

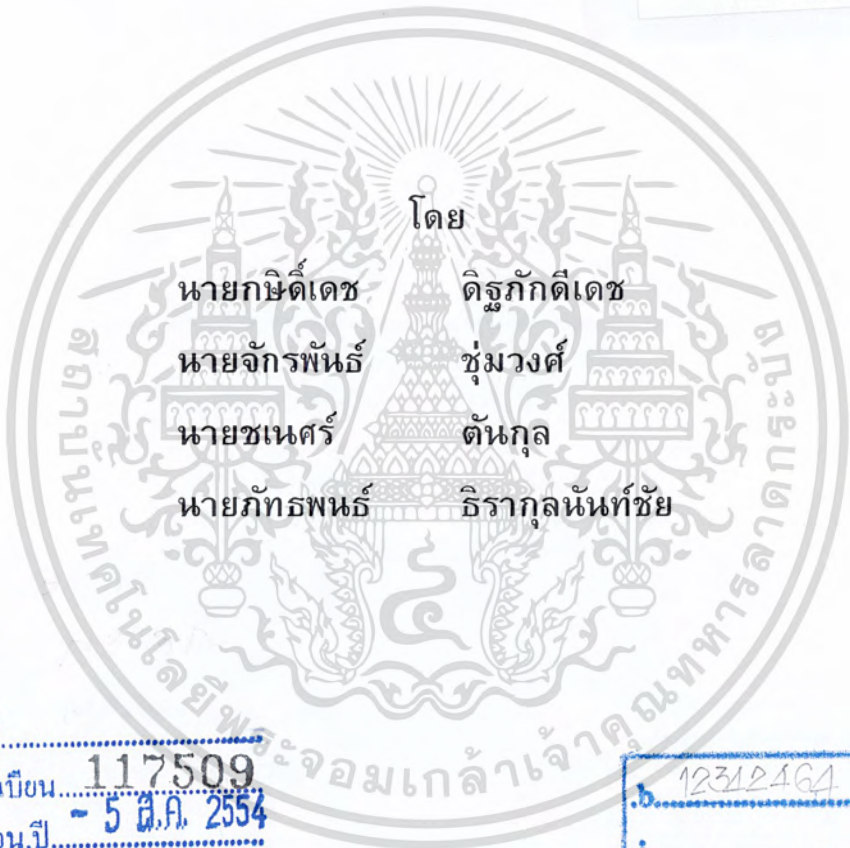
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

Energy Management for Solar Energy



T117509



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117509
วัน,เดือน,ปี..... 5 ต.ค. 2554

b. 12312464
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

Energy Management for Solar Energy



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.พิชิต ล้ายอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

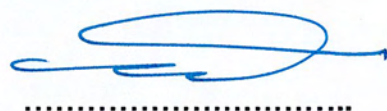
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

- 
1. นายภัสดีเดช ตีรภักดีเดช
 2. นายจักรพันธ์ ชุ่มวงศ์
 3. นายชเนศร์ ตันกุล
 4. นายภัทรพนธ์ ธิรากุลนันทชัย



(รศ.พิชิต ล้ายอง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

นายชิตเดช ติฐภักดีเดช
นายจักรพันธ์ ชุ่มวงศ์
นายชเนศร์ ต้นกุล
นายภัทรพนธ์ ธิรากุลนันท์ชัย
รศ.พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวงจร Boost Converter เพื่อนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ได้สูงสุดโดยใช้เทคนิค Perturb and Observe (P&O) ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ และวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปชาร์จลงแบตเตอรี่ โดยสามารถควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Energy Management for Solar Energy

Kasidech Dithpakdidech

Chukkraphan Chumwong

Chanet Tankul

Patthapol Thirakulnanchai

Assoc. Prof. Pichit Lumyong Advisor

2010

ABSTRACT

This project focuses on how to manage solar cell energy according the changing light intensity during daytime by using it to power motors and turbines, and charge batteries. A Boost Converter circuit is used in solar energy power supply to control and stabilize the output voltage. The output voltage then drives the motor through inverter. This, in turn, controls the motor related to the output of the solar energy power supply. A Buck Converter circuit is also used to supply power to the battery properly.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน.....	4
2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.4 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.5 ตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.2 วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT).....	11
2.3 ชุดควบคุมจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	15
2.4 หลักการเทคนิค P&O และ Multiple P&O.....	16
2.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	18
2.6 ชุดปรับกระแสชาร์จแบตเตอรี่.....	22
2.7 แบตเตอรี่.....	23
2.7.1 ชนิดของแบตเตอรี่และการจัดแบ่งประเภท.....	24
2.7.2 อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller).....	29
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร.....	37
3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการจัดการพลังงานแสงอาทิตย์.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบคอนเวอร์เตอร์	37
3.2.1 วงจร Boost Converter	38
3.2.2 วงจร Buck Converter.....	40
3.3 ชุดขับมอสเฟตและไอจีบีที (Driving Mosfet & IGBT).....	42
3.4 ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน.....	43
3.5 ชุดจ่ายไฟที่จ่ายให้กับชุดคอนโทรล.....	43
3.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	43
3.6.1 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้งานในโครงการ.....	45
3.6.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	46
3.6.3 การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุม.....	46
3.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	49
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	50
4.1 การทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
บทที่ 5 บทสรุปและเสนอแนะทางที่จะดำเนินการ	59
5.1 สรุปผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	59
5.2 สรุปผลการทดสอบวงจร Boost Converter โดยใช้เทคนิค MPPT.....	59
5.3 สรุปผลการทดสอบวงจร Buck Converter ในการควบคุมกระแสชาร์จลง แบตเตอรี่	59
ภาคผนวก ก Microcontroller	60
ภาคผนวก ข Program	72
ภาคผนวก ค Schematic & PCB in Protel 99 SE.....	80
กิตติกรรมประกาศ.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดคู่อิเล็กตรอน และโฮลขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบบนเซลล์ [1].....	7
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้า [1].....	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะสภาวะต่างๆ การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำที่ [1].....	8
รูปที่ 2.4 การพิจารณาคุณลักษณะเฉพาะเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลเฟคเตอร์และจุดกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ [1].....	9
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [3-6].....	10
รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ [1].....	10
รูปที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ [1].....	11
รูปที่ 2.8 การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะนำกระแส [2].....	12
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงขั้วสวิตช์นำกระแส [2].....	12
รูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะหยุดนำกระแส [2].....	13
รูปที่ 2.11 การคำนวณหา slope ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V curve [7].....	16
รูปที่ 2.12 Flow Chart หลักการทำงาน [9].....	17
รูปที่ 2.13 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	18
รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	19
รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	20
รูปที่ 2.16 การทำงานของคลื่นกระแสตัวเก็บประจุ.....	21
รูปที่ 2.17 การกำหนดจุดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่.....	32
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบ.....	37
รูปที่ 3.2 วงจร Boost Converter.....	38
รูปที่ 3.3 วงจร Buck Converter.....	40
รูปที่ 3.4 วงจรขับมอเตอร์แบบ Pulse Transformer.....	42
รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับกระแส และแรงดัน.....	43
รูปที่ 3.6 วงจร Buck Converter ในโปรแกรม Proteus.....	44
รูปที่ 3.7 แสดงสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.....	45
รูปที่ 3.8 Flowchart การทำงานของวงจร Boost Converter.....	47
รูปที่ 3.9 Flowchart การทำงานของวงจร Buck Converter.....	48
รูปที่ 4.1 รูปวงจรถดสอบหาคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
รูปที่ 4.2 ลักซ์มิเตอร์.....	51
รูปที่ 4.3 วงจรการทดสอบหากลังไฟฟ้าสูงสุดและวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	52
รูปที่ 4.4 วงจรทดสอบใช้เทคนิค Maximum Power Point Tracking.....	52

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผงต่ออนุกรม.....	55
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง ต่ออนุกรม.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า [8]	16
ตารางที่ 2.2 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ และคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบ	25
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของ PIC 16F877.....	45
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง ต่อ อนุกรม	53
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจร Boost Converter โดยใช้เทคนิค Maximum Power Point Tracking	56
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน โดยไม่ใช้เทคนิค MPPT และใช้เทคนิค MPPT ผ่านวงจร Boost Converter.....	57
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของวงจร Buck Converter โดยการคงค่ากระแสชาร์จ แบตเตอรี่	58
ตารางที่ 4.5 แสดงผลกระแสชาร์จแบตเตอรี่ที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ โดยกำจัดกระแสชาร์จ แบตเตอรี่ไม่เกิน 4 A.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้งานในรูปแบบต่างๆกันอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มที่จะมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากปัญหาปริมาณพลังงานฟอสซิลที่ใช้กันในปัจจุบันกำลังจะหมดไปในอนาคต ส่งผลให้ทั่วโลกตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานทดแทน เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมดสิ้น เช่น พลังงานจากลม และ พลังงานจากแสงอาทิตย์

โครงการนี้นำเสนอวงจร Boost converter ในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) โดยใช้เทคนิค Perturb and Observe (P&O) โดยใช้ในการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลา ก่อน ในเทคนิคนี้หากอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวกระบบจะปรับทิศทางของแรงดันหรือกระแสไปตามทิศทางเดิมในทางกลับกันหากอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นลบระบบจะปรับทิศทางของแรงดัน (กระแส) ในทิศตรงกันข้ามกับทิศเดิมเพื่อให้ระบบเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ เพื่อนำกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้คุ้มค่ากับต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาสูง และทำการศึกษาวงจร Buck converter โดยมีหลักการคือจะลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่และสามารถควบคุมกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาวงจร Boost Converter เพื่อนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ได้สูงสุด (MPPT) โดยใช้เทคนิค Perturb and Observe (P&O)

1.2.2 ศึกษาวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปชาร์จลงแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบและสร้างวงจร Boost Converter ที่ทำงานเป็น MPPT โดยควบคุมด้วย Microcontroller

1.3.2 ออกแบบและสร้างวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปชาร์จลงแบตเตอรี่ โดยสามารถควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่ได้

1.3.3 ทดลองหาประสิทธิภาพของวงจร Boost Converter บนแผงโซลาร์เซลล์จริง

1.3.4 ทดลองหาประสิทธิภาพของวงจร Buck Converter บนแผงโซลาร์เซลล์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ทำการศึกษาวงจร Boost Converter ที่ทำงานเป็น MPPT เพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน และวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปชาร์จลงแบตเตอรี่ โดยสามารถควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่ได้ตามที่ต้องการ

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติ และคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง

1.5.2 ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาคุณสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกันหลายแผงและสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกัน

1.5.3 ทำการออกแบบและสร้างวงจร Boost Converter ที่ทำงานเป็น MPPT เพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อทดสอบการทำงานของระบบในสภาวะการใช้งานจริง

1.5.4 ทำการออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปชาร์จลงแบตเตอรี่ โดยสามารถควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่ได้

1.5.5 แก้ไขและปรับปรุงระบบให้มีเสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือได้ สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานพร้อมทั้งนำเสนอผลงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 เป็นการแก้ปัญหาในการแปลงพลังงานโดยการควบคุมขนาดของกระแส-แรงดันให้แทรก อยู่ในตำแหน่งที่ให้การแปลงพลังงานคุ้มค่ากับขนาดของแผงมากที่สุด ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมดีขึ้น

1.6.2 นักศึกษาได้รับความรู้และความเข้าใจวงจรชาร์จแบตเตอรี่

1.6.3 นักศึกษาได้รับความรู้และความเข้าใจและมีความสามารถ ในการทำงานเกี่ยวกับระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรองรับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าในอนาคต

1.6.4 นักศึกษามีความเชี่ยวชาญในการวิจัยเพื่อพัฒนาขั้นสูงต่อไป และสามารถนำผลงานในการวิจัยไปใช้ในการประกอบอาชีพได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาภายในของปฏิญานิพนธ์ประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวัตถุประสงค์ขอบเขตของโครงการระเบียบวิธีวิจัยสิ่งที่คาดว่าจะได้รับขั้นตอนของการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบส่วนต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในปฏิญานิพนธ์การทดสอบและผลการทดสอบและสรุปผลการทดสอบรวมทั้งการวิจารณ์ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นอย่างมาก โดยมนุษย์เองได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในรูปแบบต่างๆ ทั้งในทางตรงและทางอ้อม การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในทางตรงได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System หรือ PV System) และเป็นหัวเรื่องที่จะนำมากล่าวถึง อุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System) เป็นกระบวนการใช้ประโยชน์จากการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจุบันการใช้งานระบบดังกล่าวมีการขยายตัวเป็นอย่างมาก นับได้ว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนในรูปแบบหนึ่งที่มีความคุ้มค่าและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนพลังงานที่ได้จากรูปแบบอื่นๆ ที่เกิดจากการแปรสภาพของซากพืชซากสัตว์ ที่ใช้งานกันอยู่ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีการเริ่มใช้งานมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยมีรายงานเกี่ยวกับการใช้ระบบดังกล่าว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา และในปี ค.ศ. 1960 มีการวิจัยและพัฒนาให้นำไปใช้งานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอุตสาหกรรมด้านอวกาศ ส่วนการใช้งานตามบ้านเรือนทั่วไปและในงานด้านอื่นๆ ขณะนั้นยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในรูปแบบอื่น

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมส่งผลให้เทคโนโลยีด้านการผลิตสารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอนมีการพัฒนาให้เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วอีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญและเป็นทางเลือกของการใช้พลังงานในรูปแบบหนึ่ง ในช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1970 อีกด้วย การใช้งานที่แพร่หลายของเซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ คือใช้เป็นแหล่งพลังงาน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น เครื่องคิดเลข และนาฬิกา เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ยังถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในพื้นที่ห่างไกล บริเวณที่เป็นป่าไม้และภูเขา รวมทั้งตามหมู่เกาะต่างๆ ในท้องทะเล ที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าไม่สามารถเข้าไปถึงได้ อันเนื่องมาจากต้นทุนสูงจากการลงทุน จากการสำรวจข้อมูลของการไฟฟ้าพบว่าประเทศไทยยังมีบ้านเรือนประชาชนในพื้นที่ห่างไกลที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้อีกหลายพันหลังคาเรือน ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะสมต่อการนำระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้าปกติเข้าไปไม่ถึงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและวางระบบไฟฟ้าทั้งยังตอบสนองต่อความต้องการและอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชนได้อย่างทั่วถึงอีกด้วย

2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยแบ่งออกได้หลายชนิด ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน
2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน
3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส
4. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ปัจจุบันมีการผลิตใช้กันมากที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนนั้นทำมาจากซิลิกอนที่มีระนาบเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน โดยความหนาของแผ่นซิลิกอนนั้นมีค่าน้อยทำให้น้ำหนักเบาและเป็นวัสดุที่ทนต่อแรงเค้นได้ดีแม้จะมีความหนาเพียง 50 μm ก็ยังคงสภาพเป็นแผ่นได้ดี เซลล์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและแบบอะมอร์ฟัส โดยที่ลักษณะคุณสมบัติการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานน้อยมาก อายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้คือ เนื่องจากผลึกซิลิกอนมีช่องว่างแถบพลังงานชนิดไม่ตรง (Indirect Band Gap) ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าน้อย การผลิตจึงต้องผลิตให้หนาพอสมควร ซึ่งความหนาจะอยู่ประมาณ μm ขึ้นไป โดยที่การผลิตนั้นทำได้ง่าย ซึ่งใช้เทคโนโลยีการสร้าง IC ในการทำรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งมีความก้าวหน้าไปมาก ในทางทฤษฎีแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 44% แต่ในทางปฏิบัติจริงเซลล์ชนิดนี้จะมีการสูญเสียต่างๆ เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าต่ำลง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากซิลิกอนที่ในผลึกจะมีระนาบของผลึกหลายชนิดปนอยู่ในระนาบเดียวกัน เมื่อดูด้วยตาเปล่าจะเห็นความแตกต่างของสีของแต่ละระนาบอย่างชัดเจน อาณาเขตของผลึกเรียกว่า “เกรน” (grain) เทคโนโลยีปัจจุบันนี้สามารถผลิตโพลีซิลิกอนให้มีเกรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่หลายสิบลไมครอนถึงหลายพันไมครอน ถ้าเกรนมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของเซลล์ พาหะโฟโตที่เกิดจากแสงสามารถเดินทางผ่านรอยต่อพี-เอ็น ออกสู่วงจรภายนอก เซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้คือมีพันธะของซิลิกอนที่มีแขนขาดอยู่มาก ซึ่งไม่มีซิลิกอนอะตอมอื่นมาเกาะพันธะด้วย พันธะแขนขาดนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดสถานะจุดบกพร่อง (defect state) ซึ่งสถานะจุดบกพร่องนี้จะเป็นตัวคอยจับพาหะข้างน้อยจากแสงไม่ให้เดินทางออกสู่วงจรภายนอก และส่งผลทำให้เวลาอายุ (life time) ของพาหะข้างน้อยลดลง และที่ขอบของเกรนจะทำให้เกิดแถบพลังงานที่ขอบของเกรนเกิดเส้นโค้งขึ้น

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

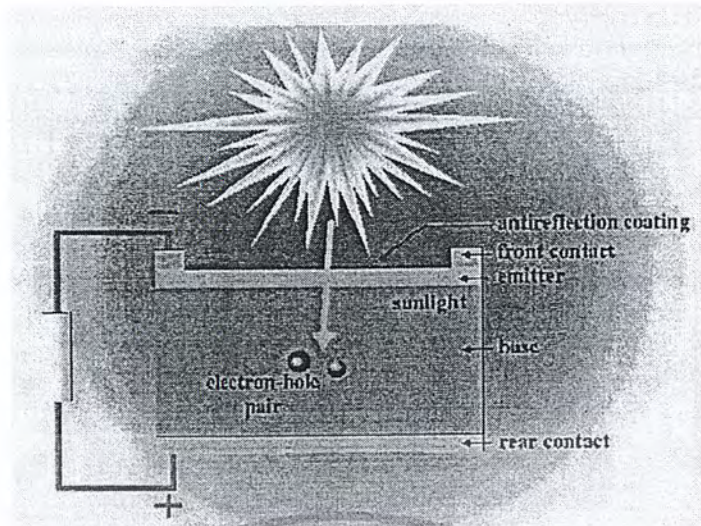
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะเป็นแบบฟิล์มบาง ซึ่งสร้างมาจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน ซึ่งเป็นซิลิกอนที่เรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบหรือเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมแต่ไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอม ข้อดีของอะมอร์ฟัสซิลิกอนก็คือ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี ราคาถูกและประหยัดพลังงาน มีความไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำจึงใช้กับแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อย่างอื่นอีกเช่น ตัวตรวจจับแสงสีต่างๆ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ

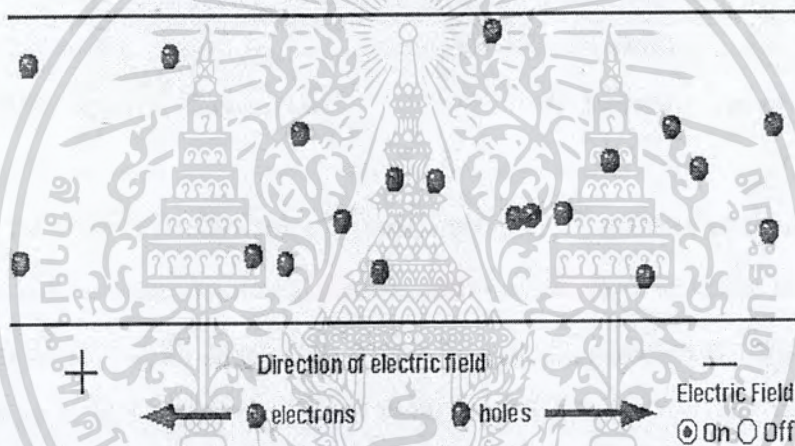
เซลล์ชนิดนี้สร้างจากสารประกอบกึ่งตัวนำตระกูล III-V เช่น GaAs และ InP และสารประกอบกึ่งตัวนำตระกูล II-VI เช่น Cds, DdTe ซึ่งผลิตขายในเชิงอุตสาหกรรมแล้ว โดยมากเซลล์ที่สร้างจาก GaAs และ InP จะใช้กันมากในอวกาศ โดยเฉพาะ InP นั้นจะมีคุณสมบัติทนต่อรังสีได้ดี ข้อดีของเซลล์จำพวกนี้คือ เซลล์มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสารที่นำมาทำเซลล์มีค่าช่องว่างพลังงานที่สูงประมาณ 1.4-1.5 eV และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงเนื่องจากเป็นแสงที่มีช่องว่างแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) ซึ่งสามารถทำเป็นแบบฟิล์มบางได้ โดยถ้าเทียบเป็นประสิทธิภาพที่ 15% จะต้องใช้ซิลิกอนที่มีความหนาถึง 100 μm ในขณะที่ใช้ GaAs จะใช้ความหนาเพียง 10 μm เซลล์ชนิดนี้จะมี ความทนทานต่อรังสีสูง และทำงานได้ดีในความเข้มสูงๆ คุณสมบัติเด่นอีกข้อหนึ่งคือ สามารถสร้างเป็นหลายๆชั้นได้ และจะทำให้สามารถมีศักยภาพในการดูดกลืนแสงในลักษณะสเปกตรัมที่กว้างได้ดี

2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

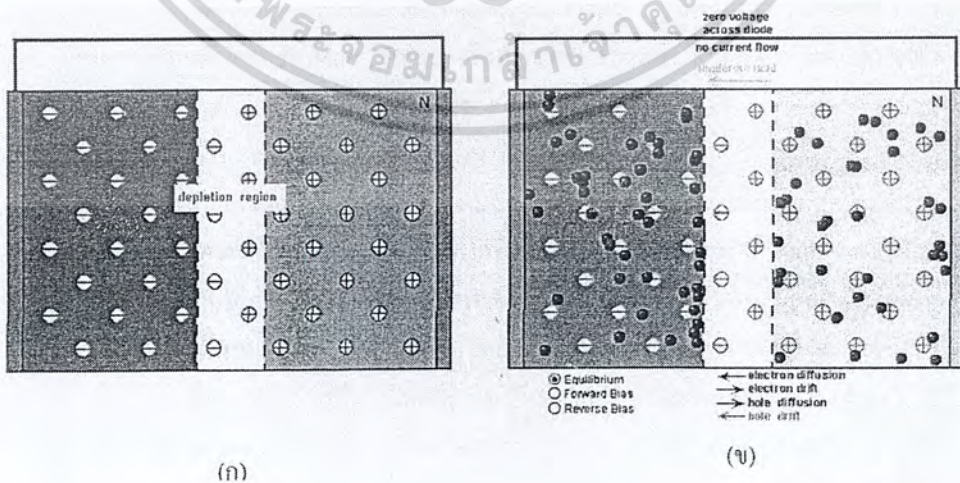
เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมาต่อเข้าด้วยกัน จะได้ลักษณะของแถบพลังงานซึ่งอยู่ในสถานะของสมดุลความร้อน และเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณปลอดพาหะนั้นจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้น ดังรูปที่ 2.1 ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับพลังงานแสงด้วยว่าจะเพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนสามารถที่จะเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้หรือไม่ ถ้าพลังงานมากพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้และจะเหลือโฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ ที่บริเวณปลอดพาหะนั้นจะมีสนามไฟฟ้าอยู่ ซึ่งมีทิศทางจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพีสนามไฟฟ้านี้เองจะเป็นตัวทำให้อิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงให้เคลื่อนที่ไปยังด้านเอ็น ในขณะที่เดียวกันโฮลก็จะเคลื่อนที่ไปยังด้านพี โดยการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอน และโฮลภายใต้สนามไฟฟ้าได้แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบบนเซลล์ [1]



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้า [1]



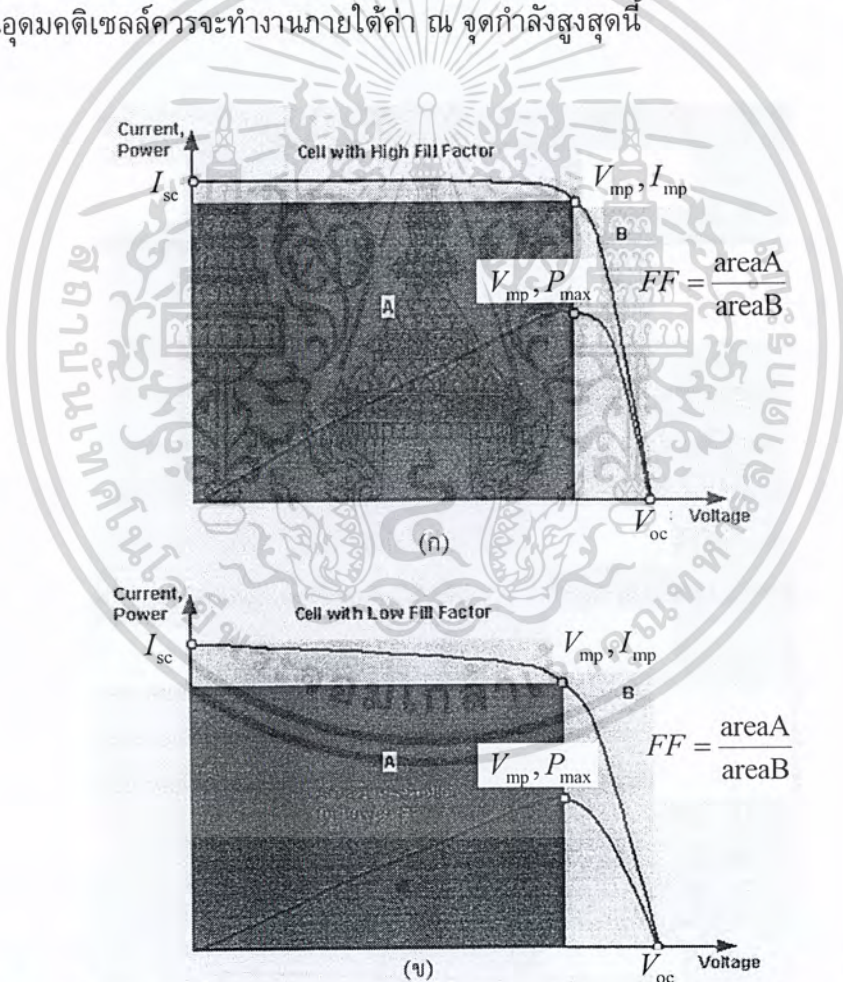
(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ FF คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
 P_{mp} คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
 I_{mp} คือ กระแสที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
 V_{mp} คือ แรงดันที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
 I_{sc} คือ ค่ากระแสลัดวงจร
 V_{oc} คือ แรงดันขณะวงจรเปิด

ค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V Curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายใต้สี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{mp}) กระแสสูงสุด (I_{mp}) และแรงดันสูงสุด (V_{mp}) ในอุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังสูงสุดนี้

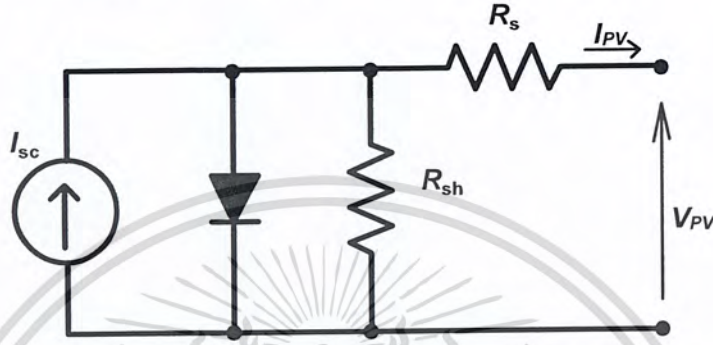


รูปที่ 2.4 การพิจารณาคูณลักษณะเฉพาะเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลแฟคเตอร์และจุดกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ก) เมื่อค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูง ข) เมื่อค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะเข้าใจคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เราจะพิจารณาจากวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำลองได้เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ โดยกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_S) ความต้านทานขนาน (R_{Sh}) และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_L ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอด และ R_{Sh} แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) และกระแสที่ไหลผ่าน R_S และ R_L ให้มีค่าเป็น I_0



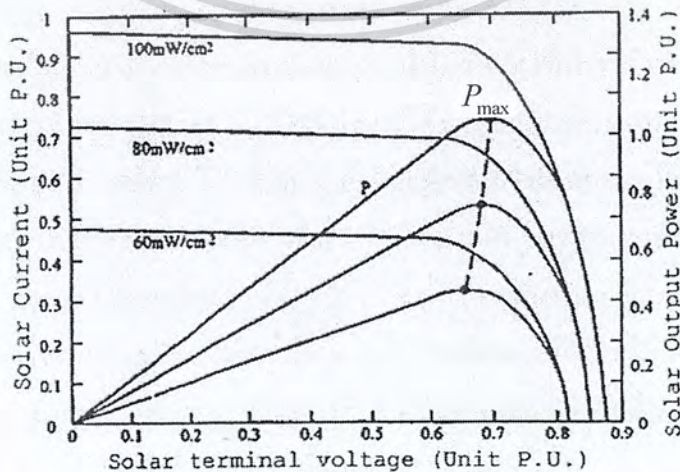
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [3-6]

2.1.5 ตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบระบบและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่บนรากฐานของคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสเซลล์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเซลล์ (Cell Temperature)

ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสงที่มีผลกับการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งความเข้มแสงมีผลแบบแปรผันตรงต่อปริมาณกระแสมากกว่าแรงดันและจะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าเอาต์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.6



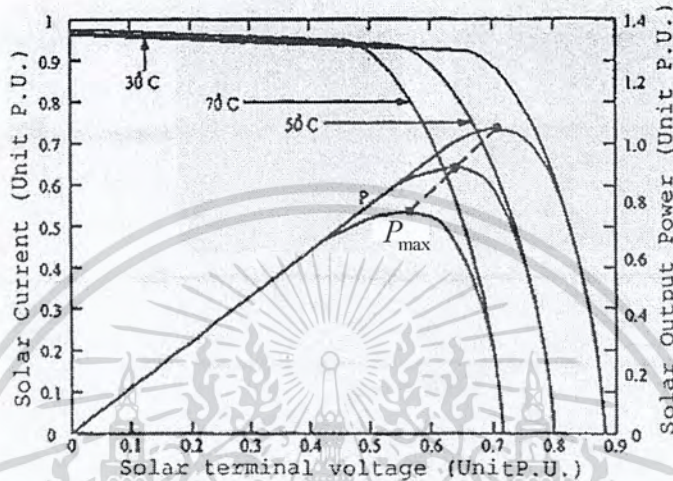
รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนนี้มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ตามรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์มีความอ่อนไหวแบบผกผันกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ส่วนกระแสนั้นอุณหภูมิมีผลต่อไม่มากนัก



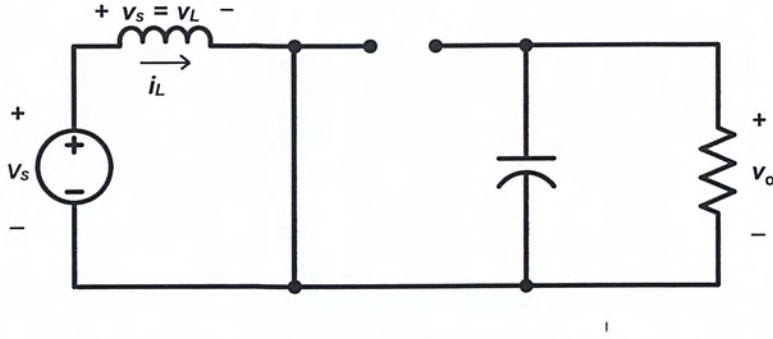
รูปที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

2.2 วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

วงจรตีซึ่ทุติซึ่คอนเวอร์เตอร์สามารถนำมาใช้เป็นวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในปริณญาณิพนธ์์ใช้วงจรบู้สตัคคอนเวอร์เตอร์ วงจรบู้สตัคคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เป็นวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะสูงกว่าแรงดันทางด้านอินพุต

หลักการทำงานของวงจรบู้สตัคคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบู้สตัคคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าตามต้องการจากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมตขณะสวิตช์นำกระแส จากรูปที่ 2.8 เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำสะสมพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.8 การทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะนำกระแส [2]

$$-v_s + v_L = 0 \quad (2.2)$$

$$v_s = v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.3)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_s}{L} \quad (2.4)$$

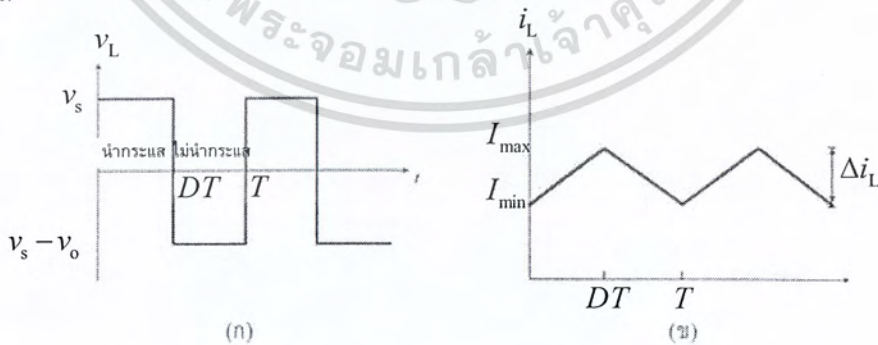
เมื่อ v_s คือ แรงดันที่ได้จากแหล่งจ่ายเซลล์
 v_L คือ แรงดันที่เกิดเนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำ
 v_o คือ แรงดันเอาท์พุท

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{v_s}{L} \quad (2.5)$$

$$\Delta i_L = \frac{v_s DT}{L} \quad (2.6)$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



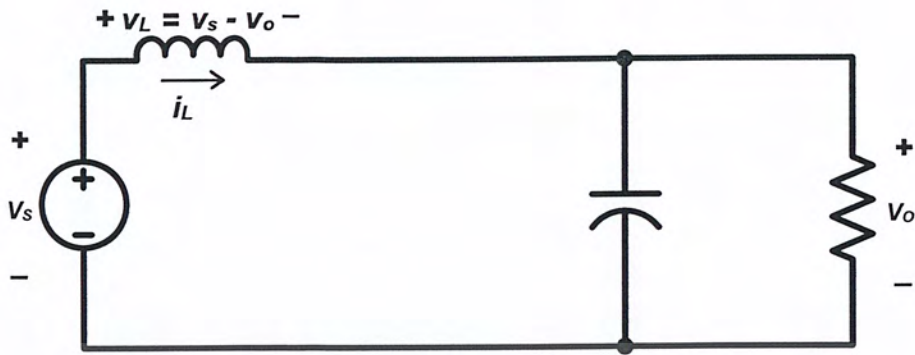
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงขณะสวิตช์นำกระแส [2]

ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสเป็นไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะหยุดนำกระแส [2]

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงานผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าต้านเอาท์พุทมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-v_s + v_L + v_o = 0 \quad (2.7)$$

$$v_L = v_s - v_o \quad (2.8)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.9)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_s - v_o}{L} \quad (2.10)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่ และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{v_s - v_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.11)$$

ที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับ ศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.12)$$

$$\left(\frac{v_s}{L} \right) DT + \frac{(v_s - v_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.13)$$

$$v_s D + (v_s - v_o)(1-D) = 0 \quad (2.14)$$

$$v_s D + v_s - v_s D - v_o + v_o D = 0 \quad (2.15)$$

$$v_s - v_o(1-D) = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

ความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องสามารถคำนวณได้ดังนี้ สมมติการสูญเสียภายในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{v_o^2}{R} \quad (2.18)$$

$$P_s = v_s i_s = v_s i_L \quad (2.19)$$

$$v_s i_L = \frac{v_o^2}{R} \quad (2.20)$$

$$v_o = \frac{v_s}{1-D} \quad (2.21)$$

$$v_s i_L = \frac{\left(\frac{v_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.22)$$

$$i_L = \frac{v_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.23)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จาก $\Delta i_{L,on} = \frac{v_s DT}{L}$ ขณะ
สวิตช์นำกระแส

$$\Delta i_{L,on} = \frac{v_s DT}{L} \quad (2.24)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$i_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.25)$$

$$i_{L,max} = \frac{v_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{v_s DT}{L} \right) \quad (2.26)$$

$$i_{L,min} = \frac{v_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{v_s DT}{L} \right) \quad (2.27)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องได้ดังนี้

$$i_{L,max} = \frac{v_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{v_s DT}{L} \right) = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{v_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_s DT}{L} \right) \quad (2.29)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่ หรือ สัญญาณมีความเรียบมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากได้ เนื่องจากมีราคาแพงและต้องใช้พื้นที่มาก จึงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม โดยที่ค่าของแรงดันเอาต์พุตอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้สมการ

$$\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.31)$$

2.3 ชุดควบคุมจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ชุดควบคุมจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ซีทูดี้ซีคอนเวอร์เตอร์โดยจะควบคุมจุดทำงานของ v_{dc} และ i_{dc} ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้พลังงานสูงสุด การจะให้กำลังงานเป็นไปตามความเข้มแสงที่ตกกระทบตัวอย่างเช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบุพิกัดไว้ 75 W แต่กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงไม่ได้เท่ากับ 75 W ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดทำงานในกราฟ P-V

ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานโดยให้ได้รับกำลังงานสูงสุดเท่าที่ความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายออกมาได้ในขณะความเข้มแสงนั้นต้องมีการกำหนดจุดการทำงานที่จะได้กำลังงานมากที่สุด ดังในรูปที่ 2.6 แสดงกราฟการจ่ายแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการรับแสงที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กันและเมื่อนำโหลดมาต่อก็จะทราบถึงจุดที่โหลดได้รับกระแสและแรงดันค่าหนึ่งบนเส้นกราฟซึ่งนำมาเขียนเป็นเส้นก็ได้ เส้นขึ้นมาเส้นหนึ่ง คือ เส้นจ่ายโหลดคงที่ (Constant Voltage Load) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่จุดนี้ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) ที่โหลดได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ใช่กำลังสูงสุด

เมื่อพิจารณาจากกราฟคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงเท่ากันนั้น กำลังงานที่ได้จากการคิดที่ค่าของกระแสและแรงดันที่คงที่ เมื่อจ่ายโหลดจะมีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่ได้จากการคิดค่าของกระแสและแรงดันที่ชุดจ่ายกำลังงานสูงสุด

ในการกำหนดจุดการทำงานที่ได้กำลังงานมากที่สุด โดยใช้ MPPT ช่วยในการเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุดแรงดันจ่ายโหลดคงที่ มาเป็นจุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point) วงจรนี้เรียกว่าตัวตามรอยกำลังงานสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) อาศัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมแรงดันอินพุตของโซลาร์โมดูลให้อยู่ในย่านแรงดันที่สามารถแปลงพลังงานได้ใกล้เคียงกับ P_{max} ของโมดูลนั้นๆ และปรับระดับแรงดันเอาต์พุตให้เหมาะสมกับโหลด โดยอาศัยการป้อนกลับกระแสและแรงดัน เพื่อประมวลผลสัญญาณการทริกซ์ของอุปกรณ์สวิตซ์ในคอนเวอร์เตอร์ โดยให้มีตัวดีไซเกิลที่เหมาะสมเพื่อรักษาระดับแรงดันของโซลาร์โมดูล ให้ทำงานในย่าน P_{max} ในโครงงานนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อสร้างพัลส์ขั้ววงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ง่ายและรวดเร็ว โดยการออกแบบให้มีอัล

กอลิทึมที่เหมาะสมในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีขึ้น

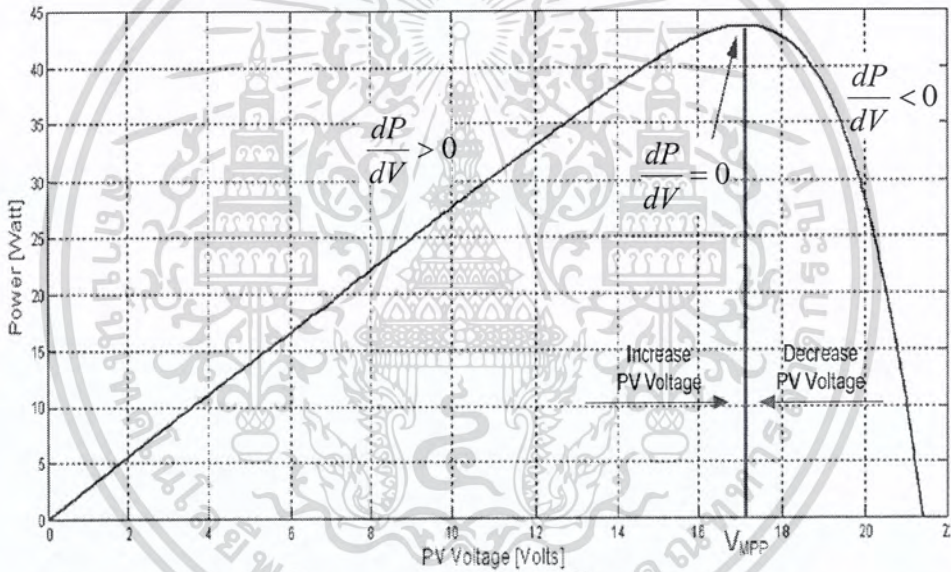
2.4 หลักการ เทคนิค P&O และ Multiple P&O

เทคนิค P&O ใช้หลักการปรับกระแสโดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้า ดังสมการ

$$dP = P(k) - P(k-1) \quad (2.32)$$

ซึ่งระบบจะเริ่มทำการตามรอยจากจุดเริ่มต้นจุดหนึ่งไปจนผลต่างกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงศูนย์ ($dP \approx 0$) จะหยุดการเปลี่ยนแปลงจุดทำงาน การเปลี่ยนแปลงจุดทำงานโดยการควบคุมกระแสอาจพิจารณาได้จากรูปที่ 2.11 และจากเงื่อนไขต่อไปนี้

1. กรณีที่ dP / dV เป็นบวก ให้ทำการเพิ่มแรงดัน
2. กรณีที่ dP / dV เป็นลบ ให้ทำการลดแรงดัน



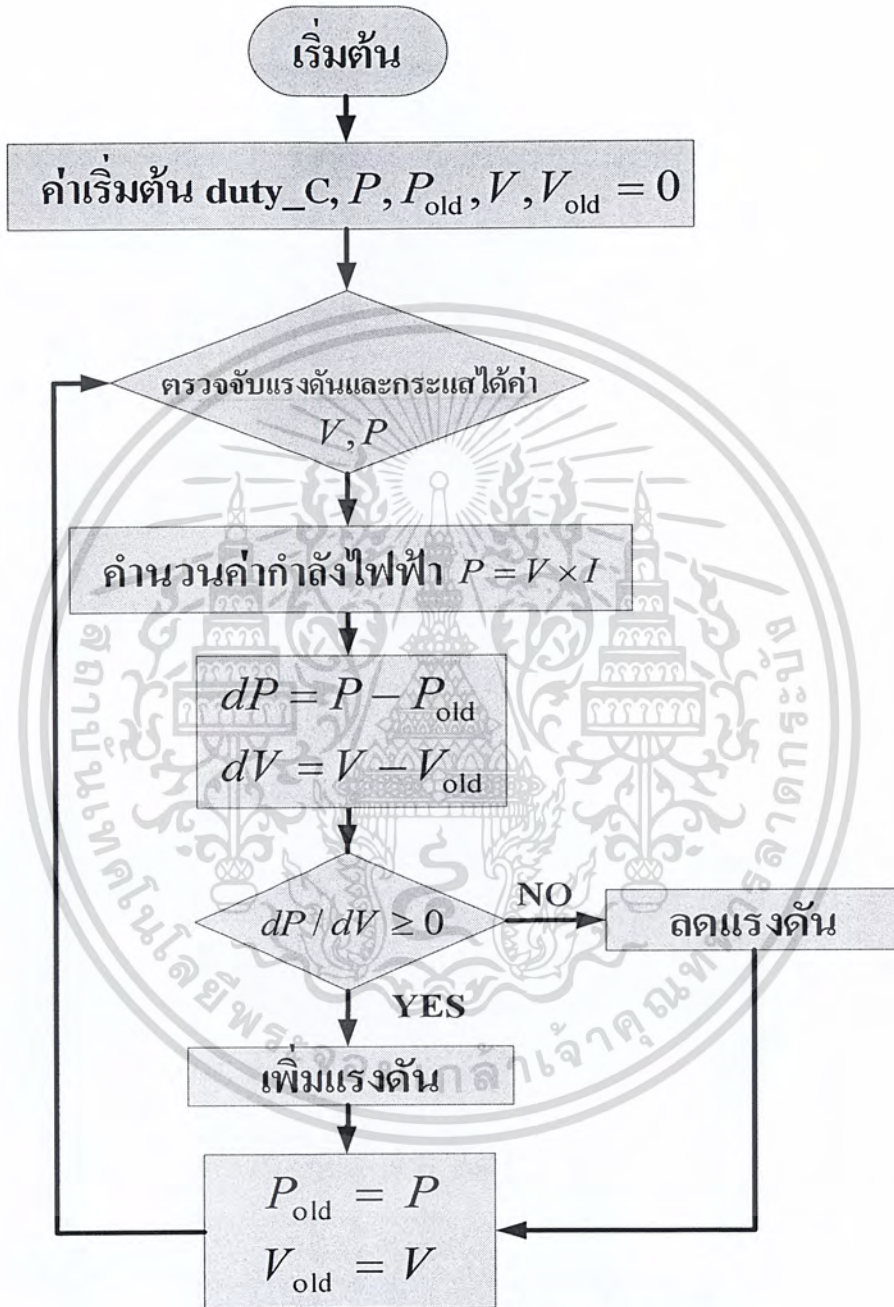
รูปที่ 2.11 การคำนวณหา slope ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V curve [7]

ตารางที่ 2.1 การทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า [8]

กรณี	dP	dV	dP / dV	การ Track
1	+	+	+	ถูกทางให้ทำการเพิ่มแรงดัน
2	+	-	-	ถูกทางให้ทำการลดแรงดัน
3	-	+	-	ผิดทางให้ทำการลดแรงดัน
4	-	-	+	ผิดทางให้ทำการเพิ่มแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นลบระบบจะปรับทิศทางของแรงดัน (เพิ่มหรือลดแรงดัน) ตามทิศทางเดิม และถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นลบระบบจะปรับทิศทางของแรงดันสวนทางกับทิศทางเดิมเพื่อวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Flow Chart หลักการทำงาน [9]

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วนเช่น การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 1 แผงและทั้งสองแผงมีความเข้มแสงตกกระทบไม่เท่ากัน อาจทำให้ไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากระบบมีจุดที่สูงสุดมากกว่า 1 จุด จึงได้มีการนำวิธี multiple P&O มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้การตามรอยกระแสในหลายย่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน เพื่อนำกำลังไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละย่านมาเปรียบเทียบกัน หากจุดใดมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ก็จะใช้จุดนั้นในการตามรอย P&O ต่อไป เมื่อครบคาบเวลาที่กำหนดก็จะทำการสุ่มจุดเริ่มต้นอีกครั้ง ทำให้สามารถลดปัญหาของ local maxima นี้ได้

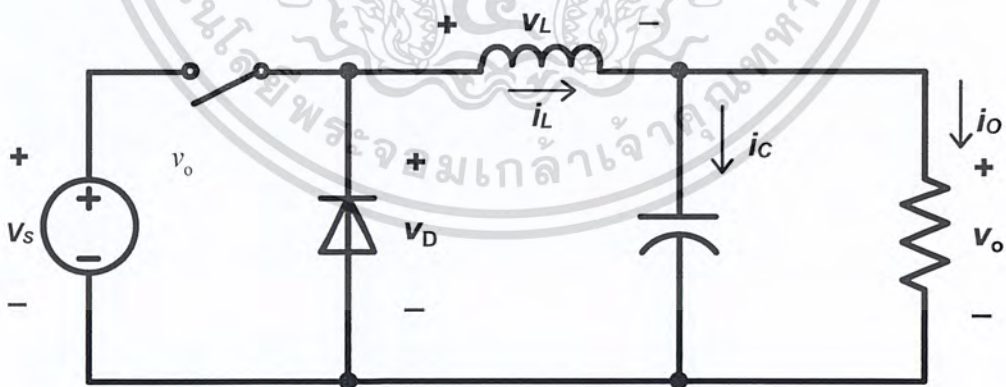
2.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรที่ซีทู้ตี่ซีคอนเวอร์เตอร์สามารถนำมาใช้เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้ในปริณญา นิพนธ์ใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) เป็นวงจรที่ทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะต่ำกว่าแรงดันทางด้านอินพุต

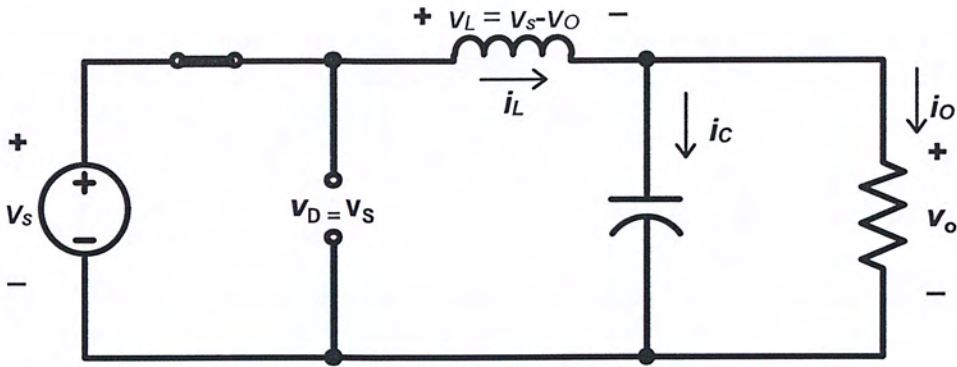
หลักการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทอนระดับแรงดัน คือ วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็น กระแสตรงมากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้ วงจรแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการผกผันกับกำลังสองของ ความถี่ เพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะ สามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ 2.36 การวิเคราะห์การทำงานของ สวิตช์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส จากรูป 2.8 กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะ ไหลผ่านสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บ ประจุ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.13 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$v_L = v_s - v_o \quad (2.33)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.34)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_s - v_o}{L} \quad (2.35)$$

dt ในกรณีนี้อยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{v_s - v_o}{L} \right) DT \quad (2.36)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$v_L = -v_o \quad (2.37)$$

$$v_L = -v_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.38)$$

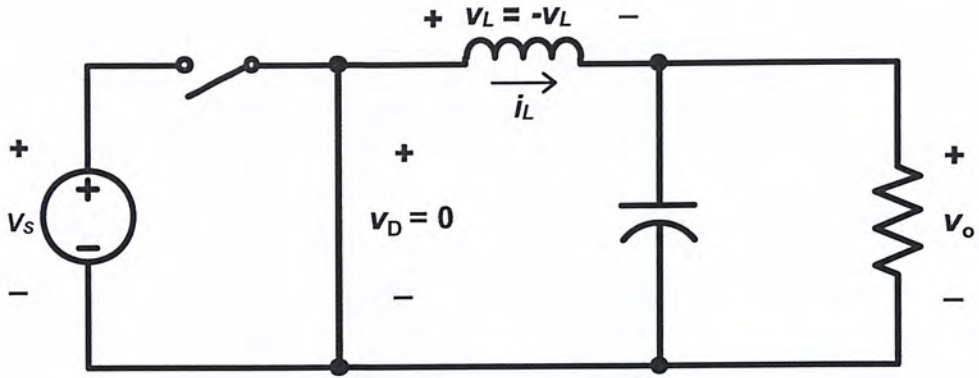
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-v_o}{L} \quad (2.39)$$

ความหมายของสมการที่ 2.39 คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

dt ในกรณีนี้อยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส คือ $dt = (1-D)T$ ดังนั้น จากสมการที่ 2.39 สามารถจัดให้อยู่ในรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{v_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ในช่วงสภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแส จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ 2.36 กับสมการที่ 2.40 จะกล่าวได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.41)$$

$$\left(\frac{v_s - v_o}{L}\right)DT + \left(-\left(\frac{v_o}{L}\right)(1-D)T\right) = 0 \quad (2.42)$$

$$(v_s - v_o)D - v_o(1-D) = 0$$

$$\frac{v_o}{v_s} = D \quad (2.43)$$

ในสมการที่ 2.43 อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า D วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าต้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า D โดยการปรับค่า D สามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง เช่น แรงดันไฟฟ้าต้านเข้าเท่ากับ 100 โวลต์ ซึ่งในทางทฤษฎีวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ก็จะสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าต้านออกได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่งร้อยโวลต์ แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับได้ถึง 100 โวลต์ เพราะเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำ ทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านออกที่ได้จริงมีค่าน้อยกว่า 100 โวลต์เล็กน้อย

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจะทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่สภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$i_L = i_o = \frac{v_o}{R} \quad (2.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด ได้จากในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$i_{L,\max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.45)$$

$$i_{L,\max} = \frac{v_o}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{v_o}{L} (1-D) T \right)$$

$$i_{L,\max} = v_o \left(\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.46)$$

ดังนั้น กระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$i_{L,\min} = i_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

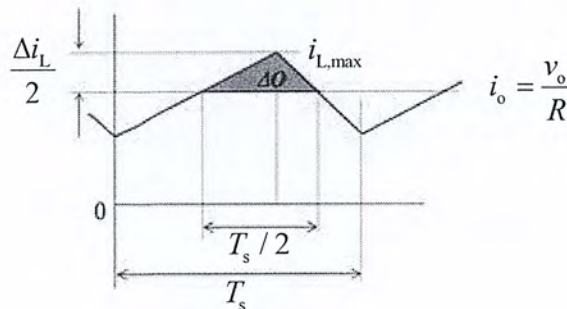
$$i_{L,\min} = \frac{v_o}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{v_o}{L} (1-D) T \right) \quad (2.47)$$

$$i_{L,\min} = v_o \left(\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.48)$$

เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นกระแสบวกเสมอ ซึ่งในสมการที่ 2.48 สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่ในการสวิตช์ซึ่งค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านนอก

โดยปกติวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน หรือวงจรกรองแบบ LC ที่อยู่ในวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์จะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆ ได้ เนื่องจากมีราคาแพง และใช้พื้นที่มากจึงควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสมและให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับการคำนวณหาค่าคลื่นระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในภาพที่ 2.16 ซึ่งกระแสในตัวเก็บประจุสามารถหาได้จาก

$$i_C = i_L - i_R \quad (2.49)$$



รูปที่ 2.16 การทำงานของคลื่นกระแสตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = Cv_o \quad (2.50)$$

$$\Delta Q = C\Delta v_o$$

$$\Delta v_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.51)$$

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.52)$$

แทนค่าสมการที่ 2.52 ลงในสมการที่ 2.51 จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (2.53)$$

แทนค่า $\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{v_o}{L}\right)(1-D)T$ จากสมการที่ 2.40 โดยพิจารณาเฉพาะขนาดลงในสมการที่ 2.53 จะได้

$$\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{T}{8C} \left(\frac{1}{L} \right) (1-D)T \quad (2.54)$$

$$\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.55)$$

จากสมการที่ 2.55 เรียกว่าอัตราระลอกคลื่น (ripple ratio) มักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกระหว่างยอดถึงยอดกับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออก ในที่นี้หมายถึงเฉพาะแรงดันไฟฟ้า หากต้องการให้อัตราระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีค่าน้อยลง (อัตราระลอกคลื่นยิ่งน้อย หมายถึง การที่ได้แรงดันกระแสตรงที่เรียบมากขึ้น) สามารถเลือกได้สองแนวทางคือ กรณีแรกการพยายามทำให้เศษในสมการที่ 2.55 มีค่าน้อยที่สุด โดยการทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ส่วนอีกกรณีหนึ่ง คือการพยายามทำให้ค่าส่วนในสมการที่ 2.55 มีค่ามากๆ เช่นการเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ หรือความถี่ในการสวิตช์ให้มากขึ้น โดยในการเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ เช่น เพิ่มขึ้นจาก 50 kHz. เป็น 100 kHz. ค่าอัตราการระลอกคลื่นจะมีค่าลดลงสี่เท่า ซึ่งความถี่ในการสวิตช์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์นับว่ามี ความไวสูงในการควบคุมอัตราการระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

2.6 ชุดปรับกระแสซาร์จแบตเตอรี่

ชุดปรับกระแสซาร์จแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขีพู่ตีซีคอนเวอร์เตอร์โดยจะควบคุมจุดทำงานของ กระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถนำไปอัดประจุให้กับ แบตเตอรี่อย่างเหมาะสม เนื่องจากกระแสที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเมื่อต่อเข้ากับ แบตเตอรี่โดยตรง จะไม่สามารถควบคุมกระแสที่ใช้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ได้ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตาม พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละความเข้มแสงแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานโดยคงและจำกัดกระแสอัดประจุไม่ว่าความเข้มแสงจะเปลี่ยนไปอย่างไรนั้นต้องมีการกำหนดจุดการทำงานที่จะจำกัดกระแสด้านออกของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้กับระบบ เนื่องจากถ้าค่าของกระแสอัดประจุมีค่ามากเกินไป ถึงแม้ว่าจะสามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มเร็วขึ้น แต่อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะสั้นลง

เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติแบตเตอรี่ จะเห็นได้ว่าขณะที่ขนาดของแบตเตอรี่ (Ah) มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นก็จะสามารถปรับให้กระแสอัดประจุเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับกำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงและเวลาที่จะใช้ในการอัดประจุด้วย

ในการกำหนดจุดทำงานที่สามารถคงและจำกัดกระแสอัดประจุ โดยใช้การตั้งค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (Reference) เพื่อให้กระแสที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงสามารถควบคุมได้ โดยอาศัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมกระแสด้านออกให้อยู่ในย่านกระแสที่เหมาะสมในการอัดประจุ ของแบตเตอรี่นั้นๆ โดยอาศัยการป้อนกลับกระแส เพื่อประมวลผลสัญญาณการทรินกซ์ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในคอนเวอร์เตอร์ โดยให้มีดีวีดีไอเคล็ดที่เหมาะสมเพื่อรักษาและจำกัดระดับกระแสด้านออกของวงจร ให้ทำงานในย่านกระแสที่ผู้ใช้สามารถปรับตั้งค่า reference ได้ ในโครงการนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วงจรกับแบตเตอรี่หลายขนาด เพื่อนำไปใช้กับระบบที่หลากหลาย

2.7 แบตเตอรี่ (Battery)

เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานทดแทนต่างๆ ไว้ในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมี แล้วนำกลับมาใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น ประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในตอนกลางวันแล้วนำไปใช้กับระบบแสงสว่างในตอนกลางคืน แบตเตอรี่ที่ใช้งานจึงเป็นแบบที่สามารถประจุกลับได้

ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาใช้โดยตรงขณะที่ทำการผลิต เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานมักไม่ตรงกับความสามารถในการผลิต เพราะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับ แต่การใช้งานขึ้นกับชนิดของภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการนำระบบแบตเตอรี่มาใช้ในระบบ วัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระสามารถสรุปได้ดังนี้

1. Energy Storage Capacity and Autonomy แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าตามที่ต้องการตลอดเวลา

2. Voltage and Current Stabilization แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ภาระทางไฟฟ้าด้วยกระแสและแรงดันคงที่ และขจัดปัญหา transient ซึ่งเกิดจากการผลิต ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Supply Surge Current แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายกระแสสูงๆ เมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าปริมาณมาก ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายชนิดกับระบบ

2.7.1 ชนิดของแบตเตอรี่และการจัดแบ่งประเภท

ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายลักษณะผลิตจำหน่าย บางชนิดมีการออกแบบพิเศษให้เหมาะสมกับเฉพาะงาน แบตเตอรี่ทุกชนิดที่ออกแบบมามีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกัน ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เป็นชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีหลายขนาดให้เลือกใช้ มีราคาต่ำ และคุณสมบัติเป็นที่รู้จักดีแล้ว ในบางสภาวะแวดล้อมเช่นในสภาพที่อุณหภูมิต่ำมีการใช้เซลล์แบบนิเกิล-แคดเมียม แต่เนื่องจากมีราคาเริ่มต้นที่แพง ทำให้มีการใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวงจำกัด ยังไม่มีแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ในการนำมาใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบระบบที่จะเลือกระบบแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้นๆ

การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่

โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะจัดแบ่งเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery)

1. แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) สามารถเก็บพลังงานเคมีและจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ แต่ไม่สามารถที่จะประจุกลับ เช่น แบตเตอรี่ชนิดเซลล์คาร์บอนสังกะสี และเซลล์ลิเทียม ที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป บางครั้งเรียกถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่แบบปฐมภูมินี้ ไม่นำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2. แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery) สามารถเก็บพลังงานเคมี แล้วจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ และสามารถประจุกลับได้ โดยการจ่ายกระแสในทิศทางตรงข้ามกับ การคายประจุ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ที่ใช้ในรถยนต์เป็นตัวอย่างของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ และคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวต่อไป

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีการออกแบบและมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. แบตเตอรี่ รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (shallow cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบใหม่อายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (deep cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว

ตารางที่ 2.2 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ และคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบ

	ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการ คายประจุแบบ ลึก (Deep Cycle)	การ บำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลาย (Flooded Lead-Acid)	1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
	2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
	3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
	4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/ แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)	1. เจลแบตเตอรี่ (Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
	2. Absorbed Glass Mat (AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
ชนิด- แคดเมียม	1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
	2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

เมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20% DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60% DOD

2. แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก (deep cycle) ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่า วัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้ เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (deep cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก (deep cycle) ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตรออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริด ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้งานคายประจุมาก (deep cycle) หรือที่เรียกว่า ประจुरुอบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กรดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียม เมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่ต้องการการประจุเกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุเกิน

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลาย มีช่องระบายก๊าซเป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ตักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็คดูความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการศึกษา ก๊าซ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อย การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสถานะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25% DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง มี 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกละ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 AH แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำ และมีการสูญเสียเล็กน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่อง ปรากฏการณ์ซัลเฟชัน และปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (stratification)

2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ maintenance free ใช้กับรถยนต์ มีความจุในช่วง 50-200 AH ขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกิน สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุการใช้งานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (shallow cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนิ/แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 Ah ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกรดแบบแห้งในขั้วบวก และใช้ตะกั่ว-แอนติโมนิในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รับข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมาก มีการสูญเสียเล็กน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (stratification) ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในระบบขนาดใหญ่

3. แบตเตอรี่ ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอีกชนิดหนึ่ง โดยสารอิเล็กโทรไลต์ จะถูกอิมโมบิไลซ์ (immobilized) และปิดผนึก ในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสภาวะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายในแบตเตอรี่ ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องไม่ทำการประจุเกิน

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้ว และสะดวกต่อการขนส่ง แต่ที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมักเกิดในสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสภาวะประจุเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสภาวะการประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 V ที่ 25 องศาเซลเซียส สำหรับแบตเตอรี่ 12 V ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิคงที่ เพื่อป้องกันการประจุเกิน มี 2 ชนิด คือ

3.1 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ

แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่

3.2 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจลคือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลท แต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน จากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่ โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบ และรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

4. แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เลือกใช้งานน้อย

เซลล์แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม อิเล็กโทรดเพลทขั้วบวกทำจาก นิเกิล-ไฮดรอกไซด์ (NiOH) สวมขั้วลบทำจากแคดเมียม (Cd) จมในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในสภาวะคายประจุ นิเกิลไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนรูปเป็น (NiOH₂) และแคดเมียมจะเปลี่ยนรูปเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (CdOH₂) ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารอิเล็กโทรไลต์มีค่าต่ำคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันต่อเซลล์ของแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม คือ 1.2 V เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เซลล์ละ 2.1 โวลต์ ต้องใช้เซลล์นิเกิล-แคดเมียมถึง 10 เซลล์เพื่อต่อเป็นแบตเตอรี่ 12 V แรงดันของแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมนี้ยังคงมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าจะมีการคายประจุใกล้หมดแล้วก็ตาม และแรงดันจะลดลงทันทีทันใดเมื่อคายประจุหมด แบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม สามารถรับการประจุด้วยอัตรากระแสสูงถึง C/1 และสามารถทนการประจุเกินอย่างต่อเนื่องที่อัตรา C/15 แบตเตอรี่แบบนี้ แบ่งได้เป็นสองลักษณะ คือ

4.1 Sintered Plate Ni-Cads แบตเตอรี่ชนิดนี้ ใช้กันทั่วไปในงานเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน การออกแบบใช้ขบวนการความร้อนกับวัสดุทำปฏิกิริยา และมันเพลทดังกล่าวเป็นวงใส่ในภาชนะบรรจุ และสารอิเล็กโทรไลต์ใช้วิธีอิมมอบิไลซ์ ป้องกันการรั่วซึม และสามารถติดตั้งได้หลายลักษณะ ปัญหาของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ ผลของหน่วยความจำ(memory effect) คือการที่แบตเตอรี่คายประจุได้เฉพาะอัตราที่มีการประจุเข้าไป ในรอบนั้นเท่านั้นและจะทำให้ความจุลดลง ในบางกรณี ผลของหน่วยความจำสามารถลบได้ โดยทำการประจุและคายประจุแบบพิเศษให้เหมือนสภาวะเริ่มต้นใช้งาน

4.2 Pocket Plate Ni-Cads แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมที่ใช้กับระบบสื่อสารในพื้นที่ห่างไกล และการประยุกต์งานด้านอื่นๆ มักใช้แบบที่เติมสารอิเล็กโทรไลต์ เรียก Flooded pocket plate การออกแบบจะเหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ต้องมีการเติมน้ำกลั่นเป็นระยะเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามสารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอัลคาไลน์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แทนกรดซัลฟูริก แบตเตอรี่ชนิดนี้ สามารถใช้งานในสภาวะคายประจุมาก และอุณหภูมิต่ำได้ ดีกว่าแบบตะกั่วกรด และไม่มีผลของหน่วยความจำเหมือนในแบบ Sintered Plate Ni-Cads ของเสียของแบตเตอรี่แบบนี้คือ มีราคาเริ่มต้นที่ยังแพงอยู่ และอย่างไรก็ตามถ้าเทียบกับอายุที่นาน อาจเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาตลอดอายุการใช้งานถูกที่สุดในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นได้

สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบใช้ในงานคายประจุมาก (deep cycle) ขนาด 12 V 125 AH

2.7.2 อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller)

ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ฟังก์ชันพื้นฐานคือการรักษาแบตเตอรี่ให้มีสภาวะของความจุอยู่ในช่วงใช้งานตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และป้องกันไม่ให้เกิดการคายประจุไฟฟ้ดิ่งกระแสนอกไปใช้งานมากจนแบตเตอรี่เสียหาย แต่อย่างไรก็ตามในระบบเซลล์แสงอาทิตย์บางระบบอาจออกแบบโดยไม่มีระบบป้องกันการประจุได้ แต่ในกรณีระบบที่ไม่สามารถคำนวณการใช้ภาระทางไฟฟ้าล่วงหน้าได้ มีผู้ใช้งานเพิ่มเติมโดยควบคุมไม่ได้ หรือระบบที่ออกแบบแบตเตอรี่ให้พอดีหรือให้มีขนาดเล็กกว่าความต้องการ (ในกรณีงบประมาณมีจำกัด) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้งสิ้น วิธีการในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นจะบ่งบอกถึงผลตอบแทนที่จะได้จากระบบแบตเตอรี่และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และทำให้ระบบตอบแทนความต้องการทางภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่ผู้ใช้งานได้เพียงพอ การเพิ่มเติมส่วนประกอบการทำงานอื่นๆ เช่นส่วนปรับแก้อุณหภูมิ สัญญาณเตือนต่างๆ มิเตอร์แสดงผล และการวัดแรงดันระยะไกลเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ ประกอบภายนอกนั้น เป็นการเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ให้รักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานเท่าที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้

ฟังก์ชันที่สำคัญของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ มีดังนี้

1. การป้องกันการประจุเกิน (Overcharge) เป็นการจำกัดหรือลดการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่ จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุเต็ม

2. การป้องกันการคายประจุเกิน (Over discharge) เป็นการตัดแบตเตอรี่ออกจากภาระทางไฟฟ้า เมื่อความจุแบตเตอรี่ลดลงถึงสภาวะต่ำเกินไป

3. ควบคุมภาระทางไฟฟ้า (Load Control Function) เป็นการตัดหรือต่อภาระทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติตามช่วงเวลา เช่น การเปิดระบบแสงสว่างจากช่วงดวงอาทิตย์ตกถึง ดวงอาทิตย์ขึ้นเป็นต้น

1. การป้องกันการประจุเกิน สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ในพื้นที่ห่างไกลที่มีระบบแบตเตอรี่ จะได้รับการออกแบบ ให้สามารถจ่ายไฟให้กับภาระทางไฟฟ้าได้ทีสภาวะเลวร้ายที่สุด (worst-case condition) เช่น การเลือกเดือนที่มีสัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อภาระทางไฟฟ้าต่ำสุดมาทำการออกแบบเป็นต้น เมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้ดีในช่วงเดือนที่มีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอ เช่น ในช่วงฤดูร้อน พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ มักจะมากเกินความต้องการใช้งาน ในการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่ระบบแบตเตอรี่เนื่องจากการประจุเกินในช่วงนี้จึงต้องใช้ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ การที่จะป้องกันได้ มากน้อยเพียงใดนั้น ยังต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ประกอบ เช่น การออกแบบระบบ การเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าตามฤดูกาล อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

การกำหนดแรงดันควบคุมในการประจุ เป็นฟังก์ชันแรกของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ และอาจจะเป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่สุด ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ คือการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่ยังไม่เต็มให้มีการประจุเต็มโดยไม่เกิดการประจุเกิน ถ้าไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการประจุ กระแสไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประจุเข้าแบตเตอรี่ มีสัดส่วนมากหรือน้อยตามความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่คำนึงว่าแบตเตอรี่ต้องการหรือไม่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม แรงดันประจุแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นไปถึงจุดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแก๊สซึ่ง ทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แห้งลง เกิดความร้อนขึ้นภายใน และเร่งทำให้เกิดการร่วงของแผ่นเพลทเร็วขึ้น เป็นต้น

ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นอาจทำได้โดยการตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออก หรือการลดกระแสที่มาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลง เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะถูกประจุเต็ม ในการกำหนดแรงดันควบคุม โดยทั่วไปทำโดยการกำหนดจุดแรงดันสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Voltage regulation set point: VR) และกลับมามาต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์อีกเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงมาถึงจุดแรงดันต่อกลับ (Array reconnects voltage set point: ARV)

2. การป้องกันการคายประจุเกิน ในช่วงระยะเวลาที่พลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่าค่าที่ใช้ออกแบบ หรือช่วงที่มีการใช้ภาระทางไฟฟ้าเพิ่มมากกว่าที่ออกแบบไว้ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอที่จะรักษาให้แบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานจนแรงดันลดลงเรื่อยๆ ปฏิกริยาจะเกิดที่กริดมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุทำปฏิกริยาและกริดจะลดลง เมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุไปเรื่อยๆ จะทำให้อายุการใช้งานและขนาดความจุเต็มลดลงในที่สุด การป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ได้รับการคายประจุเกิน อุปกรณ์ควบคุมการคายประจุส่วนใหญ่จะเพิ่มฟังก์ชันการตัดภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดแรงดันต่ำหรือสภาวะความจุต่ำสุดเสมอ

ในบางกรณีภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่สูงเพียงพอเพื่อทำงาน ถ้าแบตเตอรี่มีความจุลดลงจนแรงดันแบตเตอรี่ลดต่ำกว่าแรงดันที่ภาระทางไฟฟ้าใช้งานได้ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออกโดยอัตโนมัติ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากลับขึ้นมาสู่สภาวะปกติ ถ้าภาระทางไฟฟ้าไม่ได้กำหนดการทำงานอัตโนมัติไว้ อาจเป็นปัญหาต่อผู้ใช้งานได้ จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่จะต้องออกแบบเพื่อกำหนดจุดป้องกันการคายประจุเกินของระบบแบตเตอรี่

การป้องกันการคายประจุเกินในอุปกรณ์ป้องกันการคายประจุ มักทำโดยการตัดภาระทางไฟฟ้าออกจากระบบแบตเตอรี่เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดแรงดันต่ำ (Low voltage load disconnect set point: LVD) อุปกรณ์ควบคุมการประจุส่วนใหญ่มีสัญญาณเตือนในลักษณะไฟสัญญาณหรือเสียงเตือน เพื่อแจ้งผู้ใช้งานทราบว่ามีภาระทางไฟฟ้าออกจนกระทั่งแบตเตอรี่ได้รับการประจุจนแรงดันกลับมาปกติ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกต่อกลับมาเช่นเดิม

ในระบบที่ภาระทางไฟฟ้าสามารถปิดได้ มักป้องกันการคายประจุเกิน โดยการต่อรีเลย์หรืออุปกรณ์ตัดวงจรภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันลดลงถึงจุดที่กำหนด ส่วนระบบที่ภาระทางไฟฟ้าไม่สามารถปิดได้ ระบบจะไม่ตัดภาระทางไฟฟ้าออกโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามภาระทางไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้แบตเตอรี่มีการคายประจุเกินได้ ต้องมีการต่ออุปกรณ์เตือนให้ผู้ใช้งานทราบล่วงหน้าก่อนที่แรงดันจะลดลงจนถึงจุดที่ทำความเสียหายให้กับแบตเตอรี่ได้

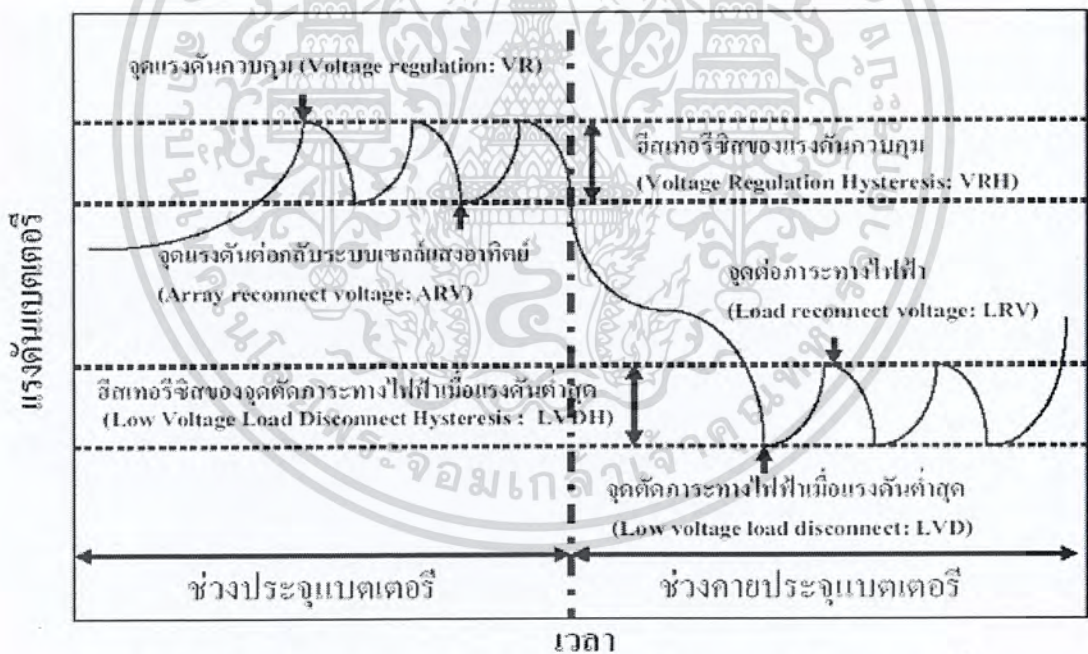
3. นิยามที่ใช้ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ การควบคุมแรงดันในการประจุเป็นฟังก์ชันแรก ของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และบางครั้งอาจเป็นฟังก์ชันเดียวที่สำคัญที่สุด วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ควบคุมประจุคือการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่ทำให้เกิดการประจุเกิน การควบคุมแรงดันหรือการจำกัดกระแสจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้หลายวิธี วิธีการที่นิยมมากที่สุดคือการวัดแรงดันของแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการวัดพลังงานที่ประจุในรูปของแอมแปร์ชั่วโมง

ถึงแม้มีวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรืออัลกอริทึมต่างๆ นำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการประจุต่างๆ กัน แต่มีพารามิเตอร์และคุณสมบัติพื้นฐานเหมือนกัน คือบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ควบคุมการประจุจะกำหนดขอบเขตของการควบคุม เช่น พิกัดของกระแสจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้า อุณหภูมิใช้งาน การสูญเสีย จุดกำหนดต่างๆ และค่ากำหนดฮีสเทอรีซิส ในบางกรณีจุดกำหนดต่างๆ แปรผันตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ และ/หรือของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ และขนาดของกระแสที่ทำการประจุ ดังนั้นต้องทำความเข้าใจกับนิยามต่างๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการประจุ ที่จะกล่าวถึงต่อไป

3.1 การกำหนดจุดควบคุมการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ระดับแรงดันแบตเตอรี่ ที่อุปกรณ์ควบคุมการประจุใช้ในการควบคุม หรือฟังก์ชันการสวิตช์เรียกว่า จุดควบคุม (Controller set point) สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุทั่วไปมีจุดควบคุมหลัก 4 จุด คือ จุดแรงดันควบคุม (Voltage regulation: VR) จุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array reconnect voltage : ARV) ทั้งสองจุดเป็นแรงดันที่ทำหน้าที่ควบคุมการตัดต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) และจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage : LRV) ทั้งสองจุดทำหน้าที่ควบคุมการตัดต่อภาระทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันสภาวะการคายประจุเกิน รูปที่ 2-19 แสดงหลักการพื้นฐานในการกำหนดจุดควบคุมการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ในลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแบตเตอรี่กับเวลา



รูปที่ 2.17 การกำหนดจุดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่

3.1.1 จุดแรงดันควบคุม (Voltage regulation: VR) เป็นคุณสมบัติหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ ความหมายของจุดแรงดันควบคุม คือ จุดแรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ควบคุมยอมให้เกิดขึ้นที่แบตเตอรี่ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินขึ้นที่แบตเตอรี่ เมื่ออุปกรณ์ควบคุมวัดแรงดันของแบตเตอรี่ได้ถึงจุดควบคุมนี้แล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดแบตเตอรี่ออกจากการประจุทันทีหรือทำการจำกัดกระแสที่ประจุเข้าแบตเตอรี่ ในบางระบบออกแบบใช้จุดแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมสองจุดควบคู่กัน เช่น ใช้จุดแรงดันควบคุมค่าสูงสำหรับการประจุรอบแรกของวัน เพื่อป้องกันการประจุเกิน การเกิดก๊าซซึ่ง และการอิกวอไลเซชัน ขณะที่จุดแรงดันควบคุมค่าต่ำใช้ในการควบคุมรอบต่อไปของการประจุ เพื่อให้แบตเตอรี่มีการประจุแบบโฟลท (float charge) ในการกำหนดจุดแรงดันควบคุม สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ มักกำหนดให้มีค่าสูงกว่าแรงดันประจุแบบโฟลท ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ได้รับการประจุในช่วงเวลาที่มีแสงเท่านั้น ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดเวลาการประจุไว้นานสำหรับการประจุแบบโฟลท โดยการกำหนดค่าแรงดันควบคุมไวสูงกว่าที่บริษัทกำหนด แบตเตอรี่จะสามารถประจุเต็มได้ในระยะเวลาสั้นลง แต่อย่างไรก็ตามมักเกิดการประจุเกินและเกิดก๊าซซึ่งตามมา ผู้ออกแบบจึงต้องเลือกแรงดันควบคุมที่แบตเตอรี่สามารถรักษาภาวะการประจุเต็มได้มากที่สุด โดยไม่มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหาจากการประจุเกิน

3.1.2 จุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array reconnect voltage: ARV)

ในอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบเปิดปิด เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกตัดออกจากระบบ แรงดันแบตเตอรี่จะค่อยๆ ลดลง อัตราการลดลงของแรงดันแบตเตอรี่ขึ้นกับหลายตัวแปร ซึ่งรวมไปถึงอัตราการประจุ และอัตราการคายประจุ ก่อนที่จะตัดวงจร ถ้าอัตราการประจุและคายประจุมีค่าสูง อัตราการลดลงของแรงดันแบตเตอรี่ก็จะเร็วกว่า เมื่อมีอัตราการประจุและคายประจุต่ำกว่า เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดที่กำหนดและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าประจุ แบตเตอรี่ได้อีกครั้ง เรียกจุดนั้นว่าจุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Arrays reconnect voltage: ARV)

ถ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงถูกตัดออกเมื่อแรงดันถึงจุดแรงดันควบคุมครั้งแรกแล้ว และไม่ต่อกลับเมื่อแรงดันลดลง แบตเตอรี่อาจจะไม่ได้รับการประจุเต็ม เพื่อเป็นการทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกลับได้เมื่อแรงดันลดลงถึงจุดต่อกลับ อาจเพิ่มฟังก์ชันการประจุแบตเตอรี่เป็นลูกคลื่น (พัลส์) ตลอดเวลา แทนที่การตัดเซลล์แสงอาทิตย์ออกโดยสิ้นเชิง วิธีการนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุจนเต็มก่อนที่จะถูกตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออก

3.1.3 ฮีสเทอรีซิสของแรงดันควบคุม (Voltage Regulation Hysteresis: VRH)

ช่วงแรงดัน หรือความแตกต่างระหว่างจุดแรงดันควบคุมกับจุดแรงดันต่อกลับ จะเรียกว่า ฮีสเทอรีซิสของแรงดันควบคุม ค่านี้เป็นแฟกเตอร์หลักที่ประเมินความมีประสิทธิภาพของการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิดปิด ถ้าค่าฮีสเทอรีซิสของแรงดันควบคุมมีค่าสูงเกินไป กระแสจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกตัดในช่วงเวลานาน ทำให้ประสิทธิภาพการได้รับพลังงานต่ำลงและทำให้มีความล่าช้าเพิ่มขึ้นในการประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม แต่ถ้าค่าฮีสเทอรีซิสของแรงดันควบคุมมีค่าต่ำระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกตัดต่อบ่อยมากขึ้น บางทีอาจทำให้เกิดความเสียหาย ที่อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ระบบตัดต่อแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ ผู้ออกแบบต้องระมัดระวังในการคำนวณค่าฮีสเทอรีซิส บนฐานข้อมูลอัตราการประจุและคายประจุของระบบ และแบตเตอรี่ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบเปิดปิดทั่วไปจะกำหนดค่าฮีสเทอรีซิสระหว่าง 0.4 ถึง 1.4 โวลต์ สำหรับระบบแบบ 12 โวลต์ เช่นสำหรับระบบที่กำหนดแรงดันควบคุมที่ 14.5 โวลต์ และมีฮีสเทอรีซิส 1 โวลต์ แรงดันที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อกลับคือ 13.5 โวลต์ โดยทั่วไปการกำหนดค่าฮีสเทอรีซิสค่าต่ำๆ จะใช้กับระบบที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าตอนกลางวัน

3.1.4 จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) การคายประจุเกินของแบตเตอรี่ สามารถทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงได้ ถ้าแรงดันแบตเตอรี่ต่ำ เนื่องจากไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์ประจุเข้าเป็นเวลานาน ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออก เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันแบตเตอรี่ลดลงไปเรื่อยๆ การตัดภาระทางไฟฟ้าออกจะกำหนดโดยแรงดันที่จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) อุปกรณ์ที่ใช้อาจเป็น รีเลย์หรือ สวิตช์แบบ สารกึ่งตัวนำ (solid-state) ซึ่งสามารถแยกการไหลของกระแสจากแบตเตอรี่และภาระทางไฟฟ้าได้ บางกรณีอาจรวมอยู่ในการออกแบบวงจรควบคุม บางกรณีแยกออกมาจากวงจรควบคุม ขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ทำการตัดต่อ

ในอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ที่มีฟังก์ชันการควบคุมการตัดต่อภาระทางไฟฟ้า จุด LVD เป็นจุดแรงดันที่ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากระบบแบตเตอรี่ การกำหนดจุด LVD หมายถึง การกำหนดค่าสภาวะการประจุแบตเตอรี่สูงสุดที่ยอมให้ใช้ หรือคือค่าความจุแบตเตอรี่สูงสุดที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระบบนั้น ดังนั้นในการออกแบบระบบจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษว่าได้นำความจุจริงหลังจากการกำหนดค่า LVD แล้วมาหาขนาดของแบตเตอรี่

ค่า LVD ที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ในการคำนวณจุด LVD ของแบตเตอรี่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงอัตราการคายประจุ เนื่องจากแรงดันแบตเตอรี่แปรผันกับอัตราการคายประจุ การกำหนดจุด LVD ต่ำๆ มักทำกับระบบที่มีการคายประจุสูง เพื่อให้เป็นจุดเดียวกับสภาวะการคายประจุ (DOD) โดยทั่วไปสำหรับระบบที่มีการคายประจุช้าเช่นในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระขนาดเล็ก (SHS) มักใช้แรงดัน LVD ประมาณ 11.0 ถึง 11.5 โวลต์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับสภาวะการคายประจุของแบตเตอรี่ (DOD) ที่ 75-90% สำหรับระบบแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ ที่อัตราการคายประจุต่ำกว่า C/30

ในการสั่งซื้ออุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ข้อควรระมัดระวัง คือ บริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่จะกำหนดอัตราการคายประจุ สำหรับการกำหนดจุดแรงดันต่ำสุด เมื่อเทียบกับสภาวะการคายประจุเต็ม 100% สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ค่าแรงดัน LVD ประมาณ 10.5 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (1.75 โวลต์ต่อเซลล์) ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์เราไม่ต้องการให้แบตเตอรี่คายประจุถึงจุดนี้ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง โดยทั่วไปการกำหนดจุด LVD มักไม่เกิน 75-80% DOD

3.1.5 จุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage: LRV) แรงดันที่อุปกรณ์ควบคุมการประจุ ยอมให้แบตเตอรี่ต่อภาระทางไฟฟ้ากลับมาเรียกจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage: LRV) หลังจากที่ถูกอุปกรณ์ควบคุมการประจุตัดภาระทางไฟฟ้าออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุด LVD แรงดันแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นไปที่แรงดันวงจรเปิดของแบตเตอรี่ เมื่อมีการประจุไฟฟ้าเข้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุปกรณ์ควบคุมวัดแรงดันแบตเตอรี่ได้สูงเพียงพอ ก็จะทำให้การต่อภาระทางไฟฟ้าเข้ามา เรียกจุดแรงดันที่ต่อภาระทางไฟฟ้ากลับว่าจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage: LRV)

การเลือกจุดต่อกลับภาระทางไฟฟ้าจะต้องเลือกค่าสูงเพียงพอที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุกลับแล้ว แต่การเลือกค่าสูงมากจะทำให้ภาระทางไฟฟ้าถูกตัดออกเป็นระยะเวลาาน อุปกรณ์ควบคุมหลายชนิดเลือกการตัดภาระทางไฟฟ้าทั้งวัน หรือจนกระทั่งตรวจสอบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการประจุกลับเข้าแบตเตอรี่แล้ว ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระขนาดเล็ก กำหนด LRV ระหว่าง 12.5 ถึง 13 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบ 12 โวลต์ ถ้าทำการเลือก LRV ค่าต่ำ ภาระทางไฟฟ้าจะได้รับการต่อกลับก่อนที่แบตเตอรี่จะถูกประจุ ทำให้เกิดวงจรการตัดต่อภาระทางไฟฟ้าบ่อยๆ ทำให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะความจุต่ำตลอดเวลา ส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

ในการเลือกจุด LRV ผู้ออกแบบต้องพิจารณาอัตราการประจุสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราการคายประจุสำหรับภาระทางไฟฟ้า และพิจารณาว่าอัตราการประจุและคายประจุมีผลต่อแรงดันแบตเตอรี่ที่สภาวะการคายประจุต่างๆ อย่างไร

3.1.6 ฮีสเทอรีซิสของจุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low Voltage Load Disconnect Hysteresis : LVDH) ช่วงแรงดัน หรือความแตกต่างระหว่างจุด LVD และ LRV เรียกฮีสเทอรีซิสของจุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (LVDH) ถ้าค่า LVDH มีค่าต่ำ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดต่อบ่อยเกินไปที่สภาวะการประจุ (SOC) ค่าต่ำ อาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อภาระทางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ควบคุมได้ และยังทำให้แบตเตอรี่ต้องใช้เวลาานมากขึ้นในการประจุเต็ม แต่ถ้าค่า LVDH มีค่ามาก ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดเป็นระยะเวลาานจนกระทั่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประจุแบตเตอรี่จนเต็ม โดยการกำหนดค่า LVDH สูงนี้ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานแต่ลดความมั่นคงของระบบทางผู้ใช้งาน ค่า LVDH ที่เหมาะสมนั้นจะต้องพิจารณาความต้องการความมั่นคงทางระบบ ปฏิบัติการเคมี และขนาดของแบตเตอรี่รวมทั้งกระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่

3.2 การเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ การออกแบบและการเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อควรพิจารณาหลายแฟกเตอร์ ขึ้นกับความซับซ้อน และทางเลือกของการควบคุม ขณะที่ฟังก์ชันเบื้องต้นคือป้องกันไม่ให้เกิดการประจุแบตเตอรี่ เกินหลาย ๆ ฟังก์ชันมีการนำมาเพิ่มเติม ทั้งการตัดภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันต่ำ ควบคุมแหล่งพลังงานชนิดอื่น จ่ายพลังงานบางส่วนให้ภาระทางไฟฟ้าที่จำเป็น หรือแม้กระทั่งการแสดงค่าทางไฟฟ้าของระบบ ผู้ออกแบบต้องตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน อาจใช้รายการต่อไปนี้ในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1. แรงดันของระบบ
2. กระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้า
3. ชนิดและขนาดของแบตเตอรี่
4. วิธีการในการควบคุมและการออกแบบอุปกรณ์ตัดต่อ
5. จุดแรงดันควบคุมและจุดตัดต่อภาระทางไฟฟ้า
6. เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมการใช้งาน
7. การออกแบบทางเครื่องกลและการบรรจุผลิตภัณฑ์
8. การแสดงผลระบบ ลักษณะสัญญาณเตือน และมีเตอร์ต่างๆ
9. อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ตัดต่อ และอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินชั่วขณะ
10. ราคา การรับประกัน และความน่าเชื่อถือผลิตภัณฑ์



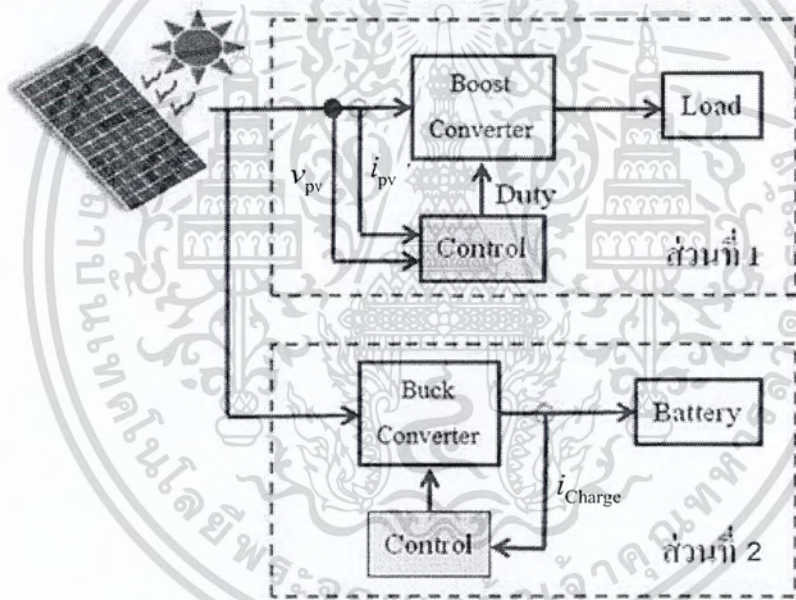
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

การจัดการพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะอาศัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ในการควบคุมการทำงาน โดยใช้วงจร Boost Converter ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) ให้อยู่ในย่านแรงดันที่สามารถแปลงพลังงานได้ใกล้เคียงกับ P_{max} โดยอาศัยการ Feed-Back กระแสและแรงดัน เพื่อประมวลผลสัญญาณการทริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยให้มี Duty cycle ที่รักษาระดับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ทำงานในย่าน P_{max} และใช้วงจร Buck Converter ในการลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับแบตเตอรี่และสามารถควบคุมกระแสในการชาร์จเข้าแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม

3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการจัดการพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบ

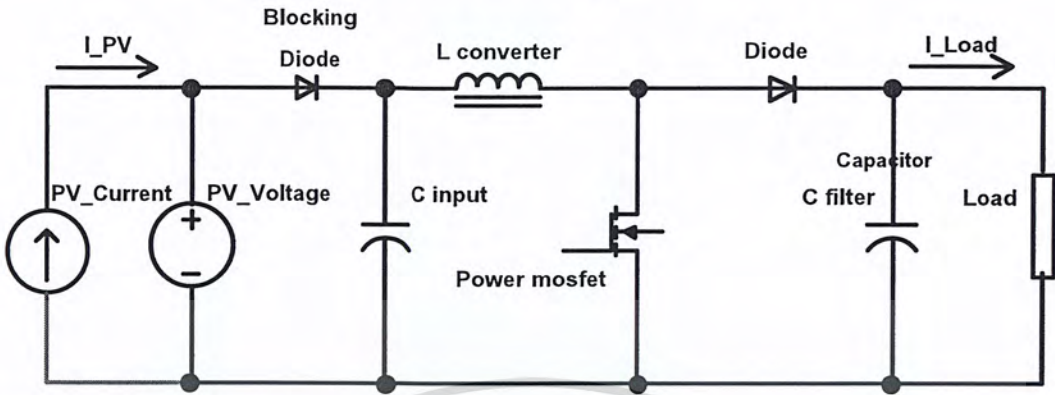
3.2 การออกแบบคอนเวอร์เตอร์

เป็น DC/DC Converter แบบ Boost Converter ใช้ในการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) และ Buck converter เพื่อนำพลังงานไปเก็บในแบตเตอรี่ มีการออกแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจร Boost Converter

ซึ่งมีโครงสร้างของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจร Boost Converter

อุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในวงจรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดัน เพื่อกรองแรงดันด้านขาเข้า และขาออกให้เรียบนอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้ด้วย
2. INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR (IGBT) ทำหน้าที่ในการสวิตช์ซึ่งไฟให้เหมาะสมในตัวเหนี่ยวนำโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณควบคุม โดย IGBT เบอร์ GT60M303
3. ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลด ช่วยกรอง และป้องกันการกระชากของกระแส ในช่วงที่ IGBT turn off เลือกใช้แกนแม่เหล็กเป็นแกนเฟอร์ไรท์แบบ EE ซึ่งมีค่าสูญเสียในวงแม่เหล็กต่ำ และพลังงานสูญเสียจากขดลวดน้อยลง
4. ไดโอด (D) ทำหน้าที่เป็น Free wheeling Diode ในช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระแส ทำให้กระแสไหลผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง โดยวงจรนี้ใช้ Ultra fast diode เบอร์ RURG3060

การคำนวณค่าพารามิเตอร์

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจร Boost Converter จากหลักการที่ว่าแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละช่วงเวลาจะเท่ากับศูนย์จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกดังสมการที่ 3.1

$$D = 1 - \frac{v_s}{v_o} \quad (3.1)$$

เมื่อ	v_s	คือ	แรงดันขาเข้าของวงจร Boost Converter (V)
	v_o	คือ	แรงดันขาออกของวงจร Boost Converter (V)
	D	คือ	Duty cycle on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าต่างๆ มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}v_s &= 40 \text{ V} \\v_o &= 300 \text{ V} \\D &= 1 - \frac{v_s}{v_o} = 1 - \frac{40}{300} = 0.87 \\f_s &= 20 \text{ kHz} \\\Delta i_L &= 10\% i_{L,\max} = 4\end{aligned}$$

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจร Boost Converter ทำงานระหว่างโหมดกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด ($i_{L,\min}$) ดังสมการที่ 3.2

$$i_{L,\min} = i_L - \frac{\Delta i_L}{2} = i_L - \frac{v_s DT}{2L} \quad (3.2)$$

เมื่อ	$i_{L,\min}$	คือ	กระแสต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (A)
	i_L	คือ	กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (A)
	v_s	คือ	แรงดันขาเข้าของวงจร Boost Converter (V)
	v_o	คือ	แรงดันขาออกของวงจร Boost Converter (V)
	D	คือ	Duty cycle on
	L	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

$$36 = 38 - \frac{40 \times 0.87}{2L \times 20 \times 10^3}$$

$$L = 0.435 \text{ mH}$$

จะเลือกใช้ที่

$$L = 0.5 \text{ mH}$$

การหาค่า C ได้จากปริมาณประจุที่ Discharge ในช่วงที่สวิตช์นำกระแส จะสามารถหาค่า C ได้ตามสมการที่ 3.3

$$C = \frac{i_o D}{f \Delta v_o} \quad (3.3)$$

เมื่อ	i_o	คือ	กระแสขาออกของวงจร Boost Converter (A)
	D	คือ	Duty cycle on
	f	คือ	ความถี่สวิตช์ซึ่งที่ใช้
	Δv_o	คือ	Ripple แรงดันขาออกของวงจร Boost Converter
	C	คือ	ค่าความเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.3 จะได้

$$\Delta v_o = 1\%$$

$$C = \frac{45 \times 36}{300} \times 0.87$$

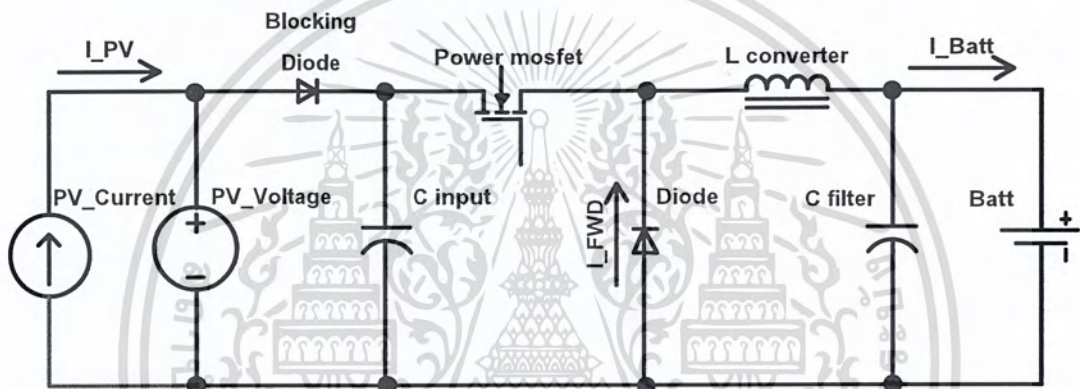
$$C = \frac{300}{0.01 \times 20 \times 10^3}$$

$$C = 0.02349 \text{ F}$$

หมายเหตุ ในการคิดแรงดันตกในช่วงที่ C คายประจุนิยมกำหนดให้ Ripple Voltage เท่ากับ 1% ($\Delta v_o = 1\%$)

3.2.2 วงจร Buck converter

ซึ่งมีโครงสร้างของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร Buck Converter

อุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในวงจรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดัน เพื่อกรองแรงดันต้านขาเข้า และขาออกให้เรียบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้ด้วย
2. มอสเฟต (Mofset) ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ซึ่งไฟเข้าสู่โหลดโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณควบคุม โดยมอสเฟตที่ใช้เป็นเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP2907
3. ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลด ช่วยกรอง และป้องกันการกระชากของกระแส ในช่วงที่ Mosfet turn off เลือกใช้แกนแม่เหล็กเป็นแกนเฟอร์ไรท์แบบ EE ซึ่งมีค่าสูญเสียในวงแม่เหล็กต่ำ และพลังงานสูญเสียจากขดลวดน้อยลง
4. ไดโอด (D) ทำหน้าที่เป็น Free wheeling diode ในช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระแส ทำให้กระแสไหลผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง โดยวงจรนี้ใช้ Ultra fast diode เบอร์ RURG3060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าพารามิเตอร์

การออกแบบนั้นต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วยการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเป็นกระแสบวกเสมอ ดังรูปที่ 3.3 จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกดังสมการที่ 3.4

$$\frac{v_o}{v_s} = D \quad (3.4)$$

เมื่อ v_s คือ แรงดันขาเข้าของวงจร Buck Converter (V)
 v_o คือ แรงดันขาออกของวงจร Buck Converter (V)
 D คือ Duty cycle on

โดยค่าต่างๆ มีค่าดังนี้

$$v_s = 40 \text{ V}$$

$$v_o = 28 \text{ V}$$

$$D = \frac{v_o}{v_s} = 0.7$$

$$f_s = 20 \text{ kHz}$$

$$\Delta i_L = 10\% i_{L, \max} = 4$$

ในการออกแบบนั้นเราต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยค่า L ที่ได้จากการคำนวณนั้นต้องแน่ใจได้ว่าทำงานในช่วงกระแสอยู่ในช่วงต่อเนื่อง ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณดัง สมการ 3.5

$$L \geq \frac{v_o(1-D)}{f_s |\Delta i_L|} \quad (3.5)$$

$$L \geq \frac{28 \times (1-0.7)}{20 \times 10^3 \times 4}$$

$$L \geq 0.105 \text{ mH}$$

จึงเลือกใช้

$$L = 0.5 \text{ mH}$$

การหาค่า C ในส่วนของ Buck Converter สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.6

$$C_{\text{filter}} \geq \frac{D i_o}{r f_s v_o} \quad (3.6)$$

$$C_{\text{filter}} \geq \frac{0.7 \times 57.14}{0.01 \times 20 \times 10^3 \times 28}$$

$$C_{\text{filter}} \geq 7140 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_{\text{filter}} = 8000 \text{ } \mu\text{F}$$

จึงเลือกใช้

$$C_{\text{filter}} = 10000 \text{ } \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า C ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ 3.7

$$C_{in} \geq \frac{(1 - D_{cm})i_{om}D_{cm}}{0.02f_s} \quad (3.7)$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ 3.7 จะได้

$$R_{pvm} = \frac{v_{inm}}{i_{pvm}}$$

$$R_{pvm} = \frac{40}{40} = 1$$

$$C_{in} \geq \frac{(1 - 0.7) \times 57.14 \times 0.7}{0.02 \times 40 \times 1 \times 20 \times 10^3}$$

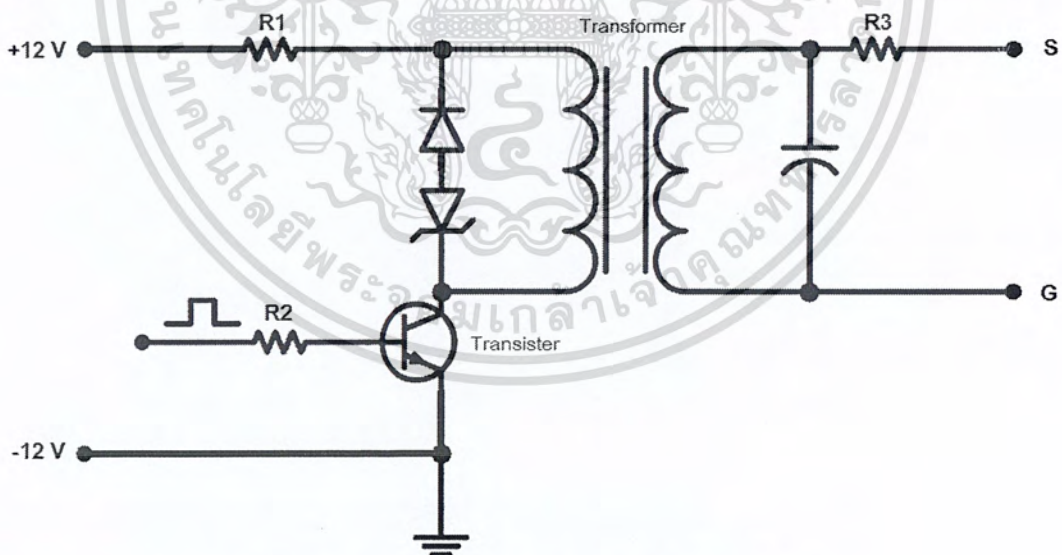
$$C_{in} \geq 750 \mu\text{F}$$

จึงเลือกใช้

$$C_{in} = 1000 \mu\text{F}$$

3.3 ชุดขับมอสเฟตและไอจีบีที (Driving Mosfet & IGBT)

ชุดขับมอสเฟต (สามารถใช้ร่วมกับ IGBT ได้) ในโครงงานใช้เป็นแบบ Pulse transformer (รูปที่ 3.4) ขนาดแรงดัน 15 โวลต์ ซึ่งจะรับสัญญาณขับมอสเฟตที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำหน้าที่เป็นตัวแยกกราวด์ของภาคควบคุม และวงจรถูกกำลังก่อนที่จะส่งสัญญาณไปขับมอสเฟตดังแสดงในรูปที่ 3.4

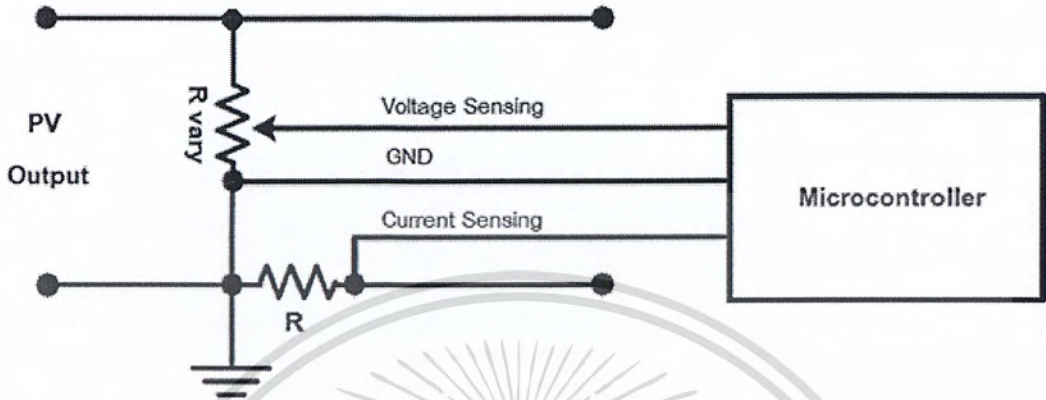


รูปที่ 3.4 วงจรขับมอสเฟตแบบ Pulse Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ชุดตรวจจ็ับกระแสและแรงดัน

ตรวจจ็ับกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ประมวลผลในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจ็ับกระแส และแรงดัน

3.5 ชุดจ่ายไฟที่จ่ายให้กับชุดคอนโทรล

ใช้เล็คทูลเลเตอร์ ขนาดแรงดันเอาต์พุท 12 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสสูงสุด 1 แอมป์ เพื่อจ่ายไฟให้กับ

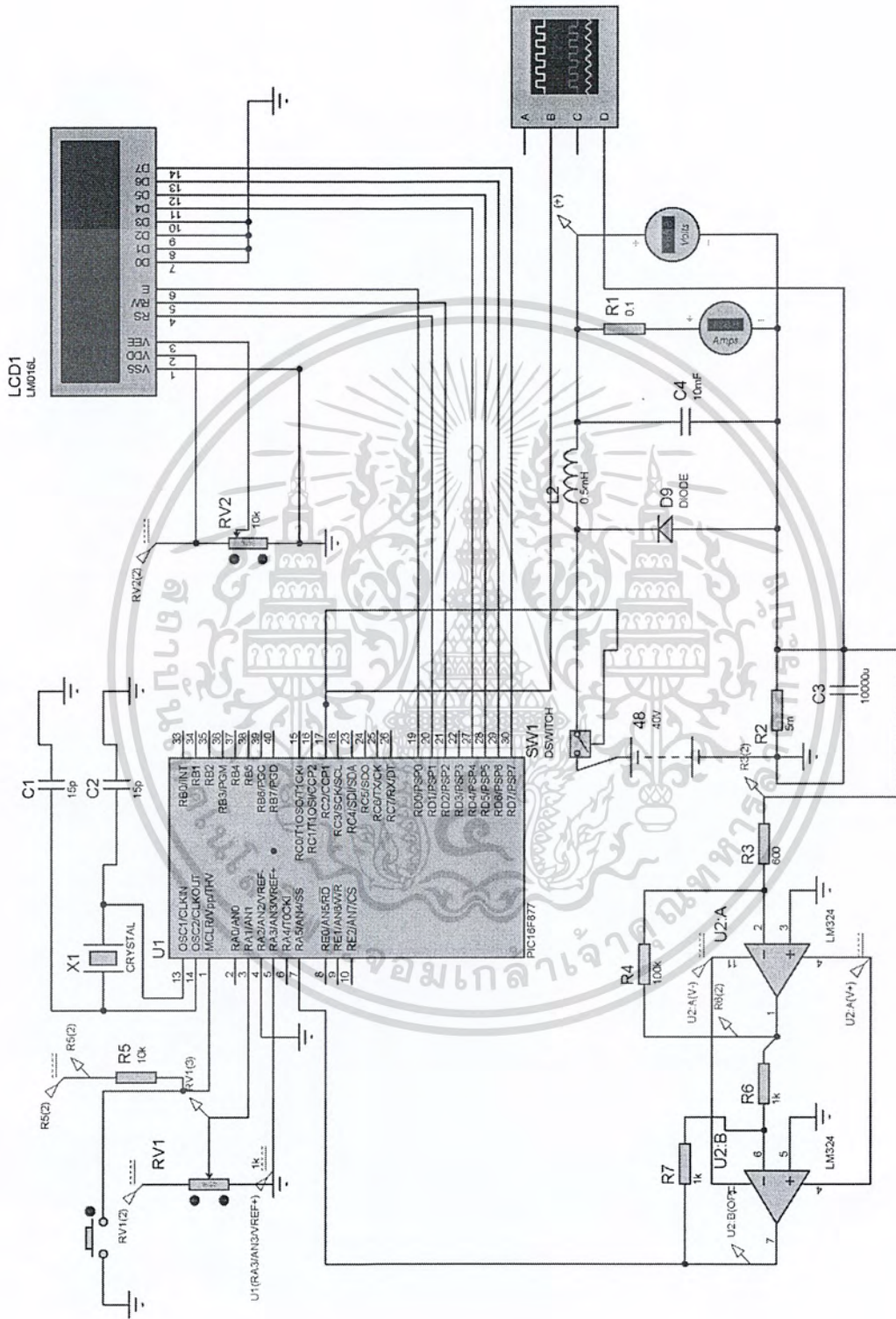
- ชุดขับเคลื่อนเฟด (Pulse Transformer)
- ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยทางด้านอิทพุทของชุดจะรับไฟมาจากแบตเตอรี่

3.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 ดังรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- ประมวลผลในการส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดบัคและบูสต์คอนเวอร์เตอร์
- สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับเคลื่อนของชุดคอนเวอร์เตอร์
- เปลี่ยนสัญญาณนอกที่ได้จาก Sensor เป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 3.6 วงจร Buck Converter ในโปรแกรม Proteus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

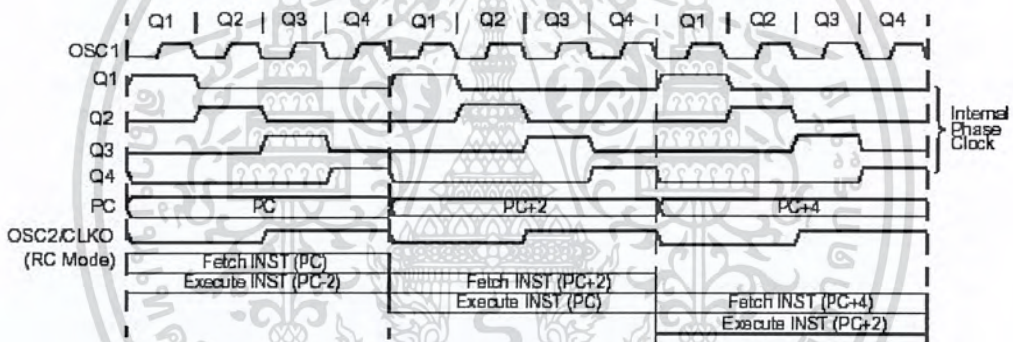
ซึ่งจะทำการเขียนโปรแกรมและทำการคอมไพล์ลงบนไอซีเบอร์ PIC 16F877 ซึ่งคุณสมบัติของ ไอซีแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของ PIC 16F877

Device	Program memory	Data Memory		CAN module	I/O (Bit)	OSC max (MHz)	Timers	PLL
	Flash	RAM (Bytes)	EEPROM (Byte)					
PIC 16F877	8K (14-Bit words)	368	256	No	33	20MHz	3	NO

สัญญาณนาฬิกา Clock

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการทำงานตามจังหวะสัญญาณนาฬิกาของระบบ ซึ่ง 1 Cycle (Clock Bus) ของ CPU จะประกอบไปด้วย สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจำนวน 4 Cycle คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ดังรูปที่ 3.7 ฉะนั้นความถี่ที่ CPU ประมวลผลต่อคำสั่งจะเท่ากับความถี่จากคริสตอลภายนอกหารด้วย 4 หรืออาจกล่าวได้ว่าความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ต่อคำสั่งจะมีค่าเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของความถี่คริสตอลออสซิลเลเตอร์ภายนอก



รูปที่ 3.7 แสดงสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

3.6.1 พอร์ตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาใช้งานในโครงการ

ADC/IO (CPU) พอร์ตที่ใช้สำหรับต่ออินพุทอนาลอก รับสัญญาณกระแส และแรงดัน ด้านเอาต์พุทของพีวีจากชุดเซ็นเซอร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอล เพื่อส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล

การใช้งานขั้วต่อ ADC/IO (CPU) พอร์ตจะถูกเชื่อมต่อออกมารอไว้ยังขั้ว Connector ขนาด 10 PIN แบบ IDE โดยขั้วต่อนี้สามารถนำไปต่อใช้งานเป็นอินพุทของสัญญาณอนาลอก ทั้ง 8 เซนแนล (AN0-AN7)

OC1A PWM ส่งสัญญาณที่สร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปขับมอเตอร์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์

3.6.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

1. ทำการเขียนโปรแกรมเป็นภาษาซี ในโปรแกรม PIC C Compiler ด้วยคอมไพเลอร์ แล้วทำการคอมไพล์โปรแกรมจากภาษาซีให้เป็นฐานสิบหก (.HEX) จะได้ไฟล์ที่เป็นนามสกุล (.HEX) เช่น PROJECT.HEX

2. ในขณะที่ทำการคอมไพล์ถ้าโปรแกรมมีข้อผิดพลาดเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษาคำสั่งโปรแกรม PIC C Compiler จะแจ้งว่ามีข้อผิดพลาดที่ไหนบ้างบนหน้าจอคอมไพเลอร์ จึงทำการแก้ไขบรรทัดที่ผิดพลาดนั้น แล้วจึงทำการคอมไพล์ใหม่อีกครั้ง

3. เมื่อทำการคอมไพล์โปรแกรมแล้วไม่เกิดข้อผิดพลาด ก็ทำการดาวน์โหลดไฟล์ PROJECT.HEX ลงสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เชื่อมต่อระหว่างคอมไพเลอร์กับบอร์ดด้วย BOARD PROGRAM PIC-MICROSHIP PLUS

4. ทำการทดสอบโปรแกรมด้วยคำสั่ง (RUN) ตรวจสอบผลการทดลองว่ามีข้อผิดพลาดตรงไหน หรือไม่ หากว่ามีต้องกลับไปแก้ไขโปรแกรมใหม่ตามขั้นตอนข้างต้น

3.6.3 การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุม

การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุมชุดดังกล่าวมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าแรงดันและกระแสที่ส่งมาจากชุดตรวจจับ (V,I Sensor) แล้วทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซีเบอร์ 16F877 ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2. นำค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากการแปลงค่าไปคำนวณหาค่ากำลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา นำค่ากำลังค่าแรกเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิง เมื่อค่าของความเข้มแสงเปลี่ยนไปค่าของแรงดันและกระแสก็จะเปลี่ยนไปด้วยเมื่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าใหม่เข้ามาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันและกระแสค่าแรกที่ได้เก็บไว้ เพื่อทำการปรับค่าดีวีดีไซเคิลที่มีค่าเหมาะสมเพื่อให้ได้จุดที่มีค่ากำลังงานสูงสุด และค่าแรงดันและกระแสที่รับเข้ามาใหม่ก็จะเป็นจุดอ้างอิงใหม่ต่อไป

3. ทำการตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากำลังงาน ณ จุดอ้างอิง

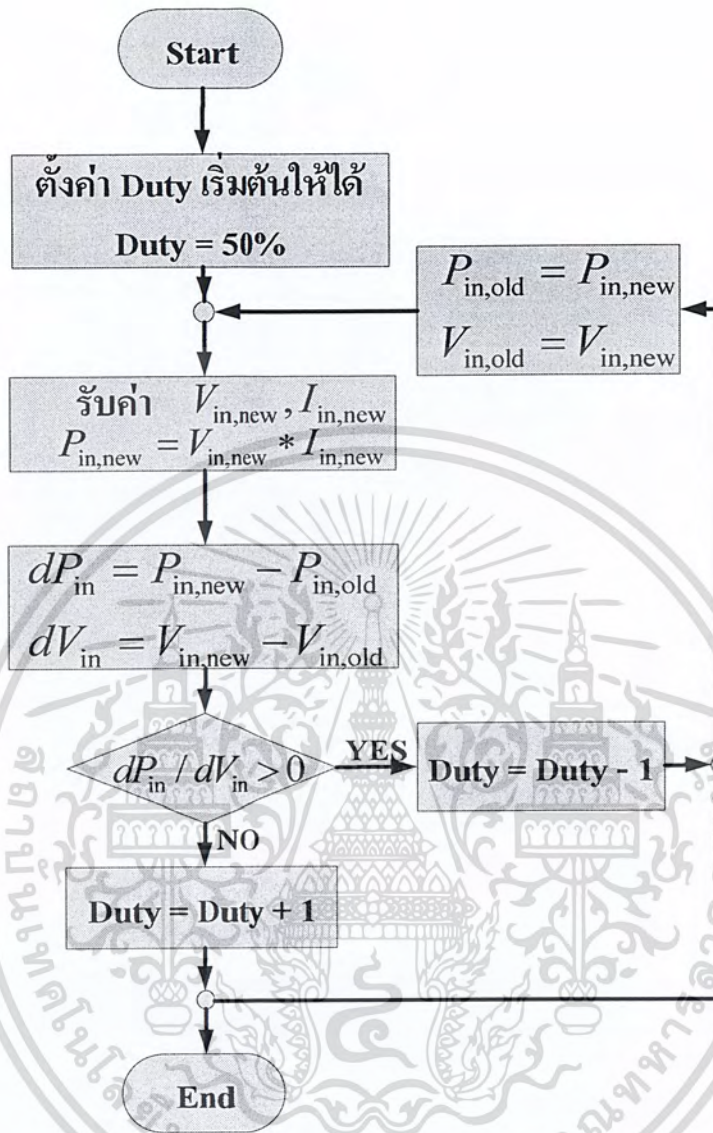
- หากกำลังงานใหม่ที่เข้ามานี้มีค่ามากกว่ากำลังงานที่จุดอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศทางเดิมเล็กน้อย และทำการเก็บค่ากำลังงานใหม่นี้ไว้เป็นจุดอ้างอิงแทน แล้วจึงทำการเปรียบเทียบกับจุดการทำงานใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

- หากกำลังงานใหม่ที่เข้ามานี้มีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่จุดอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิมเล็กน้อย จนกว่าค่ากำลังงานที่นำมาเปรียบเทียบกับค่ามากกว่ากำลังงานที่จุดอ้างอิง

โปรแกรมจะทำงานวนรอบอย่างนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อให้จะได้ค่า ณ กำลังงานสูงสุดอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าความเข้มแสง และอุณหภูมิขณะทำงานจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงใน Flowchart ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Flowchart การทำงานของวงจร Boost Converter

การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุมชุดคงกระแสในการชาร์จของแบตเตอรี่มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่ากระแสที่ส่งมาจากชุดตรวจจับ (Current Sensor) และค่ากระแสอ้างอิง (I Reference) แล้วทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซีเบอร์ 16F877 ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2. นำค่ากระแสที่ได้จากการแปลงค่าไปเปรียบเทียบค่ากับค่ากระแสอ้างอิง (คือค่ากระแสที่ต้องการในการชาร์จ) เมื่อค่าของความเข้มแสงเปลี่ยนไปค่าของกระแสก็จะเปลี่ยนไปด้วย เมื่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าใหม่เข้ามาเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าแรกที่ได้เก็บไว้ เพื่อทำการปรับค่าตัวพีซีเคิลที่มีค่าเหมาะสมเพื่อให้ได้ค่ากระแสในการชาร์จที่คงที่

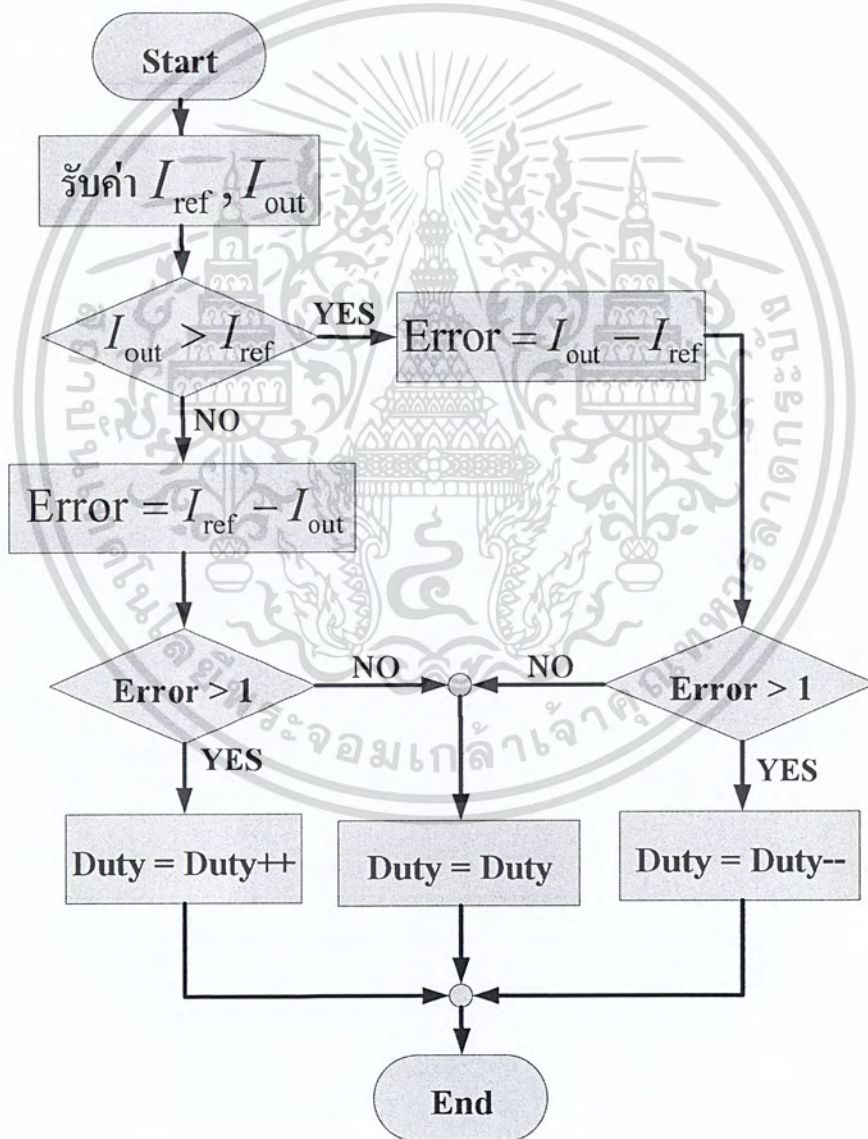
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญญาติให้เข้าไปไซเบอร์ไลนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากระแสอ้างอิง

- หากกระแสไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามามีค่ามากกว่ากระแสอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศตรงข้ามเล็กน้อย และเมื่อทำให้ค่ากระแสตรงกับค่าที่ตั้งไว้ก็จะทำการรักษาระดับกระแสในการชาร์จให้คงที่ แล้วจึงทำการเปรียบเทียบกับจุดการทำงานใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

- หากกระแสไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่ากระแสอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศทางเดิมเล็กน้อย จนกว่าค่ากระแสจะเท่ากับค่ากระแสอ้างอิง

โปรแกรมจะทำงานวนรอบอย่างนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะให้ได้ค่ากระแสในการชาร์จคงที่อยู่ตลอดเวลาแม้ว่าความเข้มแสง และอุณหภูมิขณะทำงานจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม ดังแสดงใน Flowchart ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Flowchart การทำงานของวงจร Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ออกแบบไว้ที่

ขนาดกำลังสูงสุด 1,800 วัตต์

แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 40 โวลต์

กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 40 แอมป์

กระแสไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร 55.3 แอมป์

แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร 48.8 โวลต์

ค่าตัวเลขนี้ คัดจากสภาพมาตรฐานที่ ความเข้มแสง 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

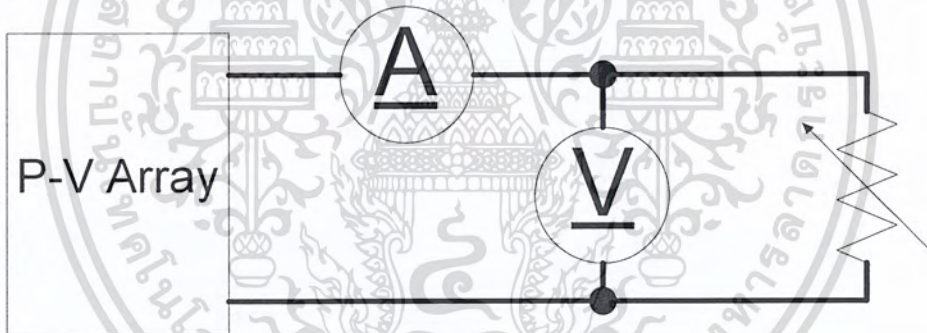
บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำโดยการนำตัวต้านทานมาเป็นโหลดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการวัดกระแสและแรงดันเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ทำการเปิดวงจร (Open circuit) ทางด้านเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ไม่มีการต่อโหลดทำการวัดแรงดันเปิดวงจร
2. ทำการลัดวงจร (Short circuit) ทางด้านเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำการวัดกระแสลัดวงจร แรงดันลัดวงจรจะเป็นศูนย์
3. ทำการต่อโหลดตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ ทำการวัดค่ากระแสและแรงดัน ณ โหลดค่าต่างๆ
4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 – 3 มาทำการเขียน IV-Curve



รูปที่ 4.1 รูปวงจรการทดสอบหาคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

แผงที่นำมาทดสอบเป็นแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ขนาด

ขนาดกำลังสูงสุด	125	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่ก่าลังสูงสุด	17	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่ก่าลังสูงสุด	7.36	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6	โวลต์

ค่าตัวเลขนี้ คิดจากสภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเข้มแสงโดยใช้ลักซ์มิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จากลักซ์มิเตอร์มีหน่วยเป็น Lux ดูได้จากรูปที่ 4.2 ต้องทำการแปลงหน่วยให้เป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ก่อน เพื่อที่จะนำค่าไปใช้ในการจำลองการออกแบบ

อย่างไรก็ตามสำหรับดวงอาทิตย์สามารถประมาณการแปลงค่าได้เป็น

$$1 \text{ Lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2$$

ยกตัวอย่าง เช่น ลักซ์มิเตอร์อ่านค่าได้เท่ากับ 75,000 Lux

สามารถแปลงค่าจากการอ่านเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรได้เท่ากับ

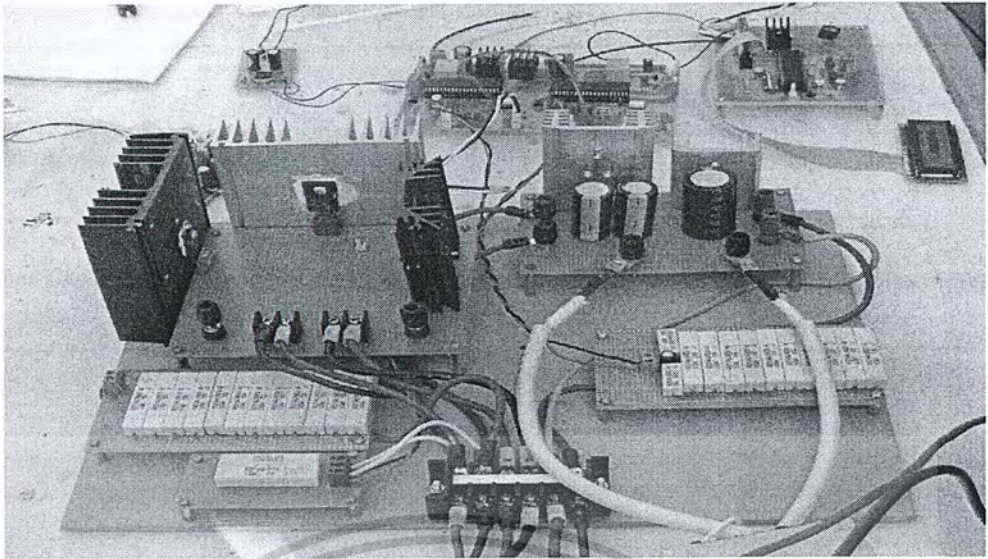
$$75,000 \times 0.0079 = 590 \text{ W/m}^2$$



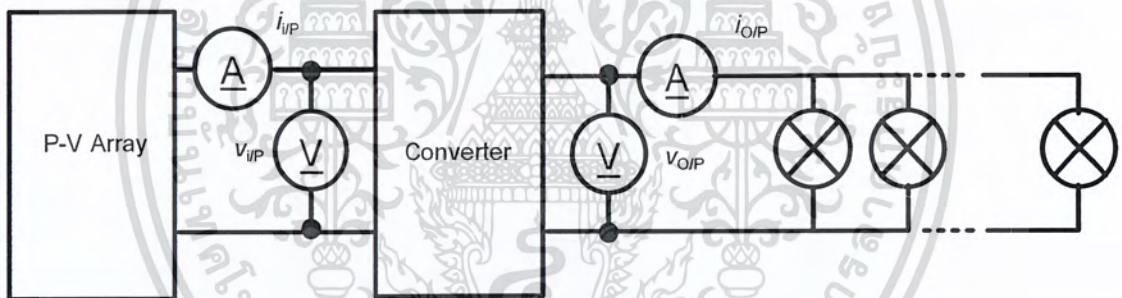
รูปที่ 4.2 ลักซ์มิเตอร์

จากรูปที่ 4.3 เป็นภาพการทดสอบการต่อวงจรจริงของวงจร MPPT โดยมีการรับอินพุตมาจากแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและวงจรชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 4.4 วงจรทดสอบใช้เทคนิค Maximum Power Point Tracking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง ต่อ
อนุกรม

วันที่ 30 มกราคม 2554 เวลา 13.54 – 14.10 น. ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 687.3 W/m^2

Current(A)	Voltage(V)	Power(W)	Current(A)	Voltage(V)	Power(W)
0.000	38.20	0.000	4.478	28.14	126.011
0.176	37.89	6.669	4.584	27.56	126.335
0.348	37.58	13.078	4.685	27.07	126.823
0.523	37.27	19.492	4.789	26.52	127.004
0.692	36.98	25.590	4.883	25.97	126.812
0.878	36.68	32.205	4.953	25.26	125.113
1.033	36.36	37.560	5.052	24.72	124.885
1.205	36.05	43.440	5.123	24.08	123.362
1.364	35.76	48.777	5.168	23.50	121.448
1.528	35.48	54.213	5.207	22.56	117.470
1.689	35.20	59.453	5.177	22.21	114.981
1.850	34.93	64.621	5.219	21.32	111.269
2.004	34.61	69.358	5.210	20.34	105.971
2.158	34.29	73.998	5.196	19.01	98.776
2.317	33.94	78.639	5.199	18.01	93.634
2.477	33.58	83.178	5.223	17.28	90.253
2.623	33.28	87.293	5.242	17.66	92.574
2.769	32.93	91.183	5.254	16.49	86.638
2.915	32.59	95.000	5.255	15.01	78.8877
2.917	32.62	95.153	5.26	14.22	74.797
3.056	32.28	98.648	5.273	13.45	76.97
3.197	31.91	102.016	5.282	11.75	68.385
3.336	31.58	105.351	5.294	10.02	53.045
3.475	31.17	108.316	5.301	8.21	43.521
3.615	30.86	111.559	5.311	6.04	32.078
3.745	30.59	114.560	5.324	4.51	24.01
3.884	30.23	117.413	5.331	2.74	14.606
4.001	29.84	119.390	5.341	0.7	3.788
4.129	29.47	121.682	5.341	0.4	2.136
4.250	29.06	123.505	5.348	0	0
4.371	28.61	125.054			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเปิดวงจร (V_{oc})	38.20	โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	5.348	แอมป์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	127.004	วัตต์
แรงดันที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด	26.52	โวลต์
กระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด	4.789	แอมป์

ลักษณะมีเตอร์อ่านค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 87,000 Lux (เมื่อนำมาเฉลี่ยแล้ว)
สามารถแปลงค่าจากการอ่านเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรได้เท่ากับ

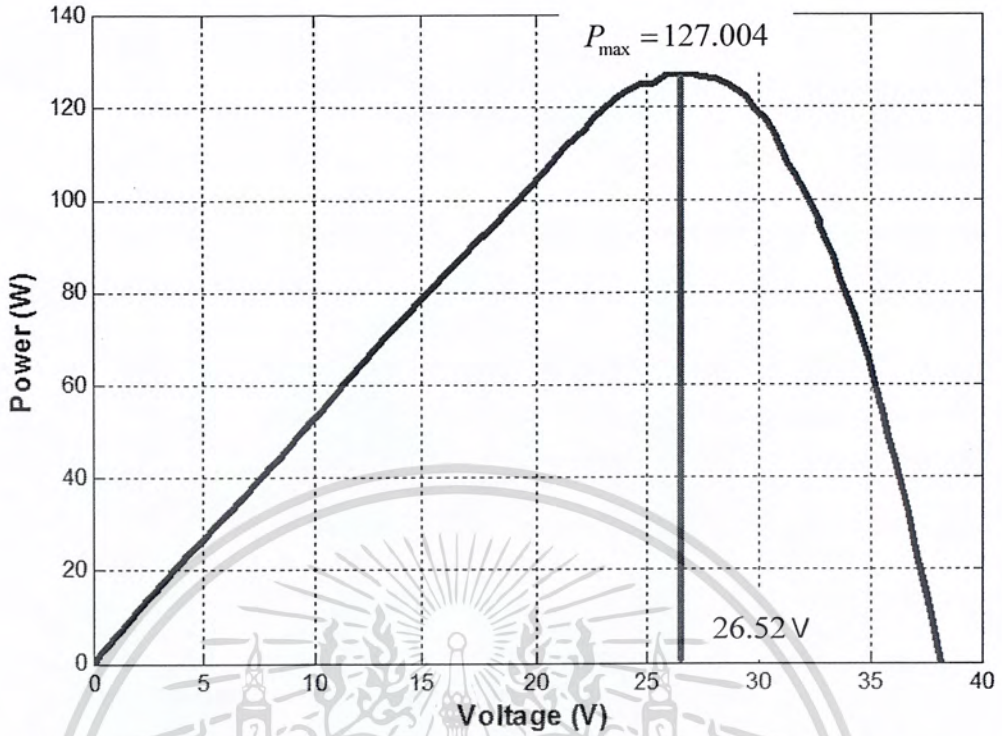
$$87,000 \times 0.0079 = 687.3 \text{ W/m}^2$$

ทดสอบเมื่อ

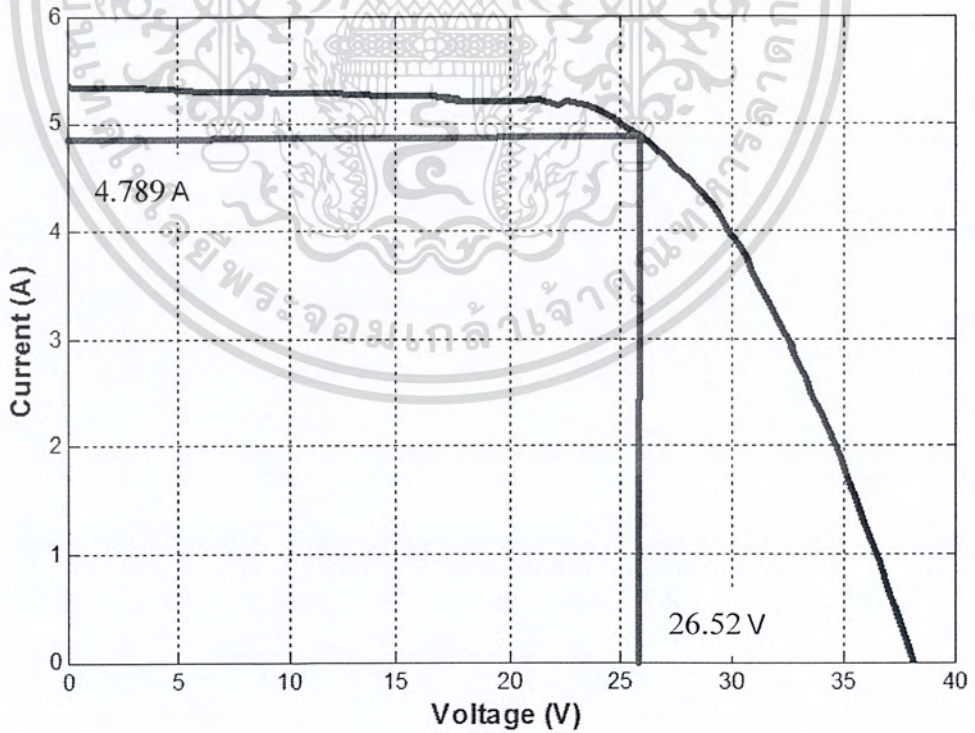
วันที่ 30 มกราคม 2554 เวลา 13.54 – 14.10 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผงต่ออนุกรม



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผงต่ออนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจร Boost Converter โดยใช้เทคนิค Maximum Power Point Tracking

วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 11.33 - 11.50 น. ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 808.17 W/m^2

จำนวนหลอดไฟ	V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	Efficiency (%)
2	26.71	5.02	134.08	132.60	0.70	92.82	69.23
4	26.22	5.12	134.25	86.80	1.1	95.48	71.12
6	26.83	5.05	135.49	68.70	1.45	99.62	73.56
8	25.89	5.27	136.44	56.90	1.75	99.57	72.98
10	26.65	5.1	135.91	49.58	2.05	101.64	74.78
12	24.66	5.49	135.38	43.78	2.30	100.69	74.37
14	25.99	5.25	136.45	40.01	2.55	102.03	74.77
16	25.46	5.35	136.21	36.35	2.85	103.6	76.06
18	25.62	5.38	137.84	33.68	3.1	104.41	75.75
20	25.21	5.58	140.67	32.18	3.35	107.8	76.63
22	25.00	5.57	139.25	30.25	3.55	107.39	77.12
24	25.38	5.45	138.32	28.08	3.8	106.7	77.14
26	26.36	5.28	139.18	26.66	4	106.64	76.62
28	25.64	5.49	140.76	25.48	4.25	108.29	76.93
30	25.03	5.67	141.92	24.52	4.45	109.11	76.88
32	25.73	5.61	144.34	23.35	4.77	111.38	77.16
$P_{in,avg} = 137.91$							
$P_{out,avg} = 103.57$							
Average efficiency = 75.10							

จากตารางที่ 4.2 พบว่าวงจร Boost Converter โดยใช้เทคนิค Maximum Power point Tracking มีประสิทธิภาพ 75.10 เปอร์เซ็นต์ โดยมี $P_{in,avg} = 137.91 \text{ W}$ และ $P_{out,avg} = 103.57 \text{ W}$

ทดสอบเมื่อ

วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 11.33 – 11.50 น.

ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 808.17 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน
โดยไม่ใช้เทคนิค MPPT และใช้เทคนิค MPPT ผ่านวงจร Boost Converter
วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.25 – 14.35 น. ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 584.6 W/m^2

จำนวน หลอดไฟ	ไม่ใช้เทคนิค MPPT			ใช้เทคนิค MPPT		
	V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)
1	36.87	0.18	6.64	27.99	4.15	116.16
2	36.56	0.35	12.80	27.89	4.15	115.74
3	36.24	0.52	18.84	27.77	4.02	111.64
4	35.90	0.69	24.77	26.32	3.99	112.99
5	35.58	0.86	30.60	28.13	4.06	114.21
6	35.25	1.02	35.96	27.46	4.16	114.23
7	34.88	1.19	41.51	27.49	4.31	118.48
8	34.55	1.35	46.64	26.08	4.33	112.93
9	34.16	1.52	51.92	27.57	4.45	122.69
10	33.81	1.68	56.80	26.98	4.47	120.6
$P_{avg} = 32.65$			$P_{avg} = 115.97$			

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า การนำพลังงานมาใช้งานโดยใช้เทคนิค MPPT จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 115.97 W และการนำพลังงานมาใช้โดยไม่ใช้เทคนิค MPPT จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 32.65 W

ทดสอบเมื่อ

วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.25 – 14.35 น.

ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 584.6 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของวงจร Buck Converter โดยการคงค่ากระแสชาร์จลง
แบตเตอรี่

วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.30 – 14.45 น. ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 514.29 W/m^2

V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	Efficiency (%)
1.30	34.00	44.20	1.65	25.89	42.72	96.65
2.38	33.10	78.78	2.80	26.34	73.75	93.62
3.20	32.00	102.40	3.50	27.70	96.95	94.68
Average efficiency						94.98

จากตารางที่ 4.4 พบว่าวงจร Buck Converter มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 94.98 เปอร์เซ็นต์
ทดสอบเมื่อ

วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.30 – 14.45 น.

ความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 514.29 W/m^2

ตารางที่ 4.5 แสดงผลกระแสชาร์จแบตเตอรี่ที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ โดยก่าจัดกระแสชาร์จ
แบตเตอรี่ไม่เกิน 4 A

วันที่ทำการทดลอง 5 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 13.45 – 13.50 น.

$E \text{ (W/m}^2\text{)}$	$I_{charge} \text{ (A)}$	Duty cycle on (%)
474	3.34	97.00
553	3.35	91.21
632	3.35	88.09
711	3.37	87.60
834	3.36	86.50

จากตารางที่ 4.5 พบว่าวงจร Buck Converter สามารถควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่
ไม่เกิน 4 A เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ

5.1 สรุปผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุด MPPT Converter นั้นจะพบว่า ณ เวลาต่าง ๆ กันนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ

ผลการทดสอบยังคงมีความผิดเพี้ยนจากคุณลักษณะจริงไปบ้างเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ไม่น้อยพอที่จะได้กราฟคุณลักษณะของกระแสกับแรงดันและแรงดันกับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงคงที่ค่าหนึ่ง คือความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงไปก่อนที่จะทดสอบเสร็จในแต่ละรอบอย่างไรก็ตามจากการวัดพบว่าความเข้มแสงนั้นแตกต่างกันไม่มากนักจึงเป็นผลที่ยอมรับได้

5.2 สรุปผลการทดสอบวงจร Boost Converter โดยใช้เทคนิค MPPT

การหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยวิธี Perturb & Observe (P&O) ผ่านวงจร Boost Converter ทำให้สามารถนำพลังงานมาใช้งานได้สูงกว่าการนำพลังงานมาใช้งานโดยไม่ใช้เทคนิค MPPT ซึ่งทำให้คุ้มค่ากับการลงทุนเนื่องจากราคาของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีราคาสูง แต่จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของวงจรยังถือว่ามีประสิทธิภาพต่ำเพียง 75.10 เปอร์เซ็นต์จึงควรมีการศึกษาวิจัย และพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.3 สรุปผลการทดสอบวงจร Buck Converter ในการควบคุมกระแสชาร์จลงแบตเตอรี่

จากการศึกษาทดลอง วงจร Buck Converter สามารถควบคุมกระแสชาร์จลงแบตเตอรี่ตามต้องการได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อนำพลังงานไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยสามารถนำมาใช้ได้ในเวลากลางคืนเมื่อไม่มีแสงแดดในกรณีพื้นที่ห่างไกลไฟฟ้าเขาไม่ถึงที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า



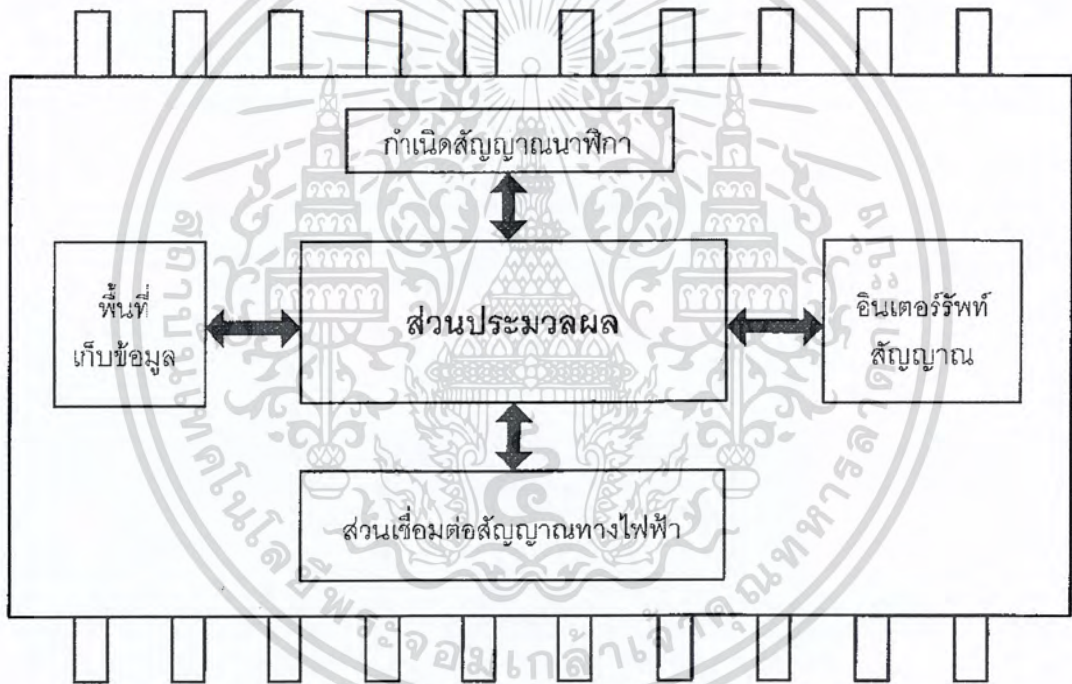
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสามารถในการทำงานมากขึ้นโดยสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการทำงานได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขภายในหน่วยความจำ ทำให้สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์การไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ แสดงรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้างหลักภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างหลักภายในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น แบ่งออกได้หลายส่วนที่จะทำงานสัมพันธ์กัน รูปโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงได้ดังภาพด้านล่าง



ภาพโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากภาพจะเห็นว่าโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีอยู่ 5 ส่วน คือ ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูลส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณ ซึ่งทั้งหมดรับส่งข้อมูลมาที่ส่วนประมวลผล ซึ่งสามารถอธิบายในแต่ละส่วนได้ดังนี้

1) ส่วนประมวลผล (Processing unit) คือส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือการตัดสินใจแบบมีเงื่อนไข (Logic) ซึ่งจะมีการทำงานที่ซับซ้อน โดยลำดับในการทำงานของส่วนประมวลผลจะขึ้นอยู่กับลำดับคำสั่งในการทำงาน (Programming code) ซึ่งบรรจุอยู่ในส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล (Memory unit) คือส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูล โดยแบ่งชนิดของพื้นที่เก็บข้อมูลเป็น 2 แบบ คือ แบบชั่วคราว (Random Access Memory : RAM) และแบบกึ่งถาวร (Erasable Programmable Read Only Memory : EPROM) ซึ่งพื้นที่เก็บข้อมูลแบบชั่วคราวนี้จะเป็นข้อมูลที่สามารรถเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลาและถูกใช้เป็นข้อมูลในการเก็บค่าตัวแปรในการคำนวณ โดยข้อมูลประเภทนี้จะสูญหายเมื่อเราหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูลแบบกึ่งถาวรจะเป็นข้อมูลที่ใช้เก็บคำสั่งการทำงาน (Code) ซึ่งข้อมูลประเภทนี้เราสามารถเปลี่ยนแปลงได้แต่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษแต่ข้อมูลจะไม่สูญหายแม้ว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็ตาม

3). ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้า (Interface unit) จะทำหน้าที่ติดต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีอยู่ 2 แบบคือ อินพุตและเอาต์พุตแบบดิจิทัล (Digital I/O) โดยจะรับข้อมูลและส่งข้อมูลด้วยสัญญาณทางดิจิทัล (Digital signal) และอินพุตเอาต์พุตแบบอนาล็อก (Analog I/O) รับและส่งสัญญาณแบบสัญญาณทางอนาล็อก (Analog signal) ซึ่งในการรับส่งสัญญาณของอนาล็อกจะมีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางรุ่นเท่านั้น

4). ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้วงจรเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่าวงจรรอสซิลเลเตอร์ (Oscillator circuit) ซึ่งมีอุปกรณ์หลักคือ คริสตัล (XTal) มากำหนดช่วงเวลาในการประมวลผล (Execute time) ของส่วนประมวลผล โดยจะมีผลต่อความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้สัญญาณนาฬิกาจะยังใช้กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม (Digital series communication signal) และกำหนดความถี่ในส่วนของตัวตั้งเวลา (Timer) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

5). ส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณ จะทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญในการทำงานในกรณีที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำงานในลักษณะหลายงานพร้อมกัน (Multitasking) ซึ่งจะอำนวยความสะดวกอย่างมากในการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานลักษณะนี้

2. ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์

เราสามารถแบ่งประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลักษณะการทำงานด้านการประมวลผลได้ 2 ประเภท ดังนี้

1). ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC (Reduced instruction set computer) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างการทำงานที่มีจำนวนชุดคำสั่งน้อย และแต่ละคำสั่งจะทำงานแบบง่ายๆ แต่ความเร็วในการทำงานแต่ละคำสั่งจะสูงมากซึ่งถือเป็นข้อเด่น แต่มีข้อด้อยคือชุดคำสั่งจะทำงานอย่างง่าย ๆ คำสั่งในการคำนวณจะมีแค่เพียงคำสั่ง บวก และ ลบ

2). ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC (Complex instruction set computer) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างการทำงานมีชุดคำสั่งที่มากกว่าแบบ RISC ซึ่งแต่ละคำสั่งจะสามารถทำงานที่ซับซ้อนได้โดยใช้เพียงแค่ 1 คำสั่งเท่านั้น ซึ่งจะสะดวกมากในการใช้งานที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนหากจะเปรียบเทียบกันพบว่า ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีคำสั่งที่ทำงานได้ซับซ้อนมากกว่า แต่ข้อดีคือความเร็วในการทำงานสำหรับแบบ CISC คือความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC ต่อ 1 คำสั่ง จะช้ากว่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC

3. ชนิดของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Peripheral Interface Controller (PIC)

ส่วนประมวลผลของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ ที่ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ และเปิด - ปิดการใช้งานกล้องวิดีโอ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ในการควบคุมการทำงาน เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้สามารถใช้งานได้หลากหลายด้วยตัวมันเอง โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นถือเป็นส่วนสำคัญมาก เปรียบเสมือนเป็นสมองของหุ่นยนต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC หากแบ่งออกตามชนิดของ Program memory สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1). One Time Programmable (OTP) เป็นชิพที่มีราคาถูกที่สุดจาก 3 แบบ เนื่องจากว่า ชนิดนี้จะสามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากชิพได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้นประเภทนี้จะนิยมใช้หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งจุดบกพร่องต่างๆ ในโปรแกรมไม่มีอีกแล้ว เพราะจะมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับชนิดอื่น จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัวชิพ เช่น 16C74, 16C84 เป็นต้น

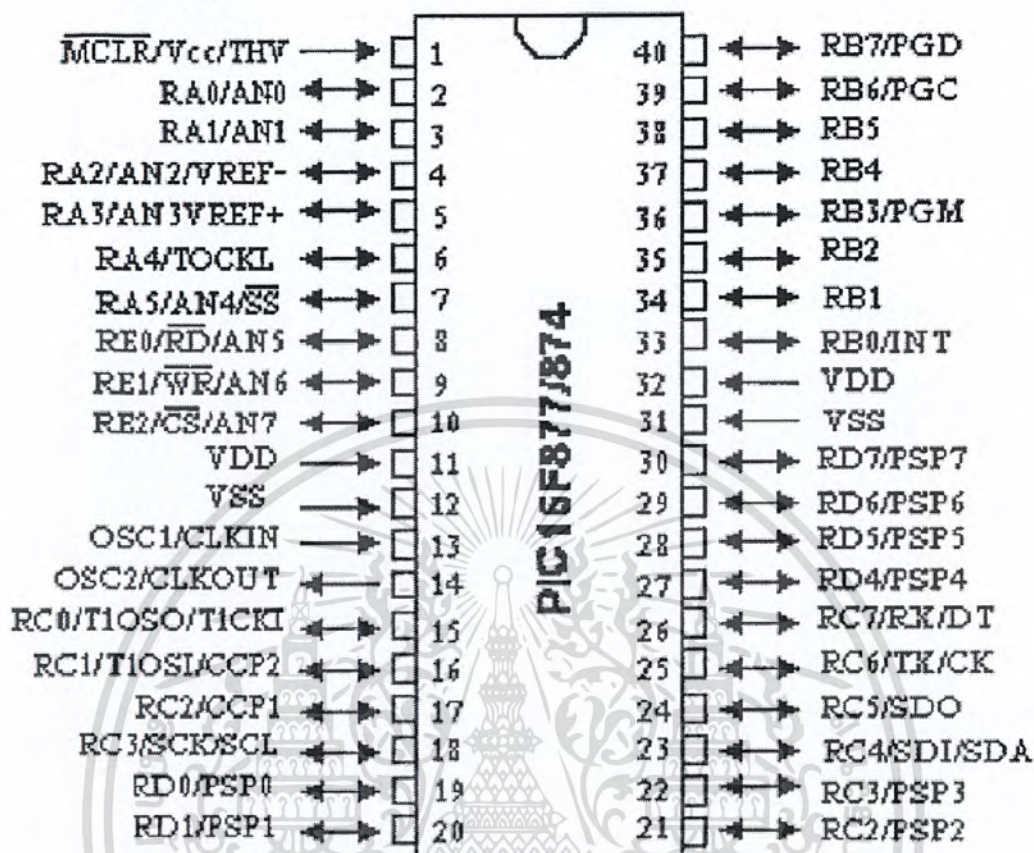
2). EPROM เป็นชิพที่เมื่อเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิม โดยให้แสง Ultra Violet (UV) ส่องผ่านเข้าไปยังชิพ ประมาณ 5 -10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของชิพจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัวชิพได้ แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกัน เมื่อลบโปรแกรมด้วยแสง UV มากๆ เข้าก็ไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปได้แล้ว จะมีตัวอักษร JW หรือมีกรอบกระจกอยู่บนตัวชิพ

3). Electronically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM) เป็นชิพที่สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่กี่วินาที และสามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอก เช่น 16F84, 16F877 ซึ่งหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำที่สร้างก็ใช้ชิพประเภทนี้เช่นกัน โดยเบอร์ที่เลือกใช้คือ 16F877

4. โครงสร้างภายนอกและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 บรรจุอยู่ในตัว Plastic Dual – In line Package (PDIP) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับไอซีแบบตีนตะขาบที่พบเห็นโดยทั่วไป มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 40 ขาดังแสดงในภาพด้านล่าง

PDIP



ภาพการจัดขาของ PIC 16F877

จากภาพเป็นโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ซึ่งสามารถแบ่งการจัดขาต่อใช้งานของ PIC 16F877 ได้เป็น 4 กลุ่มคือ

- 1). กลุ่มสัญญาณนาฬิกา มี 2 ขา คือ OSC1/CLKIN และ OSC2/CLKOUT
- 2). กลุ่มขาควบคุม มี 1 ขา คือ MCLR
- 3). กลุ่มขาพอร์ตอินพุท-เอาต์พุทมี 33 ขา
- 4). กลุ่มขาไฟเลี้ยง มี 2 ขา คือ ขา VSS หรือขากราวด์ และขา VDD หรือของไฟเลี้ยง

ซึ่งจำนวนขาพอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน มีจำนวนพอร์ตมากน้อยไม่เท่ากัน ตามความจำเป็นของผู้เลือกใช้ ซึ่งพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สามารถที่จะกำหนดหน้าที่ในการทำงานได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ ก่อนการใช้งานพอร์ตจึงต้องตรวจสอบคุณสมบัติของแต่ละพอร์ตก่อนว่ามีคุณสมบัติอย่างไรและสามารถทำงานในหน้าที่ใดได้บ้างสามารถแสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของพอร์ตได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต A ของ PIC16f877

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RA0/AN0	0	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 0
RA1/AN1	1	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 1
RA2/AN2/V _{REF-}	2	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 2 -อินพุทแรงดันอ้างอิงลบจากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล -เอาต์พุทแรงดันอ้างอิงของโมดูลแรงดันอ้างอิง
RA3/AN3/V _{REF+}	3	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 3 -อินพุทแรงดันอ้างอิงบวกจากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล
RA4/TOCKI/C1OUT	4	ST	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -อินพุทสัญญาณนาฬิกาภายนอกของไทม์เมอร์ 0 -เอาต์พุทวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่องที่ 1 (Comparator) หรือเอาต์พุทแบบ Open Drain
RA5/SS/AN4/C2OUT	5	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 4 -ขาอินพุทสัญญาณ Slave select สำหรับการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส -เอาต์พุทวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่องที่ 2

เมื่อ TTL หมายถึง อินพุทแบบ Transistor Transistor Logic

ST หมายถึง อินพุทแบบมิททริกเกอร์ (Schmitt Trigger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต B

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RB0/IN0	0	TTL/ST ⁽¹⁾	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	1	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล
RB2	2	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล
RB3/PGM ⁽³⁾	3	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -อินพุทปรับแรงดันโปรแกรมต่ำ +5V (โหมดLPV) หาก Enable ไว้
RB4	4	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินเทอร์รัปต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก หาก Enable ไว้
RB5	5	TTL	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินเทอร์รัปต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก หาก Enable ไว้
RB6/PGC	6	TTL/ST ⁽²⁾	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล
RB7/PGD	7	TTL/ST ⁽²⁾	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินเทอร์รัปต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก หาก Enable ไว้ -ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบั๊กในวงจร(ICD)

เมื่อ TTL/ST⁽¹⁾ หมายถึง อินพุทแบบซมิตทริกเกอร์เมื่อใช้งานอินพุทรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก

TTL/ST⁽²⁾ หมายถึง อินพุทแบบซมิตทริกเกอร์เมื่อใช้งานโหมดโปรแกรมแบบอนุกรม หรือ In-Circuit Debugger (ICD)

ตารางรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต C

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RC0/T10SI/T1CKI	0	ST	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตเอาต์พุทจากออสซิลเลเตอร์ของไทม์เมอร์ 1 -ขาพอร์ตอินพุทสัญญาณนาฬิกาของไทม์เมอร์ 1
RC1/T1OSI/CCP2	1	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตเอาต์พุทจากออสซิลเลเตอร์ของไทม์เมอร์ 1 - ขาพอร์ตอินพุทวงจรถับสัญญาณ/วงจรถอดรหัสพัลส์เปรียบเทียบ/วงจรถอดรหัสพัลส์ Pulse-Width Modulation (PWM) โมดูล CCP2
RC2/CCP1	2	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุทวงจรถับสัญญาณ/วงจรถอดรหัสพัลส์เปรียบเทียบ/วงจรถอดรหัสพัลส์ PWM โมดูล CCP2
RC3/SCK/SCL	3	ST	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตสัญญาณนาฬิกาของวงจรถับสัญญาณ SPI และบัส I2C
RC4/SDI/SDA	4	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุทของวงจรถับสัญญาณ SPI และข้อมูลของบัส I2C
RC5/SDO	5	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุทของวงจรถับสัญญาณ SPI
RC6/TX/CK	6	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุทการสื่อสารอนุกรมของวงจรถรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Universal asynchronous receiver/transmitter : USART) - ขาสัญญาณนาฬิกาแบบอซิงโครนัส
RC7/RX/DT	7	ST	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุทการสื่อสารอนุกรมของวงจรถรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส USART - ขาสัญญาณข้อมูลแบบอซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต D

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RD0/PSP0	0	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	1	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	2	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	3	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	4	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	5	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	6	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	7	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต E

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RE0/RD/AN5	0	ST/TTL(1)	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทควบคุมการอ่านในโหมดส่วนขยายแบบขนาน -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 5
RE1/WR/AN6	1	ST/TTL(1)	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทควบคุมการอ่านในโหมดส่วนขยายแบบขนาน -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 6
RE2/CS/AN7	2	ST/TTL(1)	-ขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทดิจิตอล -ขาพอร์ตอินพุทเลือกอุปกรณ์ในโหมดส่วนขยายแบบขนาน -ขาพอร์ตอินพุทวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 6

ส่วนของสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 สามารถแสดงดังภาพด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 10 เป็น BANK2

= 11 เป็น BANK3

แต่ละ Bank มีถึง 128 Bytes แต่ส่วนต้นของแต่ละ Bank จะเป็นที่อยู่ของ Special function file มีขนาด 8 บิต มี 32 ตัว ที่ถูกกำหนดหน้าที่และตำแหน่งไว้แล้ว และอีก 96 ตัว จะได้รับการกำหนดให้ใช้งานอย่างอิสระ

3). หน่วยความจำที่เป็น EEPROM สามารถเก็บข้อมูลได้ 256 ตำแหน่ง (0x00-0xFF) การติดต่อโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ Special Function Register (SFR) 6 ตัวคือ EEDATA, EEDATH, EEADR, EEADRH, EECON1 และ EECON2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ Buck Converter

```

#include <16f*877.h>
#include HS, NOLVP, NOWDT, NOPROTECT
#include delay (clock=20000000)
//#include <lcd.c>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
void main()
{
    Unsigned int8
    Vref,Vout1,Vout2,Vout3,Vout4,Vout5,Vout6,Vout7,Vout8,Vout9,Vout10,Vou
    t,duty=0;
    signed int8 error;
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4_AN5);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,249,1);
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    set_pwm1_duty(duty);
    set_tris_e(0x00);
    delay_ms(100);
    while(TRUE){
        output_e(7);
        set_adc_channel(4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vout1=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout2=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout3=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout4=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout5=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout6=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout7=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout8=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout9=read_adc();
set_adc_channel(4);
delay_ms(1);
Vout10=read_adc();
set_adc_channel(0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(1);
Vref=read_adc();

```

```

Vout=(Vout1+Vout2+Vout3+Vout4+Vout5+Vout6+Vout7+Vout8+Vout9+Vout10)/10;

```

```

if(Vref>Vout){
    error=Vref-Vout;
    if(error>0){
        duty=duty+1;
        set_pwm1_duty(duty);
        delay_ms(25);
    }
    else{
        duty=duty;
        set_pwm1_duty(duty);
        delay_ms(25);
    }
}
if(Vref<Vout){
    error=Vout-Vref;
    if(error>0){
        duty=duty-1;
        set_pwm1_duty(duty);
        delay_ms(25);
    }
    else{
        duty=duty;
        set_pwm1_duty(duty);
        delay_ms(25);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }  
  }  
  if(duty>=249){  
    duty=248;  
    set_pwm1_duty(duty);  
  }  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของชุด MPPT Converter

```

#define _PIC16F877_
#include <16F877.h>
#define ADC=10
#define TxD PIN_C6
#define RxD PIN_C7
#define CLOCK_SP 2000000
#define HS
#define NOLVP, NOWDT
#define NOPROTECT
#define delay (clock=CLOCK_SP)
#define rs232(baud=9600, xmit=TxD,rcv=RxD)
#include <math.h>
#include <stdlib.h>

void main()
{
    unsigned int16 duty=500,n;
    float Vnew=0,Inew=0,Vin,lin,Pnew,Pold,Vold;
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 249, 1);
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(adc_clock_internal);
    set_pwm1_duty(duty);
    delay_ms(100);
    while( TRUE )
    {
        for(n=0;n<100;n++){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

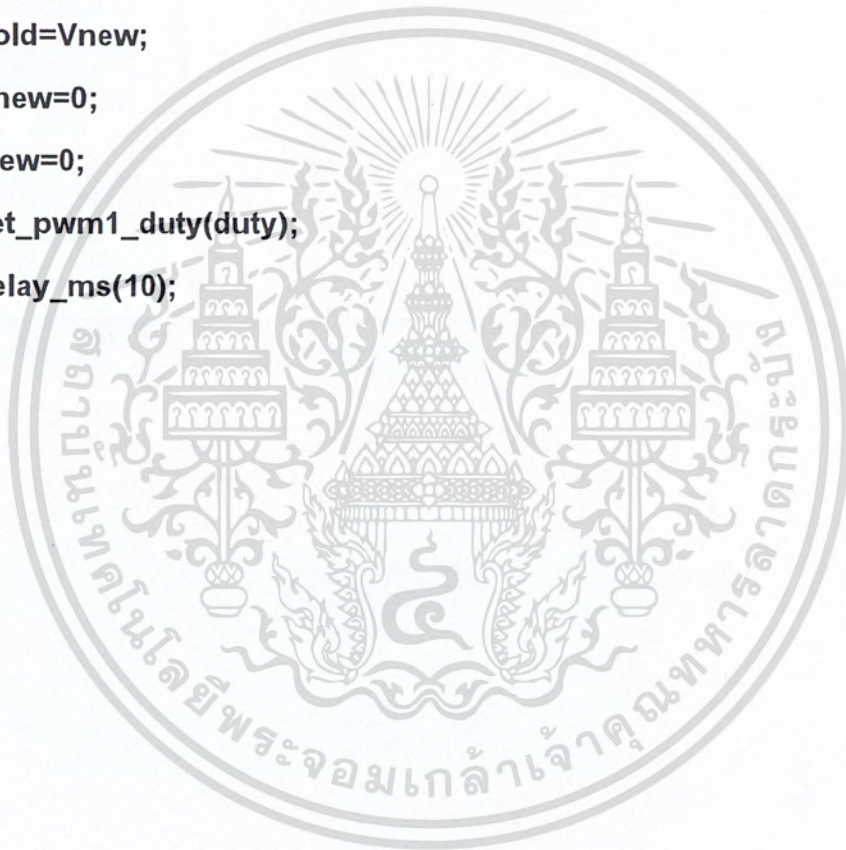
```

set_adc_channel(0);
delay_us(20);
Vin=read_adc();
set_adc_channel(1);
delay_us(20);
lin=read_adc();
Vnew=Vnew+Vin;
Inew=Inew+lin;
}
Vnew=Vnew*(0.01);
Inew=Inew*(0.01);
Vnew=(5.0/1023)*(float)Vnew;
Inew=(5.0/1023)*(float)Inew;
Pnew=Vnew*Inew;
if(Vnew>Vold){
    if(Pnew>Pold){
        duty=duty-10;
    }
    if(Pnew<Pold){
        duty=duty+10;
    }
}
if(Vnew<Vold){
    if(Pnew>Pold){
        duty=duty+10;
    }
    if(Pnew<Pold){
        duty=duty-10;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
if(duty>=990){  
    duty=990;  
}  
if(duty<=0){  
    duty=0;  
}  
Pold=Pnew;  
Vold=Vnew;  
Vnew=0;  
Inew=0;  
set_pwm1_duty(duty);  
delay_ms(10);  
}  
}
```

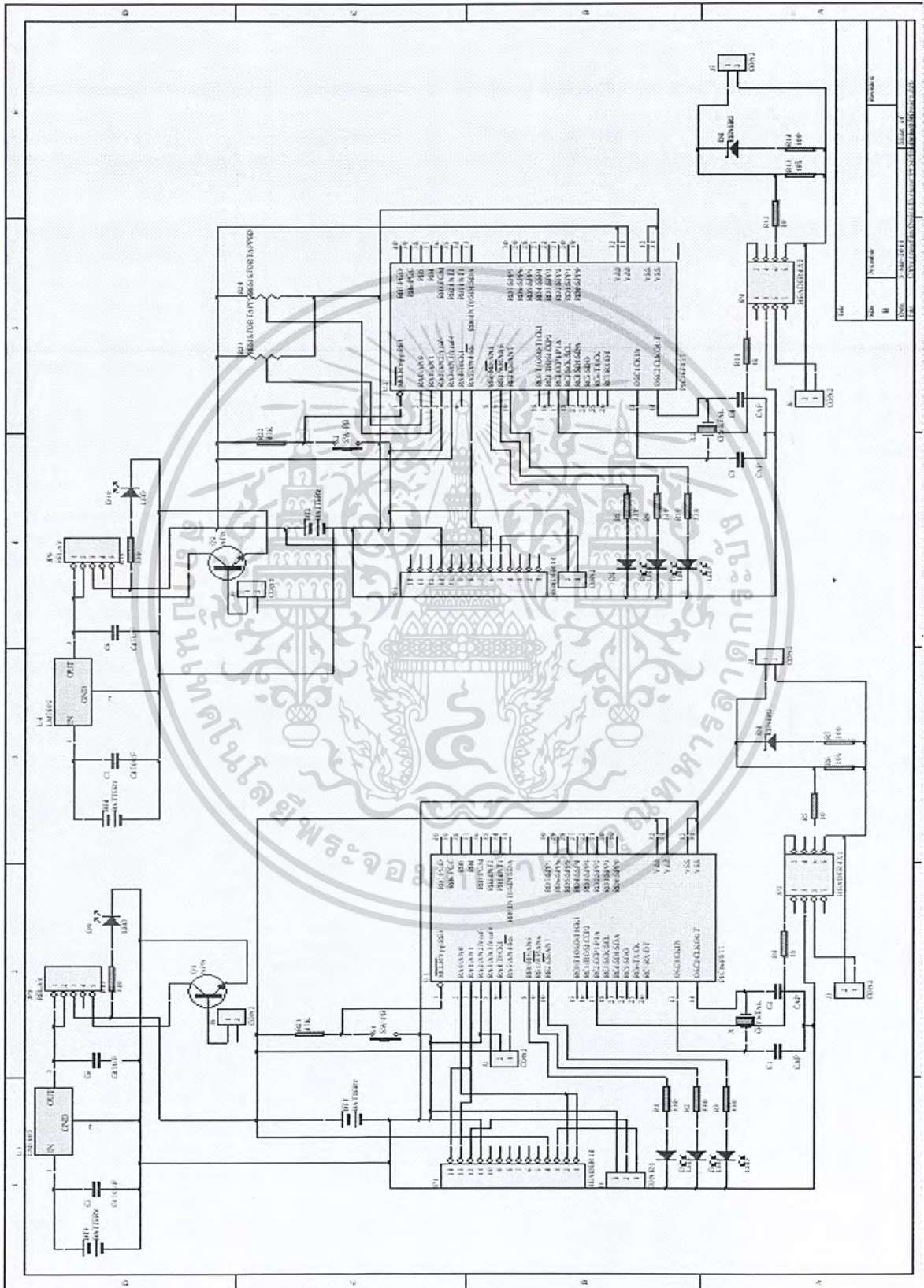


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



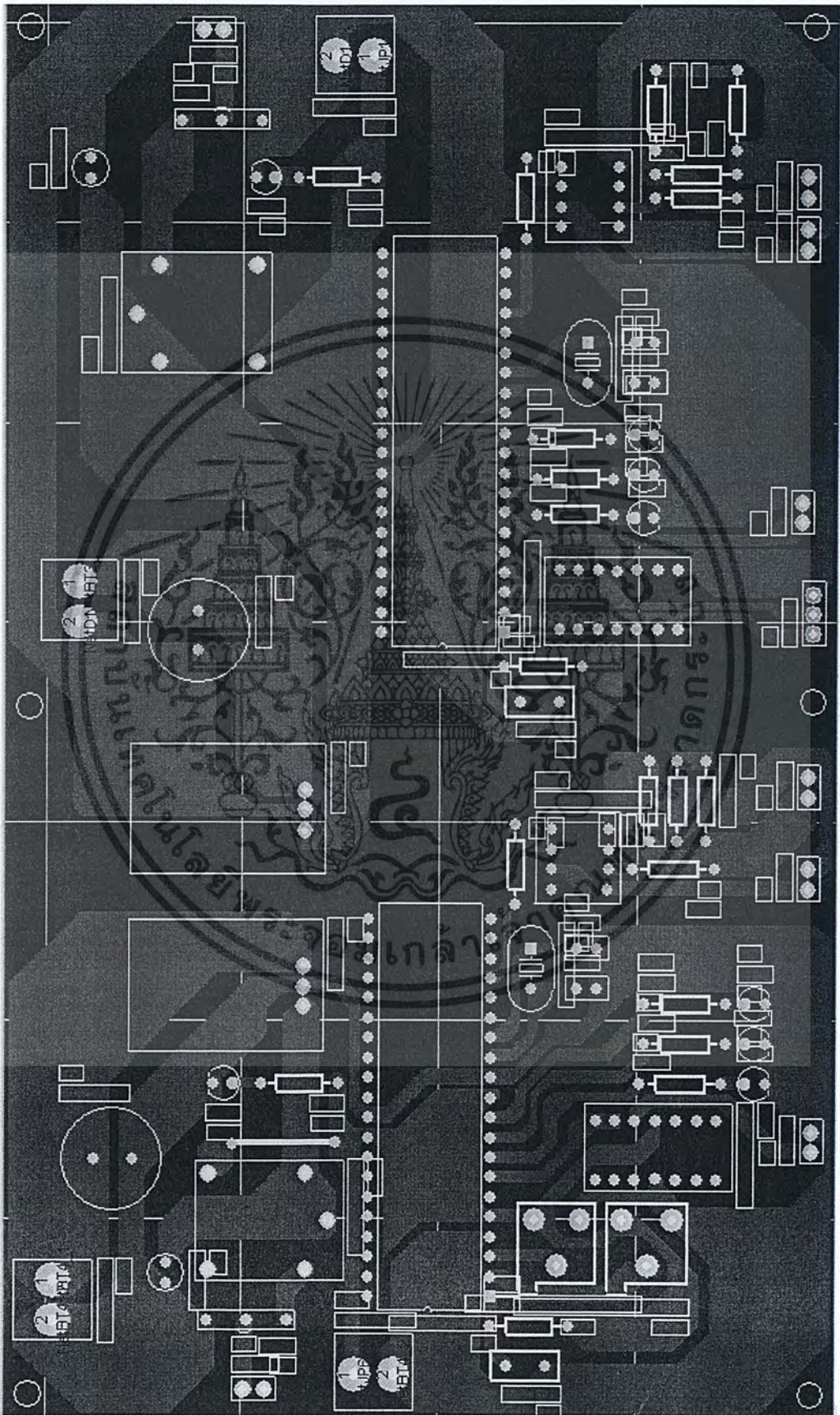
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic โปรแกรม Protel 99 SE ของวงจรคอนโทรล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCB ในโปรแกรม Protel 99 SE ของวงจรคอนโทรล



เอกสารนี้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณความกรุณาที่ รศ.พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและโอกาสในการทำโครงการนี้ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณบุญมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายที่สุดนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรัชย์ นิภาวรรณ, อภิชาติ อเนกพิชญสิทธิ์ และเอกพร ทองรักษา, “การวิเคราะห์และพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ MPPT คอนเวอร์เตอร์,” *ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [2] รศ.ดร.วิระเชษฐ์ ชันเงินและวุฒิพล ชาราธิ์เรษฐ, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง *Power Electronics*,” กรุงเทพฯ, สนพ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2547.
- [3] Gehan A.J., Amaratunga, “Analytic Solution to the Photovoltaic Maximum Power Point Problem Cuauhtemoc Rodriguez”, *IEEE Transactions on circuits and systems.*, Vol. 54, No. 9, 2007, pp. 2054-2060.
- [4] Il-Song Kim, Myung-Bok Kim, Myung-Joong Youn, “New Maximum Power Point Tracker Using Sliding-Mode Observer for Estimation of Solar Array Current in the Grid-Connected Photovoltaic System,” *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 53, No. 4, 2006, pp.1027-1035.
- [5] Anca D.Hansen, Poul Sorensen, Lars H. Hansen Henrik Bindner, “*Models for a Standard-Along PV System*,” RisØ National Laboratory, Roskilde, 2000.
- [6] นายสินชาย แซ่ตั้ง, “การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกิจิตโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล,” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- [7] Dimosthenis Pefititsis, Georgios Adamidis and Anastasios Balouktsis, “A New MPPT Method for Photovoltaic Generation Systems Based on Hill Climbing Algorithm,” *International Conference on Electrical Machines*, 2009.
- [8] T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Dombia, A. Chérity, “An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems,” *Renewable Energy*, 33, 2008, pp. 1508-1516.
- [9] Yeong-Chau Kuo, Tsorng-Juu Liang, Jiann-Fuh Chen, “Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System,” *IEEE Transactions on circuits and systems.*, Vol 48, No. 3, 2001, pp. 594-601.
- [10] ธนานนท์ จันท์ศรี, พิพัฒน์ อังศุภมงคล และฉัตรวรางค์ กัลยานุกิจ, “ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสมรรถนะสูงด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์,” *ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.
- [11] ประจัน พลังสันติกุล, “All About CCSC PIC C Programming with CCSC Compiler”, สำนักพิมพ์ บริษัทแอปซอพท์เทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

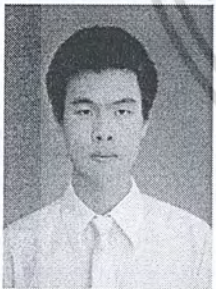
ประวัติผู้เขียน



นายณิศร์เดช ติฐภักดีเดช เกิดวันที่ 11 พฤศจิกายน 2531
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
55/44 ซอย 1/5 หมู่บ้านพฤกษชาติ 1 ถนนพระองค์เจ้าสาย ตำบลลาดสวาย
อำเภอลำลูกกา ปทุมธานี 12150
เบอร์โทร : 085-055-4228 Email : din_venus@hotmail.com



นายจักรพันธ์ ชุ่มวงศ์ เกิดวันที่ 28 สิงหาคม 2531
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
66 หมู่ 5 ตำบลทุ่งศรีทอง อำเภอเวียงสา น่าน 55110
โทรศัพท์ 084-948-4650 Email : chp_chumwong@hotmail.com



นายชเชษฐ์ ดันกุล เกิดวันที่ 17 ธันวาคม 2531
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
30/1 ถนนชลระอุ ตำบลเขานินเวศน์ อำเภอเมือง ระนอง 85000
โทรศัพท์ 089-469-6199 Email : buffalo007@hotmail.com



นายภัทรพนธ์ ธีรากุลนันท์ชัย เกิดวันที่ 23 กันยายน 2531
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
44 ซอยรามคำแหง 52/2 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ
กรุงเทพมหานคร 10240
เบอร์โทร : 080-975-7474 Email : patthapol.thira@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้เห็นประโยชน์ของเอกสารนี้แล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้