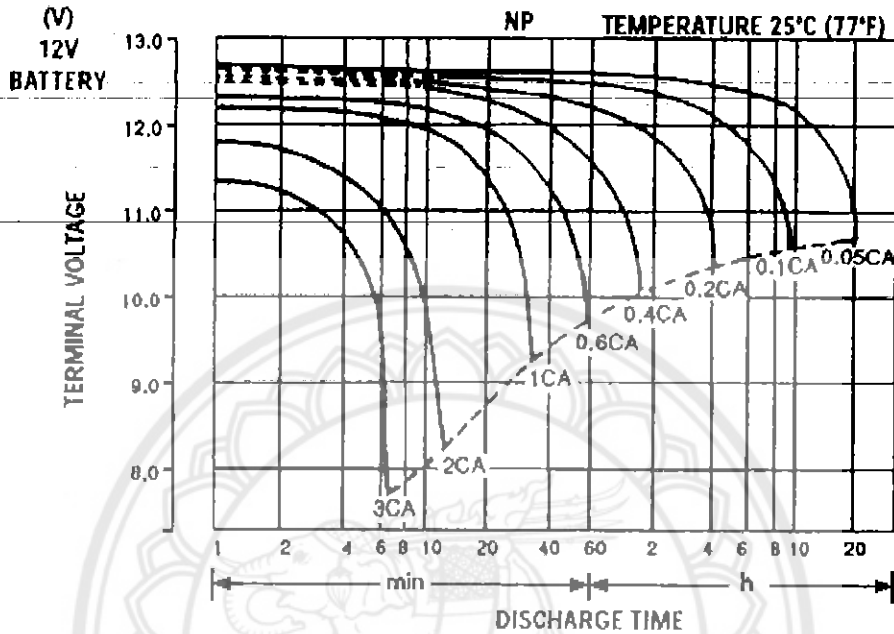
การใช้งานแบตเตอรี่จำเป็นต้องศึกษาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ ได้แก่

ก) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery capacity) มีหน่วย “แอมแปร์-ชั่วโมง” (Ah) หรือ “วัตต์-ชั่วโมง” (Wh) ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายได้ เราสามารถคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ได้ด้วยการคายประจุของแบตเตอรี่ (Discharge) ความจุที่ใช้งานได้ (Available capacity) ขึ้นจะอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้าง ซึ่งเชื่อมโยงกับการออกแบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ปริมาณของตะกั่ว, ตะกั่วออกไซด์, น้ำกรด, ความหนาของแผ่นโลหะ และผิวสัมผัสของโลหะ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงขึ้นความจุของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสูงขึ้น แต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลง ค่าพลังงานสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ ณ ค่ากระแสและอุณหภูมิค่าหนึ่งที่กำหนดโดยผู้ผลิต เรียกว่า พิกัดความจุ (Rated capacity หรือ Nominal capacity) ของแบตเตอรี่

ข) จุดสิ้นสุดของการคายประจุ (End of discharge) คือระดับแรงดันที่เรายอมให้แบตเตอรี่คายประจุได้ก่อนจะยุติกระบวนการคายประจุ จุดสิ้นสุดของการคายประจุจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสคายประจุ และกำหนดโดยผู้ผลิต รูปที่ 2.9 แสดงกราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว NP4-12 ซึ่งค่าพิกัดความจุมีค่า 4 Ah ที่กระแส 0.2 A (0.05C) อุณหภูมิ 25°C และจุดสิ้นสุดการคาย

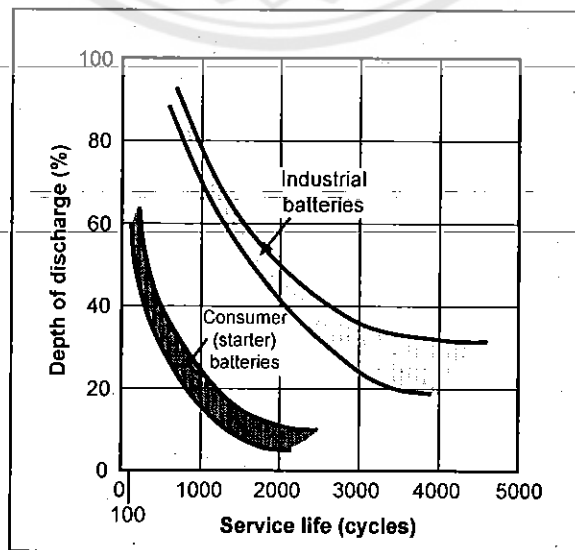
ประจุที่ 10.7 V จะเห็นว่าถ้าแบตเตอรี่คายประจุที่กระแสสูงกว่า 0.2 A จุดสิ้นสุดการคายประจุจะต่ำกว่าเนื่องจากยังมีเนื้อสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำกรดต่อได้อีก แต่ค่าความจุที่ใช้งานได้จะลดลงจากค่าพิกัด

DISCHARGE CHARACTERISTIC CURVES



รูปที่ 2.9 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12

ค) อายุการใช้งาน (Service life) ของแบตเตอรี่ถูกกำหนดในรูปของจำนวนรอบของการอัดและคายประจุ (Charge-discharge cycle) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความลึกในการคายประจุแต่ละครั้ง (Depth of discharge, DoD) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ถ้าความลึกในการคายประจุมีค่าสูงจะทำให้อายุการใช้งานจะสั้นลง



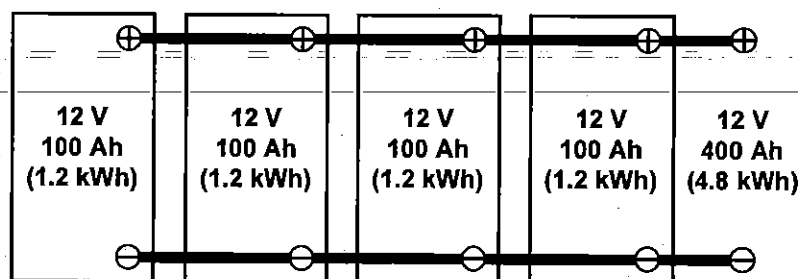
รูปที่ 2.10 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [4]

การคายประจุจนต่ำกว่าจุดสิ้นสุดของการคายประจุ (Deep discharge) จะทำให้แบตเตอรี่ทำงานหนักเกินไป หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ต้องรีบอัดประจุคืนให้เต็ม มิฉะนั้นจะเหลือผลึกตะกั่วซัลเฟสที่ขี้วบวและลบ หากปล่อยไว้เนิ่นนานผลึกเหล่านี้จะ โตขึ้นจนยากต่อการเปลี่ยนกลับคืนเป็นตะกั่ว (ที่ขี้วบ) และตัวกั้วออกไซด์ (ที่ขี้วบว) ได้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ซัลเฟชัน” (Sulphation) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อสารที่จะทำปฏิกิริยาดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการป้องกันการคายประจุต่ำกว่าจุดสิ้นสุดการคายประจุ (Deep discharge protection) โดยวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการวัดค่าและตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา

ง) จุดสิ้นสุดการอัดประจุ (End of charge) ในการอัดประจุแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้แรงดันของแหล่งจ่ายสูงกว่า เช่นประมาณ 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 V เมื่ออัดประจุแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้มีน้ำในน้ำกรดแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขี้วบและก๊าซออกซิเจนที่ขี้วบว ถ้าอัดประจุนานเกินไปจะทำให้มีน้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ลดลง นอกจากนี้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูงยังทำให้เกิดความเครียดในเนื้อสารซึ่งทำให้การเกาะตัวของโมเลกุลในเนื้อสารแย่งลงจนส่งผลให้เนื้อสารบางส่วนหลุดออกจากขี้วบ ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียความจุที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ ดังนั้นในระหว่างการอัดประจุจึงต้องมีการจำกัดแรงดันและกระแส เช่น การอัดประจุด้วยกระแสไม่เกิน 1 A และใช้แรงดันในการอัดประจุประมาณ 2.3-2.4 V/cell หรือ 14.4 V (สำหรับแบตเตอรี่ 12 V) ที่อุณหภูมิ 20°C

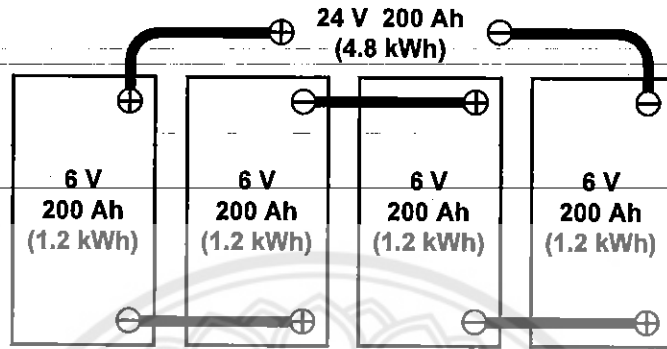
2.2.2 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่

ในกรณีที่เราต้องการกระแสจากแบตเตอรี่สูงเกินกว่าที่แบตเตอรี่ 1 ลูกจะจ่ายได้ เราสามารถนำแบตเตอรี่มากกว่า 1 ลูกมาต่อขนานกัน (Parallel connection) เพื่อเพิ่มกระแสด้านออกให้ได้ค่าที่ต้องการ (ดูรูปที่ 2.11) การต่อขนานแบตเตอรี่จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันเท่ากัน พลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่แบบขนานจะมีค่าเท่ากับแรงดันคูณกับผลรวมของพิกัดความจุ (Ah) ของแบตเตอรี่แต่ละตัว



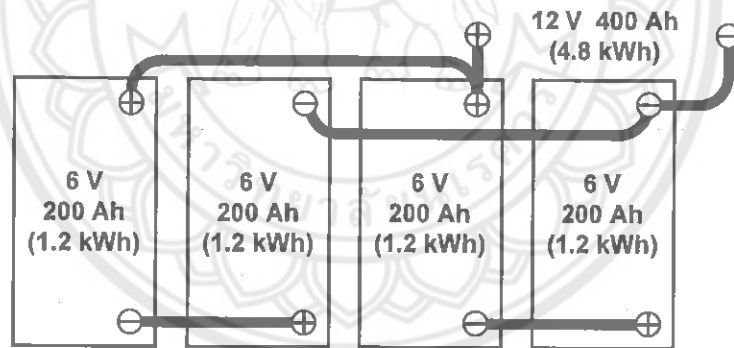
รูปที่ 2.11 การนำแบตเตอรี่มาต่อแบบขนาน

นอกจากนี้ เรายังสามารถนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน (Series connection) ได้เพื่อเพิ่มค่าแรงดันด้านออก (ดูรูปที่ 2.12) โดยการต่ออนุกรมนี้จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดความจุเท่ากัน พลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่อนุกรมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัวคูณกับพิกัดความจุ (Ah) ของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.12 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

รูปที่ 2.13 แสดงการต่อแบตเตอรี่แบบผสม (Series-parallel connection) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มทั้งพิกัดแรงดันและความจุ (Ah) เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ 1 ตัว [4]



รูปที่ 2.13 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

2.2.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่

การนำแบตเตอรี่มาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพที่สุดนั้นต้องคำนึงถึงอายุการทำงานของแบตเตอรี่ก่อนเป็นอันดับแรกเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 3-5 ปี การบำรุงรักษาแบตเตอรี่อย่างถูกวิธีและเข้าถึงการดำเนินงานของแบตเตอรี่นั้นจะมีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับการยืดอายุการทำงานของแบตเตอรี่ให้นานที่สุด โดยมีหลักการดังนี้

ก) อุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ต้องไม่สูงเกินไป แบตเตอรี่ระบายความร้อนด้วยน้ำ กลั่นที่อยู่ในเซลล์แบตเตอรี่ อุณหภูมิเฉลี่ยมาตรฐานภายในแบตเตอรี่อยู่ที่ 45-50°C เนื่องจากแผ่นธาตุภายในเซลล์แบตเตอรี่ประกอบด้วยผงตะกั่วที่อัดแน่นอยู่บน โครงกริด (Grid) ซึ่งจะมีความหนาแน่น

อยู่ค่าหนึ่ง หากอุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่ามาตรฐานจะทำให้ฝั่งตะกั่วของแบตเตอรี่หลุดร่วงลงมา อาจส่งผลทำให้การเก็บประจุของแบตเตอรี่ต่ำลง และแบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้ได้มาตรฐาน

ข) ระดับน้ำกลั่นในเซลล์ของแบตเตอรี่ต้องไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป ระดับน้ำกลั่นในเซลล์แบตเตอรี่จะเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่น้อยลง หากน้ำกลั่นน้อยหรือต่ำกว่าแผ่นธาตุในเซลล์แบตเตอรี่ก็จะทำให้การระบายความร้อนลดน้อยลงมีผลต่อเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งความร้อนจะเกิดขึ้นสูง และอาจทำให้แผ่นธาตุเกิดการลัดวงจร เป็นผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น กรณีเติมน้ำกลั่นมากเกินไปจะทำให้กรดกำมะถันที่มีอยู่ภายในเซลล์แบตเตอรี่เจือจาง หากความเข้มข้นของกรดกำมะถันน้อยลงจะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ต่ำลง ดังนั้นจึงต้องคอยควบคุมบำรุงรักษาระดับน้ำกลั่น และต้องให้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันเข้มข้นอยู่เสมอ

ค) รักษาความสะอาดระหว่างสะพานไฟและเปลือกเซลล์ ความสกปรกที่สะพานไฟและเปลือกเซลล์มักเกิดจากกรดกำมะถันที่กระจายออกมาทางช่องระบาย เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดคราบผลึกตะกั่วซัลเฟตสีขาวเกาะตามขอบถังและเปลือกเซลล์ หากปล่อยสะสมไว้นานจะจับตัวเป็นผลึกตะกั่วซัลเฟตตามสะพานไฟและขอบถัง สถานะของผลึกตะกั่วซัลเฟตนั้นเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งหากผลึกตะกั่วซัลเฟตนั้นเกาะระหว่างสะพานไฟและขอบถังมากขึ้นจะทำให้กระแสไฟของแบตเตอรี่ของวงจรลงสายดิน ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ต่ำลง

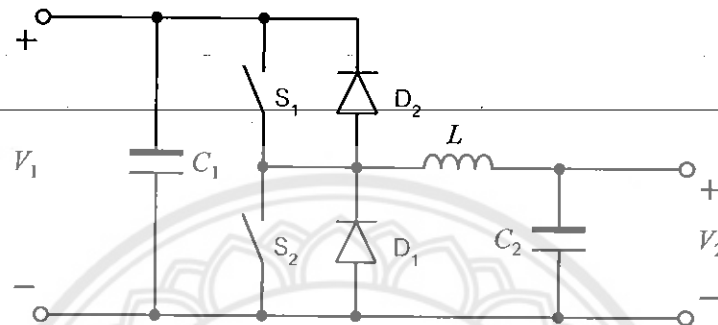
ง) ควบคุมกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ เครื่องประจุไฟหรือตู้อัดประจุก็เป็นตัวแปรสำหรับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วย เนื่องจากกระแสที่ตู้อัดประจุจ่ายออกมาในการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งมีผลทำให้แบตเตอรี่อัดประจุเร็วหรือช้า หากกระแสไฟในการอัดประจุแบตเตอรี่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้การอัดประจุของแบตเตอรี่เร็วขึ้น แต่จะทำให้อุณหภูมิในการอัดประจุขณะนั้นสูงเกินไปและทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อให้ตู้อัดประจุและแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กันเพื่อให้ประสิทธิภาพในการอัดประจุและการใช้งานของแบตเตอรี่สูงที่สุด

จ) ตรวจสอบอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ปลั๊ก สะพานไฟ และสายไฟ เพื่อให้กระแสไหลเวียนอย่างถูกต้อง ดังนั้นการดูแลรอยต่อต่างๆ เพื่อให้กระแสเดินผ่านได้สะดวกก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานของแบตเตอรี่สูงหรือต่ำได้เช่นกัน [5]

2.3 วงจรควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

เนื่องจากโครงการนี้เกี่ยวข้องกับการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ วงจรควบคุมจึงต้องสามารถยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลได้สองทิศทาง ในที่นี้กลุ่มผู้ทำโครงการเลือกศึกษาการใช้วงจรแปลง

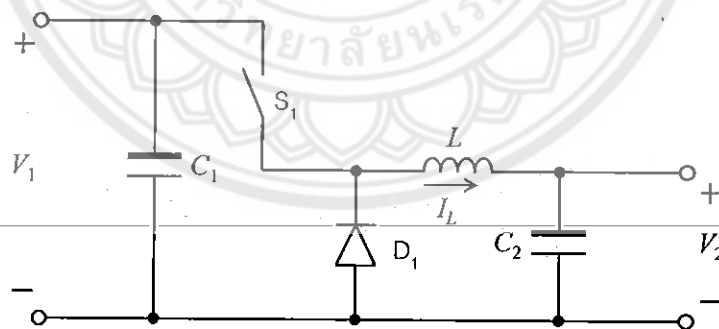
กำลังไฟกระแสตรงสองทิศทาง (Bidirectional dc-dc converter) [6] ซึ่งประกอบขึ้นจากวงจรทอนระดับแรงดัน (Buck converter) และวงจรทอนระดับแรงดัน (Boost converter) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อต้องการให้กำลังไฟฟ้าไหลจากซ้ายไปขวา V_1 จะเป็นแรงดันด้านเข้า ในขณะที่ V_2 เป็นแรงดันด้านออก โดยขณะนี้วงจรทำงานเป็นวงจรทอนระดับแรงดัน แต่ถ้าหากต้องการให้กำลังไฟฟ้าไหลจากขวาไปซ้าย วงจรจะทำงานเป็นวงจรทอนระดับแรงดัน โดย V_2 จะเป็นแรงดันด้านเข้า และ V_1 จะเป็นแรงดันด้านออก



รูปที่ 2.14 วงจรแปลงกำลังไฟกระแสตรงสองทิศทาง

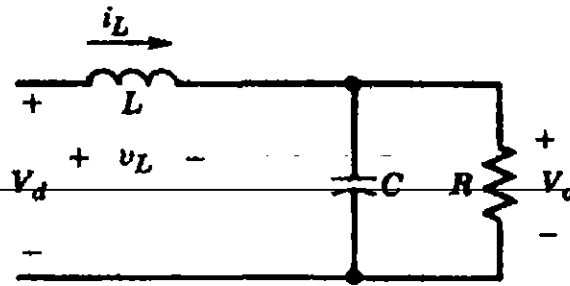
2.3.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 2.14 เราสามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าจากซ้ายไปขวาได้โดยควบคุมการเปิดปิดของ S_1 ในขณะที่ S_2 ไม่นำกระแส ในขณะนี้วงจรจะทำตัวเหมือนวงจรทอนระดับแรงดัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรทอนระดับแรงดัน

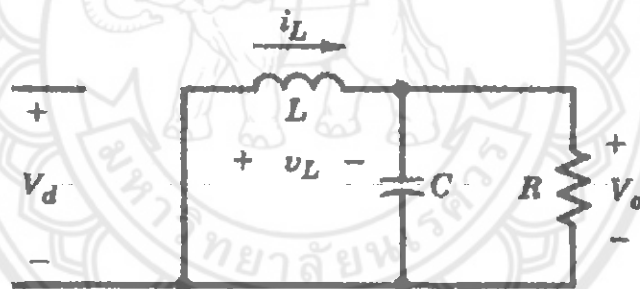
เมื่อสวิตช์ S_1 ปิด ไดโอดได้รับการไบอัสย้อนกลับ จึงไม่นำกระแส และทำตัวเสมือนวงจรเปิด (Open circuit) ในขณะนี้เราสามารถอธิบายวงจรในรูปที่ 2.15 ได้ด้วยรูปที่ 2.16 โดยที่ $V_d = V_1$ และ $V_o = V_2$



รูปที่ 2.16 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด [6]

จากรูปที่ 2.16 กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงขึ้น ตัวเหนี่ยวนำสะสมพลังงานในสนามแม่เหล็ก กระแสของตัวเหนี่ยวนำทำการอัดประจุตัวเก็บประจุและทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานไปยังโหลด แรงดันด้านออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันของตัวเก็บประจุมีค่าสูงขึ้น

เมื่อสวิตช์ S_1 เปิด พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำทำให้ไดโอดนำกระแส ไดโอดทำตัวเสมือนเป็นการลัดวงจร (Short circuit) ซึ่งในขณะนี้นักวงจรในรูปที่ 2.15 สามารถยุบกลายเป็นรูปที่ 2.17 สนามแม่เหล็กของตัวเหนี่ยวนำสลาย กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลง โหลดได้รับพลังงานจากทั้งตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ แรงดันด้านออกมีค่าลดลง



รูปที่ 2.17 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด [6]

อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ของวงจรทอนระดับแรงดัน [6] มีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_o}{V_d} = D_1 \quad (2-16)$$

โดยที่

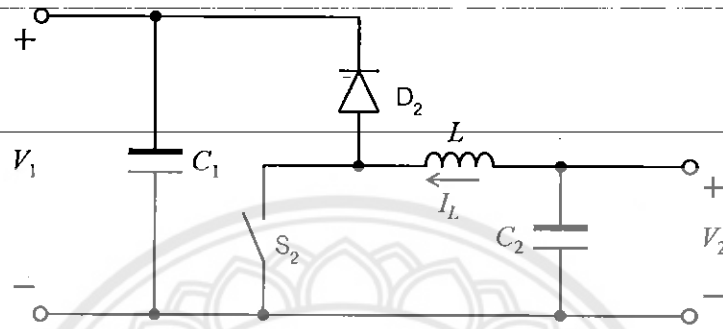
V_1 คือค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านเข้าของวงจรทอนระดับแรงดัน

V_2 คือค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออกของวงจรทอนระดับแรงดัน

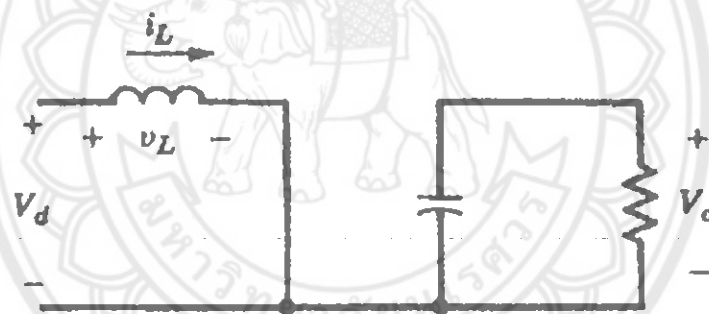
D_1 คือคิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ของ S_1 และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

2.3.2 หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน

เราสามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าจากขาไปซ้ายได้โดยการควบคุมการเปิดปิดของ S_2 ในขณะที่ S_1 ไม่นำกระแส ในขณะที่วงจรทำตัวเสมือนวงจรทระดับแรงดันดังรูปที่ 2.18 เมื่อสวิตช์ S_2 ปิด ไดโอดได้รับการไบอัสย้อนกลับ จึงไม่นำกระแส และทำตัวเสมือนวงจรเปิด (open circuit) ในขณะที่วงจรในรูปที่ 2.18 สามารถยุบกลายเป็นรูปที่ 2.19 โดยที่ $V_d = V_2$ และ $V_o = V_1$



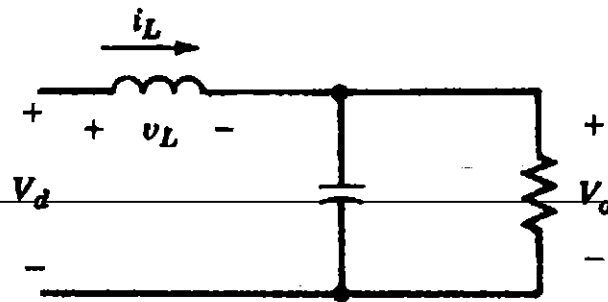
รูปที่ 2.18 วงจรควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.19 วงจรทระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด [6]

จากรูปที่ 2.19 กระแสของตัวเหนี่ยวนำจะสูงขึ้นเนื่องจากตัวเหนี่ยวนำสะสมพลังงาน ในขณะที่โหลดได้รับพลังงานจากตัวเก็บประจุ ทำให้แรงดันของตัวเก็บประจุซึ่งเท่ากับแรงดันด้านออกมีค่าลดลง

เมื่อสวิตช์ S_2 เปิด พลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำทำให้ไดโอดนำกระแส ไดโอดทำตัวเสมือนการลัดวงจร (Short circuit) ในขณะที่วงจรในรูปที่ 2.18 สามารถยุบกลายเป็นรูปที่ 2.20 โหลดจะได้รับพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ กระแสของตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันด้านออกมีค่าลดลง



รูปที่ 2.20 วงจรทบทระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด [6]

อัตราขยายแรงดันของวงจรในขณะนี้มีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D_2} \quad (2.17)$$

โดยที่

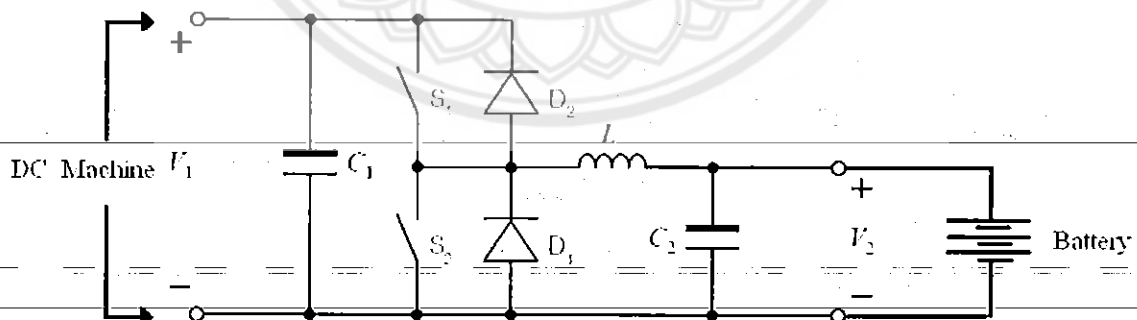
V_1 คือค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออกของวงจรทบทระดับแรงดัน

V_2 คือค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านเข้าของวงจรทบทระดับแรงดัน

D_2 คือคิวตี้ไซเคิลของ S_2 และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

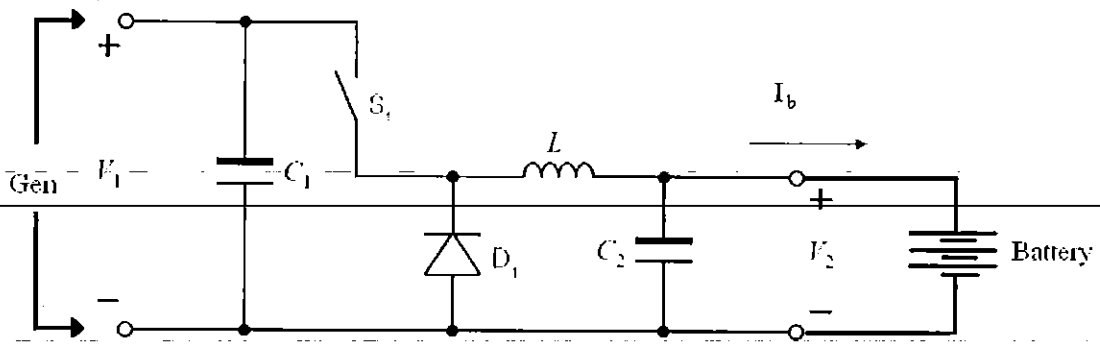
2.4 การเชื่อมต่อวงจรควบคุมในระบบจักษยานไฟฟ้า

การนำวงจรแปลงไฟกระแสตรงสองทิศทางมาใช้ควบคุมการอัดและคายประจุของจักษยานไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 โดยด้านหนึ่งต่อกับเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเชื่อมต่อการหมุนของล้อรถจักษยาน และอีกด้านต่อกับแบตเตอรี่



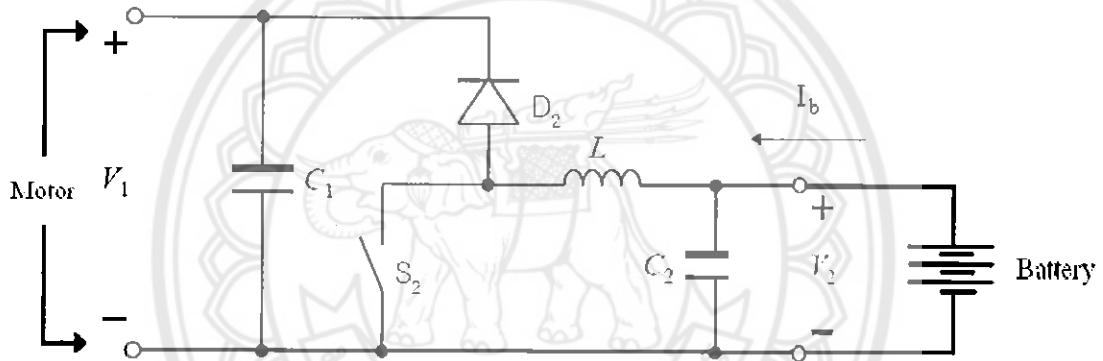
รูปที่ 2.21 วงจรควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

ในขณะที่อัดประจุแบตเตอรี่ เครื่องจักรกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ผ่านวงจรควบคุม การทำงานของวงจรในช่วงนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่

ในขณะที่เราต้องการขับเคลื่อนจักรยานด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ วงจรการทำงานในช่วงนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.23 แบตเตอรี่คายประจุผ่านวงจรควบคุมเพื่อจ่ายพลังงานให้กับกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าซึ่งขณะนี้ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์



รูปที่ 2.23 วงจรควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่

บทที่ 3

การสร้างวงจรการทำงาน

จากการศึกษาวงจรควบคุมการอัดและคายประจุในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งยอมให้พลังงานไฟฟ้าไหลได้สองทิศทาง วงจรประกอบขึ้นจากวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรทอนระดับแรงดัน ดังนั้นในบทนี้จึงได้อธิบายกระบวนการสร้างวงจรทั้งสองขึ้น ดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป

3.1 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน

วัตถุประสงค์ของการออกแบบวงจรควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่คือเพื่อลดระดับแรงดันที่ได้จากเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 21 V ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลที่นิยมใช้ในจักรยานไฟฟ้า มาเพื่อใช้อัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 1 ลูก

3.1.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน

- ก) ออกแบบวงจรทอนระดับแรงดัน โดยการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ และจัดซื้ออุปกรณ์
- ข) ต่อวงจรตามแบบที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบมา โดยการต่อวงจรเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard) และในการควบคุมมอสเฟตเบื้องต้นจะใช้เครื่องสร้างสัญญาณ (Function generator) เพื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) เข้าที่ขาเกต (Gate) ของมอสเฟต (MOSFET)
- ค) ใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดค่าสัญญาณควบคุมสวิตช์ และใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าแรงดันด้านออก
- ง) ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวงจรควบคุมการทำงานของมอสเฟต
- จ) ศึกษาและสร้างวงจรขับมอสเฟตโดยใช้ไอซีหมายเลข UC3843
- ฉ) ต่อวงจรควบคุมการทำงานของมอสเฟตบนแผงโปรโตบอร์ด และทดลองการทำงาน
- ช) ทำการสร้างแผงวงจร โดยทำการต่อวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรควบคุมการทำงานของมอสเฟตลงบนแผ่นปริ้นต์โดยมีการเพิ่มแอลอีดี (LED) เพื่อแสดงสถานะการทำงาน
- ซ) ทดสอบการทำงานของวงจร โดยวัดค่าแรงดันด้านออกและสัญญาณคิกตัวไชเกิล

3.1.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรทอนระดับแรงดัน

ก) ตัวเหนี่ยวนำ

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าความถี่ของแหล่งจ่าย ค่ากระแสเฉลี่ย (Average current) และค่าคลื่นระลอกของกระแส (Ripple current) ที่ไหลผ่านตัวมัน [6] ในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สูง และมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 mH สำหรับค่าคลื่นระลอกของกระแสที่ต้องการ ในที่นี้คือไม่เกิน 3%

ข) ตัวเก็บประจุ

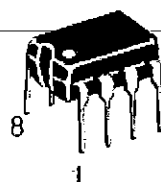
การเลือกตัวเก็บประจุจะพิจารณาจากค่าพิกัดแรงดันและการคำนวณค่าคลื่นระลอกของแรงดัน (Ripple voltage) ที่ตกคร่อมโหลด (แรงดันของเก็บประจุ) [6] ในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic capacitor) มีค่าความจุไฟฟ้า 6800 μF และมีพิกัดแรงดัน 50 V สำหรับค่าคลื่นระลอกของแรงดันไม่เกิน 1%

ค) สวิตช์

เนื่องจากวงจรแปลงไฟกระแสตรงใช้งานกับความถี่สวิตซ์ (Switching frequency) สูง ซึ่งในโครงงานเลือกใช้ 30 kHz จึงเลือกใช้ MOSFET เพราะเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สวิตซ์สูงเมื่อเทียบกับสวิตซ์กำลัง (Power switch) ชนิดอื่น ๆ และในที่นี้ได้เลือกใช้ MOSFET หมายเลข IRF530N ซึ่งทนกระแสและแรงดันได้สูงและมีกำลังสูญเสียภายในต่ำ (พิกัดกระแส 22 A พิกัดแรงดัน 100 V และค่าความต้านทานขณะนำกระแส 64 $\text{m}\Omega$) สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ ของ MOSFET นี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

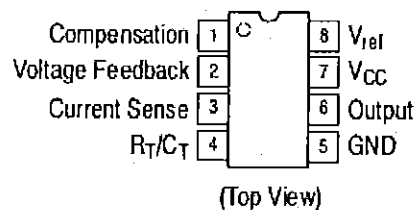
ง) วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตซ์

ในโครงงานนี้ สวิตซ์จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณที่สร้างมาจากไอซี (Integrated circuit, IC) หมายเลข UC3843 (ดูรูปที่ 3.1) ซึ่งใช้งานง่าย และสามารถทนกระแสและแรงดันที่ใช้ภายในวงจรได้ พิกัดของ UC3843 แสดงในตารางที่ 3.1



PDIP-8
N SUFFIX
CASE 626

PIN CONNECTIONS

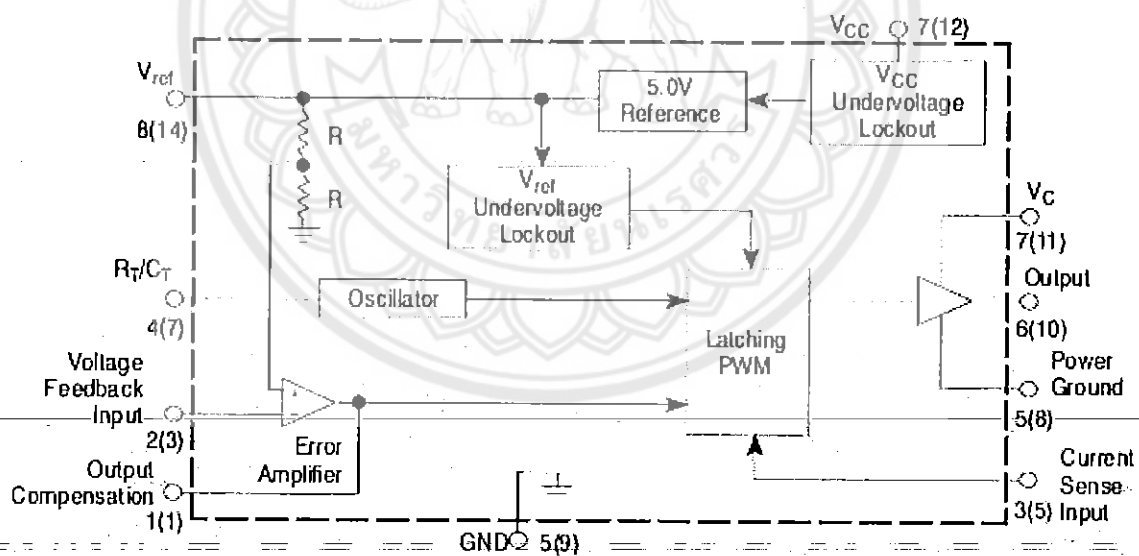


รูปที่ 3.1 รูปและขาต่าง ๆ ของ UC3843

ตารางที่ 3.1 พิกัดต่าง ๆ ของ UC3843

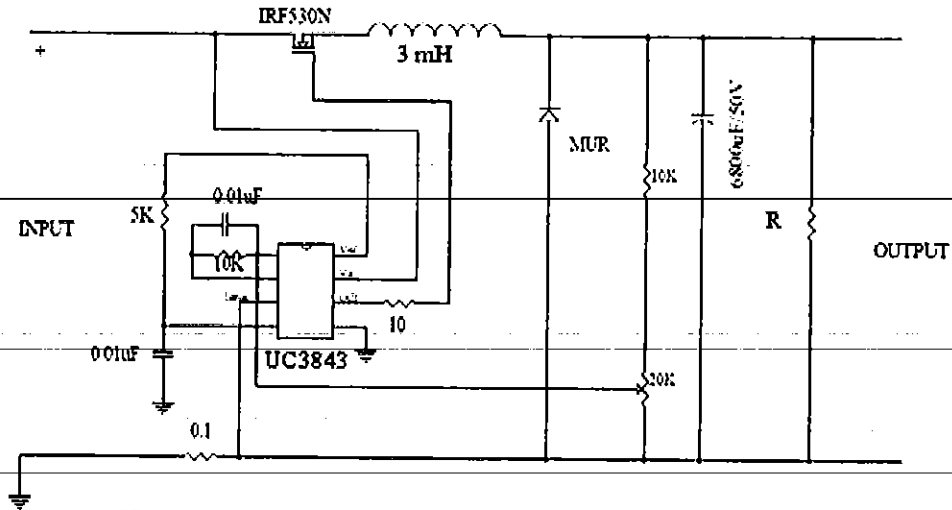
พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันแหล่งจ่าย	V_{CC}, V_C	30	V
กระแสภายในวงจร	$(I_{CC}+I_C)$	30	mA
กระแสด้านขาออก	I_O	1.0	μ A
พลังงานด้านขาออก	W	5.0	μ J
แรงดันป้อนกลับด้านด้านเข้า	$-V_{in}$	-0.3 ถึง +5.5	V
กระแสรั่วไหล	I_O	10	mA

หลักการการทำงานของ UC3843 แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โดยจะรับแรงดันด้านเข้าทางขาที่ 7 และรับค่าแรงดันอ้างอิง 5 V ทางขาที่ 8 และมีการต่อสายดินออกทางขาที่ 5 ภายในไอซีจะมีวงจรการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-width modulation, PWM) เพื่อรับสัญญาณต่าง ๆ มาประมวลผลแล้วสร้างเป็นสัญญาณพัลส์ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกทางขาที่ 6 เพื่อใช้ในการควบคุมมอสเฟต รายละเอียดของ UC3843 สามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ข



รูปที่ 3.2 แผนภาพของวงจรภายใน UC3843

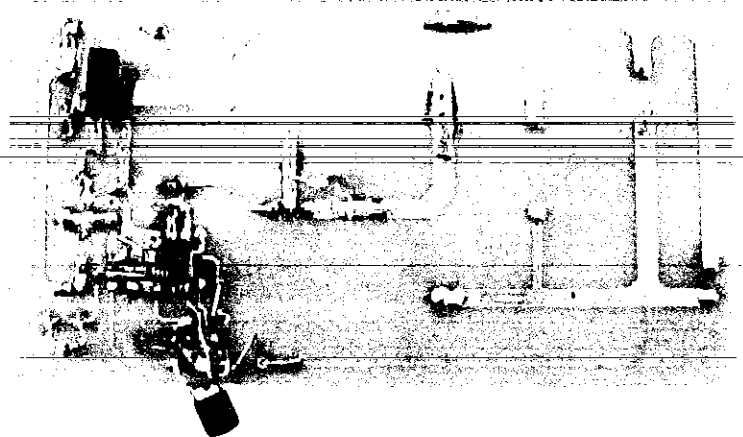
หลังจากเลือกอุปกรณ์แล้วจึงนำมาประกอบเป็นวงจรทอนระดับแรงดันดังแสดงในรูปที่ 3.3 หลังจากทดสอบการทำงานของวงจรบน โปรโตบอร์ดเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงนำวงจรมาประกอบลงบนแผงวงจรได้ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.3 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรทอนระดับแรงดัน



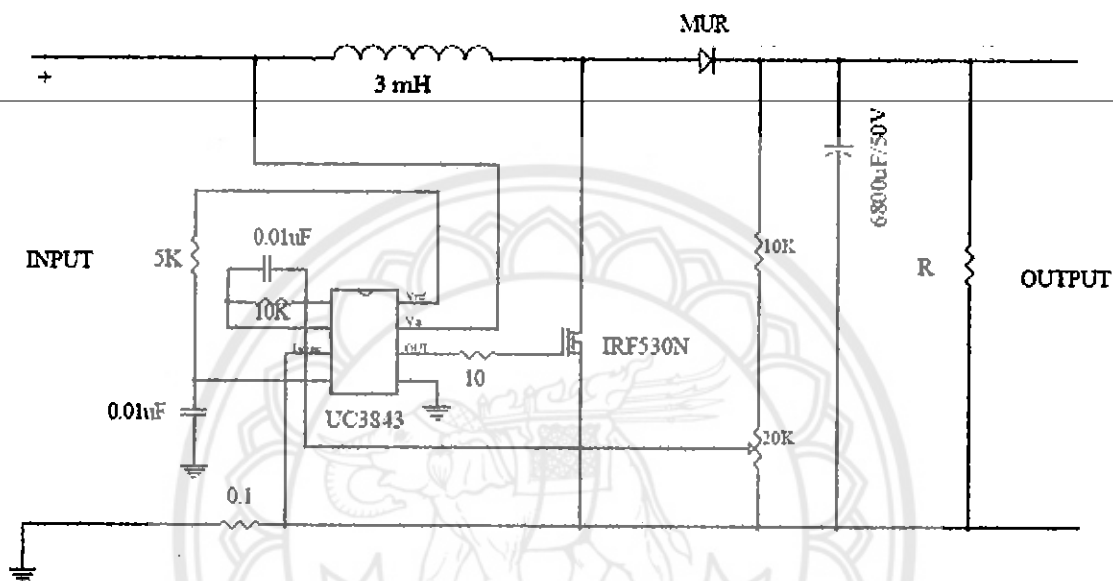
รูปที่ 3.4 แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.5 แผงวงจรทอนระดับแรงดัน (ด้านหลัง)

3.2 การสร้างวงจรทบทระดับแรงดัน

ในระหว่างกาวจรทบทระดับแรงดันในจักรยานไฟฟ้าสองระบบถูกใช้เพื่อคายประจุแบตเตอรี่ 12 V และขั้วมอเตอร์ 21 V การสร้างวงจรทบทระดับแรงดันมีกระบวนการเช่นเดียวกับกรณีสร้างวงจรทบทระดับแรงดันซึ่งอธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.1.1 และ 3.1.2 ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ สวิตช์ และวงจรถับสวิตช์แบบเดียวกันและค่าเท่ากับกรณีวงจรทบทระดับแรงดัน แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรทบทระดับแรงดันแสดงในรูปที่ 3.6



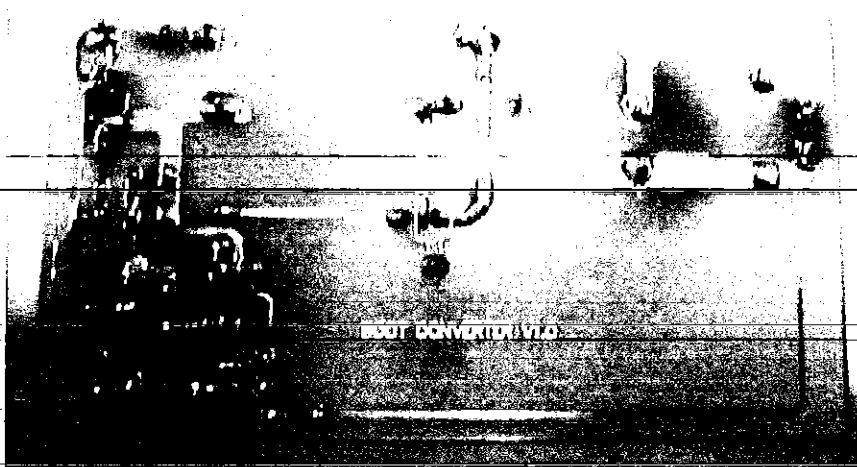
รูปที่ 3.6 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรทบทระดับแรงดัน

แผงวงจรทบทระดับแรงดันหลังจากประกอบเสร็จแล้วแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8

ตัวต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 3.7 แผงวงจรทบทระดับแรงดัน (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.8 แผงวงจรทบระดับแรงดัน (ด้านหลัง)

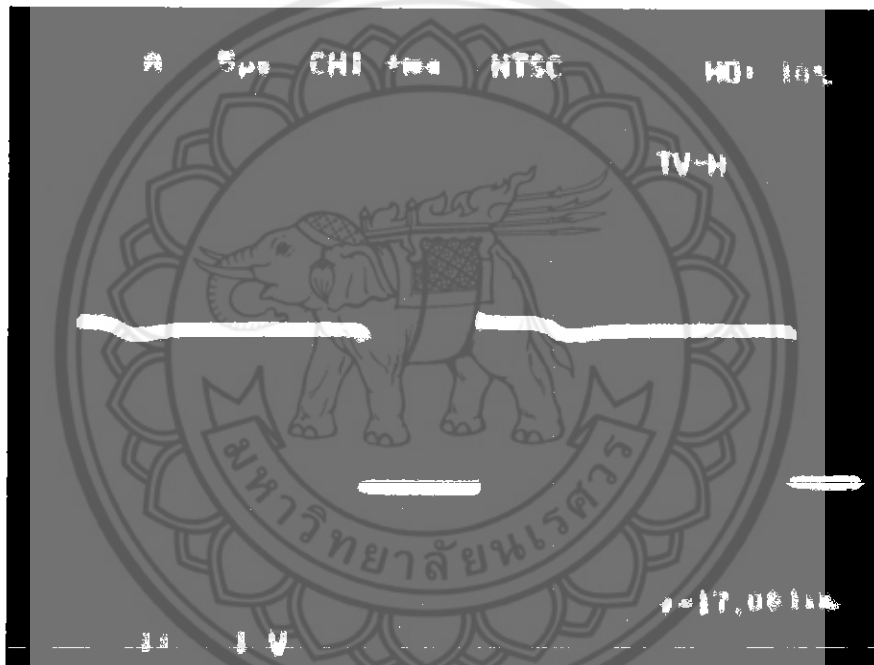


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของวงจรทอนระดับแรงดัน

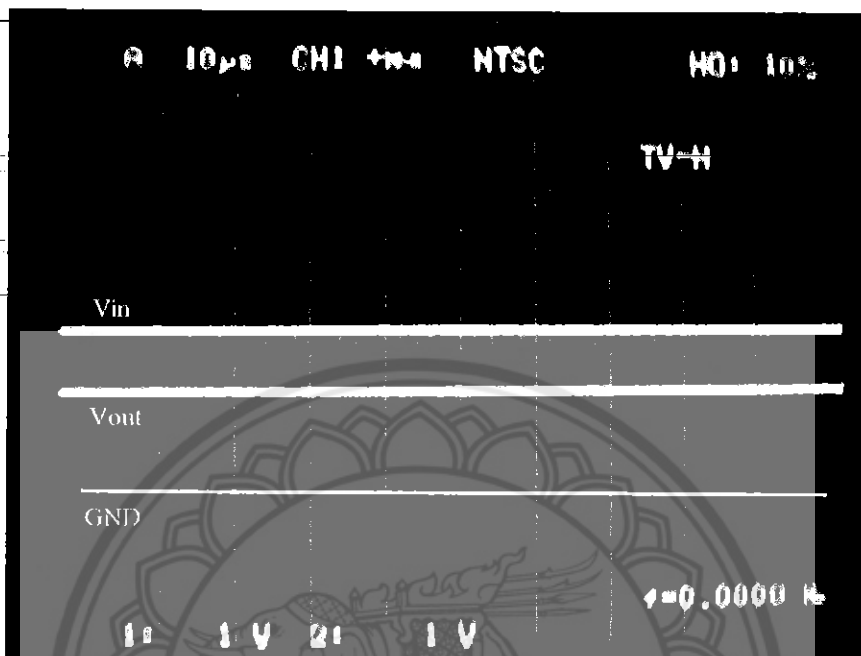
การทดลองเริ่มจากการใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณควบคุมสวิตช์ที่สร้างจากไอซี UC3843 เพื่อตั้งค่าความถี่ไซเคิลที่ต้องการผ่านทางค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างสัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.7 โดยตั้งค่าอัตราการขยายสัญญาณของสายโพรบ (Probe) ของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 10 เท่า (x10)



รูปที่ 4.1 สัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.7

ในโครงการนี้วงจรทอนระดับแรงดันต่อกับโหลดตัวต้านทาน $30\ \Omega$ (พิกัดกำลัง 15 W) หลังจากป้อนสัญญาณควบคุมสวิตช์ (ที่แสดงรูปที่ 4.1) เข้าที่ขาเกตของมอสเฟตและป้อนแรงดันค้ำเข้าให้มันเท่ากับ 21 V แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันค้ำด้านออกซึ่งได้เท่ากับ 13.87 V จากนั้นใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณแรงดันค้ำเข้าและด้านออกซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 โดยตั้งค่าอัตราการขยายสัญญาณของสายโพรบของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 10 เท่า (x10) จะพบว่าได้สัญญาณแรงดันค้ำด้านออกมีความเรียบ

ในการทดสอบวงจรที่ระดับแรงดันค่านำเข้าต่าง ๆ กัน ผู้เขียนโครงการได้ปรับเปลี่ยนค่าแรงดันค่านำเข้าในช่วง 5-20 V แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันค่านำออกโดยปรับค่าความไวที่ 0.75 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี



รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดันค่านำเข้าและค่านำออกของวงจรทอนระดับแรงดัน

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันค่านำออกของวงจรทอนระดับแรงดัน เมื่อความไวที่ 0.75

แรงดันค่านำเข้า (V)	แรงดันค่านำออก (V)		ความคลาดเคลื่อน (%)
	จากการทดลอง	จากทฤษฎี	
5	3.54	3.75	-5.6
10	6.98	7.50	-6.9
15	11.94	11.25	+6.1
20	14.63	15.00	-2.4

ในตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันค่านำออกคำนวณจาก

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = \frac{V_{o, \text{test}} - V_{o, \text{th}}}{V_{o, \text{th}}} \times 100 \quad (4.1)$$

โดยที่

$V_{o, \text{test}}$ คือค่าแรงดันค่านำออกที่ได้จากการทดลอง มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

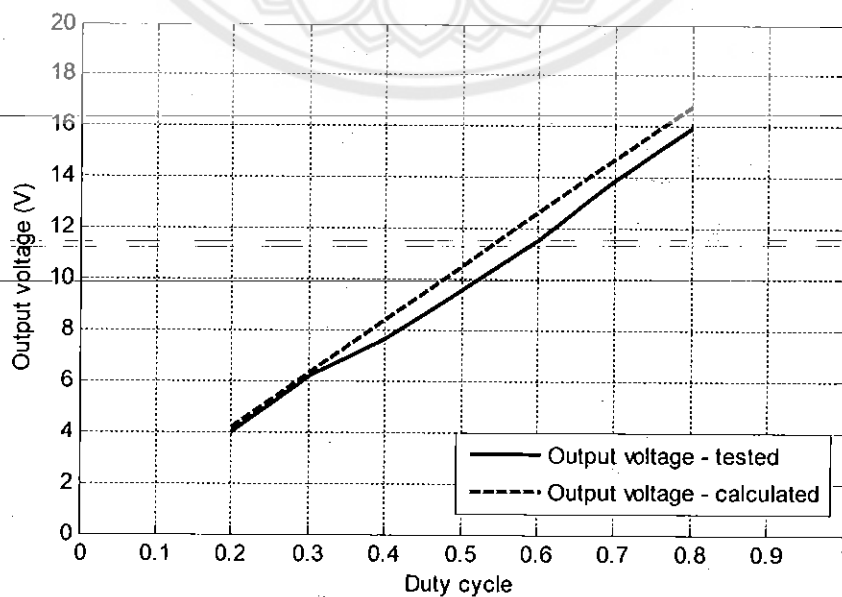
$V_{o, \text{th}}$ คือค่าแรงดันค่านำออกที่ได้จากการคำนวณ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ส่วนใหญ่มีค่าลบเพราะค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณอันเนื่องมาจากความสูญเสียภายในวงจรซึ่งไม่ได้นำมาพิจารณาในการคำนวณ

การทดสอบวงจรในลำดับถัดไป ผู้เขียนโครงการได้ตั้งค่าแรงดันด้านเข้าให้คงที่ที่ 21 V แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันด้านออก โดยปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.8 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ผลที่ได้นำไปสู่การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออก รวมไปถึงประสิทธิภาพของวงจรซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสด้านเข้าและแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน

ดิวตี้ไซเคิล	กระแสด้านเข้า (mA)	แรงดันด้านออก (V)		ความคลาดเคลื่อน ของแรงดันด้านออก (%)
		จากการทดลอง	จากทฤษฎี	
0.2	8	4.01	4.20	-4.5
0.3	14	6.19	6.30	-1.7
0.4	17	7.63	8.40	-9.2
0.48	29	9.20	10.08	-8.7
0.6	40	11.52	12.60	-8.6
0.7	48	13.87	14.70	-5.6
0.8	56	15.92	16.80	-5.2



รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันด้านออกเทียบกับดิวตี้ไซเคิลของวงจรทอนระดับแรงดัน

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน

คิ้วตี้ไซเคิล	กำลังด้านเข้า (W)	กำลังด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
0.2	1.68	0.54	31.9
0.3	2.94	1.28	43.4
0.4	3.57	1.94	54.4
0.48	6.09	2.82	46.3
0.6	8.40	4.42	52.7
0.7	10.08	6.41	63.6
0.8	11.76	8.44	71.8

ในตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า กำลังไฟฟ้าด้านออก และประสิทธิภาพคำนวณจากค่าที่ได้จากทดลอง นั่นคือ

$$P_m = I_m V_d \quad (4.2)$$

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (4.3)$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_m} \times 100 \quad (4.4)$$

โดยที่

P_m คือค่ากำลังด้านเข้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

P_o คือค่ากำลังด้านออก มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V_d คือค่าแรงดันด้านเข้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

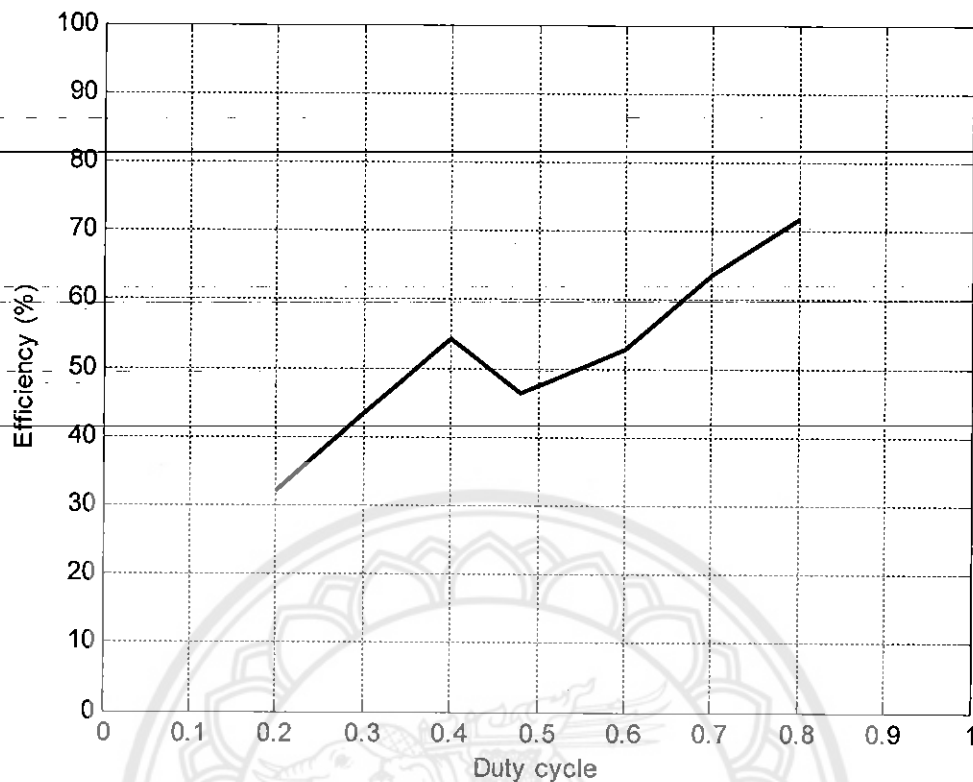
V_o คือค่าแรงดันด้านออก มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I_m คือค่ากระแสด้านเข้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

R คือค่าความต้านทานของโหลด โดยในการทดลองนี้มีค่า 30 Ω

η คือค่าประสิทธิภาพ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าวงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างขึ้นในโครงการนี้มีค่าประสิทธิภาพไม่สูงนัก ซึ่งบ่งบอกถึงค่ากำลังสูญเสียภายในวงจร นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพยังขึ้นอยู่กับค่าคิ้วตี้ไซเคิล นั่นคือวงจรมีค่าประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้งานที่ค่าคิ้วตี้ไซเคิลต่ำในขณะที่วงจรจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อคิ้วตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4

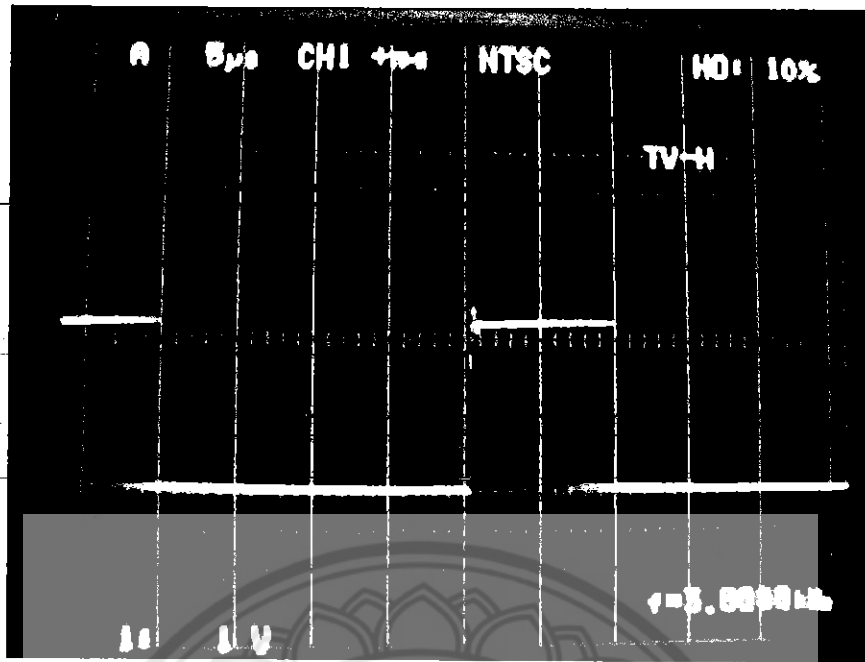


รูปที่ 4.4 ค่าประสิทธิภาพเทียบกับควิตีไซเคิลของวงจรทอนระดับแรงดัน

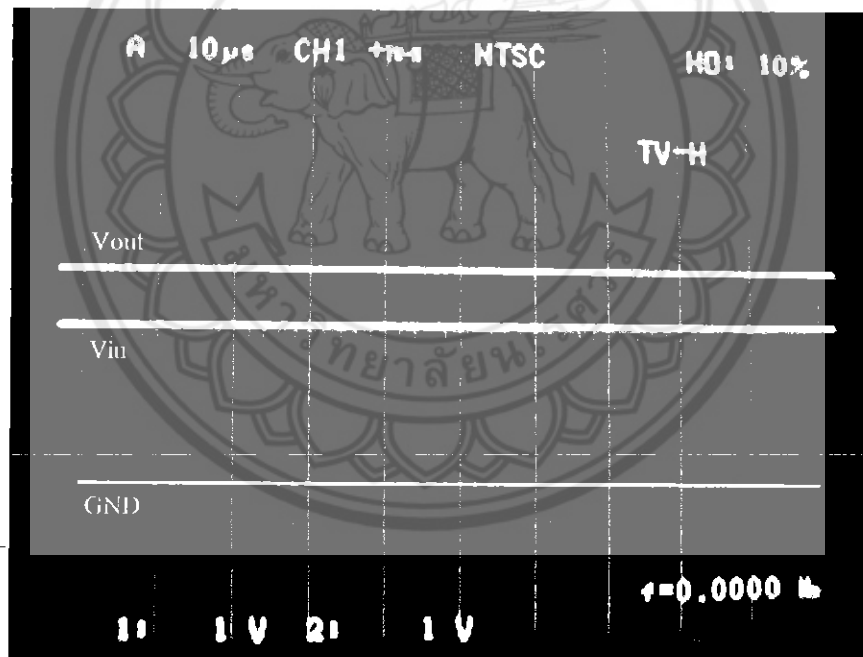
4.2 ผลการทดลองของวงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ถูกทดสอบในลักษณะเดียวกันกับวงจรทอนระดับแรงดัน โดยการทดลองเริ่มจากการใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณควบคุมสวิตช์ที่สร้างจากไอซี UC3843 เพื่อตั้งค่าควิตีไซเคิลที่ต้องการผ่านทางค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างสัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ควิตีไซเคิลเท่ากับ 0.3 โดยตั้งค่าอัตราขยายสัญญาณของโพรบไว้ที่ 10 เท่า ($\times 10$)

ในโครงการนี้วงจรทอนระดับแรงดันต่อกับโหลดตัวต้านทาน $1\text{ k}\Omega$ หลังจากป้อนสัญญาณควบคุมสวิตช์ (ที่แสดงรูปที่ 4.5) เข้าที่ขาเกตของมอสเฟต และป้อนแรงดันด้านเข้าเท่ากับ 21 V แล้วใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณแรงดันด้านเข้าและด้านออกซึ่งแสดงในรูปที่ 4.6 โดยตั้งค่าอัตราขยายสัญญาณของสายโพรบของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 10 เท่า ($\times 10$) จะพบว่าสัญญาณแรงดันด้านออกมีความเป็นไฟกระแสดตรงตามที่ต้องการอันเป็นผลมาจากการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้าสูง



รูปที่ 4.5 สัญญาณควบคุมสวิทช์ที่ควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 0.3



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรระดับแรงดัน

ในการทดสอบวงจรที่ระดับแรงดันด้านเข้าต่าง ๆ กัน ผู้เขียนโครงการได้ปรับเปลี่ยนค่าแรงดันด้านเข้าในช่วง 5-20 V แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันด้านออกโดยปรับค่าควิตซ์ไซเคิลไว้ที่ 0.3 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้มีค่าลบเพราะค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณอันเนื่องมาจากความสูญเสียภายในวงจรซึ่งไม่ได้นำมาพิจารณาในการคำนวณ

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันด้านออกของวงจรระดับแรงดัน เมื่อคิตวีไซเคลิตงที่เท่ากับ 0.3

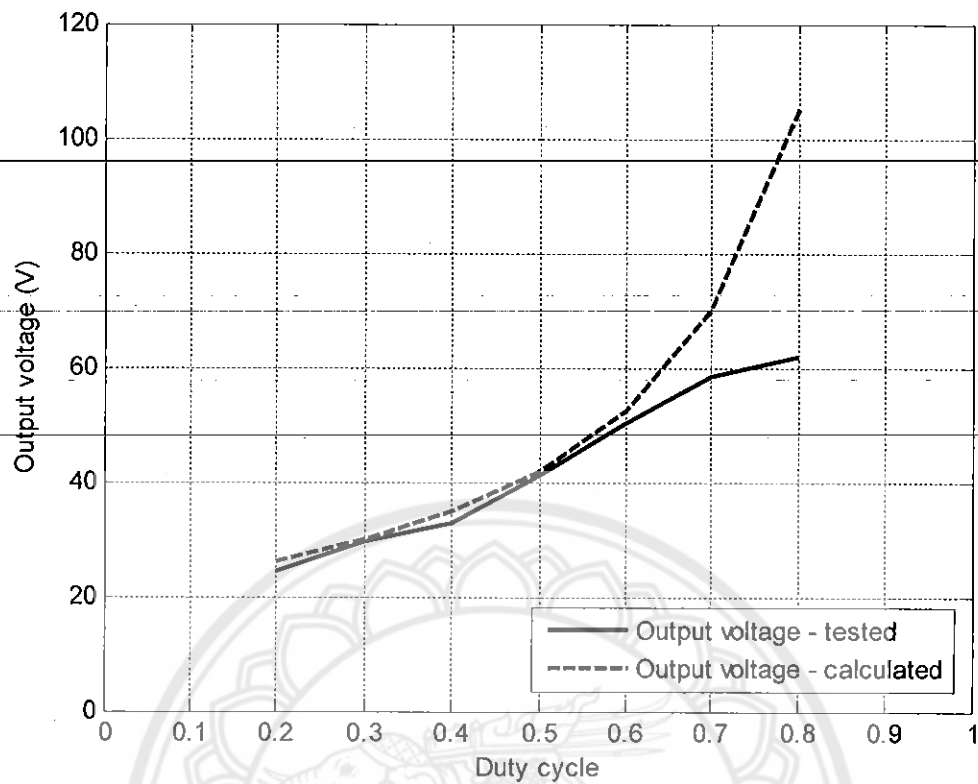
แรงดันด้านเข้า (V)	แรงดันด้านออก (V)		ความคลาดเคลื่อน (%)
	จากการทดลอง	จากทฤษฎี	
5	6.59	7.14	-7.7
10	13.84	14.28	-3.0
15	21.22	21.42	-0.9
20	27.27	28.57	-4.5

การทดสอบวงจรในลำดับถัดไป ผู้เขียน โครงการงาน ได้ตั้งค่าแรงดันด้านเข้าให้คงที่ที่ 21 V แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันด้านออก โดยปรับค่าคิตวีไซเคลิตตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.8 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กระแสด้านเข้าและแรงดันด้านออกของวงจรระดับแรงดัน

คิตวีไซเคลิต	กระแสด้านเข้า (mA)	แรงดันด้านออก (V)		ความคลาดเคลื่อนของแรงดันด้านออก (%)
		จากการทดลอง	จากทฤษฎี	
0.2	4	24.24	26.25	-7.6
0.3	8	29.72	30.00	-0.9
0.4	10	32.90	35.00	-6.0
0.5	13	41.22	42.00	-1.8
0.6	23	50.18	52.50	-4.4
0.7	54	58.47	70.00	-16.4
0.8	56	62.00	105.00	-40.9

เราจะพบว่าเมื่อคิตวีไซเคลิตมีค่าสูงขึ้น ความคลาดเคลื่อนของแรงดันด้านออกมีค่าเพิ่มขึ้น (ไม่พิจารณาเครื่องหมายลบ) โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.7 จากระยะห่างของเส้นกราฟแรงดันที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี (ค่าในอุดมคติ) กับเส้นกราฟแรงดันที่ได้จากการทดลอง เมื่อคิตวีไซเคลิตสูงกว่า 0.6 โดยมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบปรสิต (Parasitic element) ได้แก่ค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ หรือความจุไฟฟ้าที่แฝงอยู่ในอุปกรณ์ของวงจร [6]

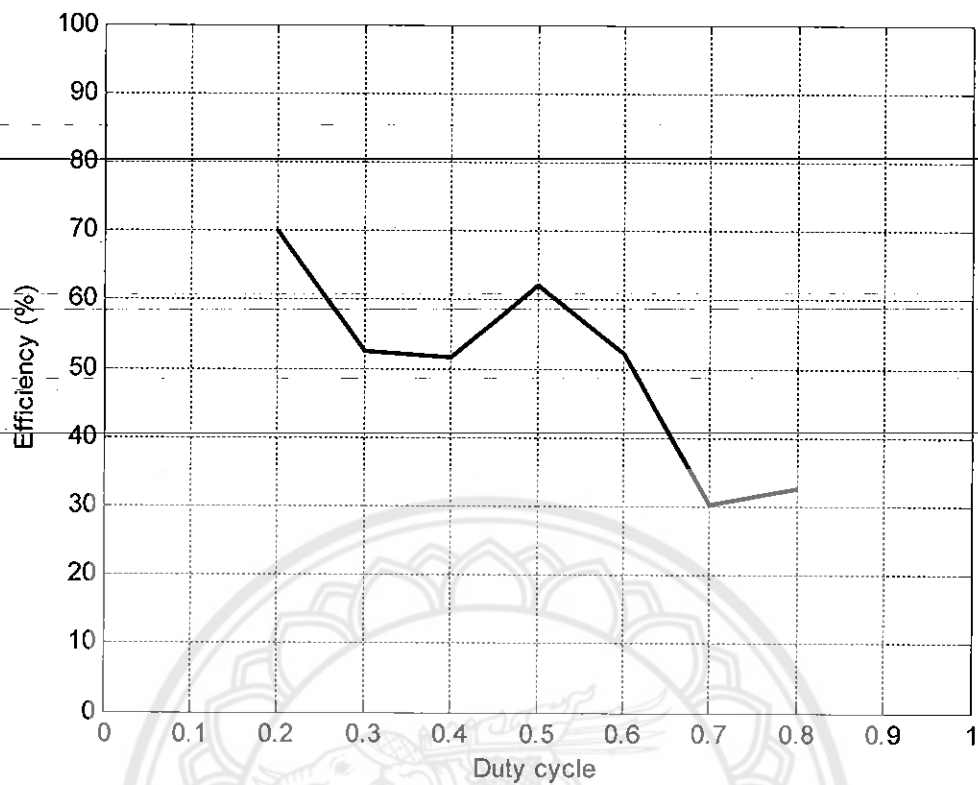


รูปที่ 4.7 ค่าแรงดันด้านออกเทียบกับคิวดั้ไซเคิลของวงจรถับระดับแรงดัน

ผลที่ได้ในตารางที่ 4.5 นำไปสู่การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออก รวมไปถึงประสิทธิภาพของวงจรซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของวงจรถับระดับแรงดัน

คิวดั้ไซเคิล	กำลังด้านเข้า (W)	กำลังด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
0.2	0.84	0.59	69.9
0.3	1.68	0.88	52.6
0.4	2.10	1.08	51.5
0.5	2.73	1.70	62.2
0.6	4.83	2.52	52.1
0.7	11.34	3.42	30.1
0.8	11.76	3.84	32.7



รูปที่ 4.8 ค่าประสิทธิภาพเทียบกับคัตวี่ไซเคิลของวงจรระดับแรงดัน

ทำนองเดียวกับวงจรทอนระดับแรงดัน จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าวงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างขึ้นในโครงการนี้มีค่าประสิทธิภาพไม่สูงนัก และขึ้นอยู่กับค่าคัตวี่ไซเคิล แต่จะเห็นว่าวงจรมีค่าประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้งานที่ค่าคัตวี่ไซเคิลสูง ในขณะที่วงจรจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อคัตวี่ไซเคิลมีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าวงจรทอนระดับแรงดันทำหน้าที่แปลงไฟลงได้ดีตลอดช่วงการทำงานตั้งแต่คัตวี่ไซเคิลมีค่า 0.2 ถึง 0.8 (รูปที่ 4.3) โดยประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับค่าคัตวี่ไซเคิลขึ้น (รูปที่ 4.4) ในขณะที่วงจรถับระดับแรงดันทำหน้าที่แปลงไฟขึ้นได้ดีในช่วงการทำงานตั้งแต่คัตวี่ไซเคิลมีค่า 0.2 ถึง 0.6 (รูปที่ 4.7) โดยประสิทธิภาพของวงจรถับระดับแรงดันจะลดลงเมื่อมีการปรับค่าคัตวี่ไซเคิลขึ้น (รูปที่ 4.8) นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของแรงดันด้านออกจะมีค่าติดลบเนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณตามทฤษฎี อันเป็นผลมาจากค่าความสูญเสียภายในอุปกรณ์ของวงจร ซึ่งไม่มีการนำมาคิดรวมเมื่อคำนวณตามทฤษฎี ดังนั้นหากนำวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรถับระดับแรงดันมาประกอบกันเป็นวงจรแปลงไฟกระแสตรงสองทิศทางเพื่ออัดและคายประจุแบตเตอรี่จะทำให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำลง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ก) การตั้งค่าคัตวี่ไซเคิลในโครงการนี้ใช้การปรับค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำให้ไม่สามารถปรับตั้งค่าคัตวี่ไซเคิลได้อย่างละเอียดและแม่นยำ ซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสร้างสัญญาณควบคุมสวิทช์

ข) วงจรทอนระดับแรงดันและวงจรถับระดับแรงดันที่สร้างขึ้นในโครงการนี้มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมตลอดช่วงการทำงานไม่สูงนัก อันอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีส่งผลกระทบต่อกำลังสูญเสียภายในสูง ดังนั้นในการสร้างวงจรแปลงไฟกระแสตรงดังกล่าวจึงควรเลือกใช้อุปกรณ์สวิทช์ ซึ่งได้แก่ สวิทช์กำลังและไดโอดที่มีค่าความต้านทานภายในต่ำและมีความเร็วสวิทช์สูงเพื่อทำให้กำลังสูญเสียขณะนำกระแสและขณะเปลี่ยนสถานะมีค่าต่ำที่สุด

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากการนำวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรทบระดับแรงดันมาประกอบกันเป็นวงจรแปลงไฟกระแสตรงสองทิศทางอาจทำให้ประสิทธิภาพรวมของวงจรลดต่ำลงเนื่องจากกำลังสูญเสียภายในอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจร ดังนั้นการออกแบบเพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ในวงจรควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่จึงน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้

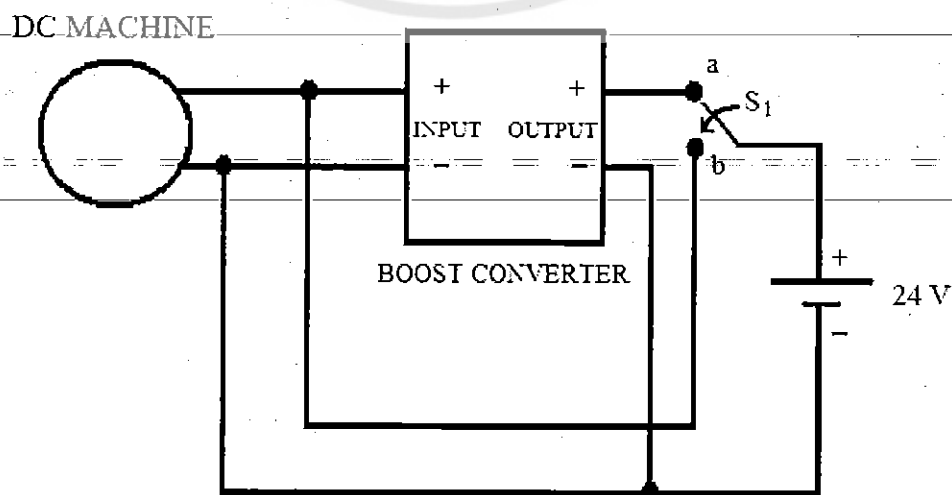
ในการนี้ผู้เขียนโครงการได้ออกแบบเพื่อพัฒนาวงจรควบคุมการอัดและคายประจุวงจรใหม่ซึ่งลดจำนวนอุปกรณ์ (เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ) และลดความยุ่งยากในการควบคุม โดยประกอบขึ้นจากวงจรแปลงไฟกระแสตรงเพื่ออัดประจุ ในขณะที่การคายประจุจะใช้การต่อแบตเตอรี่เพื่อขั้วมอเตอร์โดยตรง ซึ่งการทำงานของวงรดังกล่าวจะอธิบายได้ในหัวข้อถัดไป

5.3.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าสองระบบ

จากแนวทางการสร้างวงจรควบคุมเพื่อใช้แบตเตอรี่ขั้วมอเตอร์โดยตรง การเลือกใช้แบตเตอรี่จึงต้องสอดคล้องกับพิกัดแรงดันของเครื่องจักรกล เนื่องจากเครื่องจักรกลที่นิยมใช้ในจักรยานไฟฟ้ามีพิกัดแรงดัน 21 V ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดัน 24 V ซึ่งส่งผลต่อการเลือกชนิดของวงจรแปลงไฟกระแสตรงเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเครื่องจักรกล (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ในการนี้เราจึงเลือกใช้วงจรทบระดับแรงดัน โดยวงจรจะทำงานอยู่ในย่านที่ควิตซ์ไซเคิลมีค่า 0.2-0.27 เพื่อสร้างแรงดันในช่วง 26.4-28.8 V ซึ่งเหมาะสมกับการอัดประจุและยังสอดคล้องกับย่านการทำงานที่วงจรมีประสิทธิภาพสูง (รูปที่ 4.8)

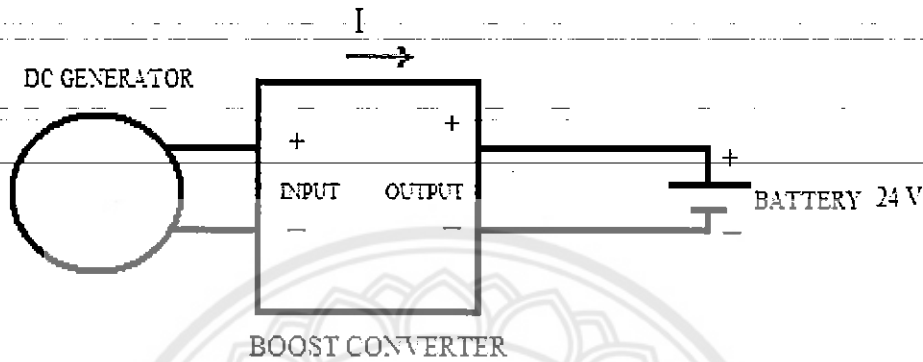
5.3.2 วงจรควบคุมการทำงานของจักรยานไฟฟ้าสองระบบ

วงจรควบคุมการอัดและคายประจุที่ได้จากการออกแบบใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 5.1



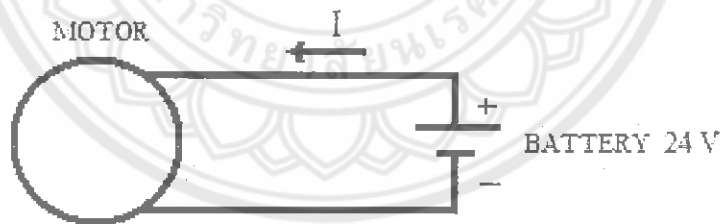
รูปที่ 5.1 วงจรควบคุมการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าสองระบบ

เมื่อต้องการอัดประจุแบตเตอรี่ วงจรจะควบคุมสวิตช์ S_1 ให้อยู่ในตำแหน่งจุด a เราสามารถวาดวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 5.2 ขณะนี้เครื่องจักรทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังผ่านวงจรทบทระดับแรงดันเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ คิวตี้ไซเคิลของสัญญาณควบคุมสวิตช์จะคำนวณจากค่าแรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา (ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วรอบของจักรยานไฟฟ้าในขณะนั้น) กับแรงดันของแบตเตอรี่



รูปที่ 5.2 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านวงจรทบทระดับแรงดัน

ถ้าผู้ใช้ไม่ต้องการออกแรงปั่นจักรยาน เราจะสามารถคายประจุแบตเตอรี่โดยการควบคุมสวิตช์ S_1 ให้อยู่ในตำแหน่งจุด b เราสามารถวาดวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 5.3 ขณะนี้เครื่องจักรทำงานเป็นมอเตอร์ เราอาจปรับคิวตี้ไซเคิลของสัญญาณควบคุมสวิตช์ได้ด้วยคันเร่งเพื่อปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาซึ่งจะส่งผลต่อความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 5.3 การใช้แบตเตอรี่ขับมอเตอร์โดยตรง

5.3.3 ชนิดของแบตเตอรี่

ในโครงการนี้ ผู้เขียนโครงการเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว ซึ่งก็จะมีข้อเสียหลัก ๆ ก็มีน้ำหนักมาก ถือเป็น การเพิ่ม โหลด ให้กับระบบ ดังนั้นหากเปลี่ยนมาใช้แบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียม (NiCd) นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH) และลิเทียม โพลีเมอร์ (Li-Po) ก็จะช่วยลดน้ำหนักของจักรยานไฟฟ้าสองระบบได้ แต่ก็ทำให้ระบบมีราคาแพงขึ้น

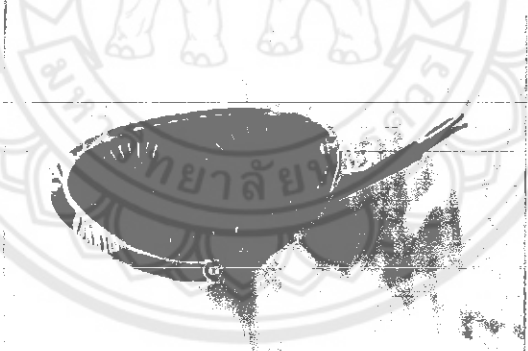
5.3.4 อุปกรณ์เสริม

ก) เราสามารถควบคุมความเร็วของจักรยานไฟฟ้าสองระบบได้ด้วยการต่อกันเร่ง (รูปที่ 5.4) เข้ากับวงจรควบคุมการคายประจุเพื่อปรับควิตีไซเคลของวงจรทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้มากขึ้น

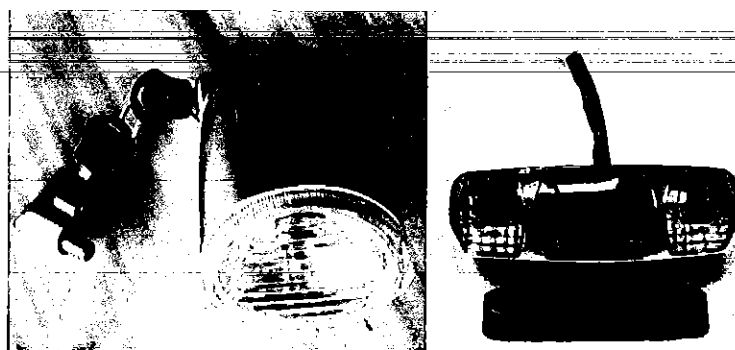


รูปที่ 5.4 คั่นเร่ง

ข) มิเตอร์วัดความเร็วและปริมาณประจุในแบตเตอรี่ (รูปที่ 5.5) ไฟหน้า ไฟท้าย และไฟเลี้ยว (รูปที่ 5.6) เพื่อรองรับการใช้งานและเพิ่มความปลอดภัยในเวลาากลางคืน



รูปที่ 5.5 มิเตอร์วัดความเร็วและวัดปริมาณประจุในแบตเตอรี่



รูปที่ 5.6 ไฟหน้า ไฟท้าย และไฟเลี้ยว

หนังสืออ้างอิง

- [1] - สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน “สถานการณ์พลังงานในปี 2550 และแนวโน้มปี 2551”, กระทรวงพลังงาน, 2550
- [2] ไชชาญ หินเกิด “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, บริษัทประชาชน, กรุงเทพฯ, 2537
- [3] P. F. Ryff “Electric Machinery”, Prentice Hall International, Inc., 1994
- [4] G. Hille, W. Roth, and H. Schmidt, “Course book for the seminar - Photovoltaic Systems”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, 1995.
- [5] กรมสรรพสามิต, “แบตเตอรี่”, สารนิเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 5, กรมสรรพสามิต, กรุงเทพฯ, 2542
- [6] N. Mohan, T. M. Undeland and W. P. Robbins “Power Electronics: converters, applications, and design”, John Wiley & Sons, 2003

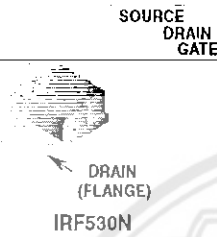




22A, 100V, 0.064 Ohm, N-Channel, Power MOSFET

Packaging

JEDEC TO-220AB



Features

- Ultra Low On-Resistance
- $r_{DS(ON)} = 0.064\Omega$, $V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
 - Temperature Compensated PSpice™ and SABER® Electrical Models
 - Spice and SABER® Thermal Impedance Models
 - www.fairchildsemi.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Symbol



Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF530N	TO-220AB	IRF530N

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	IRF530N	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DSS}	100 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100 V
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Drain Current		
Continuous ($T_C = 25^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	I_D	22 A
Continuous ($T_C = 100^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	I_D	15 A
Pulsed Drain Current	I_{DM}	Figure 4
Pulsed Avalanche Rating	UIS	Figures 6, 14, 15
Power Dissipation	P_D	85 W
Derate Above $25^\circ C$		0.57 W/°C
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 175 °C
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300 °C
Package Body for 10s, See Techbrief TB334	T_{pkg}	260 °C

NOTES:

1. $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$.

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

IRF530N

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

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OFF STATE SPECIFICATIONS						
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 11)	100	-	-	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	1	μA
		$V_{DS} = 90\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
ON STATE SPECIFICATIONS						
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	2	-	4	V
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 22\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 9)	-	0.054	0.064	Ω
THERMAL SPECIFICATIONS						
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-220	-	-	1.76	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	62	$^\circ\text{C/W}$
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10\text{V}$)						
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 22\text{A}$ $V_{GS} = 10\text{V}$, $R_{GS} = 13\Omega$ (Figures 18, 19)	-	-	75	ns
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$		-	7.9	-	ns
Rise Time	t_r		-	42	-	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	47	-	ns
Fall Time	t_f		-	39	-	ns
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	130	ns
GATE CHARGE SPECIFICATIONS						
Total Gate Charge	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 20V	-	43	52	nC
Gate Charge at 10V	$Q_{g(10)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 10V	-	23	28	nC
Threshold Gate Charge	$Q_{g(TH)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 2V	-	1.7	2	nC
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}		-	3.5	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	8.7	-	nC
CAPACITANCE SPECIFICATIONS						
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$	-	790	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}	(Figure 12)	-	215	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	70	-	pF

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Source to Drain Diode Voltage	V_{SD}	$I_{SD} = 22\text{A}$	-	-	1.25	V
		$I_{SD} = 11\text{A}$	-	-	1.00	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{SD} = 22\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	100	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$I_{SD} = 22\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	313	nC



CURRENT MODE PWM CONTROLLER

FEATURES

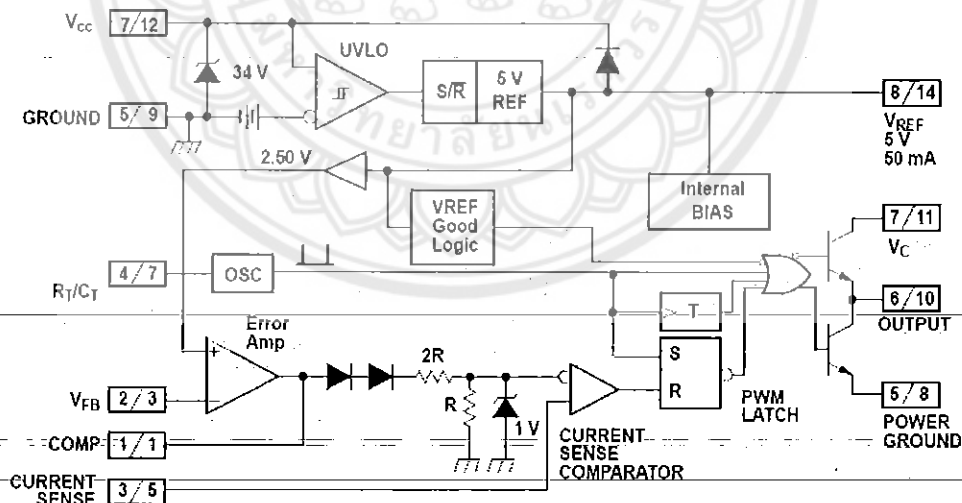
- Optimized For Off-line and DC-to-DC Converters
- Low Start-Up Current (<1 mA)
- Automatic Feed Forward Compensation
- Pulse-by-Pulse Current Limiting
- Enhanced Load Response Characteristics
- Under-Voltage Lockout With Hysteresis
- Double Pulse Suppression
- High Current Totem Pole Output
- Internally Trimmed Bandgap Reference
- 500-kHz Operation
- Low R_o Error Amp

DESCRIPTION

The UC1842/3/4/5 family of control devices provides the necessary features to implement off-line or dc-to-dc fixed frequency current mode control schemes with a minimal external parts count. Internally implemented circuits include under-voltage lockout featuring start up current less than 1 mA, a precision reference trimmed for accuracy at the error amp input, logic to insure latched operation, a PWM comparator which also provides current limit control, and a totem pole output stage designed to source or sink high peak current. The output stage, suitable for driving N-Channel MOSFETs, is low in the off state.

Differences between members of this family are the under-voltage lockout thresholds and maximum duty cycle ranges. The UC1842 and UC1844 have UVLO thresholds of 16 V_{ON} and 10 V_{OFF} , ideally suited to off-line applications. The corresponding thresholds for the UC1843 and UC1845 are 8.4 V and 7.6 V. The UC1842 and UC1843 can operate to duty cycles approaching 100%. A range of zero to 50% is obtained by the UC1844 and UC1845 by the addition of an internal toggle flip flop which blanks the output off every other clock cycle.

BLOCK DIAGRAM



Note 1: $\frac{A}{B}$ A = DIL-8 Pin Number. B = SO-14 and CFP-14 Pin Number.

Note 2: Toggle flip flop used only in 1844 and 1845.



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 the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1997-2007, Texas Instruments Incorporated

UC1842/3/4/5
 UC2842/3/4/5
 UC3842/3/4/5



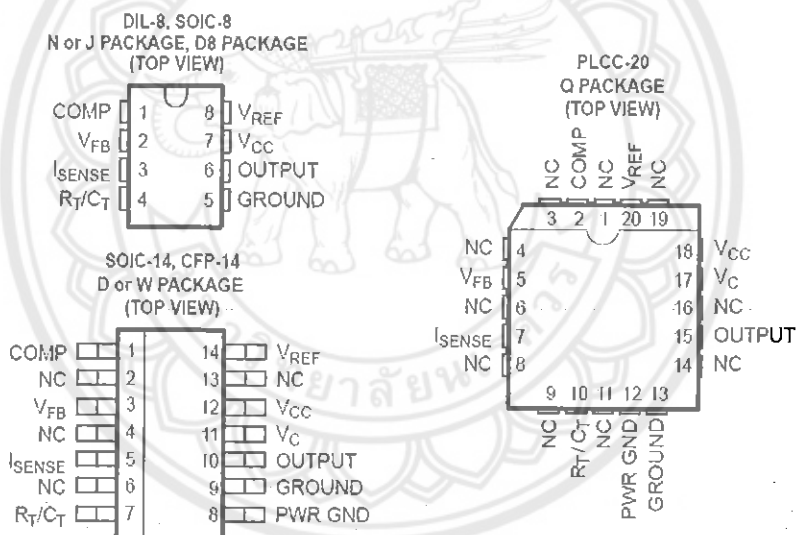
SLUS223C—APRIL 1997—REVISED JUNE 2007

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

		UNIT
Supply voltage	Low impedance source	30 V
	$I_{CC} < 30 \text{ mA}$	Self Limiting
Output current		$\pm 1 \text{ A}$
Output energy (capacitive load)		5 μJ
Analog inputs (Pins 2, 3)		-0.3 V to 6.3 V
Error amp output sink current		10 mA
Power dissipation	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ (DIL-8)	1 W
	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ (SOIC-14)	725 mW
	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ (SOIC-8)	650 mW
Storage temperature range		-65°C to 150°C
Junction temperature range		-55°C to 150°C
Lead temperature (soldering, 10 seconds)		300°C

(1) All voltages are with respect to Pin 5. All currents are positive into the specified terminal. Consult Packaging Section of Databook for thermal limitations and considerations of packages.

CONNECTION DIAGRAMS



NC - No internal connection

THERMAL CHARACTERISTICS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PACKAGE		θ_{JC}	θ_{JA}
DIL-8	J	28 ⁽¹⁾	125-160
	N	25	110 ⁽²⁾
SOIC-8	D8	42	84-160 ⁽²⁾
SOIC-14	D14	35	50-120 ⁽²⁾
CFP-14	W	5.49°C/W	175.4CAW
PLCC-20	Q	34	43-75 ⁽²⁾

(1) θ_{JC} data values stated were derived from MIL-STD-1835B.(2) Specified θ_{JA} (junction to ambient) is for devices mounted to 5 in² FR4 PC board with one ounce copper where noted. When resistance range is given, lower values are for 5 in². Test PWB was 0.062 in thick and typically used 0.635-mm trace widths for power packages and 1.3-mm trace widths for non-power packages with 100 x 100-mil probe land area at the end of each trace.**DISSIPATION RATINGS**

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A \leq 25^\circ\text{C}$	$T_A \leq 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A \leq 85^\circ\text{C}$ CPO WER RATING	$T_A \leq 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
W	700 mW	5.5 mW/°C	452 mW	370 mW	150 mW

ELECTRICAL CHARACTERISTICSUnless otherwise stated, these specifications apply for $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ for the UC184X; $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ for the UC284X; $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ for the 384X; $V_{CC} = 15\text{ V}^{(1)}$; $R_T = 10\text{ k}\Omega$; $C_T = 3.3\text{ nF}$. $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	UC1842/3/4/5 UC2842/3/4/5			UC3842/3/4/5			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
REFERENCE SECTION								
Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O = 1\text{ mA}$	4.95	5.00	5.05	4.90	5.00	5.10	V
Line Regulation	$12 \leq V_{IN} \leq 25\text{ V}$		6	20		6	20	mV
Load Regulation	$1 \leq I_O \leq 20\text{ mA}$		6	25		6	25	mV
Temp. Stability	See ⁽²⁾ / ⁽³⁾		0.2	0.4		0.2	0.4	mV/°C
Total Output Variation	Line, load, temperature ⁽²⁾	4.9		5.1	4.82		5.18	V
Output Noise Voltage	10 Hz: $f \leq 10\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}^{(2)}$		50			50		μV
Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$, 1000 Hrs ⁽²⁾		5	25		5	25	mV
Output Short Circuit		-30	-100	-180	-30	-100	-180	mA
OSCILLATOR SECTION								
Initial Accuracy	$T_J = 25^\circ\text{C}^{(4)}$	47	52	57	47	52	57	kHz
Voltage Stability	$12 \leq V_{CC} \leq 25\text{ V}$		0.2%	1%		0.2%	1%	
Temp. Stability	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}^{(2)}$		5%			5%		
Amplitude	V_{FIN} 4 peak-to-peak ⁽²⁾		1.7			1.7		V

(1) Adjust V_{CC} above the start threshold before setting at 15 V.

(2) These parameters, although specified, are not 100% tested in production.

(3) Temperature stability, sometimes referred to as average temperature coefficient, is described by the equation:

$$\text{Temp Stability} = \frac{V_{REF(\max)} - V_{REF(\min)}}{T_J(\max) - T_J(\min)}$$

 $V_{REF(\max)}$ and $V_{REF(\min)}$ are the maximum and minimum reference voltages measured over the appropriate temperature range. Note that the extremes in voltage do not necessarily occur at the extremes in temperature.(4) Output frequency equals oscillator frequency for the UC1842 and UC1843.
Output frequency is one half oscillator frequency for the UC1844 and UC1845.

UC1842/3/4/5
UC2842/3/4/5
UC3842/3/4/5



SLUS223C—APRIL 1997—REVISED JUNE 2007

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Unless otherwise stated, these specifications apply for $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$ for the UC184X; $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$ for the UC284X; $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ for the 384X; $V_{CC} = 15\text{ V}$; $R_T = 10\text{ k}\Omega$; $C_T = 3.3\text{ nF}$; $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	UC1842/3/4/5 UC2842/3/4/6			UC3842/3/4/5			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
ERROR AMP SECTION								
Input Voltage	$V_{PIN 1} = 2.5\text{ V}$	2.45	2.50	2.55	2.42	2.50	2.58	V
Input Bias Current			-0.3	-1		-0.3	-2	μA
A_{VOL}	$2 \leq V_{OS} \leq 4\text{ V}$	65	90		65	90		dB
Unity Gain Bandwidth	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ (5)	0.7	1		0.7	1		MHz
PSRR	$12 \leq V_{CC} \leq 25\text{ V}$	60	70		60	70		dB
Output Sink Current	$V_{PIN 2} = 2.7\text{ V}$, $V_{PIN 1} = 1.1\text{ V}$	2	6		2	6		mA
Output Source Current	$V_{PIN 2} = 2.3\text{ V}$, $V_{PIN 1} = 5\text{ V}$	-0.5	-0.8		-0.5	-0.8		
$V_{OUT High}$	$V_{PIN 2} = 2.3\text{ V}$, $R_L = 15\text{ k}\Omega$ to ground	5	6		5	6		V
$V_{OUT Low}$	$V_{PIN 2} = 2.7\text{ V}$, $R_L = 15\text{ k}\Omega$ to Pin 8	0.7	1.1		0.7	1.1		
CURRENT SENSE SECTION								
Gain	See (6)(7)	2.85	3	3.15	2.85	3	3.15	V/V
Maximum Input Signal	$V_{PIN 1} = 5\text{ V}$ (6)	0.9	1	1.1	0.9	1	1.1	V
PSRR	$12 \leq V_{CC} \leq 25\text{ V}$ (5)(6)		70			70		dB
Input Bias Current			-2	-10		-2	-10	μA
Delay to Output	$V_{PIN 3} = 0\text{ V}$ to 2 V (5)		150	300		150	300	ns
OUTPUT SECTION								
Output Low Level	$I_{SINK} = 20\text{ mA}$		0.1	0.4		0.1	0.4	V
	$I_{SINK} = 200\text{ mA}$		1.5	2.2		1.5	2.2	
Output High Level	$I_{SOURCE} = 20\text{ mA}$	13	13.5		13	13.5		V
	$I_{SOURCE} = 200\text{ mA}$	12	13.5		12	13.5		
Rise Time	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $C_L = 1\text{ nF}$ (5)		50	150		50	150	ns
Fall Time	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $C_L = 1\text{ nF}$ (5)		50	150		50	150	
UNDER-VOLTAGE LOCKOUT SECTION								
Start Threshold	X842/4	15	16	17	14.5	16	17.5	V
	X843/5	7.8	8.4	9.0	7.8	8.4	9.0	
Min. Operating Voltage After Turn On	X842/4	9	10	11	8.5	10	11.5	V
	X843/5	7.0	7.6	8.2	7.0	7.6	8.2	
PWM SECTION								
Maximum Duty Cycle	X842/3	95%	97%	100%	95%	97%	100%	
	X844/5	46%	48%	50%	47%	48%	50%	
Minimum Duty Cycle				0%			0%	
TOTAL STANDBY CURRENT								
Start-Up Current			0.5	1		0.5	1	mA
Operating Supply Current	$V_{PIN 2} = V_{PIN 3} = 0\text{ V}$		11	17		11	17	
V_{CC} Zener Voltage	$I_{CC} = 25\text{ mA}$	30	34		30	34		V

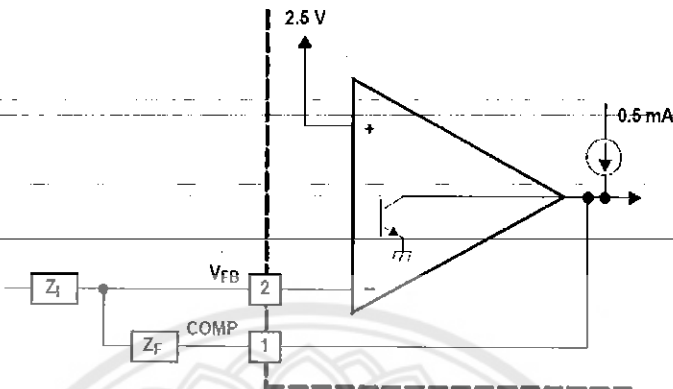
(5) These parameters, although specified, are not 100% tested in production.

(6) Parameter measured at trip point of latch with $V_{PIN 2} = 0$.

(7) Gain defined as: $A = \frac{\Delta V_{PIN 1}}{\Delta V_{PIN 3}}$, $0 \leq V_{PIN 3} \leq 0.8\text{ V}$

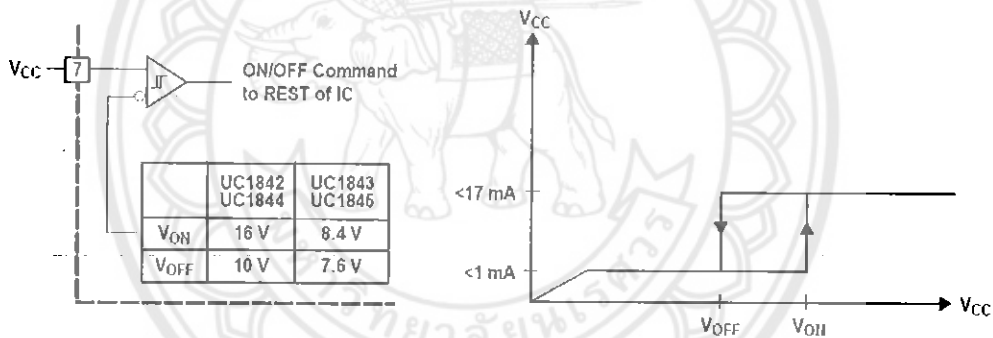
ERROR AMP CONFIGURATION

Error amp can source or sink up to 0.5 mA.



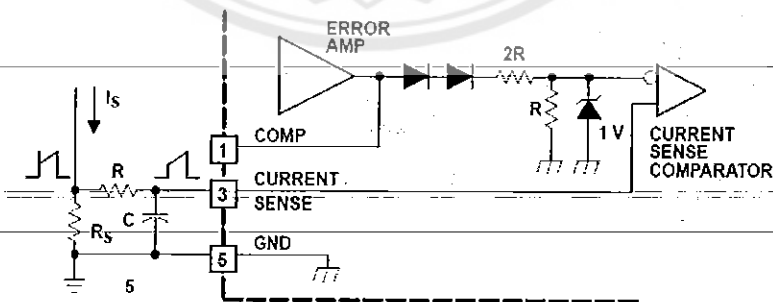
UNDER-VOLTAGE LOCKOUT

During under-voltage lock-out, the output drive is biased to sink minor amounts of current. Pin 7 should be shunted to ground with a bleeder resistor to prevent activating the power switch with extraneous leakage currents.



CURRENT SENSE CIRCUIT

A small RC filter may be required to suppress switch transients.



Peak Current (I_s) is Determined By The Formula

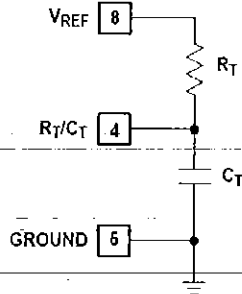
$$I_{sMAX} = \frac{1.0V}{R_S}$$

UC1842/3/4/5
 UC2842/3/4/5
 UC3842/3/4/5

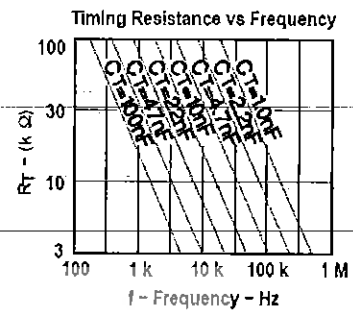
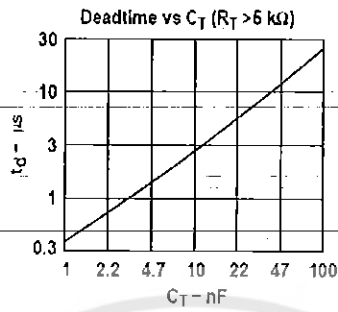
SLUS223C - APRIL 1997 - REVISED JUNE 2007



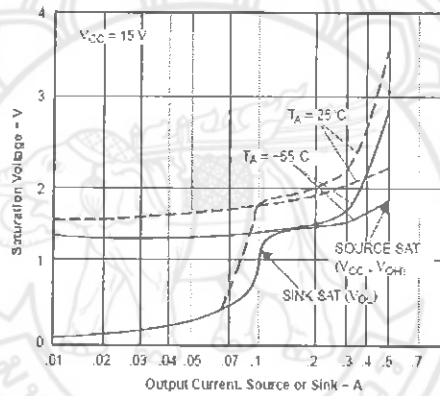
OSCILLATOR SECTION



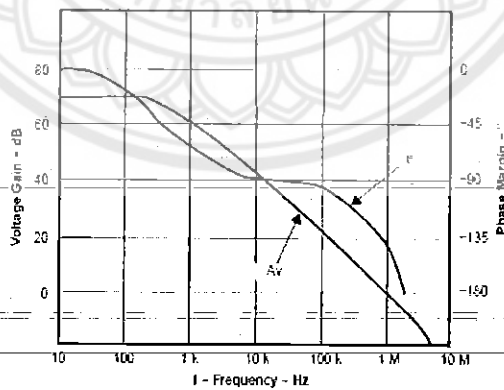
For $R_T > 5 \text{ k}\Omega$ $\sim \frac{1.72}{R_T C_T}$



OUTPUT SATURATION CHARACTERISTICS



ERROR AMPLIFIER OPEN-LOOP FREQUENCY RESPONSE



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ-นามสกุล: นายรุธิ์ บุญมาลิก

วันเกิด: 13 ตุลาคม 2530

ภูมิลำเนา: 36 หมู่ 3 ต. บ้านร้อง อ. จาง จ. ลำปาง 52110

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา: โรงเรียนคอนไซวิทยา จ. ลำปาง

มัธยมศึกษา: โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์
พะเยา จ. พะเยา

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก

Email: ruudz_jeez@hotmail.com



ชื่อ-นามสกุล: นายสุกฤษฎ์ ถานาเรือ

วันเกิด: 12 กันยายน 2529

ภูมิลำเนา: 81/1 หมู่ 8 ต. แม่่นาเรือ อ. เมือง จ. พะเยา 56000

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา: โรงเรียนอนุบาลพะเยา จ. พะเยา

มัธยมศึกษา: โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์
พะเยา จ. พะเยา

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก

Email: badyim13@hotmail.com