

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

วงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้หลักการ
หาจุดจ่ายกำลังสูงสุดสำหรับระบบจักรยานผลิตไฟฟ้า

**A Battery Charger with MPPT Feature
for Electric Generating Bicycle System**

โดย

นาย ปรีชา ศากระรังค์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2552

ชื่อเรื่อง : วงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดสำหรับระบบจักรยานผลิตไฟฟ้า

ผู้วิจัย : นายปรีชา ศาเครังค์

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : 2552

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

จำนวนหน้างานวิจัย : 42 หน้า

: ศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

คำสำคัญ : วงจรประจุแบตเตอรี่ หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด รถจักรยานผลิตไฟฟ้า

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงาน วิเคราะห์ และออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่จากระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับประเทศไทย

ขั้นตอนการทำวิจัยเริ่มจากการสร้างโครงสร้างทางกล ปรับปรุงการวัดสัญญาณ เขียน โปรแกรมการคำนวณตามหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด และโปรแกรมแสดงผลในลักษณะต่างๆ

ผลการงานพบว่า กำลังที่เข้าสู่โหลดจากวงจรประจุแบตเตอรี่ที่นำเสนอ นั้นมีค่ามากกว่าการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีต่อตรง เมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน (ประมาณ 31.72 %) และเมื่อโหลดเป็นแบตเตอรี่ (ประมาณ 76.69 %) ทั้งนี้ถ้าพิจารณากำลังที่แหล่งจ่ายจ่ายออกมาจะเห็นว่าในกรณีของโหลดเป็นตัวต้านทานกำลังที่แหล่งจ่ายมีค่าลดลงประมาณ 58.98% ส่วนในกรณีของโหลดเป็นแบตเตอรี่ที่ความเร็ว 7.55 km/h กำลังที่แหล่งจ่ายมีค่าสูงขึ้นประมาณ 82.87 %

เลขทะเบียน.....	0206292
วันลงทะเบียน.....	12 พ.ย. 2552
เลขเรียกหนังสือ.....	บ21.31242
	บ4658
	[1512]
	62

Title : A Battery Charger with MPPT Feature for Electric Generating Bicycle System

Researcher : Preecha Sakarung

Institution : Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2009

Publisher : Dhurakij Pundit University

Source : Research Center,
Dhurakij Pundit University

No. of page : 42 pages

Keywords : Battery Charger, MPPT, Electric Generating Bicycle System

Abstract

This research aims to study, analyze and design a Battery Charger with MPPT (Maximum Power Point Tracking) Feature for Electric Generating Bicycle System, which is an interesting alternative energy for Thailand.

The research begins by developing the mechanical structure, improving sensor signals, writing a computer program based on the MPPT algorithm and presenting the display mode in various styles.

The study shows that the proposed MPPT charger can transfer more load power than the direct connection scheme; that is for resistive load, the load power increases approximately 31.72 % and for battery load, it increases approximately 76.69 %. Furthermore, in considering the power at the source side, it reduces approximately 58.98 % in case of resistive load while it increases approximately 82.87 % for battery load

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นงานวิจัยที่พัฒนามาจากโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ที่ต้องทำก่อนจบการศึกษา ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โดยทำการปรับปรุงในส่วนของการควบคุมการทำงานของวงจร SEPIC ให้เป็นไปตามหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

ถึงแม้ว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นการพัฒนาแบบต่อยอด แต่การทำงานก็ยังคงมีปัญหาในหลายส่วน ทั้งที่เคยพบเจอแล้วและยังไม่เคยพบเจอตอนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าดังกล่าว เช่น การวัดสัญญาณกระแสที่มีขนาดเล็ก การควบคุมวัฏจักรงานที่ค่าสูงๆ อย่างไรก็ตามทุกปัญหาก็สามารถแก้ไขคล่องไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะผู้สร้างโปรแกรม Open Office 2.2 และ Scilab 4.1.2 ซึ่งผู้วิจัยใช้สำหรับการพิมพ์เอกสาร และวาดกราฟแสดงผลตามลำดับ

ขอขอบคุณนักศึกษาทุกคนที่ได้ร่วมทำโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ช่วยสนับสนุนไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง

ขอขอบคุณภรรยาที่ช่วยตรวจสอบไวยากรณ์ของบทความภาษาอังกฤษ และให้กำลังใจมาโดยตลอด ทั้งนี้รวมทั้งบุตรสาวที่ซุกซนด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย

3 สิงหาคม 2552

ปรีชา สาครรงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 ผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการเบื้องต้น	
2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์	4
2.1.1 หลักการทำงานพื้นฐานของอัลเทอเนเตอร์	4
2.1.2 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเทอเนเตอร์	5
2.1.3 วงจรแปลงผันกระแสตรง	6
2.1.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator)	7
2.2 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC	8
2.2.1 การทำงานในโหมด CCM	9
2.2.2 การทำงานในโหมด DCM	11
2.3 แบตเตอรี่	13
2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (lead-acid battery)	13
2.3.2 สถานะของการอัดประจุแบตเตอรี่	15
2.4 หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด	15

บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างทางกล วงจรไฟฟ้า และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	
3.1 โครงสร้างทางกล	18
3.2 วงจรไฟฟ้า	20
3.3 โปรแกรม LabVIEW	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และการปรับปรุงวงจรไฟฟ้า	
4.1 การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่	28
4.2 การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC กึ่งกลาง ระหว่างอัลเตอเนเตอร์และแบตเตอรี่	29
4.3 การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC กึ่งกลางระหว่าง ระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ (รวมทั้งแบตเตอรี่) กับโหลด	30
4.4 สรุปผลการทดลอง	39
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	40
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	40
5.3 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 สมการแสดงแรงดันและกระแสของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC	11
3.1 การประมาณค่าของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอย่างคร่าวๆ	22
3.2 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร SEPIC	23

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 (ที่มา http://www.windstreampower.com/Human_Power_Generator_Series.php)	2
1.2 (ที่มา http://www.econvergence.net/electroacc.htm)	2
1.3 (ที่มา http://pedalpowergenerator.com)	3
2.1 หลักการทำงานอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์	5
2.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นในหนึ่งคาบเวลาของอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีโรเตอร์สองขั้ว)	6
2.3 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์	6
2.4 อัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟสที่ใช้วิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่น	7
2.5 ตัวอย่างวงจรควบคุมระดับแรงดัน	8
2.6 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC	9
2.7 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ S_1 ทำงานและ D_1 ไม่ทำงาน	9
2.8 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ S_1 ไม่ทำงานและ D_1 ทำงาน	9
2.9 สวิตช์ S_1 ปิด และไดโอด D_1 หยดนำกระแส	12
2.10 สวิตช์ S_1 เปิด และไดโอด D_1 นำกระแส	12
2.11 สวิตช์ S_1 เปิด, ไดโอด D_1 หยดนำกระแส และ $(I_1 = 0)$ และ $(I_2 = 0)$	12
2.12 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอย่างง่าย	14
2.13 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีการผลิตขายกัน	14
2.14 วงจรสมมูลอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์ วงจรแปลงผันพลังงาน SEPIC และแบตเตอรี่	15
2.15 จุดจ่ายกำลังสูงสุดตามทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุดของวงจร SEPIC	15
2.16 จุดจ่ายกำลังสูงสุดเมื่อโหลดตัวต้านทานเท่ากับ 33Ω	16
2.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เมื่อ D คือค่าวัฏจักรงาน, I_C คือกระแสในคาบเวลาการทำงานปัจจุบัน และ I_p คือกระแสในคาบเวลาการทำงานก่อนหน้า	17
3.1 แบบการสร้างฐานโครงเหล็ก	19
3.2 โครงสร้างทางกลเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับฐานโครงเหล็ก	19

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่	20
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว, แรงดัน กระแส, กำลัง และเวลา ของวงจรการต่อดังรูปที่ 3.3	21
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดัน (หรือกระแส)	23
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็ว	24
3.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	24
3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจร SEPIC	24
3.9 ส่วนของ front panel	25
3.10 ส่วนของ block diagram	26
3.11 ส่วนรับส่งข้อมูลของโปรแกรมใน block diagram	27
3.12 ส่วนทำงานวนเป็นลูปของโปรแกรมใน block diagram	27
3.13 ส่วนบันทึกข้อมูลของโปรแกรมใน block diagram	27
4.1 การไหลของพลังงานเมื่อต่อตรง	28
4.2 การต่อวงจร SEPIC กึ่งกลางระหว่างอัลเตอเนเตอร์และแบตเตอรี่	29
4.3 การต่อวงจร SEPIC กึ่งกลางระหว่างระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์กับโหลด	30
4.4 การต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลด	30
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และกำลังสูญเสียของการต่อ ระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.4)	31
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส กำลัง และกำลังสูญเสียของ การต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.4)	31
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของการต่อ ระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.3)	33
4.8 การต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)	34
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)	34
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)	35
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับเวลา และกำลังเทียบกับวัฏจักรงานเมื่อให้วัฏจักรงานเปลี่ยนแปลงในช่วง 5%	36
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับเวลา และกำลังเทียบกับวัฏจักรงานเมื่อให้วัฏจักรงานเปลี่ยนแปลงในช่วง 1%	37
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของวงจรการต่อดังรูปที่ 4.3 เมื่อมีโหลดเป็นแบตเตอรี่	38
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.3)	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานมีรูปแบบที่หลากหลาย และพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปแบบไปมาระหว่างรูปแบบที่แตกต่างกันได้ การแปลงพลังงานจากแรงงานมนุษย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวอย่างหนึ่ง ที่แสดงให้เห็นความจริงดังกล่าว

เนื่องจากในปัจจุบัน อุปกรณ์ใช้งานพื้นฐานที่สำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ ส่วนมากจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการพัฒนาที่เกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า (แปลงมาจากพลังงานรูปแบบอื่น) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่หลากหลาย ภาคส่วนเอาใจใส่

การแปลงพลังงานจากแรงงานมนุษย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีการปั่นจักรยานที่ต่อเชื่อมกับอัลเทอเนเตอร์มีข้อดีเหนือกว่าวิธีการอื่นๆ คือไม่สร้างมลพิษขึ้นในกระบวนการทำงาน ช่วยเสริมสร้างสุขภาพของผู้ปั่นจักรยานให้ดีขึ้น ต้นทุนการผลิตต่ำ เคลื่อนย้ายและติดตั้งง่าย ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะให้พลังงานไม่สูงมากนัก แต่โดยรวมแล้วมีข้อดีมากกว่าโดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าและมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า (บ้างไม่มากนัก)

วิธีการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะกระทำโดยการประจุลงแบตเตอรี่ไว้ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากอัลเทอเนเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วของการปั่นจักรยานซึ่งมีความไม่แน่นอน ทำให้การประจุลงแบตเตอรี่โดยตรงไม่สามารถดึงพลังงานสูงสุดจากการปั่นจักรยานมาใช้ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการประจุนี้สามารถปรับปรุงได้โดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT)

1.2 ผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต

[1] ได้ประดิษฐ์ระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้น โดยขั้นตอนการประจุไฟฟ้าใช้การต่อตรงจากขั้วของอัลเทอเนเตอร์เข้ากับแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่ประจุเข้าแบตเตอรี่จะกระเพื่อมขึ้นลงตามความเร็วของการปั่นจักรยานที่ไม่คงที่ ทำให้ไม่สามารถประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหาในเอกสารอ้างอิง [1] การเพิ่มส่วนของวงจรประจุเข้าไปในระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ประจุเข้าแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จาก [2] ได้นำเสนอหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าคือพลังงานไฟฟ้าที่ได้ ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆ เช่น ความเข้มแสง (ในระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์) หรือ ความเร็ว (ในระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า) ดังนั้นการประยุกต์ใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดกับระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า จึงมีความเป็นไปได้ อย่างสูงที่จะทำให้ ระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าในปริมาณที่พอเพียง และเป็นในท้องที่ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าทางเลือกได้จริง

สำหรับในต่างประเทศได้มีผลิตภัณฑ์ (ระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า) จำหน่าย ดังรูปที่ 1.1 ถึงรูปที่ 1.3 ซึ่งใช้ไดนาโมแทนอัลเตอเนเตอร์เพราะมีข้อดีมากกว่า แต่ก็ทำให้ต้นทุนด้านราคาสูงขึ้นตามไปด้วย

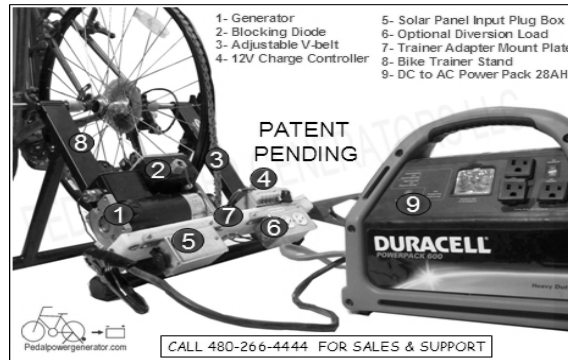


รูปที่ 1.1 (ที่มา http://www.windstreampower.com/Human_Power_Generator_Series.php)



รูปที่ 1.2 (ที่มา <http://www.econvergence.net/electroacc.htm>)

จากผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในต่างประเทศ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีไดนาโมเป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้า มีและไม่มีชุดควบคุม การประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่เหมาะสมกับรถจักรยานที่ใช้เกียร์ (ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงมากกว่ารถจักรยานที่ไม่ใช้เกียร์)



รูปที่ 1.3 (ที่มา <http://pedalpowergenerator.com>)

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการทำงาน วิเคราะห์ และออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่จากระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) ซึ่งใช้การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษา วิเคราะห์ และออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่จากระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า
2. ออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดซึ่งใช้การควบคุมจากคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW
3. โครงสร้างทางกลของโครงงานประกอบด้วยรถจักรยานแบบไม่มีเกียร์
4. พิกัดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงงานคือ 12 V 12 Ah/20 Hr
5. พิกัดของอัลเตอเนเตอร์ที่ใช้ในโครงงานคือ 12 V 45 A

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจถึงหลักการในการออกแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่จากระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT)
2. สามารถนำวงจรประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้า ไปใช้ประจุแบตเตอรี่ได้จริง โดยประยุกต์ใช้กับสถานออกกำลังกาย หรือ สนามเด็กเล่น หรือในพื้นที่ที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง

บทที่ 2

หลักการเบื้องต้น

บทนี้ประกอบด้วยหลักการพื้นฐานที่สำคัญของอุปกรณ์แต่ละส่วน ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าแต่ละส่วนมีการทำงานและเกี่ยวข้องกันได้อย่างไร องค์ประกอบของโครงการที่สำคัญได้แก่

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์
2. แบตเตอรี่
3. วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC
4. หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานทางกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าทำได้จากการเคลื่อนที่ระหว่างขดลวดและสนามแม่เหล็กที่สัมพันธ์กัน ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าหลักการนี้เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไป

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นกระแสไฟสลับในขั้นตอนแรก ก่อนทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงหรือไม่ทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงเพื่อนำไปใช้งานต่อไปดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้างๆ คือ

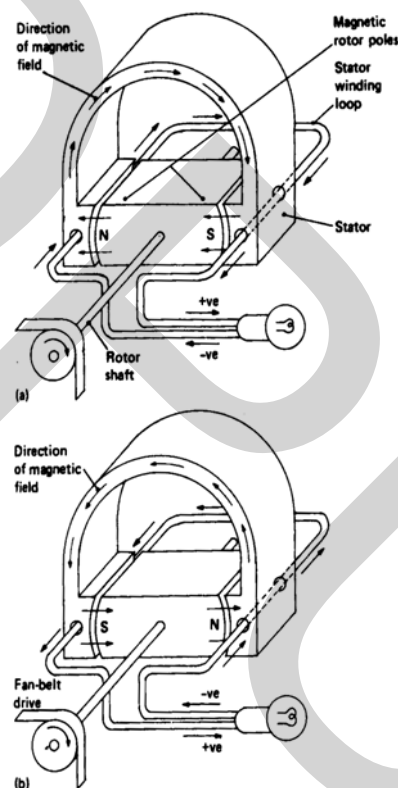
1. ไดนาโม (Dynamo) ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงโดยใช้สวิตช์ทางกลที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่า คอมมิวเตเตอร์ (commutator)
2. อัลเตอเนเตอร์ (Alternator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าต้องการทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงสามารถทำได้โดยใช้ไดโอด

หมายเหตุ เนื่องจากในโครงการนี้ใช้เฉพาะอัลเตอเนเตอร์จึงขอลำดับถึงเฉพาะอัลเตอเนเตอร์

2.1.1 หลักการทำงานพื้นฐานของอัลเตอเนเตอร์

พิจารณาหลักการทำงานอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์จากรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยลวดตัวนำที่วางผ่านทะลุโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า และต่อกับหลอดไฟภายนอกเป็นลูปเดียว แม่เหล็กถาวรที่

หมุนอยู่ระหว่างโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้าจะทำการสร้างสนามแม่เหล็กรอบๆ โครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า (แสดงด้วยเส้นลูกศรของฟลักซ์) เมื่อมีแรงขับและทำให้แม่เหล็กถาวรหมุนรอบแกนสนามแม่เหล็กในโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า จะเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขั้วของแม่เหล็กถาวรและทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในลูปของลวดตัวนำเนื่องจากเกิดแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า (induced electromotive force, e.m.f) ขึ้นที่ลวดตัวนำ ในรูปที่ 2.1 a) และ 2.1 b) แสดงทิศทางการไหลของกระแสเมื่อขั้วของแม่เหล็กถาวรอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน สำหรับการทำความเข้าใจเกี่ยวกับรูปร่างของสัญญาณที่อัลเตอเนเตอร์สร้างขึ้น จะพิจารณาได้จากรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงแรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นในหนึ่งคาบเวลาของอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีโรเตอร์สองขั้ว) สอดคล้องกับตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กถาวร

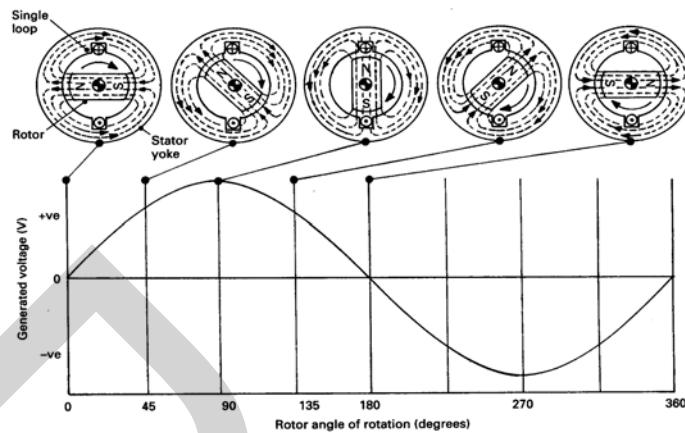


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์ [3]

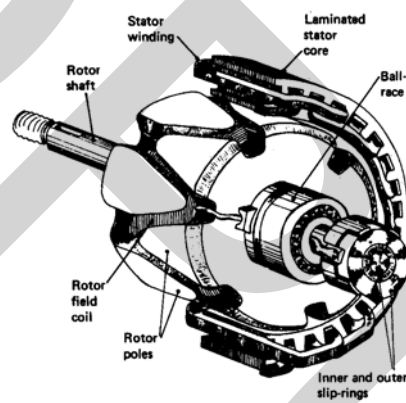
2.1.2 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์

โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์ประกอบด้วยขดลวดตัวนำพันอยู่บนโครงที่เป็นเหล็กสเตเตอร์ (stator) ซึ่งอยู่ที่ (ไม่เคลื่อนที่ตอนทำงาน) เพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดัน โรเตอร์ (ซึ่งเคลื่อนที่ตอนทำงาน) จึงสร้างโดยแบ่งเป็นสองครึ่ง แต่ละครึ่งมีหลายส่วนคล้ายขั้ว เมื่อประกอบทั้งสองครึ่งเข้าด้วยกันจะมีลักษณะคล้ายวงแหวนรอบอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีขั้วเหนือและขั้วใต้) วง

แหวนสลิบ (slip rings) เป็นทางผ่านของกระแส (มาจากเบตเตอร์) ที่ไหลเข้าและออกจากขดลวดสนามเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก รูปที่ 2.3 ประกอบ



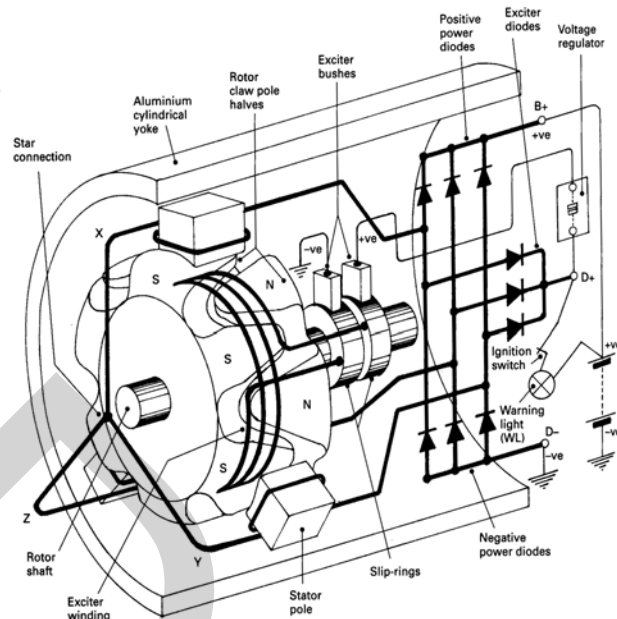
รูปที่ 2.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นในหนึ่งคาบเวลาของอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีโรเตอร์สองขั้ว) [3]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์ [3]

2.1.3 วงจรแปลงผันกระแสตรง

แรงดันไฟสลับที่ได้จากอัลเตอเนเตอร์ไม่เหมาะสมต่อการอัดประจุแบตเตอรี่ไฟตรง จึงต้องทำการแปลงผันกระแสตรงโดยใช้ไดโอด เนื่องจากวิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่น (full-wave rectification) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการแปลงผันแบบครึ่งวงคลื่น (half-wave rectification) ดังนั้นวิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่นจึงได้รับความนิยมมากกว่า นอกจากนี้อัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟส จะสามารถแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการกระเพื่อมของแรงดันที่เกิดจากอัลเตอเนเตอร์แบบหนึ่งเฟสได้ อีกทั้งอัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟสจะให้กำลังที่มากกว่าอัลเตอเนเตอร์แบบหนึ่งเฟสด้วย ตัวอย่างอัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟสที่ใช้วิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อัลเทอเนเตอร์แบบสามเฟสที่ใช้วิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่น [3]

2.1.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator)

อัลเทอเนเตอร์อย่างง่ายจะใช้โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งแรงดันที่สร้างขึ้นจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงต่อความเร็วของการหมุนของโรเตอร์ ทั้งนี้เพราะขนาดของแรงดันที่เหนี่ยวนำในขดลวดสเตเตอร์จะเป็นสัดส่วนต่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก และอัตราที่เส้นฟลักซ์แม่เหล็กตัดขดลวดตัวนำ ดังนั้นอัลเทอเนเตอร์อย่างง่ายนี้จะไม่มีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่สร้างขึ้น ถ้าความเร็วของโรเตอร์เพิ่มขึ้น อาจเกิดความเสียหายที่ขดลวดจากการไหม้ได้ นอกจากนี้แบตเตอรี่และอุปกรณ์ภายในรถยนต์อาจได้รับความเสียหาย

เอาต์พุตของอัลเทอเนเตอร์สามารถควบคุมได้ โดยการแทนโรเตอร์ที่เป็นสนามแม่เหล็กถาวรด้วยโรเตอร์เหล็กอ่อนและขดลวดสนาม (field winding) ที่พันรอบแกนของโรเตอร์ ซึ่งบางครั้งเรียกว่าขดลวดกระตุ้น (excitation winding) ขดลวดนี้ได้รับกระแสตอนเริ่มต้นจากแบตเตอรี่และกระแสตอนทำงานจากไดโอดกระตุ้น (กระแสจากขดลวดสเตเตอร์) ผ่านวงแหวนสลิปและแปรงถ่าน เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดสนาม ฟลักซ์สนามแม่เหล็กไม่ถูกสร้างขึ้น ทำให้ไม่มีการสร้างแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นขณะโรเตอร์หมุน ถ้ามีการจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนาม ฟลักซ์สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้น (โรเตอร์จะมีขั้วแม่เหล็กคล้ายแม่เหล็กถาวร) และมีการสร้างแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นขณะโรเตอร์หมุน ถ้าจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนามมากขึ้น แรงดันที่เหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้น ในทำนองกลับกันแรงดันที่เหนี่ยวนำจะลดลง เมื่อจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนามลดลง ดังนั้นการควบคุม

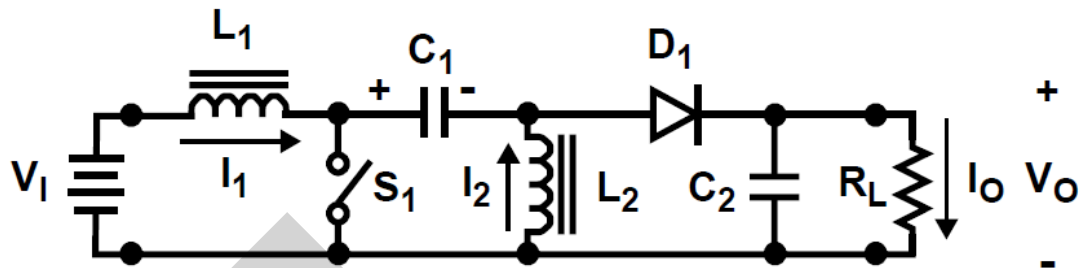
ในทางปฏิบัติกระแสนามจะควบคุมได้จากคัตวจร และต่อวงจรของวงจรสนาม (ให้กระแสไหลหรือไม่ไหล) โดยใช้อุปกรณ์สวิตซ์ เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง ตัวอย่างวงจรควบคุมระดับแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.5



คำว่า SEPIC ย่อมาจาก Single-Ended Primary Inductance Converter วงจรนี้พัฒนาขึ้นครั้งแรกที่ AT&T Bell Laboratories ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1970 [4] โดยมีเป้าหมายที่จะสร้างวงจรแปลง-ผันกระแสตรงรูปแบบใหม่ ที่มีความสามารถในการเพิ่มหรือลดทอนแรงดันที่เอาต์พุตโดยไม่กลับขั้ว และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเป็นฟังก์ชันของแรงดันอินพุตและวัฏจักรงาน (Duty Cycle, D) ของสวิตช์ นอกจากนี้ด้วยลักษณะรูปแบบของวงจรที่อุปกรณ์สวิตช์มีศักย์ไฟฟ้าเทียบกับกราวด์ (non-isolated) ทำให้ไม่ต้องใช้หม้อแปลงในการควบคุมการขับสวิตช์

8

ความสะดวกในการอ้างอิงจึงกำหนดให้ Continuous Current Mode, CCM และ Discontinuous Current Mode, DCM แทนโหมดการทำงานของกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่มีความต่อเนื่อง และ โหมดการทำงานของกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่ไม่ต่อเนื่องตามลำดับ

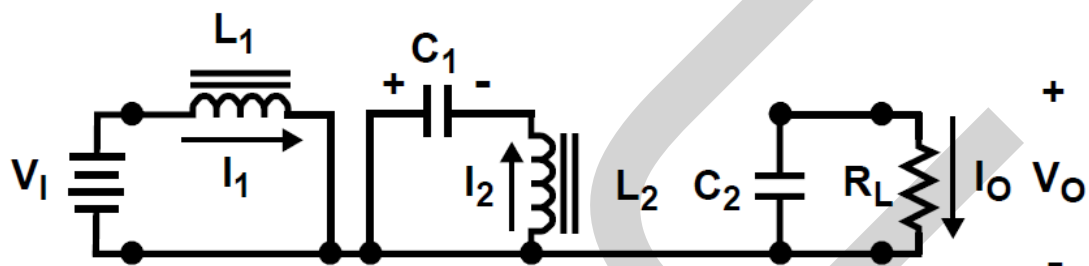


รูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC [4]

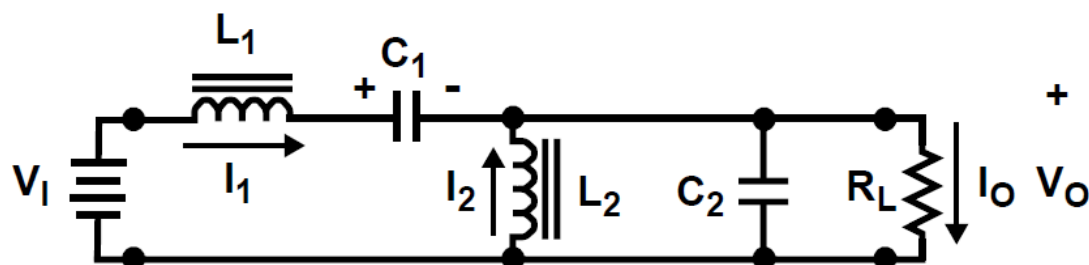
2.2.1 การทำงานในโหมด CCM

สำหรับการวิเคราะห์นี้ จะสมมติให้ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวคือ C_1 และ C_2 มีขนาดใหญ่เพียงพอที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมที่ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีค่าต่ำ จากการวนลูปไฟตรง (กำหนดให้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับศูนย์) โดยเริ่มต้นจาก V_1 ผ่าน L_1 , C_1 , L_2 ซึ่งจะได้ $V_{C1} = V_1$

วงจร SEPIC สามารถแบ่งออกได้เป็นสองวงจรตามการทำงานของสวิตช์คือ วงจรดังรูปที่ 2.7 เมื่อ S_1 ทำงานและ D_1 ไม่ทำงาน และ วงจรดังรูปที่ 2.8 เมื่อ S_1 ไม่ทำงานและ D_1 ทำงาน



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ S_1 ทำงานและ D_1 ไม่ทำงาน [4]



รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ S_1 ไม่ทำงานและ D_1 ทำงาน [4]

เมื่อสวิตช์ S_1 ปิด L_1 ต่อขนานกับ V_I และแหล่งจ่ายจะจ่ายกระแส I_1 เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานเก็บอยู่ที่ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ขณะที่ C_1 ต่อขนานกับ L_2 ทำให้กระแส I_2 เพิ่มขึ้นและทำให้พลังงานใน C_1 ถ่ายโอนไปเก็บที่ตัวเหนี่ยวนำ L_2 ส่วนตัวเก็บประจุ C_2 จะรักษาให้กระแส I_O คงที่

เมื่อสวิตช์ S_1 เปิด พลังงานใน L_1 จะถ่ายโอนไปให้ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 และพลังงานใน L_2 จะถ่ายโอนไปให้ตัวเก็บประจุ C_2

สำหรับโหมด CCM พลังงานยังคงค้างอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 ($I_1, I_2 \neq 0$) ที่ท้ายสุดของคาบเวลาการทำงานสวิตช์ สวิตช์ S_1 จะปิดอีกครั้งและวัฏจักรจะดำเนินต่อไป

เมื่อนิยามให้อัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตดังสมการ(2-1)

$$M = \frac{V_O}{V_I} \quad (2-1)$$

และวัฏจักรงานดังสมการ(2-2)

$$D = \frac{t_{ON}}{T} \quad (2-2)$$

เมื่อ t_{ON} คือเวลาที่สวิตช์ S_1 ทำงาน (ปิด) และ $T = 1/f_s$ คือคาบเวลาการสวิตช์ โดย f_s คือความถี่ของการสวิตช์

จาก [4] ได้แสดงสมการที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรที่จำเป็นเพื่อใช้สร้างวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้และเพื่อทำความเข้าใจต่อไปจึงขอยกสมการบางส่วนมาแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยสมมุติว่าตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 มีค่าสูงเพียงพอที่ทำให้กระแสกระเพื่อมเพียงเล็กน้อย จากตารางที่ 2.1 จะได้ว่าแรงดันและกระแสใดๆ ในวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เป็น ฟังก์ชันของตัวแปร M , V_O และ I_O

ขอบการทำงานระหว่าง CCM และ DCM ของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ตัวต้านทานโหลด ($R_L = V_O/I_O$), f_s และ M สำหรับค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติของ L_1 และ L_2 คือ

$$L_{1C} = \left[\frac{1}{2f_s(M^2 + M)} \right] R_L \quad (2-3)$$

$$L_{2C} = \left[\frac{1}{2f_s(M + 1)} \right] R_L \quad (2-4)$$

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงกว่าค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติ ทำให้วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด CCM แต่ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำกว่าค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติ ทำให้วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด DCM

ตารางที่ 2.1 สมการแสดงแรงดันและกระแสของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC [4]

M	V_O/V_I
D	$\frac{M}{M+1}$
M	$\frac{D}{1-D}$
$(I_1)_{RMS}$	MI_O
V_{L1}	$V_O, M \geq 1$ and $V_O/M, M \leq 1$
V_{S1}	$\left[\frac{M+1}{M}\right]V_O = V_O + V_I$
$(I_{S1})_{AVG}$	MI_O
$(I_{S1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M^2+M}$
V_{C1}	$V_O/M = V_I$
$(I_{C1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M}$
V_{L2}	$V_O, M \geq 1$ and $V_O/M = V_I, M \leq 1$
$(I_2)_{RMS}$	I_O
V_{D1}	$\left[\frac{M+1}{M}\right]V_O = V_O + V_I$
$(I_{D1})_{AVG}$	I_O
$(I_{D1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M+1}$
V_{C2}	V_O
$(I_{C2})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M}$

2.2.2 การทำงานในโหมด DCM

เมื่อสมมติให้ $L_2/L_1 = M$ และตัวเหนี่ยวนำทั้งสองหุ้ดนำกระแสพร้อมกัน การทำงานในโหมด DCM แสดงได้ดังรูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 จากรูปที่ 2.9 ที่เวลา $t=0$ คือจุดที่สวิตช์ S_1 ปิด ขณะที่เวลาก่อนหน้า ($I_1 = 0$) และ ($I_2 = 0$) ดังนั้นกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสวิตช์ S_1 เปิดดังรูปที่ 2.10 ที่จุดนี้พลังงานในตัวเหนี่ยวนำจะส่งไปยังเอาต์พุต เมื่อกระแสในตัวเหนี่ยวนำตกเข้าสู่ศูนย์ ไดโอด D_1 หุ้ดนำกระแส ไม่มีกระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำเพราะแรงดันที่ตัวเก็บประจุหักล้างกับแรงดัน V_I

จะได้สมการสำหรับ D และ M คือ

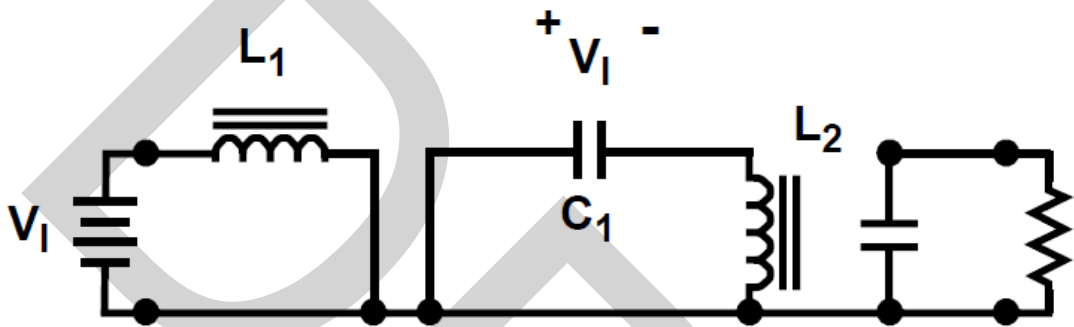
$$D = \sqrt{2\tau_L \left(\frac{M^3}{M+1} \right)} \quad (2-5)$$

เมื่อ $\tau_L = \frac{fsL_1}{R_L}$ (2-6)

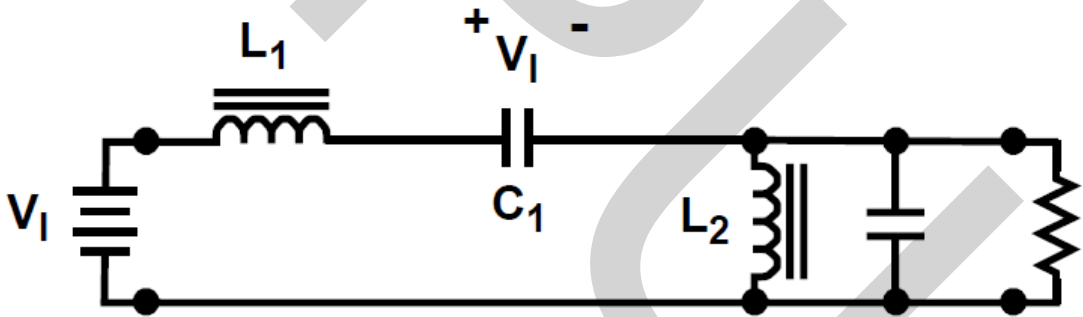
สมการ (2-5) จะถูกต้องเมื่อ $D < 1$ เท่านั้น จากเงื่อนไขนี้ทำให้กำหนดค่าขอบสูงสุดของ τ_L ได้

$$\tau_L|_{MAX} = \frac{M+1}{2M^3} \quad (2-7)$$

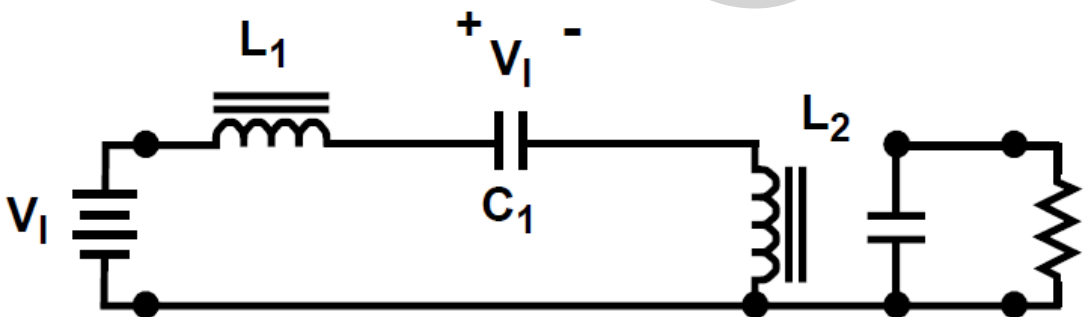
ค่าของ τ_L ที่มากกว่าค่าขอบนี้หมายความว่าวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด CCM



รูปที่ 2.9 สวิตช์ S_1 ปิด และไดโอด D_1 หยุดนำกระแส [4]



รูปที่ 2.10 สวิตช์ S_1 เปิด และไดโอด D_1 นำกระแส [4]



รูปที่ 2.11 สวิตช์ S_1 เปิด, ไดโอด D_1 หยุดนำกระแส และ $(I_1 = 0)$ และ $(I_2 = 0)$ [4]

2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีหน้าที่เก็บพลังงาน(charging) ซึ่งอยู่ในรูปแบบทางเคมี ที่เมื่อถ้าต้องการพลังงาน แบตเตอรี่สามารถแปลงพลังงานที่เก็บไว้ไปเป็นพลังงานทางไฟฟ้าได้ (ในกระบวนการคายประจุ (discharging))

พลังงานไฟฟ้าสร้างขึ้นได้ เมื่อนำเอาสารทางไฟฟ้าเคมีสองชนิดที่แตกต่างกันจุ่มลงในของเหลว ตัวนำที่รู้จักกันคืออิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) จำลองเป็นเซลล์ไฟฟ้าซึ่งจะกำเนิดกระแสไฟตรงได้ เมื่อต่อครบวงจร

เซลล์แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดปฐมภูมิและชนิดทุติยภูมิ โดยเซลล์ชนิดปฐมภูมิไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือไม่สามารถอัดประจุ (charging) ใหม่ได้

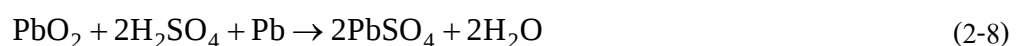
ชนิดของสารที่ทำเป็นเซลล์แบตเตอรี่ในทางการค้ามีแตกต่างกันหลายชนิด ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะแต่ชนิดตะกั่วกรดเท่านั้น เพราะเป็นชนิดที่ใช้ในโรงงานนี้

2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (lead-acid battery)

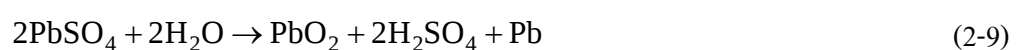
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งประกอบด้วยแผ่นตะกั่วสองแผ่นที่มีขั้วต่ออยู่ และแช่อยู่ในภาชนะที่บรรจุสารละลายกรดซัลฟิวริก (sulphuric acid) เมื่อต่อขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ เข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแผ่นตะกั่วด้านหนึ่ง ไปสู่แผ่นตะกั่วอีกด้านหนึ่ง หลังจากเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง แผ่นตะกั่วขั้วบวกที่เรียกว่าขั้วแอนโอดจะมีสีน้ำตาลเข้ม (ตะกั่วเปอร์ออกไซด์, PbO_2) บนผิวหน้าของแผ่น แต่แผ่นตะกั่วขั้วลบที่เรียกว่าขั้วแคโทดยังคงมีสีเทา (Pb) การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่าการอัดประจุ

ถ้านำเอาแบตเตอรี่ไปจ่ายกระแสให้กับวงจรหลอดไฟ (ในกระบวนการคายประจุ, discharging) กระแสจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ หรือกระแสไหลกลับทางกับกระบวนการอัดประจุ หลังจากเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งเมื่อกระบวนการทางเคมีเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ แผ่นตะกั่วจะเปลี่ยนกลับมาเป็นตะกั่วเหมือนเดิม (ไม่มีพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ในรูปแบบทางเคมี)

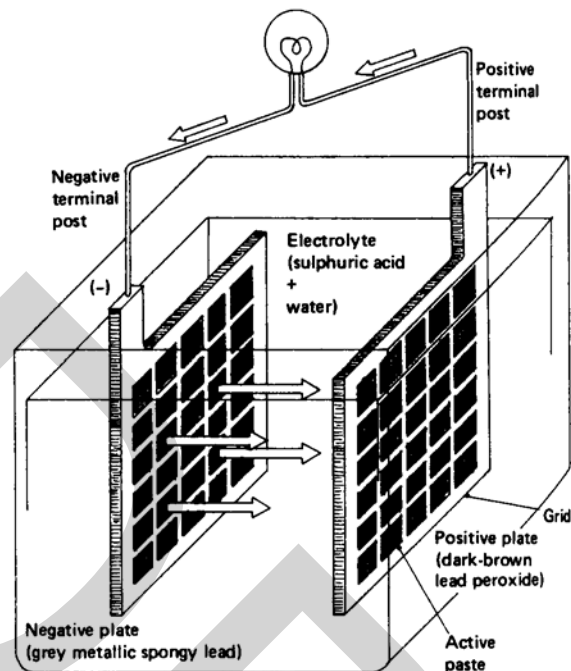
กระบวนการคายประจุ เริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้แผ่นขั้วบวกและลบกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) และน้ำกรดเจือจางก็กลายเป็นน้ำ (H_2O) สมการทางเคมีที่ใช้อธิบายกระบวนการคายประจุแสดงดังสมการ (2-8)



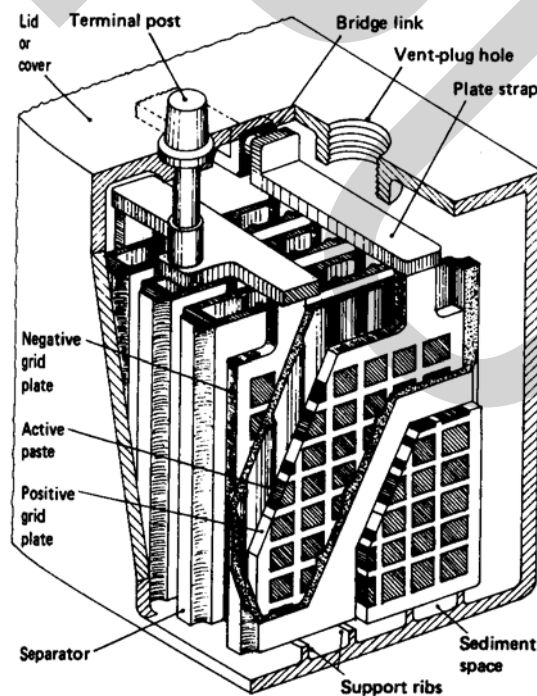
เมื่อนำเอาแบตเตอรี่ที่ไม่มีไฟแล้ว มาอัดประจุใหม่ อนุภาคซัลเฟตที่จับอยู่ที่ขั้วบวกและลบจะหลุดมาละลายในน้ำกรด กระบวนการอัดประจุแสดงดังสมการ (2-9)



โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.12 และแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีการผลิตขายกันแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอย่างง่าย [3]



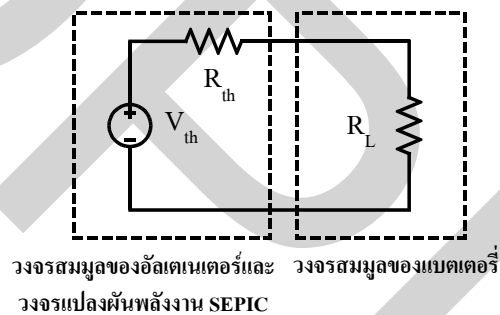
รูปที่ 2.13 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีการผลิตขายกัน [3]

2.3.2 สถานะของการอัดประจุแบตเตอรี่

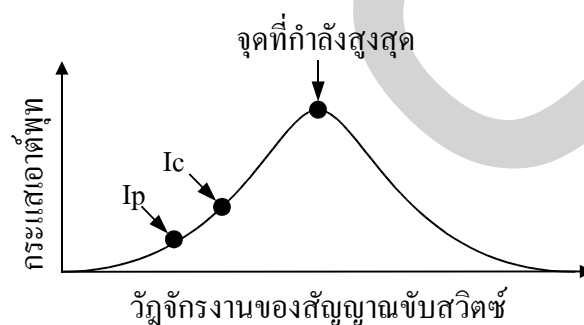
สถานะของการอัดประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปมี 3 สถานะคือ สถานะการประจุแบตเตอรี่ใหม่ (bulk charge) ในสถานะนี้จะทำการอัดประจุด้วยกระแสสูงสุด จนกระทั่งแรงดันที่แบตเตอรี่ใกล้เต็ม แรงดันที่ใช้ประมาณ 14.2 ถึง 14.7 V ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ถัดมาสถานะการประจุแบตเตอรี่แบบดูดกลืน (absorption charge) คือสถานะที่แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ยังคงมีค่าคงที่ แต่กระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าลดลง ในสถานะการประจุแบตเตอรี่แบบทรงตัวซึ่งเป็นสถานะสุดท้ายของการอัดประจุเกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่จะลดลง

2.4 หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

จากทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุด (กระแสตรง) ใน [5] สรุปได้ว่า กำลังที่โหลดตัวต้านทานจะมีค่าสูงสุดต่อเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายในสมมูลของวงจร SEPIC ร่วมกับอัลเทอร์เนเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลอย่างง่ายของอัลเทอร์เนเตอร์ วงจรแปลงผันพลังงาน SEPIC และแบตเตอรี่



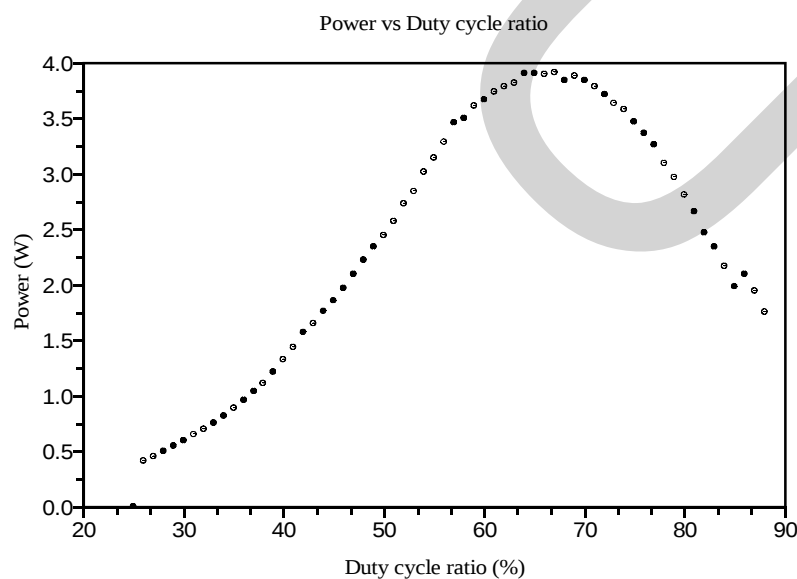
รูปที่ 2.15 จุดจ่ายกำลังสูงสุดตามทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุดของวงจร SEPIC

ในกรณีนี้ (การอัดประจุแบตเตอรี่) แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าคงที่ ดังนั้นถ้ากระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าสูงสุด ก็จะทำให้กำลังที่โหลดหรือแบตเตอรี่มีค่าสูงสุดด้วย จาก [2] ได้แสดงแนวคิด

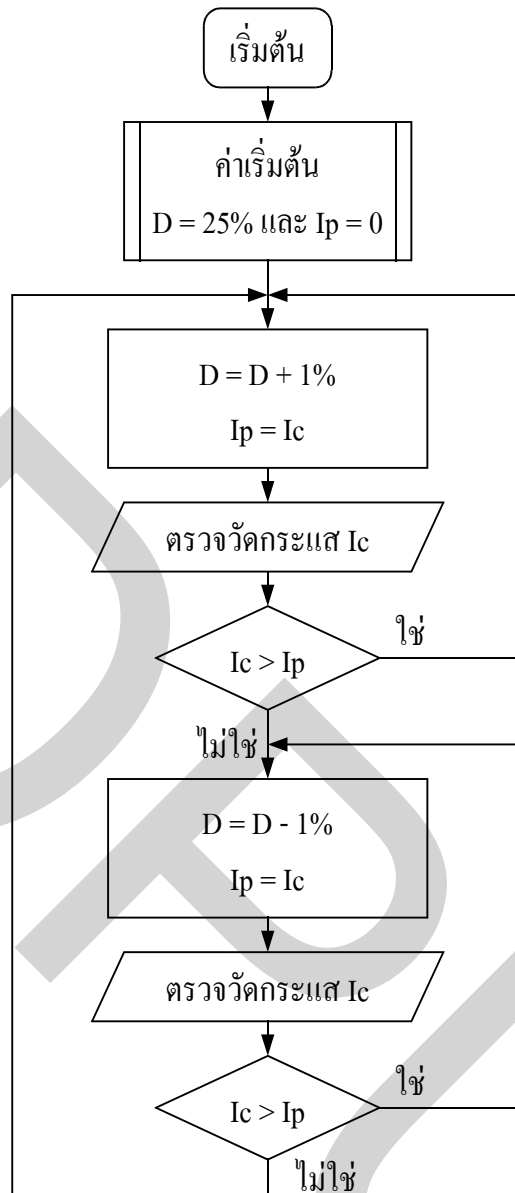
ของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุตกับวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์ของวงจร SEPIC ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.15 และจากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์ที่เหมาะสมจะทำให้ได้กระแสเอาต์พุตสูงที่สุดหรือจุดจ่ายกำลังสูงสุดตามทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุด จากหลักการดังกล่าวนี้ แบตเตอรี่สามารถที่จะดึงพลังงานจากอัลเตเนเตอร์เข้าสู่แบตเตอรี่ที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมาใช้งานได้

สำหรับการควบคุมเพื่อให้ได้กระแสสูงสุด ทำได้โดยการควบคุมค่าวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์เป็นลำดับขั้นตอนดังนี้ จากการเปรียบเทียบกระแสเอาต์พุตที่ตรวจวัดในคาบเวลาการทำงานปัจจุบัน (I_C) และกระแสเอาต์พุตที่ตรวจวัดในคาบเวลาการทำงานก่อนหน้า (I_P) ถ้าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นบวก ($I_C - I_P > 0$) ตัวควบคุม (ซึ่งในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรม LabVIEW) ก็จะสั่งให้วัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทำงานจะวนซ้ำเป็นวงไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ ($I_C - I_P < 0$) ตัวควบคุมก็จะสั่งให้วัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์มีค่าลดลงทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทำงานจะวนซ้ำเป็นวงเช่นเดียวกัน (ถ้ายังพบว่าค่ากระแสเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้น ($I_C > I_P$)) จนกระทั่งพบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ ($I_C < I_P$) เงื่อนไขของการควบคุมก็จะกลับไปอยู่ที่ขั้นตอนแรก (คือถ้าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นบวก ($I_C - I_P > 0$) ใหม่ และการทำงานจะเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.17

จากผลการทดสอบ โดยปรับวัฏจักรงาน (25% ถึง 88%) กับโหลดตัวต้านทานเท่ากับ $33\ \Omega$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ผลลัพธ์เป็นที่ยืนยันได้ว่าหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด สามารถหาได้โดยการปรับวัฏจักรงาน (เมื่อกำลังสูงสุดที่โหลดคือ $3.91\ \text{W}$ ซึ่งเกิดจากการปรับวัฏจักรงานเท่ากับ 67%)



รูปที่ 2.16 จุดจ่ายกำลังสูงสุดเมื่อโหลดตัวต้านทานเท่ากับ $33\ \Omega$



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เมื่อ D คือค่าวัฏจักรงาน, I_C คือกระแสในคาบเวลาการทำงานปัจจุบัน และ I_P คือกระแสในคาบเวลาการทำงานก่อนหน้า

บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้างทางกล วงจรไฟฟ้า และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างทางกายภาพ และโปรแกรมการควบคุมที่เชื่อมโยงโครงสร้างทางกายภาพกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านโปรแกรม LabVIEW โดยเริ่มต้นจากการอธิบายรายละเอียดเป็นหัวข้อๆ ตามลำดับดังนี้

1. โครงสร้างทางกล
2. วงจรไฟฟ้า (วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC และวงจรตรวจวัด)
3. โปรแกรม LabVIEW (ที่ใช้ควบคุมการอัดประจุ และแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์)

3.1 โครงสร้างทางกล

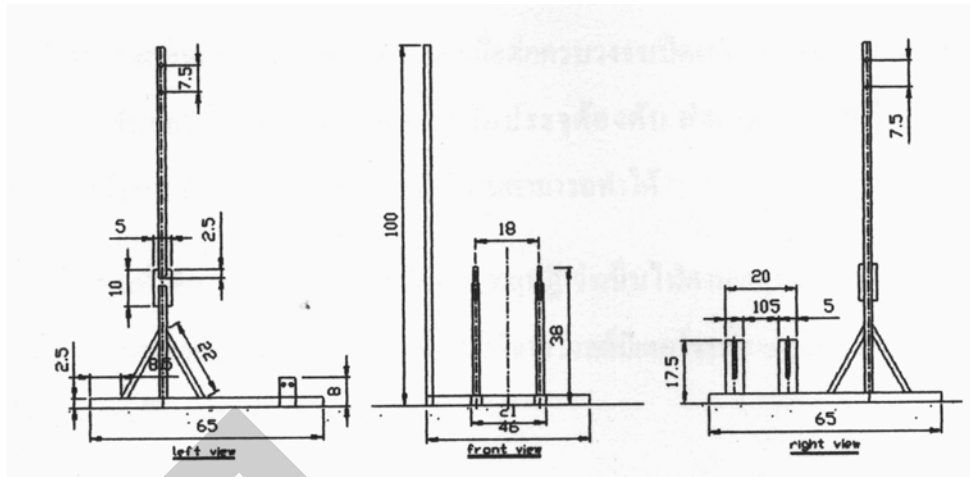
โครงสร้างทางกลคือ การประกอบอุปกรณ์แต่ละส่วนให้เป็นชิ้นผลงานรวมที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากการปั่นจักรยานของมนุษย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย

1. รถจักรยานไม่มีเกียร์ทดขนาดล้อ 24 นิ้ว
2. อัลเตอเนเตอร์ ชนิด 3 phase alternating current commutating, 12 V 45 A
3. แบตเตอรี่รุ่น 12 V 12 Ah/20 Hr
4. ตัวตรวจวัดความเร็วรอบรุ่น 200ASKS5VM
5. ฐานโครงเหล็กที่ยึดอุปกรณ์แต่ละส่วน

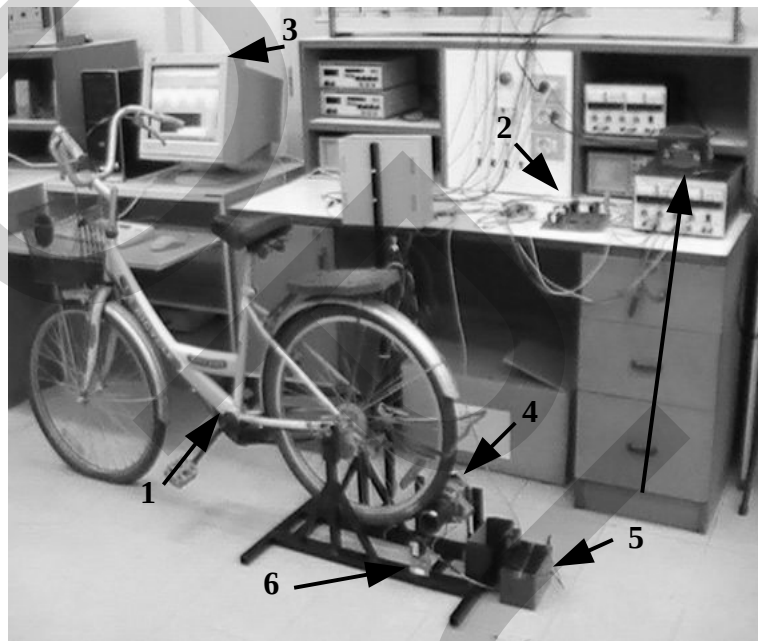
แบบการสร้างฐานโครงเหล็กที่ยึดอุปกรณ์แต่ละส่วนอย่างคร่าวๆ แสดงดังรูปที่ 3.1 [6] เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับฐานโครงเหล็กที่ยึดอุปกรณ์แต่ละส่วนแล้วเสร็จ จะได้โครงสร้างทางกลแสดงดังรูปที่ 3.2

ล้อรถจักรยานกับล้อหมุนของตัวตรวจวัดมีอัตราทดรอบเป็น 1 ต่อ 64 และตัวตรวจวัดความเร็วจะกำเนิดสัญญาณพัลส์ 200 พัลส์ต่อ 1 รอบการหมุน ดังนั้นเมื่อล้อหมุน 1 รอบจะเกิดสัญญาณพัลส์ 12800 พัลส์ จากการวัดสัญญาณพัลส์ในช่วงเวลา 1 วินาที จึงสามารถนำมาคำนวณความเร็วได้ดังสมการ (3-1)

$$\text{speed (km/h)} = (\text{number of pulse}) * 5.4 * 10^{-4} \quad (3-1)$$



รูปที่ 3.1 แบบการสร้างฐานโครงเหล็ก [6]



รูปที่ 3.2 โครงสร้างทางกลเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับฐานโครงเหล็ก

ในรูปที่ 3.2 คือโครงสร้างทางกลเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับฐานโครงเหล็กเรียบร้อยแล้ว สามารถแบ่งพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ได้ดังนี้

หมายเลข 1 คือ รถจักรยาน

หมายเลข 2 คือ วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC

หมายเลข 3 คือ คอมพิวเตอร์

หมายเลข 4 คือ อัลเตอร์เนเตอร์

หมายเลข 5 คือ แบตเตอรี่

หมายเลข 6 คือ ตัวตรวจวัดความเร็วรอบ

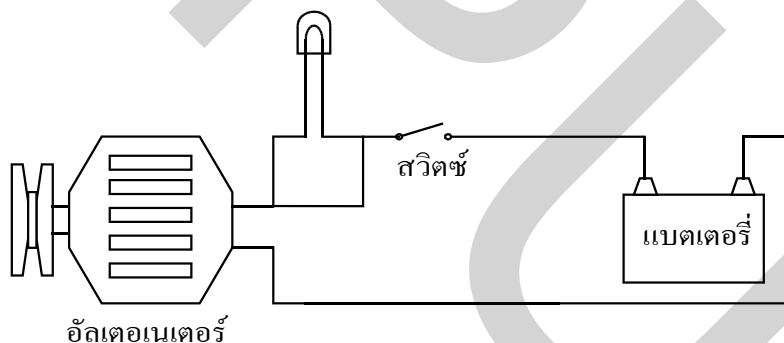
3.2 วงจรไฟฟ้า

ในส่วนแรกจะกล่าวถึงวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ก่อน และต่อจากนั้นจะอธิบายวงจรตรวจวัดที่ใช้ในโครงการนี้

การคำนวณค่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC มีรายละเอียดดังนี้ เมื่อกำหนดให้

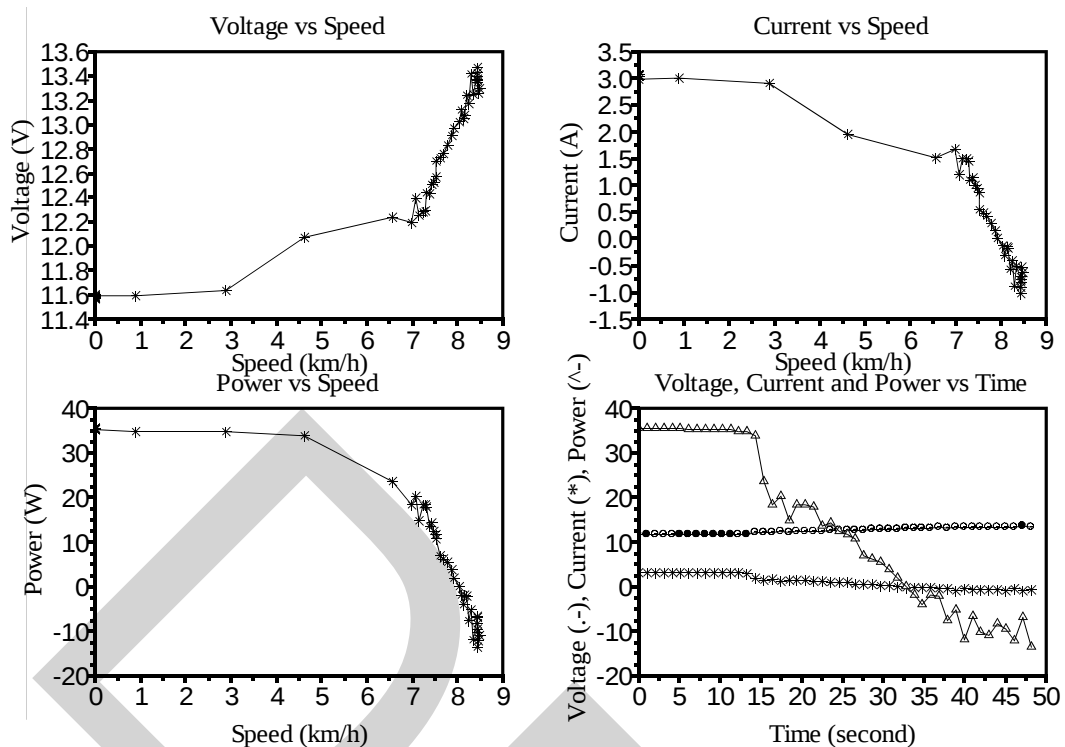
ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้	หน่วย
กำลังสูงสุดที่จ่ายได้*	P_{MAX}	13.59	W
แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด*	V_{MPP}	13.46	V
กระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด*	I_{MPP}	1.01	A

หมายเหตุ * คือค่าที่วัดได้จากทดสอบการทำงานแบบต่อตรง (ต่ออัลเตอเนเตอร์ดังรูปที่ 3.3) โดยเลือกความเร็ว 8.4 km/h เป็นความเร็วที่สูงที่สุดสำหรับการปั่นจักรยาน สำหรับข้อมูลการปั่นจักรยานที่ความเร็วประมาณ 0 – 8.4 km/h (ดูรายละเอียดได้จากรูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.3 การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่

ในหัวข้อนี้จะแสดงการคำนวณ และเลือกขนาดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC จากสมการในหัวข้อ 2.2 (วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC) ซึ่งเป็นการประมาณค่าของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอย่างคร่าวๆ (ดูตารางที่ 3.1)



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว, แรงดัน กระแส, กำลัง และเวลา
ของวงจรการต่อดังรูปที่ 3.3

กำลังที่แบตเตอรี่จ่ายเลี้ยงอัลเทอเนเตอร์ตอนเริ่มต้นอยู่ที่ 35.55 W (ใช้สำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กในขดลวดโรเตอร์) และเมื่อปั่นจักรยานที่ความเร็วมากขึ้นจะทำให้กำลังที่แบตเตอรี่จ่ายเลี้ยงอัลเทอเนเตอร์มีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเริ่มกลับทาง (อัลเทอเนเตอร์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้และจ่ายให้แบตเตอรี่) ที่ความเร็วประมาณ 8 km/h ดังนั้นเมื่อพิจารณากำลังที่ความเร็ว 8.4 km/h สามารถกล่าวได้ว่าอัลเทอเนเตอร์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับกำลังที่แบตเตอรี่จ่ายเลี้ยงอัลเทอเนเตอร์ตอนเริ่มต้นบวกด้วยกำลังที่อัลเทอเนเตอร์อัดประจุเข้าแบตเตอรี่ ($35.55 + 13.59 = 49.14$ W) แต่เพื่อให้พิจารณากำลังที่อัลเทอเนเตอร์ผลิตได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จึงขอใช้กำลังที่อัลเทอเนเตอร์อัดประจุเข้าแบตเตอรี่เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละรูปแบบของการต่อวงจร

ดังนั้นจากรูปที่ 3.4 ความเร็วเกิน 8 km/h กำลังที่แบตเตอรี่มีค่าติดลบซึ่งแสดงว่าอัลเทอเนเตอร์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้และจ่ายให้กับแบตเตอรี่ พลังงานสูงสุดที่อัลเทอเนเตอร์ผลิตได้ คือ 13.59 W ที่ความเร็ว 8.4 km/h

ตารางที่ 3.1 การประมาณค่าของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอย่างคร่าวๆ

สมการ	แทนค่าลงในสมการ	ผลลัพธ์ที่ได้
$I_i = \frac{P_i}{V_i}$	$I_i = \frac{13.59}{13.46}$	$I_i = 1.01 \text{ A}$
$I_o = \frac{P_o}{V_o}$	$I_o = \frac{13.59}{12.0}$	$I_o = 1.13$
$R = \frac{V_o^2}{P_o}$	$R = \frac{12.0^2}{13.59}$	$R = 10.59$
$M = \frac{V_o}{V_i}$	$M = \frac{12.0}{13.46}$	$M = 0.89$
$D = \frac{M}{M+1}$	$D = \frac{0.89}{0.89+1}$	$D = 0.47$
$L_{ic} = \left[\frac{1}{2fs(M^2 + M)} \right] R_L$	$L_{ic} = \left[\frac{10.59}{2(15000)(0.89^2 + 0.89)} \right]$	$L_{ic} = 0.21 \text{ mH}$
$L_{oc} = \left[\frac{1}{2fs(M+1)} \right] R_L$	$L_{oc} = \left[\frac{10.59}{2(15000)(0.89+1)} \right]$	$L_{oc} = 0.18 \text{ mH}$
$L_i = \frac{V_i * D}{\Delta I_{Li} * fs}$	$L_i = \frac{13.46 * 0.47}{0.1 * 1.01 * 15000}$	$L_i = 4.17 \text{ mH}$
$L_o = \frac{V_i * D}{\Delta I_{Lo} * fs}$	$L_o = \frac{13.46 * 0.47}{0.1 * 1.13 * 15000}$	$L_o = 3.73 \text{ mH}$
$C_t = \frac{I_o * \sqrt{M} * D}{0.05 * V_i * fs}$	$C_t = \frac{1.13 * \sqrt{0.89} * 0.47}{0.05 * 13.46 * 15000}$	$C_t = 49.63 \text{ }\mu\text{F}$
$C_o = \frac{I_o * \sqrt{M} * D}{0.05 * V_o * fs}$	$C_o = \frac{1.13 * \sqrt{0.89} * 0.47}{0.05 * 12 * 15000}$	$C_o = 55.67 \text{ }\mu\text{F}$
$V_{si} = V_i + V_o$	$V_{si} = 13.46 + 12$	$V_{si} = 25.46$
$I_{si} _{rms} = I_o \sqrt{M^2 + M}$	$I_{si} _{rms} = 1.13 \sqrt{0.89^2 + 0.89}$	$I_{si} _{rms} = 1.46$
$V_{Di} = V_i + V_o$	$V_{Di} = 13.46 + 12$	$V_{Di} = 25.46$
$I_{Di} _{rms} = I_o \sqrt{M+1}$	$I_{Di} _{rms} = 1.13 \sqrt{0.89+1}$	$I_{Di} _{rms} = 1.55$

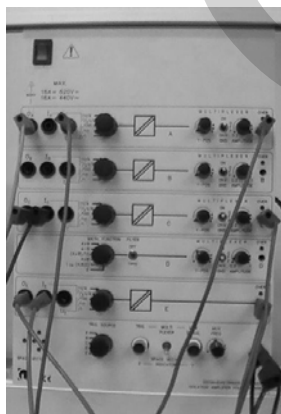
หมายเหตุ กำหนดให้ กระแสกระแสเพี้ยน (ΔI_{Li}) และ (ΔI_{Lo}) มีค่าไม่เกิน 10 % , แรงดันกระแสเพี้ยน (ΔV_{co}) มีค่าไม่เกิน 5 %

หลังจากคำนวณค่าของตัวแปรต่างๆ ในวงจร SEPIC ดังตารางที่ 3.1 เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจึงกำหนดค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร SEPIC ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร SEPIC

อุปกรณ์
$L_i = 4.2 \text{ mH}$
$L_o = 3.7 \text{ mH}$
$C_t = 56 \text{ } \mu\text{F}$
$C_o = 56 \text{ } \mu\text{F}$
$S_1 = \text{RFP 70N06 } 70 \text{ A } 60 \text{ V}$
IC ขับสัญญาณขับสวิตช์ = TC4427
$D_1 = \text{MBR2060 Schottky Diode } 20 \text{ A } 45 \text{ V}$

การวัดแรงดันและกระแสในโครงงานนี้ ใช้เครื่องวัดแบบ isolation amplifier ของบริษัท Leybold โดยมีอัตราการลดทอนแรงดัน (2:1) , มีอัตราการลดทอนกระแส (1:1) และวัดความเร็วโดยผ่านอุปกรณ์วัดความเร็วรุ่น 200ASKS5VM (200 pulse signal :1 round) สัญญาณที่วัดได้ทั้งหมดจะส่งไปประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI-USB 6009 (รวมทั้งการส่งสัญญาณแรงดันเพื่อควบคุมวัฏจักรงานด้วย) รูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดแรงดัน (หรือกระแส) ความเร็ว และอุปกรณ์เชื่อมต่อตามลำดับ สำหรับรูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์เชื่อมต่อและวงจร SEPIC



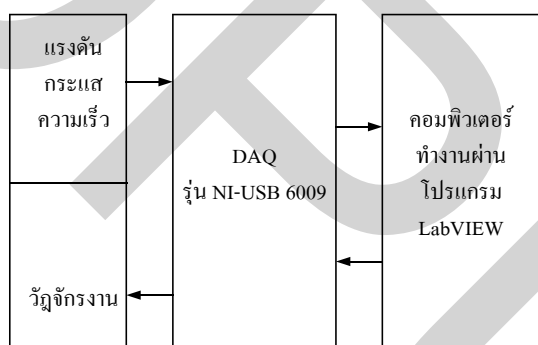
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดัน (หรือกระแส)



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็ว



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์



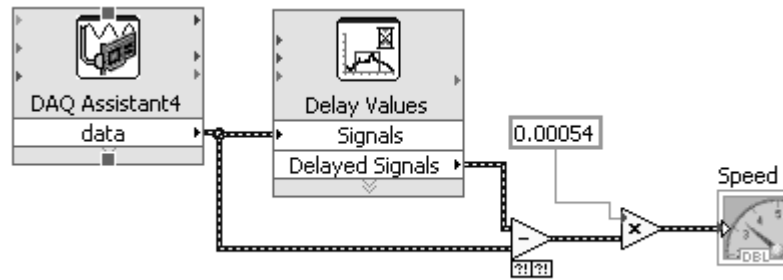
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจร SEPIC

3.3 โปรแกรม LabVIEW

จากวิธีการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด เมื่อเขียนเป็นลำดับการทำงานเพื่อใช้ควบคุมวัตถุทำงาน (Duty ratio, D) ดังรูปที่ 2.17 แล้ว หลังจากนั้นจึงเขียนให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรม LabVIEW

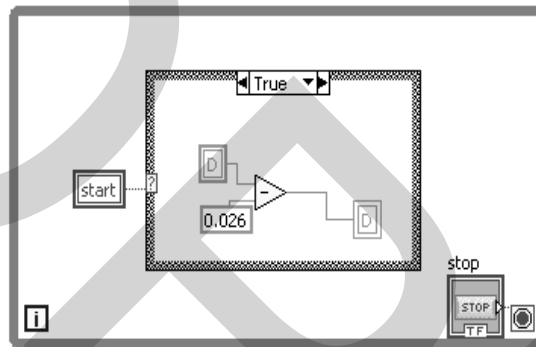
โปรแกรม LabVIEW แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของ front panel (รูปที่ 3.9) และส่วนของ block diagram (รูปที่ 3.10) การทำงานของโปรแกรมจะทำงานตามลำดับขั้นตอนใน block diagram สำหรับการติดต่อกับผู้ใช้งานจะทำผ่านส่วนของ front panel

โปรแกรมใน block diagram แบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่คือ ส่วนรับส่งข้อมูล ส่วนทำงานวนเป็นลูป และส่วนบันทึกผล ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างให้ดูดังรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 ตามลำดับ



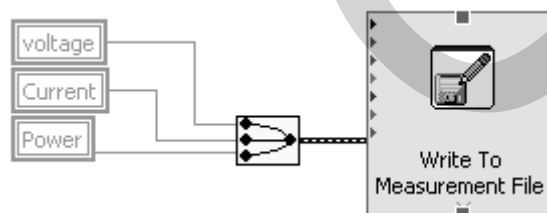
รูปที่ 3.11 ส่วนรับส่งข้อมูลของโปรแกรมใน block diagram

ส่วนรับส่งข้อมูลในรูปที่ 3.11 จะทำงานโดยรับข้อมูลซึ่งเป็นจำนวนของพัลส์จากตัวตรวจวัดความเร็วในเวลา 1 วินาทีและคูณด้วยค่าคงที่ 0.00054 เพื่อแปลงเป็นความเร็ว (km/h)



รูปที่ 3.12 ส่วนทำงานวนเป็นลูปของโปรแกรมใน block diagram

ส่วนทำงานวนเป็นลูปดังรูปที่ 3.12 จะทำงานโดยเปรียบเทียบค่าตัวแปร start ว่าเป็นจริงหรือไม่ ถ้าเป็นจริงให้ลดค่าตัวแปร D ลงด้วยค่า 0.026



รูปที่ 3.13 ส่วนบันทึกข้อมูลของโปรแกรมใน block diagram

ส่วนบันทึกข้อมูลในรูปที่ 3.13 จะเขียนตัวแปรแรงดัน กระแส และกำลังลงในไฟล์ที่กำหนดชื่อไว้ล่วงหน้า โดยมีช่วงเวลาการบันทึกทุกๆ 1 วินาที

บทที่ 4

ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และการปรับปรุงวงจรไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ การวิเคราะห์ผลและการปรับปรุงวงจรไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงเป็นลำดับดังนี้

1. การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่
2. การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ขึ้นกลางระหว่างอัลเตอเนเตอร์และแบตเตอรี่
3. การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ขึ้นกลางระหว่างระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ (รวมทั้งแบตเตอรี่) กับโหลด

4.1 การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่

จากบทที่ 3 การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดันและกระแสแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตัวอย่างได้ที่ความเร็ว 8.4 km/h อัลเตอเนเตอร์จ่ายกระแสได้ 1.01 A ที่แรงดัน 13.46 V คิดเป็นกำลัง 13.59 W

จากกราฟคุณลักษณะของการต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่ จะเห็นอย่างชัดเจนว่าการไหลของพลังงานจะดำเนินไปในลักษณะดังรูปที่ 4.1 เมื่อมีการปั่นจักรยานได้ความเร็วเกิน 8 km/h และจะเป็นไปในทำนองตรงกันข้ามถ้ามีการปั่นจักรยานได้ความเร็วต่ำกว่า 8 km/h

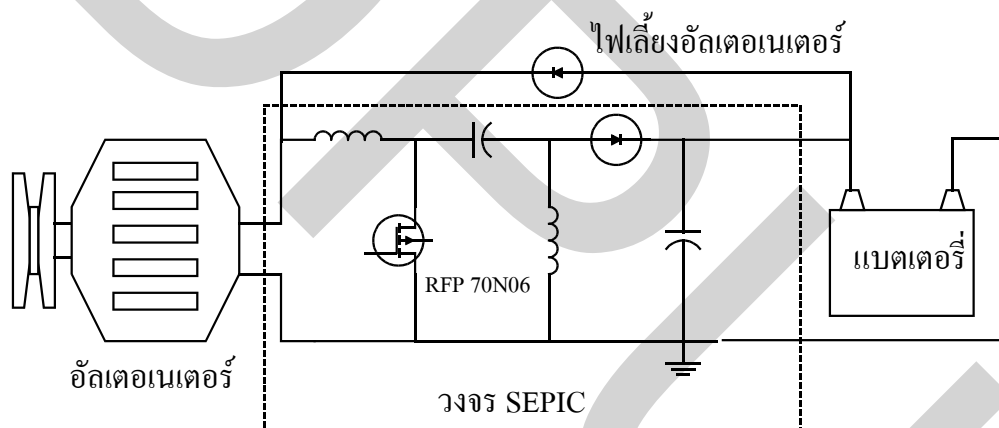


รูปที่ 4.1 การไหลของพลังงานเมื่อต่อตรง

การต่ออัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับแบตเตอรี่ เป็นการต่ออย่างง่ายที่เหมาะสมกับการเริ่มศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอัลเตอเนเตอร์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพที่ได้จะอยู่ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การต่อวงจร SEPIC ขึ้นกลางระหว่างระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์กับโหลด

4.2 การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC กันกลางระหว่างอัลเตอนเตอร์และแบตเตอรี่

การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เพิ่มเข้าไปทำได้ดังรูปที่ 4.2 ไดโอดที่ต่อในสายไฟเลี้ยงอัลเตอนเตอร์จะบังคับให้ กระแสไหลได้ทางเดียวจากแบตเตอรี่ไปยังอัลเตอนเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟเลี้ยงขดลวดโรเตอร์ เมื่อมีการปั่นจักรยานด้วยความเร็วเกิน 8 km/h กระแสที่เกิดขึ้นจากอัลเตอนเตอร์จะไม่สามารถไหลย้อนกลับไปที่แบตเตอรี่ได้ (ผ่านสายไฟเลี้ยง อัลเตอนเตอร์) ตามวงจรการต่อดังรูปที่ 4.2 กระแสที่อัลเตอนเตอร์ผลิตได้ทั้งหมดควรจะไหลไปที่แบตเตอรี่โดยผ่านวงจร SEPIC แต่ในความเป็นจริงกระแสไม่สามารถไหลไปที่แบตเตอรี่ได้ทั้งหมด (เนื่องจากการปรับวัฏจักรงานด้วยหลักการจ่ายกำลังสูงสุดเพียงอย่างเดียว) จึงมีกระแสที่เหลือส่วนหนึ่งไหลมาที่เพลลาของอัลเตอนเตอร์และทำให้อัลเตอนเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองปั่นจักรยานโดยเมื่อปั่นจักรยานด้วยความเร็วเกิน 8 km/h อัลเตอนเตอร์จะหมุนเป็นมอเตอร์ชั่วคราวหนึ่งจนพลังงานที่สะสมที่เพลลาของอัลเตอนเตอร์หมดไป



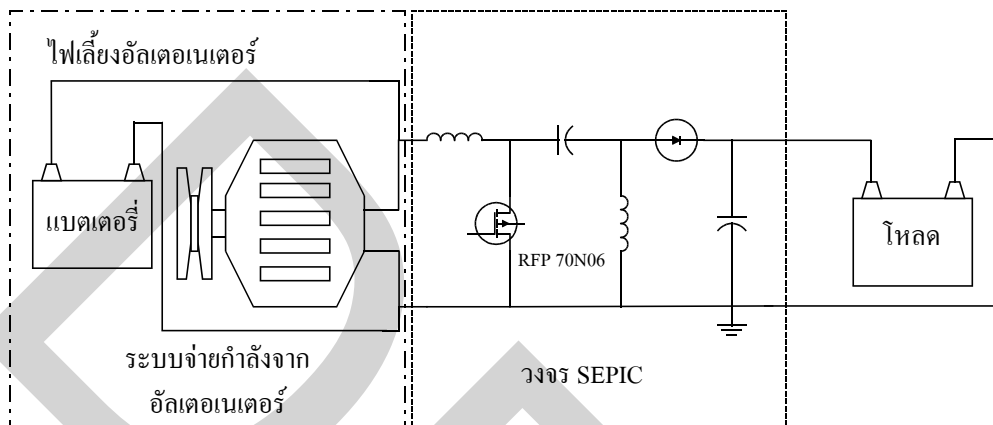
รูปที่ 4.2 การต่อวงจร SEPIC กันกลางระหว่างอัลเตอนเตอร์และแบตเตอรี่

ดังนั้นการต่อวงจร SEPIC กันกลางระหว่างอัลเตอนเตอร์และแบตเตอรี่ (โดยมีไดโอดต่อในสายไฟเลี้ยงอัลเตอนเตอร์) จึงไม่สามารถทำได้สำหรับการจ่ายกำลังที่ผลิตได้จากอัลเตอนเตอร์ไปที่แบตเตอรี่โดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

4.3 การต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC กันกลางระหว่างระบบจ่ายกำลังจาก

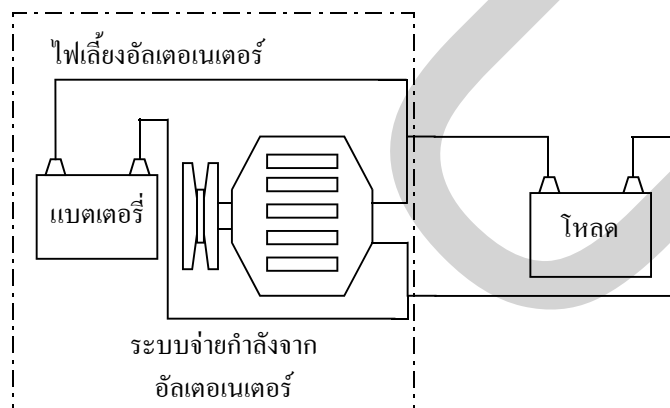
อัลเตอนเนเตอร์ (รวมทั้งแบตเตอรี่) กับโหลด

ปัญหาที่เกิดขึ้น (อัลเตอนเนเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์) ในการต่อวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เพิ่มเข้าไปดังรูปที่ 4.2 แก้ไขได้โดยการต่อดังรูปที่ 4.3 ซึ่งระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอนเนเตอร์ประกอบด้วยแบตเตอรี่และอัลเตอนเนเตอร์



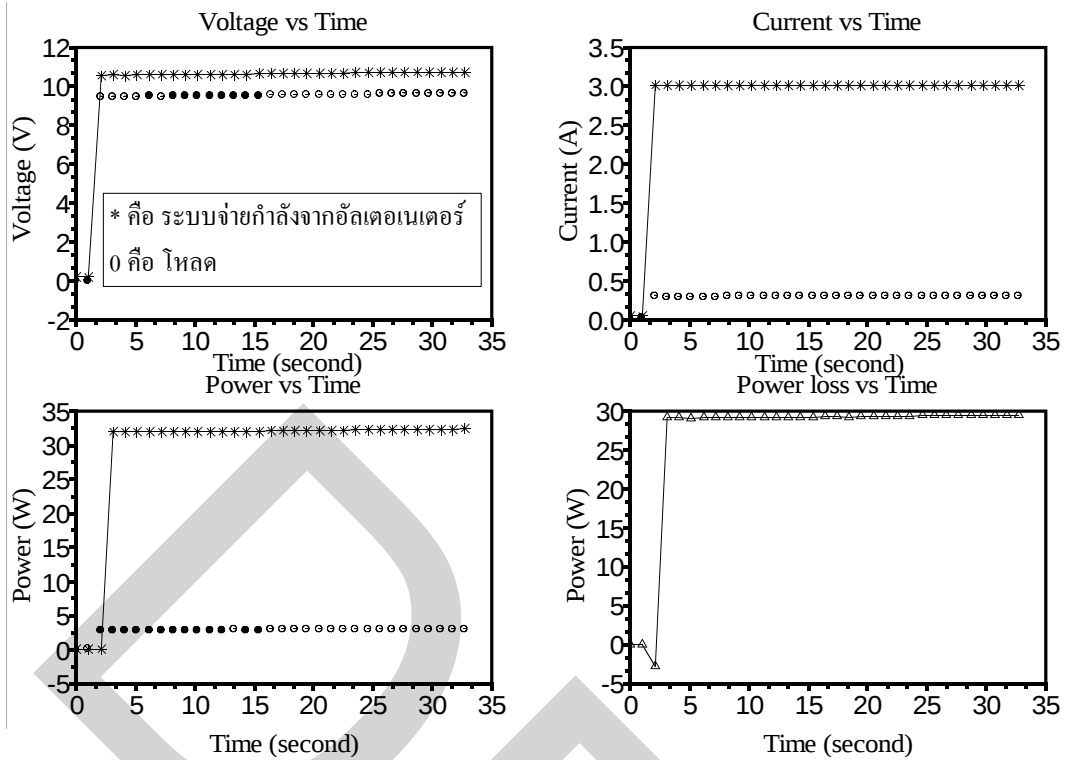
รูปที่ 4.3 การต่อวงจร SEPIC กันกลางระหว่างระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอนเนเตอร์กับโหลด

รูปที่ 4.4 มีที่มาจากรูปที่ 4.3 เมื่อกำหนดให้โหลดคือตัวต้านทาน $33\ \Omega$ และไม่ต่อวงจร SEPIC ซึ่งเป็นการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอนเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลด

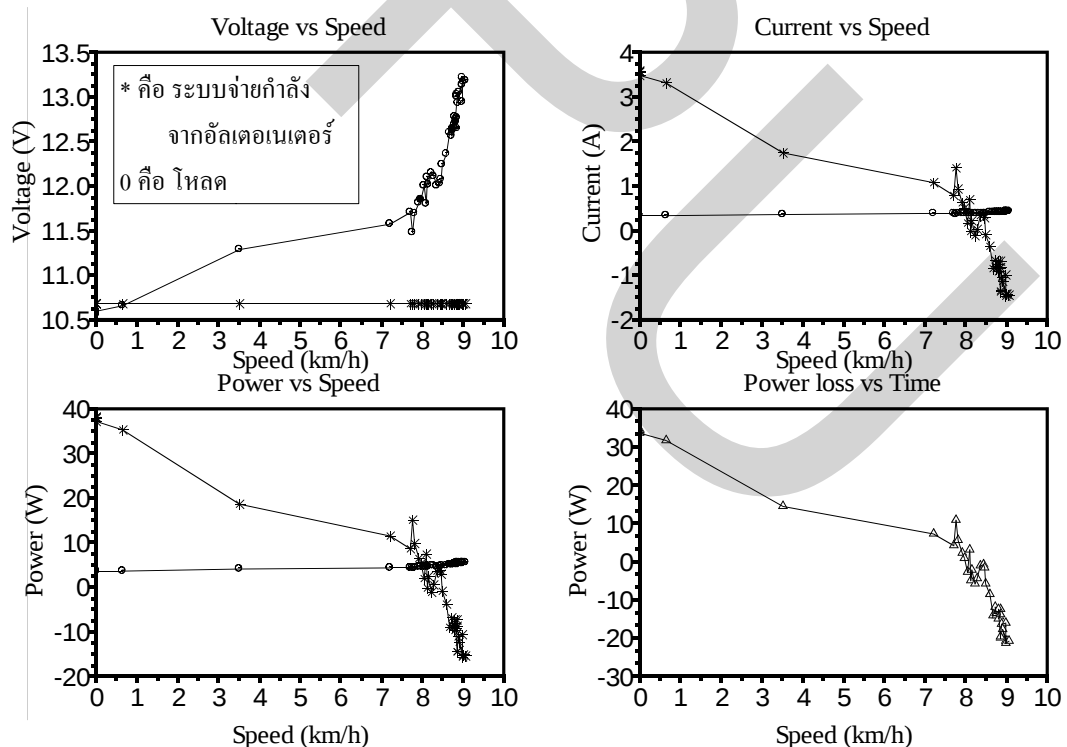


รูปที่ 4.4 การต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอนเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลด

ผลที่ได้จากการอัดประจุโดยตรง (ไม่ใช้วงจร SEPIC และไม่ปั่นจักรยาน) แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และผลที่ได้จากการอัดประจุโดยตรง (ไม่ใช้วงจร SEPIC และปั่นจักรยาน) แสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และกำลังสูญเสียของการ
ต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส กำลัง และกำลังสูญเสียของการ
ต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.4)

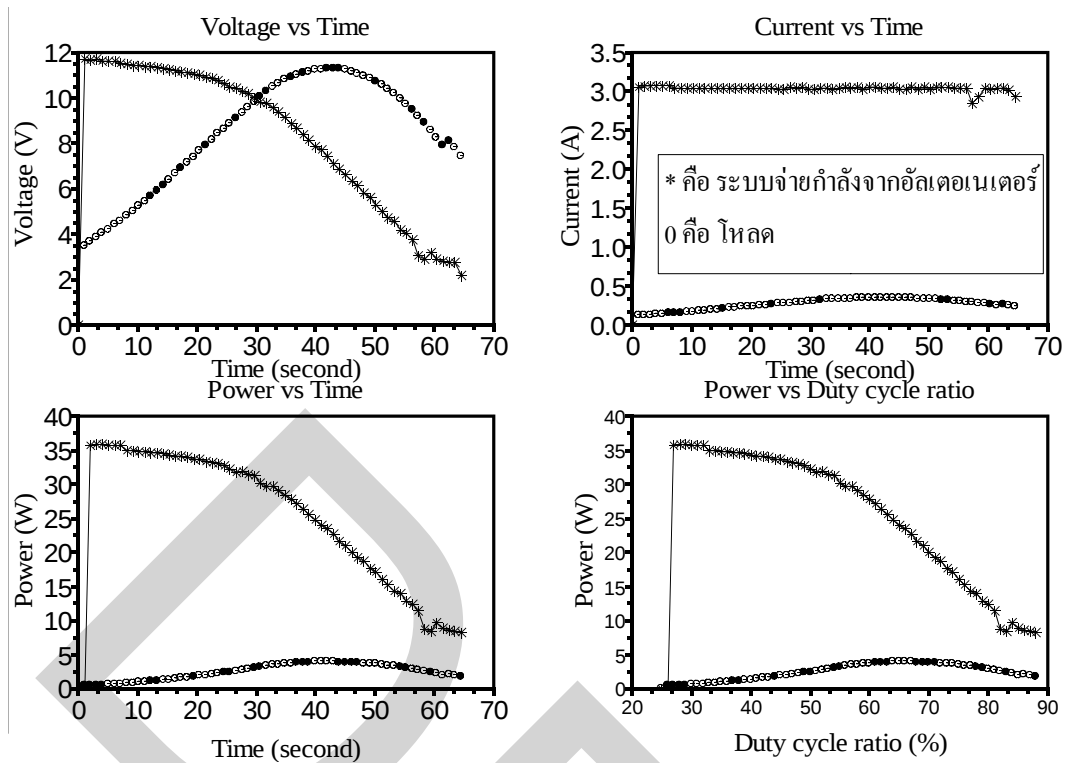
จากกราฟรูปที่ 4.5 กำลังที่แบตเตอรี่จ่ายมาเลี้ยงอัลเตอเนเตอร์และโหลดเท่ากับ 32.4 W ซึ่งแบ่งเป็นกำลังที่จ่ายให้อัลเตอเนเตอร์เท่ากับ 29.49 W และโหลดเท่ากับ 2.91 W (เมื่อกำหนดให้กำลังสูญเสีย (Power loss) คือกำลังที่จ่ายให้อัลเตอเนเตอร์)

กราฟรูปที่ 4.6 กำลังที่แบตเตอรี่จ่ายมาเลี้ยงอัลเตอเนเตอร์และโหลดในตอนเริ่มต้น (ความเร็วเป็นศูนย์) เท่ากับ 38.09 W ซึ่งแบ่งเป็นกำลังที่จ่ายให้อัลเตอเนเตอร์เท่ากับ 34.47 W และโหลดเท่ากับ 3.62 W หมายเหตุ สาเหตุที่ทำให้ทั้งสองรูปมีค่าที่ความเร็วเท่ากับศูนย์ไม่เท่ากันเพราะทำการทดลองไม่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นกำลังที่แบตเตอรี่จึงมีค่าไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ไม่ได้แตกต่างกันมาก (6 %) ทางด้านระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ เมื่อปั่นจักรยานมีความเร็วต่ำกว่า 8 km/h กำลังมีค่า เป็นบวกแสดงว่าอัลเตอเนเตอร์รับกำลังจากแบตเตอรี่ เมื่อจักรยานมีความเร็วสูงกว่า 8 km/h กระแส จะลดลงต่ำกว่าศูนย์ทำให้กำลังมีค่าติดลบ แสดงว่าระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์จ่ายกำลังให้แบตเตอรี่ (ที่ต่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับอัลเตอเนเตอร์) ส่วนทางด้านโหลด แรงดันและกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้นแต่ถ้าความเร็วยังต่ำกว่า 8 km/h กำลังที่โหลดรับไปในขณะนี้คือ กำลังที่มาจากแบตเตอรี่ สำหรับการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงกว่า 8 km/h แรงดัน กระแสและกำลังมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์จ่ายกำลังให้โหลด ดังนั้นถ้าความเร็วของการปั่นจักรยานสูงกว่า 8 km/h พลังงานที่ผลิตได้จะไหลไปยังโหลดและ แบตเตอรี่

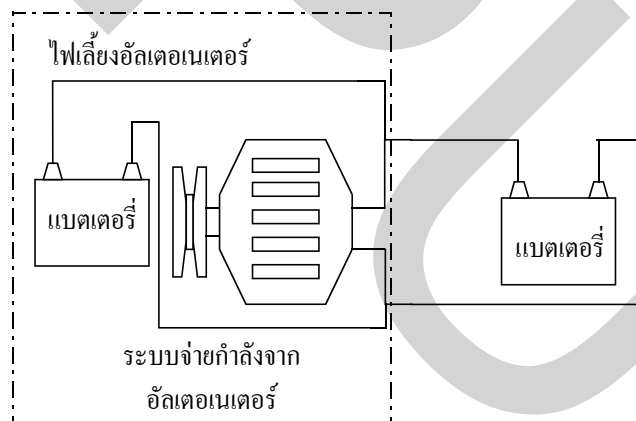
สำหรับกราฟในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนวัฏจักรงานกับแรงดัน กระแส กำลังของทั้งแบตเตอรี่และโหลด เมื่อต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดตัวด้านทาน ซึ่งกำลังที่โหลดจะมีค่าสูงสุด 3.91 W สอดคล้องกับค่าแรงดันเท่ากับ 11.29 V และกระแสเท่ากับ 0.34 A ที่วัฏจักรงานเท่ากับ 67% (มีค่าสูงกว่าตอนที่ไม่มีวงจร SEPIC)

เมื่อกำหนดให้โหลดคือแบตเตอรี่ และไม่ต่อวงจร SEPIC ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่) ข้อมูลที่ได้จากการอัดประจุ โดยตรง (ไม่มีวงจร SEPIC) แสดงได้ดังรูปที่ 4.9 จากกราฟกำลังที่แบตเตอรี่จ่ายมาเลี้ยงอัลเตอเนเตอร์และโหลดเท่ากับ 47.12 W (กำลังที่อัลเตอเนเตอร์ 35.14 W และโหลด 11.98 W) ในตอนเริ่มต้นและค่อยๆ ลดขนาดลงตามเวลาที่ผ่านไป

ผลการทดสอบเมื่อปั่นจักรยานที่ความเร็วต่างๆ ของการต่อวงจรดังรูปที่ 4.8 แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และเมื่อต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดที่เป็นแบตเตอรี่จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนวัฏจักรงานกับแรงดัน กระแส กำลังของทั้งแบตเตอรี่และโหลดแสดงได้รูปที่ 4.11

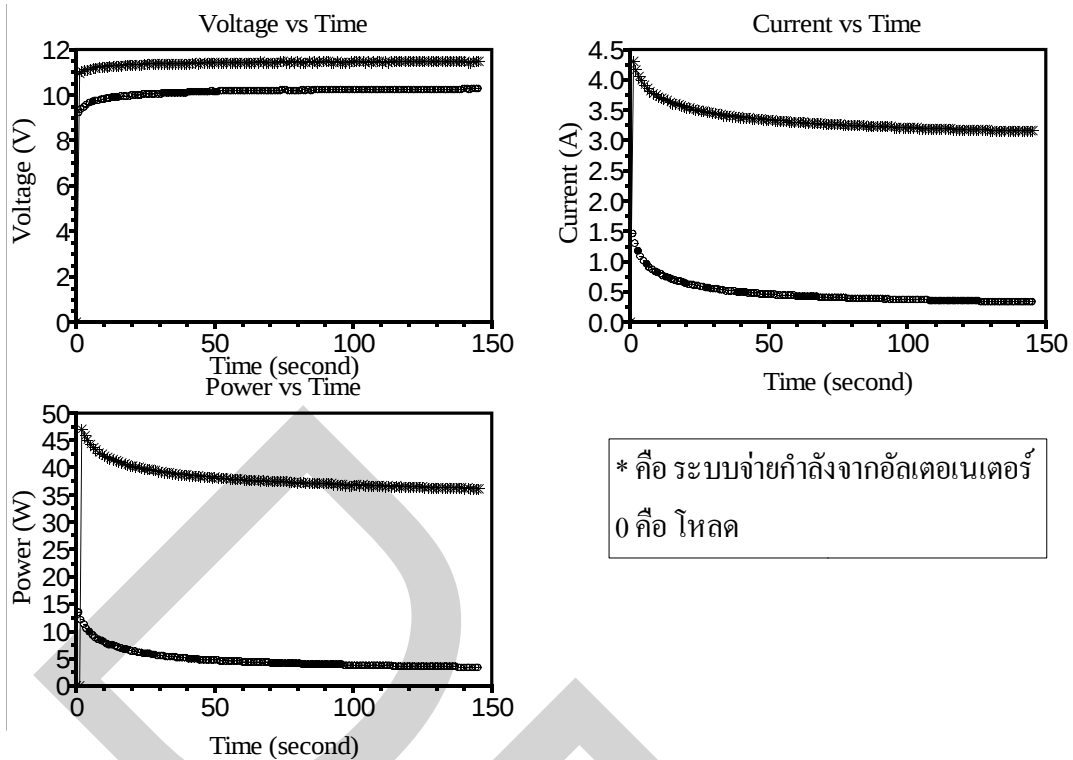


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเทอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.3)

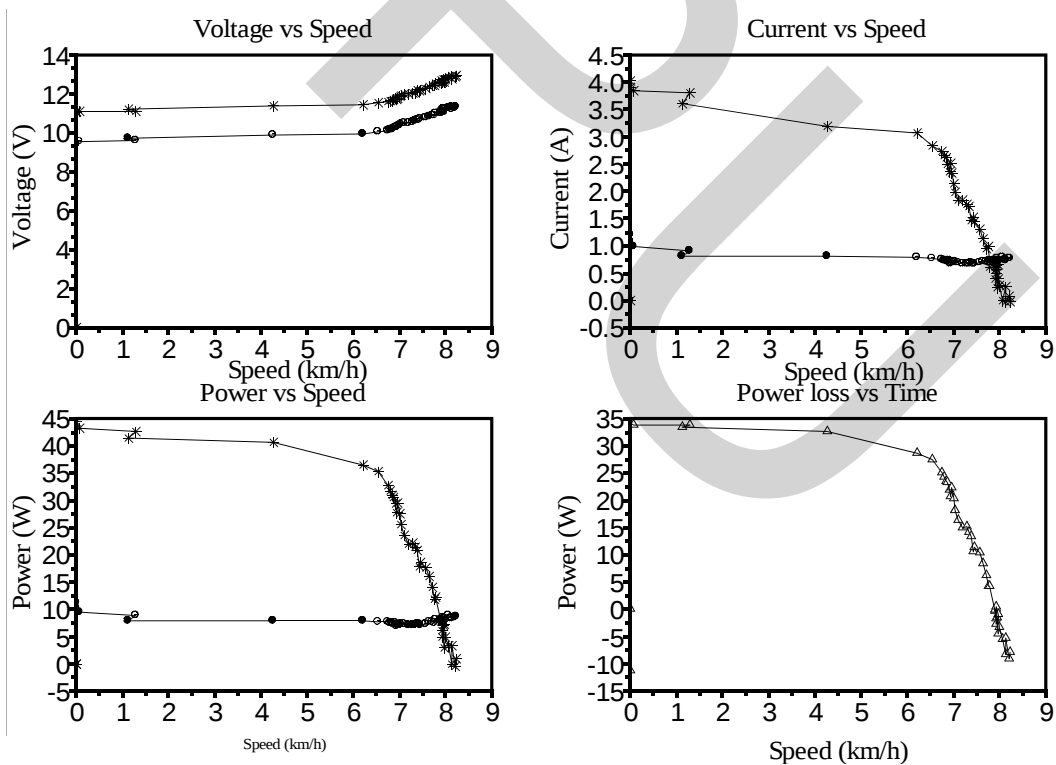


รูปที่ 4.8 การต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเทอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)

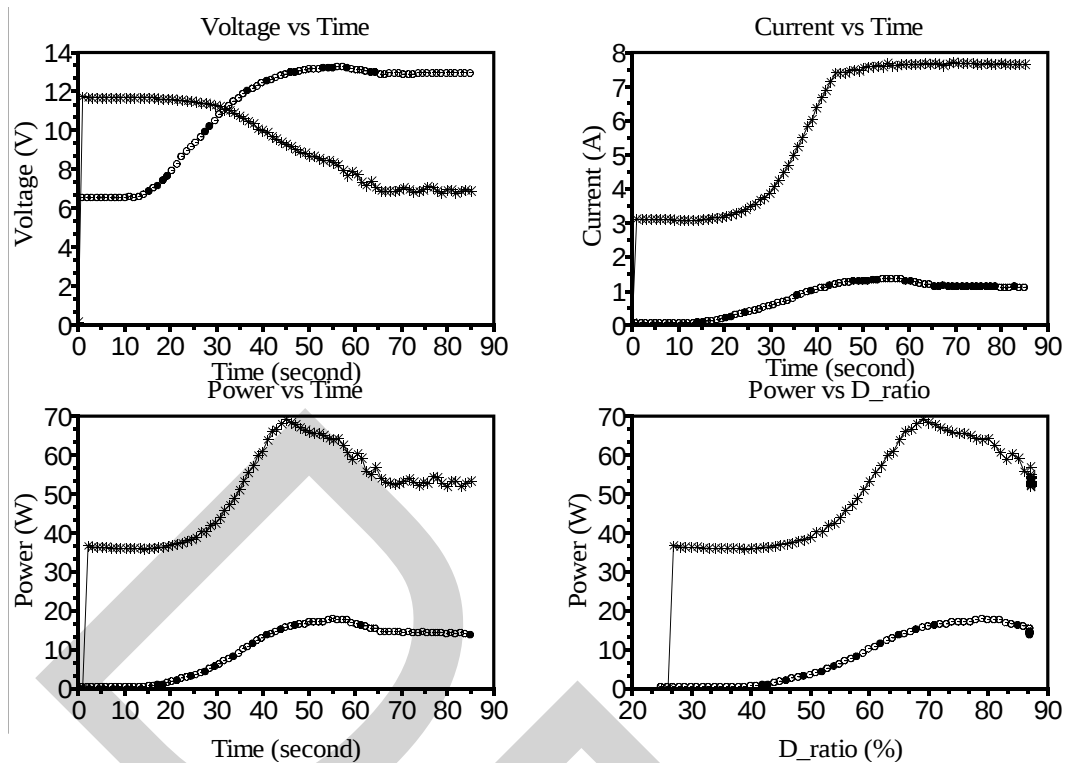
ในรูปที่ 4.10 เมื่อปั่นจักรยานมีความเร็วสูงกว่า 8.1 km/h อัลเทอเนเตอร์จะผลิตกำลังและจ่ายกำลังไปที่แบตเตอรี่ (ที่เป็นไฟเลี้ยง) และโหลดแบตเตอรี่ ตัวอย่างที่ความเร็ว 8.2 km/h จะได้กำลังที่แบตเตอรี่ (ที่เป็นไฟเลี้ยง) เท่ากับ 0.25 W และกำลังที่โหลดแบตเตอรี่เท่ากับ 8.73 W ซึ่งเป็นการอัดประจุแบตเตอรี่ทั้งสองตัว



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ตรงเข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)



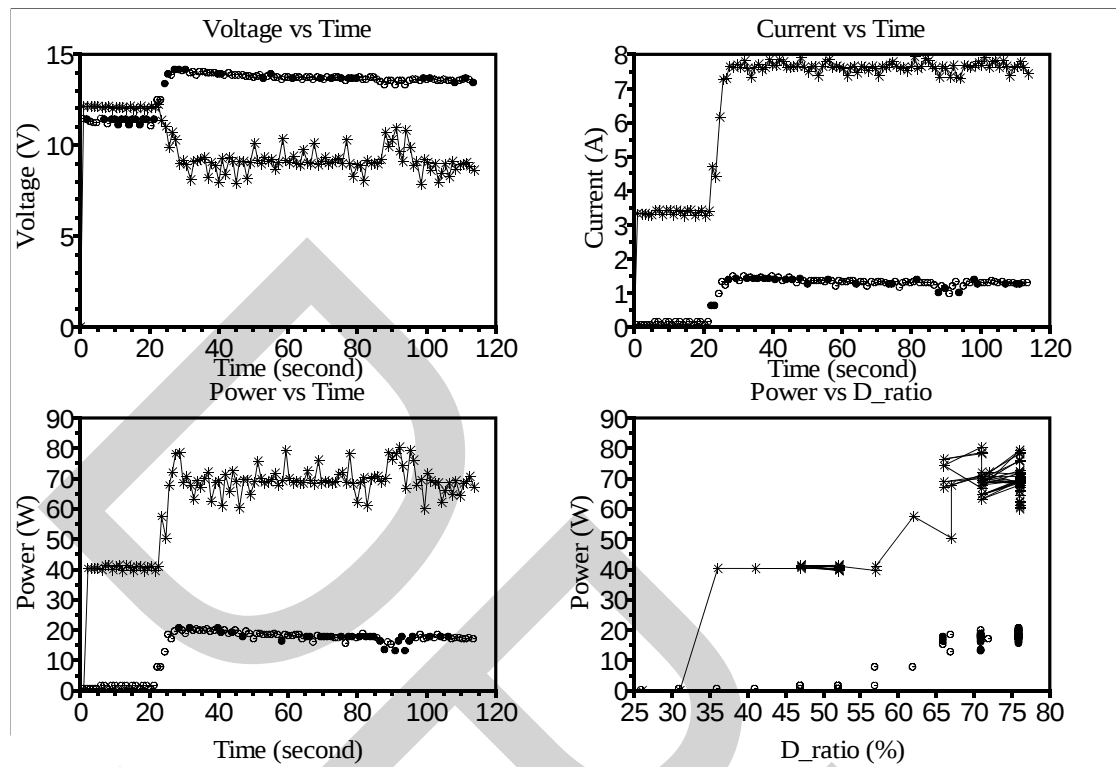
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส และกำลังของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้ากับโหลด (ที่เป็นแบตเตอรี่)

ผลการทดลองที่ได้จากการปรับค่าวัฏจักรงานโดยไม่มีการปั่นจักรยานแสดงดังรูปที่ 4.11 กำลังที่จุดสูงสุด 17.65 W เกิดขึ้นที่ค่าวัฏจักรงานเท่ากับ 79 %

เพื่อพิจารณาว่าการต่อวงจรดังรูปที่ 4.3 และการควบคุมการทำงานของวัฏจักรงานในวงจร SEPIC ได้ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการทดสอบการทำงานเมื่อไม่มีการปั่นจักรยานกับโหลดที่เป็นแบตเตอรี่ (ปรับเปลี่ยนการทำงานของวัฏจักรงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง 5% ทั้งนี้เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างรวดเร็วและเห็นการเคลื่อนไหวอย่างชัดเจน)

ในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่ากำลังของโหลด (แบตเตอรี่) มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการทำงานของวัฏจักรงานที่เปลี่ยนแปลงตามหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ในช่วง 20 วินาทีแรกของการทำงาน กำลังยังไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากค่าวัฏจักรงานยังไม่ถึงค่าที่เป็นขั้นเริ่มการทำงาน (57%) ต่อจากนั้น ค่าวัฏจักรงานจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดจุดจ่ายกำลังสูงสุดใช้เวลาประมาณ 8 วินาที หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของวัฏจักรงาน (5%) ทำให้เลยจุดจ่ายกำลังสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นค่าวัฏจักรงานจึงปรับลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดจุดจ่ายกำลังสูงสุดในลักษณะนี้ซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง กำลังงานที่แบตเตอรี่ (ที่เป็นไฟเลี้ยง) ช่วยจ่ายกำลังแก่โหลดทำให้กำลังที่โหลดมีค่า

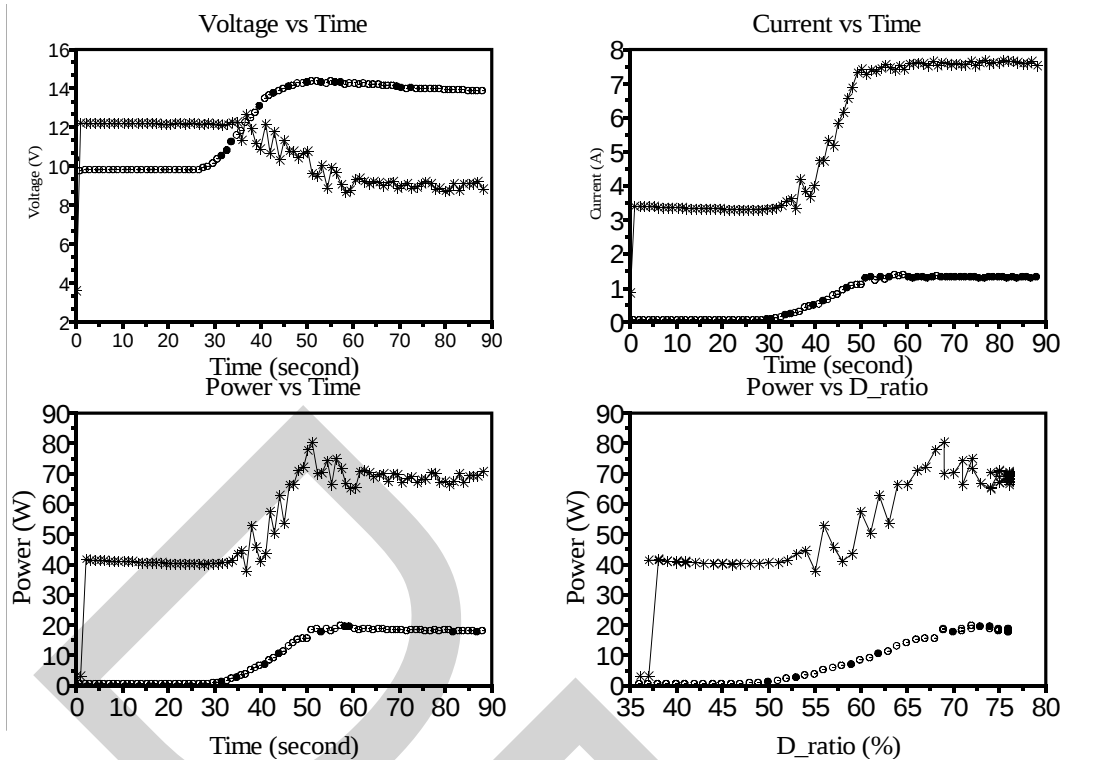
มากขึ้นกว่ากำลังที่อัลเตอร์เนเตอร์ต้องการตอนเริ่มต้น ($80.0 - 40.0 = 40 \text{ W}$) และส่งผลทำให้กำลังที่โหลดของการต่อแบบมีวงจร SEPIC มีกำลังมากกว่าการต่อแบบไม่มีวงจร SEPIC ($20.5 - 11.98 = 8.52 \text{ W}$)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับเวลา และกำลังเทียบกับวัฏจักรงาน เมื่อให้วัฏจักรงานเปลี่ยนแปลงในช่วง 5%

สำหรับการทดสอบการทำงาน เมื่อปรับเปลี่ยนการทำงานของวัฏจักรงานให้เพิ่มลงหรือลดลง 1% จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าการกระเพื่อมของกำลังที่โหลดมีค่าลดลง กำลังยังไม่มีเปลี่ยนแปลงในช่วง 30 วินาทีแรกของการทำงาน ต่อจากนั้นค่าวัฏจักรงานจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดจุดจ่ายกำลังสูงสุดใช้เวลาประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของวัฏจักรงาน (1%) ทำให้กราฟของกำลังมีความราบเรียบกว่ากราฟของกำลังที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของวัฏจักรงาน (5%) กำลังงานที่แบตเตอรี่ (ที่เป็นไฟเลี้ยง) ช่วยจ่ายกำลังแก่โหลดทำให้กำลังที่โหลดมีค่ามากขึ้นกว่ากำลังที่อัลเตอร์เนเตอร์ต้องการตอนเริ่มต้น ($77.0 - 40.0 = 37 \text{ W}$) และกำลังที่โหลดของการต่อแบบมีวงจร SEPIC มีกำลังมากกว่าการต่อแบบไม่มีวงจร SEPIC ($19.46 - 11.98 = 7.48 \text{ W}$)

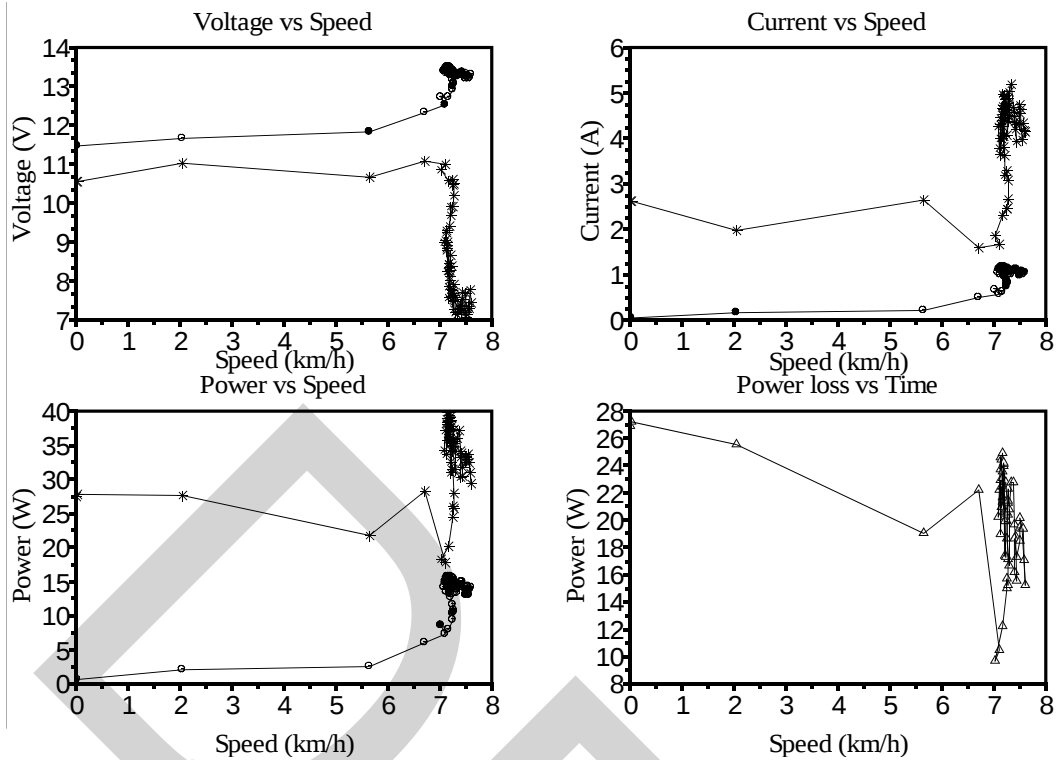
หลังจากที่ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรเมื่อไม่มีการปั่นจักรยานจนเป็นที่น่าพอใจแล้ว ต่อจากนี้จะทำการปั่นจักรยานเพื่อทดสอบการทำงานจริง



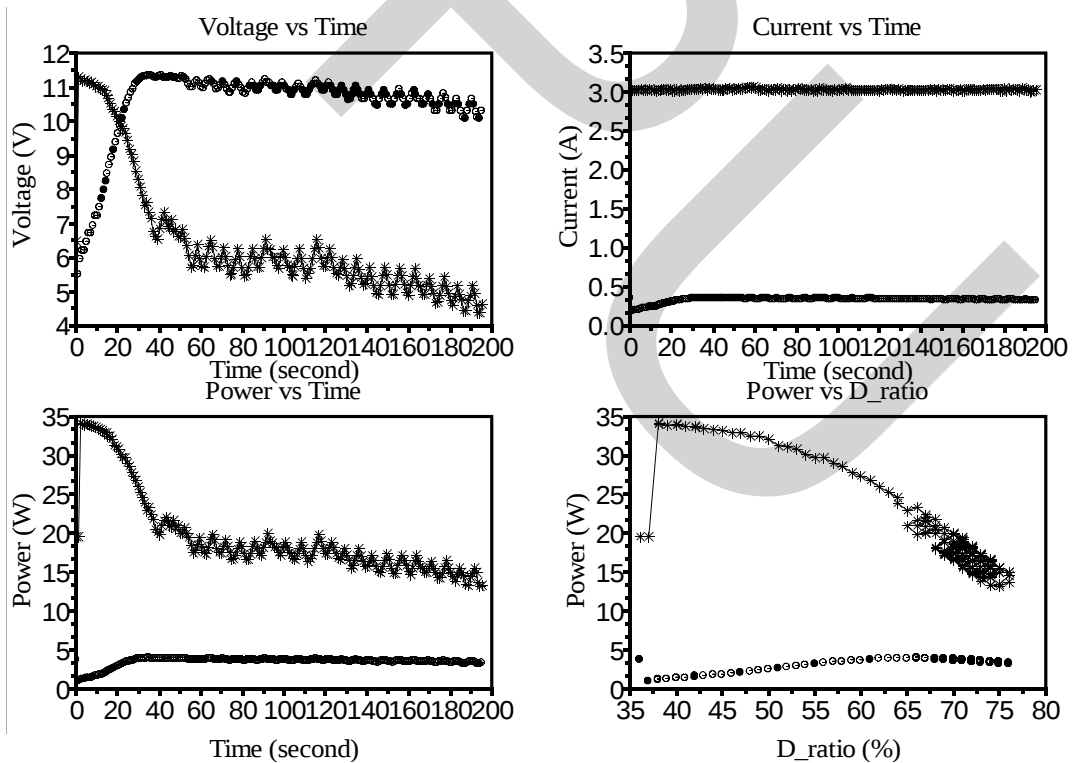
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับเวลา และกำลังเทียบกับวัฏจักรงาน
เมื่อให้วัฏจักรงานเปลี่ยนแปลงในช่วง 1%

จากรูปที่ 4.14 กำลังที่โหลดขึ้นอยู่กับค่าวัฏจักรงานและความเร็ว ที่ความเร็วมากกว่า 5.65 km/h แรงดันและกระแสที่โหลดมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้กำลังที่โหลดเพิ่มขึ้น ขณะที่แบตเตอรี่ (ที่เป็นไฟเลี้ยงอัลเตอเนเตอร์) และอัลเตอเนเตอร์ช่วยกันจ่ายกำลังให้กับโหลด ทำให้กำลังที่โหลดมีค่าสูงขึ้นมากกว่าการต่อในรูปที่ 4.10 (ไม่มีวงจร SEPIC) เช่นที่ความเร็ว 7.55 km/h กำลังที่โหลดเท่ากับ 13.04 W (มากกว่า $13.04 - 7.38 = 5.66$ W) นอกจากนี้แรงดันที่ระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์จะมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับค่าวัฏจักรงานและกระแสที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปลี่ยนโหลดเป็นตัวต้านทาน และทดสอบโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดในการปรับวัฏจักรงาน ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.15 กำลังที่โหลดจะมีค่ามากกว่าการต่อที่ไม่มีวงจร SEPIC ($3.82 - 2.90 = 0.92$ W) กำลังที่แหล่งจ่ายของการต่อโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดมีค่าลดลงต่ำกว่าการต่อที่ไม่มีวงจร SEPIC ($13.29 - 32.40 = -19.11$ W) เมื่อผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราวหมดไปแล้ว จะสังเกตได้ว่าค่าวัฏจักรงานที่เปลี่ยนแปลงจะอยู่ในช่วง 67 % ถึง 74 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าวัฏจักรงานที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุด



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของวงจรการต่อดังรูปที่ 4.3 เมื่อมีโหลดเป็นแบตเตอรี่



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา แรงดัน กระแส กำลัง และวัฏจักรงานของการต่อระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์ผ่านวงจร SEPIC เข้าที่โหลดตัวต้านทาน (ดังรูปที่ 4.3)

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการต่อวงจรระหว่างระบบจ่ายกำลังจากอัลเตอเนเตอร์และโหลดในลักษณะต่างๆ นำไปสู่ข้อสังเกตในแง่คุณลักษณะของการต่อวงจรดังนี้

1. ปั่นจักรยานด้วยความเร็วที่ลดลงเมื่อต่อวงจร SEPIC (และใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดในการปรับวัฏจักรงาน) เพิ่มขึ้นมา ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่กำลังที่โหลดเท่ากัน
2. สำหรับการต่อวงจร SEPIC แรงดันที่แหล่งจ่ายจะมีค่าลดลงเมื่อมีการปรับค่าวัฏจักรงานเพิ่มขึ้น
3. สำหรับการต่อวงจร SEPIC กระแสที่แหล่งจ่ายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับค่าวัฏจักรงานเพิ่มขึ้น
4. กำลังที่โหลดของการต่อวงจร SEPIC จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่ากำลังที่โหลดของการไม่ต่อวงจร SEPIC โดยกำลังที่เพิ่มขึ้นมาจากการจ่ายกำลังช่วยของแหล่งจ่าย(ในกรณีที่โหลดเป็นแบบเตอร์และมีการปั่นจักรยานด้วยความเร็ว) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในกรณีที่โหลดเป็นตัวต้านทาน กำลังที่แหล่งจ่ายจ่ายให้กับอัลเตอเนเตอร์และโหลดมีค่าลดลงต่ำกว่ากำลังที่แหล่งจ่ายจ่ายให้ในลักษณะเดียวกันของการไม่ต่อวงจร SEPIC
5. จากการปรับค่าวัฏจักรงานโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด สำหรับระบบหนึ่งๆ จะได้จุดจ่ายกำลังสูงสุดเพียงจุดเดียว

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการวิจัยนี้ศึกษาและสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่ ที่ใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดบนพื้นฐานของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC สำหรับระบบจักรยาน (ไม่มีเกียร์ทดรอบ) ผลิตไฟฟ้า ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อช่วยในการวัดสัญญาณและควบคุมการทำงานของวัฏจักรงาน โดยใช้การตรวจวัดกระแสเอาต์พุตเพียงอย่างเดียว เป็นตัวแปรในการสร้างเงื่อนไขการทำงานควบคุมวัฏจักรงานเพื่อที่จะทำให้กระแสที่เข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งจะทำให้กำลังงานที่เอาต์พุตมีค่าสูงสุด

จากการทดลองพบว่ากำลังที่เข้าสู่โหลดจากวงจรประจุแบตเตอรี่ที่นำเสนอ นั้น มีค่ามากกว่าการประจุแบตเตอรี่โดยไม่ผ่านวงจร (โดยวิธีโดยตรง) โดยเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทานประมาณ 31.72 เปอร์เซ็นต์ $[(0.92/2.90)*100 = 31.72\%]$ และเมื่อโหลดเป็นแบตเตอรี่ (ที่ความเร็ว 7.55 km/h) ประมาณ 76.69 เปอร์เซ็นต์ $[(5.66/7.38)*100 = 76.69\%]$ นอกจากนี้ในกรณีของโหลดเป็นตัวต้านทานกำลังที่แหล่งจ่ายจ่ายออกมามีค่าต่ำลง $[(19.11/32.40)*100 = 58.98\%]$ ประมาณ 58.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกรณีของโหลดเป็นแบตเตอรี่ที่ความเร็ว 7.55 km/h กำลังที่แหล่งจ่ายจ่ายออกมามีค่าสูงขึ้น ประมาณ 82.87 เปอร์เซ็นต์ $[(14.66/17.69)*100 = 82.87\%]$

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รับความรู้จากขั้นตอนและวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอัลเทอเนเตอร์อย่างง่าย
2. สามารถสร้างตัวควบคุมที่ใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW ได้
3. สามารถนำวงจรประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบจักรยานผลิตพลังงานไฟฟ้าไปใช้ประจุแบตเตอรี่ได้จริง โดยประยุกต์ใช้กับสถานออกกำลังกาย หรือ สนามเด็กเล่น หรือในพื้นที่ที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อเนื่อง หัวข้อต่างๆ เหล่านี้เป็นเรื่องที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อปรับปรุงการทำงานให้มีความเหมาะสมในทางด้านค่าใช้จ่าย และทางด้านความสะดวกต่อผู้ใช้

1. การนำไดนาโมมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนอัลเตอเนเตอร์ ซึ่งโครงสร้างของไดนาโมใช้สนามแม่เหล็กของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร จึงทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นไฟเลี้ยงสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ในตอนเริ่มต้น
2. การนำเอาจักรยานที่มีเกียร์มาใช้เป็นอุปกรณ์ปั่นไฟ จะทำให้ความเร็วในการปั่นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถของการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีเพิ่มขึ้น
3. การนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งราคาถูกลงมาประมวลผล และตรวจวัดสัญญาณที่จำเป็นแทนคอมพิวเตอร์ (รวมทั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อ) จะทำให้ราคาลดต่ำลงมากซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตในเชิงอุตสาหกรรม
4. การควบคุมกระแสที่ไหลในขดลวดโรเตอร์ (เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก) จะทำให้สามารถปรับระดับความหนักเบาของสภาพการปั่นจักรยานได้ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในสร้างอุปกรณ์ออกกำลังกายได้ หรือทำให้ผู้ใช้สามารถปั่นได้ (ตามความต้องการ) ในเวลาที่นานมากขึ้น
5. การหาวิธีการลดกำลังสูญเสียในวงจร SEPIC เพื่อให้ประสิทธิภาพของการถ่ายโอนพลังงานเพิ่มขึ้น
6. ควรจะติดตั้งมอเตอร์ (แทนคน) ปั่นจักรยานเพื่อทดสอบความเร็ว (ที่คงที่) เพื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานและความเร็วต่างๆ

บรรณานุกรม

- [1] ปิยวรรณ พรหมพิบูลย์, วาไลณี แสงบาล และ พรเทพ ศรีวิริยานุภาพ, “การพัฒนาระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยอัลเทอร์เนเตอร์โดยใช้พลังงานกลจากการปั่นจักรยาน”
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2550
- [2] พรภักดิ์ แสงมณี, : เอกไชยสวัสดิ์ และ อธิญา บุญญาอรุณเนตร, “วงจรประจุแบตเตอรี่อย่างง่ายที่ใช้หลักการ หาดูจ่ายกำลังสูงสุดสำหรับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์”
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547
- [3] Heinz Heisler, “Vehicle and Engine Technology”, 2nd ed, Oxford, Butterworth-Heinemann
1999
- [4] Rudy Severns, and Hal Wittlinger, “HIGH FREQUENCY POWER CONVERTERS”,
Application Note No. AN9208, Intersil Semiconductor, April, 1994
- [5] William H Hayt and Jack E Kemmerly, “Engineering circuit analysis”, McGraw-Hill ,1993
- [6] ณัฐธัญ ยิ้มละมัย, นิรพันธุ์ ธนิกกุล, พยงค์ ยาทิพย์ และ สมประสงค์ กลิ่นเกษร, “การศึกษาการอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้ต้นกำลังเป็นรถจักรยาน”, โครงการวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต พ.ศ. 2551