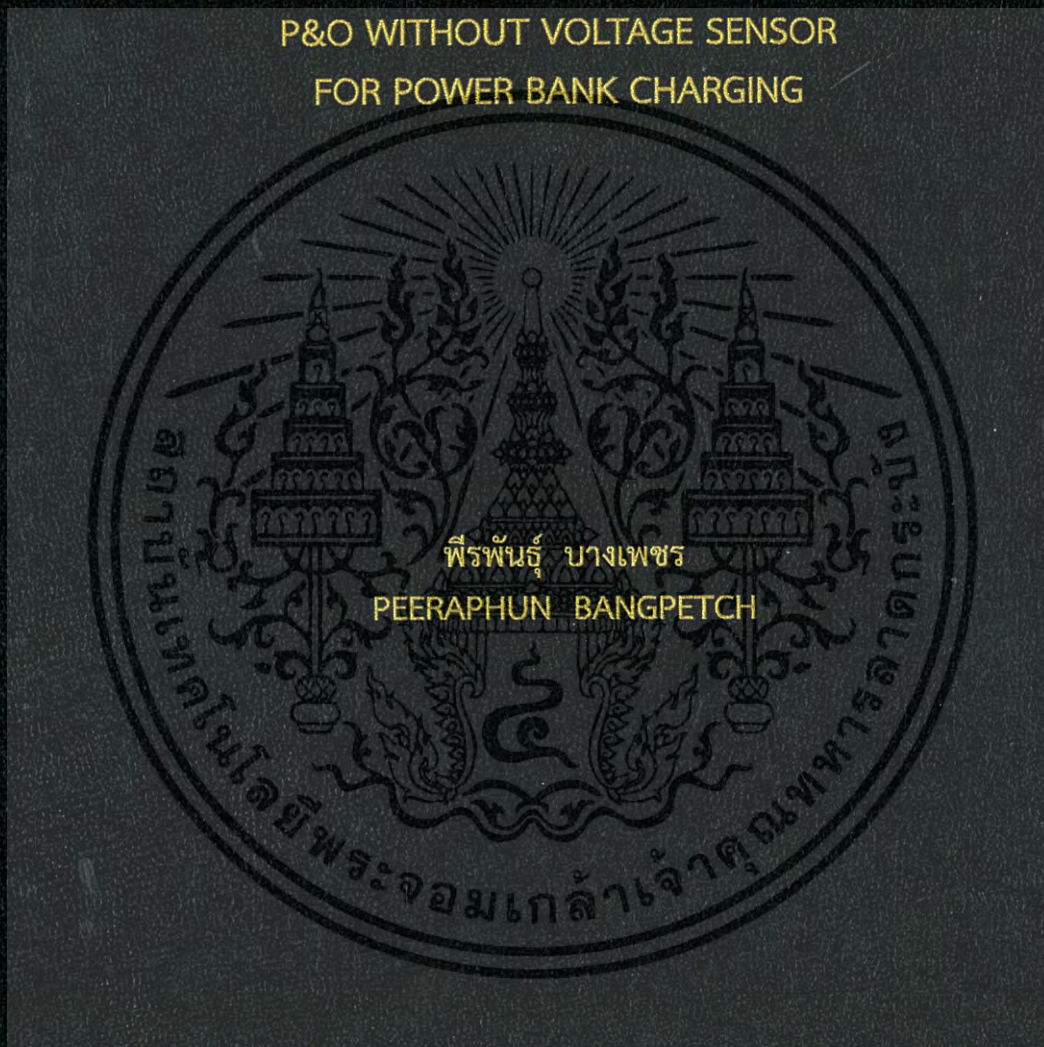


การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดันด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป
สำหรับประจุแบตเตอรี่สำรอง

MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF SOLAR CELL USING IMPROVED
P&O WITHOUT VOLTAGE SENSOR
FOR POWER BANK CHARGING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-M-020-057

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดันด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป
สำหรับประจุแบตเตอรี่สำรอง

MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF SOLAR CELL USING IMPROVED
P&O WITHOUT VOLTAGE SENSOR
FOR POWER BANK CHARGING



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148803**
พ.ค.เดือน.ปี **23 พ.ค. 2560**

b. 00267610
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ KMITL-2017-EN-M-020-057 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF SOLAR CELL USING IMPROVED
P&O WITHOUT VOLTAGE SENSOR
FOR POWER BANK CHARGING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-020-057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

เอกรังสรรค์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดันด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทัวไปสำหรับประจุแบตเตอรี่สำรอง

Thesis Title Maximum Power Point Tracking of Solar Cell using Improved P&O without Voltage Sensor for Power Bank Charging

นักศึกษา นายพีรพันธุ์ บางเพชร

รหัสประจำตัว 59601295

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ภพ จันท์เจริญสุข

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-020-057

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|---------------|---------------------------|
| ผศ.ดร.สลิทธิพิทย์ | สินธุสนธิชาติ | สลิทธิพิทย์ สินธุสนธิชาติ |
| รศ.ดร.อนุวัฒน์ | จางวนิชเลิศ | จางวนิชเลิศ |
| รศ.ดร.วิจิตร | กิณเรศ | กิณเรศ |
| ผศ.ดร.ชัยยันต์ | เจตนาแสน | เจตนาแสน |
| ดร.ภพ | จันท์เจริญสุข | จันท์เจริญสุข |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฉบับตี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของ เซลล์แสงอาทิตย์โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดันด้วยวิธีที่ พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทัวไปสำหรับประจุแบตเตอรี่ สำรอง

นักศึกษา

นายพีรพันธุ์ บางเพชร

รหัสประจำตัว

59601295

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ภพ จันท์เจริญสุข

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดจากแผง โซลาร์เซลล์ ขนาด 10 วัตต์ สำหรับชาร์จแบตเตอรี่สำรองประเภทลิเทียมไอออน เทคนิคที่นำเสนอไม่ จำเป็นต้องใช้ตัวตรวจวัดแรงดันในระบบ ใช้เพียงตัวตรวจวัดกระแสตัวเดียว อัลกอริทึมซึ่งพัฒนาเพิ่ม จากเทคนิคการรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation) ทัวไปนี้สามารถลดจำนวน รอบในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสม เวลาที่ใช้จึงสั้นลง โดยตัวควบคุมนั้นจะกำเนิดวัฏจักร งานของวงจรลดทอนระดับแรงดันที่ต่อเชื่อมระหว่างโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่สำรอง ผลการจำลอง ในโปรแกรม MATLAB/Simulink พบว่าระบบสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ใน สภาวะแวดล้อมที่หลากหลายของความเข้มแสง อุณหภูมิ และ แรงดันของแบตเตอรี่ พร้อมทั้ง สามารถลดจำนวนรอบในการติดตามลงได้ วัฏจักรงานของจุดการทำงานที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 0.4 ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-------------------|--|
| Thesis | Maximum Power Point Tracking of Solar Cell using Improved P&O without Voltage Sensor for Power Bank Charging |
| Student | Mr.Peeraphun Bangpetch |
| Student ID. | 59601295 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Electrical Engineering |
| Year | 2017 |
| Thesis Advisor | Dr.Phop Chanchaensook |
| Thesis Co-Advisor | Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert |

ABSTRACT

This thesis proposes a study about the maximum power point tracking of 10 watt solar panel for charging a power bank without voltage sensor. Only one current sensor can track the maximum power point by using algorithm developed from the general Perturbation and Observation (P&O) technique. This algorithm can reduce the number of iterations for the tracking. In addition to adjusting duty cycle, the controller is used for driving MOSFET of buck converter. The simulation results from MATLAB/Simulink showed that only one current sensor can track the maximum power point on different environment conditions in terms of irradiance, ambient temperature and battery voltage. Furthermore, The developed algorithm can track the maximum power point faster than the general P&O algorithm. The range of duty cycle of buck converter for the maximum power point is between 0.2 – 0.4

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภพ จันท์เจริญสุข และ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และ ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา รวมถึงสนับสนุนให้โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พีรพันธุ์ บางเพชร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา III ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญรูป..... | VI |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนด..... | 2 |
| 1.4 วิธีการที่ใช้ในงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... | 2 |
| 1.6 ตารางดำเนินการ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน..... | 4 |
| 2.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์..... | 4 |
| 2.2 วิธีการจัดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุด..... | 9 |
| 2.2.1 วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation: P&O)..... | 10 |
| 2.2.2 วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A fixed percentage of the open-circuit voltage)..... | 11 |
| 2.2.3 วิธีเพิ่มความนำ (Incremental conductance : IncCond)..... | 11 |
| 2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 12 |
| 2.3.1 ประวัติความเป็นมาของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 12 |
| 2.3.2 ข้อดีและข้อจำกัดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 12 |
| 2.3.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 13 |
| 2.3.4 การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 14 |
| 2.4 วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรง (DC-DC Converter)..... | 18 |
| 2.4.1 การควบคุมดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์..... | 18 |
| 2.4.2 คอนเวอร์เตอร์ลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)..... | 18 |
| 2.4.3 โหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (Continuous-conduction mode)..... | 19 |
| 2.4.4 ขีดความสามารถระหว่างการนำกระแสแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง (Boundary between continuous and discontinuous conduction)..... | 20 |
| 2.4.5 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous conduction mode)..... | 21 |
| 2.4.5.1 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องโดยให้ V_{in} คงที่ (Discontinuous conduction mode with constant V_{in})..... | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 2.4.5.2 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อ V_o คงที่ (Discontinuous conduction mode with constant V_o)..... | 23 |
| 2.4.6 ริบเปิลของแรงดันเอาต์พุต (Output voltage ripple)..... | 24 |
| 2.5 สัญญาณ PWM ที่นำมาใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง..... | 25 |
| บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบ..... | 27 |
| 3.1 บทนำ..... | 27 |
| 3.2 ส่วนประกอบของวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์..... | 27 |
| 3.3 การออกแบบวงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)..... | 28 |
| 3.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน..... | 29 |
| 3.5 วิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดโดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดัน..... | 29 |
| 3.6 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 30 |
| 3.7 อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป..... | 31 |
| บทที่ 4 การจำลองการทำงานและผลการทดสอบ..... | 34 |
| 4.1 บทนำ..... | 34 |
| 4.2 วงจรที่ใช้จำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink..... | 34 |
| 4.3 การจำลองผลเปรียบเทียบระหว่างกำลังกับกำลังจำลอง..... | 38 |
| 4.4 การจำลองผลเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธี P&O ทั่วไปกับอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 38 |
| 4.5 การจำลองผลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยรอบของ PV Array..... | 41 |
| 4.6 การทดสอบจากวงจรจริงโดยใช้เครื่องจำลองโซลาร์เซลล์..... | 47 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| 5.1 สรุปผล..... | 55 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 56 |
| ภาคผนวก..... | 57 |
| ภาคผนวก ก..... | 58 |
| ภาคผนวก ข..... | 63 |
| ภาคผนวก ค..... | 67 |
| ภาคผนวก ง..... | 69 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา V ะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์..... | 4 |
| 2.2 วงจรสมมูลของเซลล์โฟโตโวลตาอิก..... | 5 |
| 2.3 ผลการจำลองของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไป..... | 6 |
| 2.4 ผลการจำลองของกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป..... | 6 |
| 2.5 ผลการจำลองของกำลังและแรงดันเมื่อความเข้มเปลี่ยนแปลงไป..... | 7 |
| 2.6 ผลการจำลองของกำลังและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป..... | 8 |
| 2.7 ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์..... | 9 |
| 2.8 ลักษณะการเบี่ยงเบนจากจุดจ่ายกำลังสูงสุดของวิธี P&O..... | 10 |
| 2.9 กราฟกำลังไฟฟ้า – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์..... | 11 |
| 2.10 แรงดันและกระแสของเซลล์ที่เต็มขณะประจุไฟฟ้า..... | 15 |
| 2.11 การประจุไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์..... | 16 |
| 2.12 การเพิ่มกระแสของการประจุไฟฟ้า..... | 16 |
| 2.13 วงจรลดทอนระดับแรงดันดีซีเอาต์พุต..... | 18 |
| 2.14 วงจรลดทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ทำงาน..... | 19 |
| 2.15 วงจรลดทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่ทำงาน..... | 19 |
| 2.16 รูปคลื่นสำหรับการนำกระแสแบบต่อเนื่อง..... | 20 |
| 2.17 ช่วงการนำกระแสแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง..... | 21 |
| 2.18 กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง..... | 22 |
| 2.19 กราฟคุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงลงที่ขณะให้ V_{in} คงที่..... | 23 |
| 2.20 กราฟคุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงลงที่ขณะให้ V_o คงที่..... | 24 |
| 2.21 ริบเบิลของแรงดันเอาต์พุตในคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงลง..... | 25 |
| 2.22 วงจร PWM แบบอนาล็อก..... | 25 |
| 2.23 การสร้างสัญญาณ PWM..... | 26 |
| 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบประจุแบตเตอรี่โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์..... | 27 |
| 3.2 วงจรในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรลดทอนระดับแรงดัน..... | 28 |
| 3.3 MOSFET เบอร์ P80NF55-08..... | 28 |
| 3.4 Schottky Diode เบอร์ 1N5822..... | 29 |
| 3.5 วงจรภายใน TLP350 และอุปกรณ์ TLP350..... | 29 |
| 3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino UNO R3..... | 30 |
| 3.7 Current Sensor รุ่น ACS712 5A..... | 31 |
| 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน ของวิธี P&O..... | 31 |
| 3.9 Flowchart ของอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 32 |
| 4.1 วงจรโดยรวมในการทำ MPPT..... | 34 |
| 4.2 วงจรในส่วนของ PV Array..... | 35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **VI** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.3 ข้อจำกัดต่างๆของ PV Array..... | 35 |
| 4.4 วงจรในส่วนของวงจรลดทอนระดับแรงดัน..... | 36 |
| 4.5 ข้อจำกัดต่างๆของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน..... | 37 |
| 4.6 วงจรในส่วนของตัวควบคุม..... | 37 |
| 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังกับกำลังจำลอง..... | 38 |
| 4.8 การเปรียบเทียบระหว่างวิธี P&O ทั่วไปด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 39 |
| 4.9 การเปรียบเทียบกำลังระหว่างวิธี P&O ทั่วไปด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 40 |
| 4.10 การเปรียบเทียบกำลังจำลองระหว่างวิธี P&O ทั่วไปด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 40 |
| 4.11 การเปรียบเทียบเอาต์พุตของวงจรระหว่างวิธี P&O ทั่วไปด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 41 |
| 4.12 การกำหนดค่าความเข้มแสงที่เวลาต่างๆในการจำลองผล..... | 42 |
| 4.13 การกำหนดค่าอุณหภูมิโดยรอบที่เวลาต่างๆในการจำลองผล..... | 42 |
| 4.14 กำลังเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์..... | 43 |
| 4.15 กำลังจำลองเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์..... | 43 |
| 4.16 แรงดันเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์..... | 44 |
| 4.17 กระแสเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์..... | 44 |
| 4.18 แรงดันเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยที่เข้าสู่โหลด..... | 45 |
| 4.19 วิถีจากรางานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน..... | 45 |
| 4.20 จุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดในแต่ละสภาวะแวดล้อม..... | 46 |
| 4.21 เครื่องจำลองโซลาร์เซลล์และวงจรที่ใช้ในการทดสอบ..... | 47 |
| 4.22 สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่นำไปใช้ขับมอเตอร์ในวงจรลดทอนระดับแรงดัน..... | 48 |
| 4.23 กราฟคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ..... | 49 |
| 4.24 ความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบแบบคงที่ในการทดสอบ..... | 50 |
| 4.25 ค่าวิถีจากรางานเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป..... | 50 |
| 4.26 ค่าวิถีจากรางานเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 51 |
| 4.27 ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป..... | 51 |
| 4.28 ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ..... | 52 |
| 4.29 ความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในการทดสอบ..... | 53 |
| 4.30 วิถีจากรางานในเวลาต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในการทดสอบ..... | 53 |
| 4.31 กำลังจำลองในเวลาต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในการทดสอบ..... | 54 |
| ค.1 เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ETS600X8E-PVF..... | 72 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII นี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 2.1 การสูญเสียความจุถาวรของเซลล์ลิเทียมตามฟังก์ชันของอุณหภูมิและระดับการประจุ..... | 17 |
| ค.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ETS6008E-PVF | 68 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้การใช้แบตเตอรี่สำรองอย่างแพร่หลาย แบตเตอรี่สำรองที่มีการชาร์จด้วยไฟฟ้ายังมีข้อจำกัดอยู่ คือ มีความจุจำกัด เมื่อใช้งานจนแบตเตอรี่หมดแล้วนั้นต้องเอาไปชาร์จกับไฟบ้าน หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การชาร์จด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้เวลานาน ทางผู้วิจัยจึงคิดว่าหากสามารถทำให้การชาร์จดังกล่าวใช้เวลาที่น้อยลงได้ ก็จะเกิดประโยชน์ขึ้นอย่างมาก

แผงโซลาร์เซลล์นั้นผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแสงอาทิตย์ จากการเกิดขึ้นของซิลิกอน P-N junction ในช่วงปี 1950 นั้น ทำให้กระแสที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกนั้นสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อม P-N junction [1] ซึ่งก่อให้เกิดความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแผงโซลาร์เซลล์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้า จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถสังเกตได้ว่าจะมีจุดทำงานที่แตกต่างกันไปที่ทำให้ได้กำลังงานสูงสุดที่เรียกว่า “Maximum Power Point (MPP)” จุดการทำงานดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานเมื่อเทียบกับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ [2], [3] เทคนิคในการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุดนั้นเรียกว่า “Maximum Power Point Tracking (MPPT)”

วิธีที่ง่ายและถูกใช้โดยทั่วไปในการทำ MPPT นั้นก็คือ วิธี P&O (Perturbation and Observation) ทำงานเป็นคาบเวลาโดยใช้การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนหน้า โดยถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก ระบบจะปรับทิศทางของแรงดัน (เพิ่มหรือลดแรงดัน) ตามทิศทางเดิม และถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าลบ ระบบจะปรับทิศทางของแรงดันสวนทางกับทิศทางเดิมเพื่อวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังงานสูงสุด[4] ซึ่งวิธีดังกล่าวในบางครั้งใช้เวลานานในการหาจุดการทำงานที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ในการแปลงพลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุแบตเตอรี่สำรอง
3. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรง ในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสม
4. เพื่อศึกษากระบวนการและขั้นตอนการทำงานของวิธี P&O ทั่วไป
5. เพื่อลดจำนวนรอบในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป
6. เพื่อลดความซับซ้อนของวงจรและลดค่าใช้จ่ายในส่วนของตัวตรวจวัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนด

วงจรถอดทอนระดับแรงดันสำหรับการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เพื่อต้องการศึกษาหลักการทำงานและออกแบบให้เหมาะสมกับปัจจัยทางไฟฟ้าในการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่สำรอง โดยมีขอบเขตและข้อกำหนดการวิจัยดังนี้

1. ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์เป็นแหล่งจ่ายทางไฟฟ้าเข้าสู่วงจร
2. ออกแบบและจำลองผลในการประยุกต์ใช้วงจรถอดทอนระดับแรงดันโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่สำรองประเภทลิเทียมไอออน
3. ออกแบบอัลกอริทึมให้มีความเร็วในการทำงานมากกว่าวิธี P&O ทั่วไป
4. ใช้ตัวตรวจวัดกระแสเพียงอย่างเดียวในการทำงาน
5. ออกแบบและทดสอบวงจรจริงเพื่อใช้เทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
6. การจำลองและการทดสอบนั้นใช้ค่ากำลังจำลองในอัลกอริทึม P&O ทั่วไปและอัลกอริทึมที่นำเสนอ ดังนั้นจะไม่มีกรตรวจวัดค่าแรงดันหรือรับค่าแรงดันเข้ามาพิจารณา

1.4 วิธีการที่ใช้ในงานวิจัย

ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เข้าสู่วงจรถอดทอนระดับแรงดัน (ใช้มอสเฟตในการสวิตซ์) เพื่อทำการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงในสภาวะแวดล้อมต่างๆ และประจุไฟฟ้าเข้าสู่โหลดซึ่งเป็นแบตเตอรี่สำรอง โดยอัลกอริทึมในการติดตามหาจุดการทำงานดังกล่าวนี้เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มมาจากวิธี P&O ทั่วไปและตรวจวัดกระแสขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่สำรองได้
2. สามารถลดเวลาในการหาจุดการทำงานที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่ม
3. ลดความซับซ้อนของวงจรและลดค่าใช้จ่ายในด้านตัวตรวจวัดแรงดัน
4. สามารถนำวงจรและอัลกอริทึมที่ออกแบบไปพัฒนาใช้ต่อในระบบที่ใหญ่ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

| ขั้นตอน | ภาคเรียนที่1 | | | | | ภาคเรียนที่2 | | | | |
|---|--------------|-------|-------|------|------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. |
| 1.ศึกษางานวิจัย | ←→ | ←---→ | | | | | | | | |
| 2.ออกแบบ | | ←---→ | ←→ | | | | | | | |
| 3.จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ | | ←---→ | ←→ | | | | | | | |
| 4.ศึกษาการใช้โปรแกรม จำลองผลทาง คอมพิวเตอร์ | | | ←---→ | ←→ | | | | | | |
| 5.จำลองผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรม | | | ←---→ | ←→ | | | | | | |
| 6.รวบรวมข้อมูลและ สรุปผลการทดลอง | | | ←---→ | ←→ | | | | | | |
| 7.ออกแบบวงจรและ ทดลอง | | | | | | ←---→ | ←→ | | | |
| 8.สร้างชิ้นงานจริง | | | | | | | ←---→ | ←→ | | |
| 9.ทดสอบและทำการวัด เก็บผล | | | | | | | ←---→ | ←→ | | |
| 10.หาข้อผิดพลาดและ ปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน | | | | | | | | ←---→ | ←→ | |
| 11.ทดสอบและตรวจวัด หลังการปรับปรุง | | | | | | | | ←---→ | ←→ | ←---→ |
| 12.เรียบเรียงและจัดทำ รูปเล่มวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | ←---→ | ←→ |

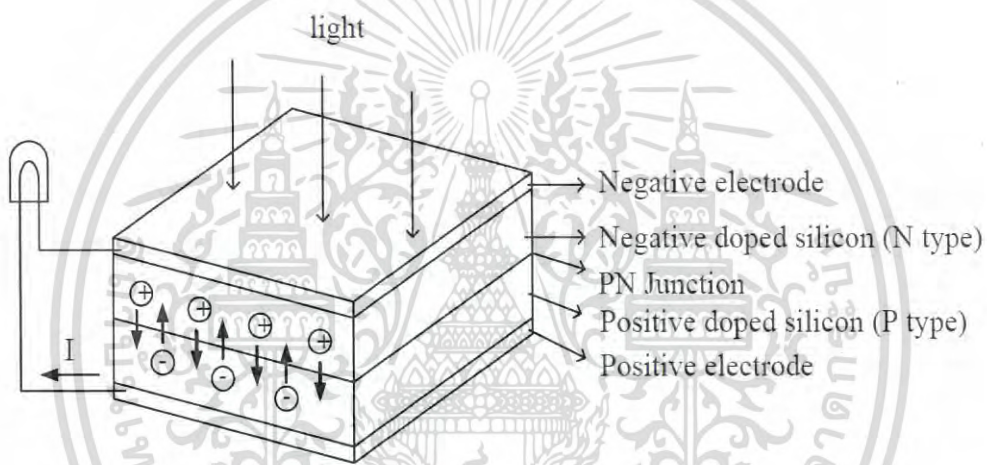
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

2.1 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และชั้นระหว่างสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น (P-N Junction) ซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบกันเป็นแผ่นบางๆ ที่เรียกว่าเวเฟอร์ดังรูปที่ 2.1 เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์ พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เรียกว่าโฟตอนจะทำให้สารกึ่งตัวนำแยกตัวเป็นคู่ของโฮลและอิเล็กตรอน โดยโฮลจะวิ่งไปด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพีทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าบวก ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งไปด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าลบ เมื่อนำโฮลมาต่อก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า [4]



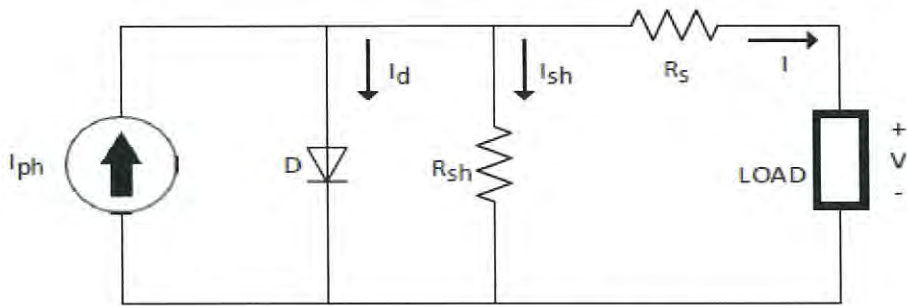
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนมากจะเป็นซิลิกอนเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอยู่จำนวนมากบนโลก โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท [4] คือ

1. ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Si cells) มีประสิทธิภาพในช่วง 15 – 24 เปอร์เซ็นต์ และสามารถตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นกว้าง โดยมีประสิทธิภาพที่ดีในช่วงความยาวคลื่นยาวของแสงอาทิตย์ เซลล์ชนิดนี้มีเสถียรภาพทางประสิทธิภาพดี
2. ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline Si cells) มีประสิทธิภาพในช่วง 10 – 17 เปอร์เซ็นต์ และสามารถตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นกว้าง
3. ซิลิกอนแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Si cells) มีประสิทธิภาพ 8 – 13 เปอร์เซ็นต์ และสามารถตอบสนองต่อแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้นของแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยซิลิกอน P-N junction ซึ่งเมื่อมีแสงตกกระทบ ส่งผลให้มีอิเล็กตรอนไหลในวงจรไฟฟ้า จากสมมติฐานดังกล่าว สามารถทำการจำลองวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 1 อิเล็กตรอนจากเซลล์ดังกล่าวจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นในระดับที่สูงขึ้น เมื่อมีการชนของโฟตอนเกิดขึ้น เหล่าอิเล็กตรอนดังกล่าวนั้นอิสระต่อการเคลื่อนที่ผ่าน junction และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรเกิดขึ้น วงจรดังรูปที่ 1 นั้นถูกจำลองโดยแหล่งจ่ายกระแส (I_{ph}) ในส่วนของ P-N junction มีคุณลักษณะที่สามารถจำลองด้วยไดโอดในวงจรได้ [3]



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของเซลล์โฟโตโวลตาอิก

กระแสไฟฟ้า I_{ph} ที่ถูกผลิตขึ้นในเซลล์โฟโตโวลตาอิกนั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มแสง I คือกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์โฟโตโวลตาอิก กระแส I_d ไหลผ่านไดโอดด้วยความต่างศักย์ V_j และกระแสไฟฟ้าอิมิต์ไหลย้อนกลับ I_0 แรงดันไฟฟ้า V คือแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ตัวต้านทาน R_{sh} และ R_s คือตัวต้านทานขนาน และอนุกรม ตามลำดับ ตัวต้านทานขนาน R_{sh} มีค่าสูง ขณะที่ตัวต้านทานอนุกรม R_s มีค่าต่ำ เมื่อกำหนดให้ n_s คือจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน และ n_p คือจำนวนเซลล์ที่ต่อขนานกัน จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ [3] ดังนี้

$$I = n_p I_{ph} - n_p I_0 \left[e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkT}} - 1 \right] \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

$$I_{ph} = I_{s0} \left(\frac{S}{1000} \right) + C_T (T - T_{ref}) \quad (2.2)$$

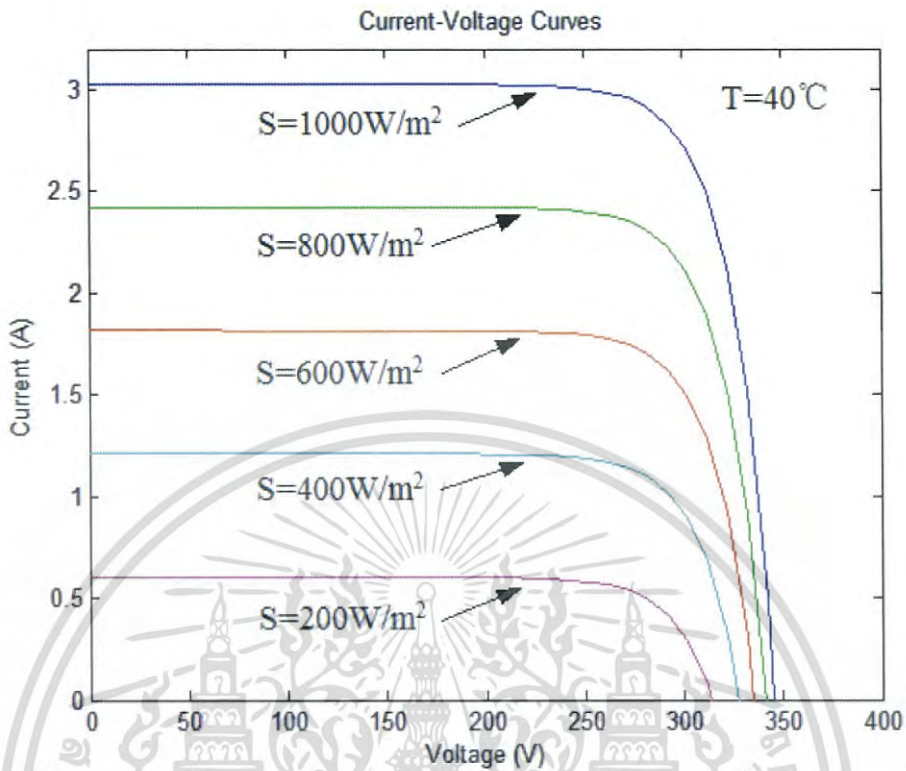
เมื่อ $I_0 = I_{d0} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 e^{\left[\frac{qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]}$, $q = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ ซึ่งคือค่าประจุไฟฟ้า, n คือ

สัมประสิทธิ์การแปลงของไดโอด, $k = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ซึ่งคือค่าคงที่โบลทซ์มันน์, T คืออุณหภูมิโดยรอบในหน่วยเคลวิน และ T_{ref} คืออุณหภูมิอ้างอิง ในส่วนของ I_{s0} คือ กระแสลัดวงจร, S คือความเข้มแสง, E_g คือค่าพลังงานของแถบช่องว่างของซิลิกอนซึ่งมีค่าประมาณ 1-3 eV, C_T คือค่าสัมประสิทธิ์ของกระแส - อุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0016 A/K, I_{d0} คือกระแสไหลย้อนกลับของไดโอด

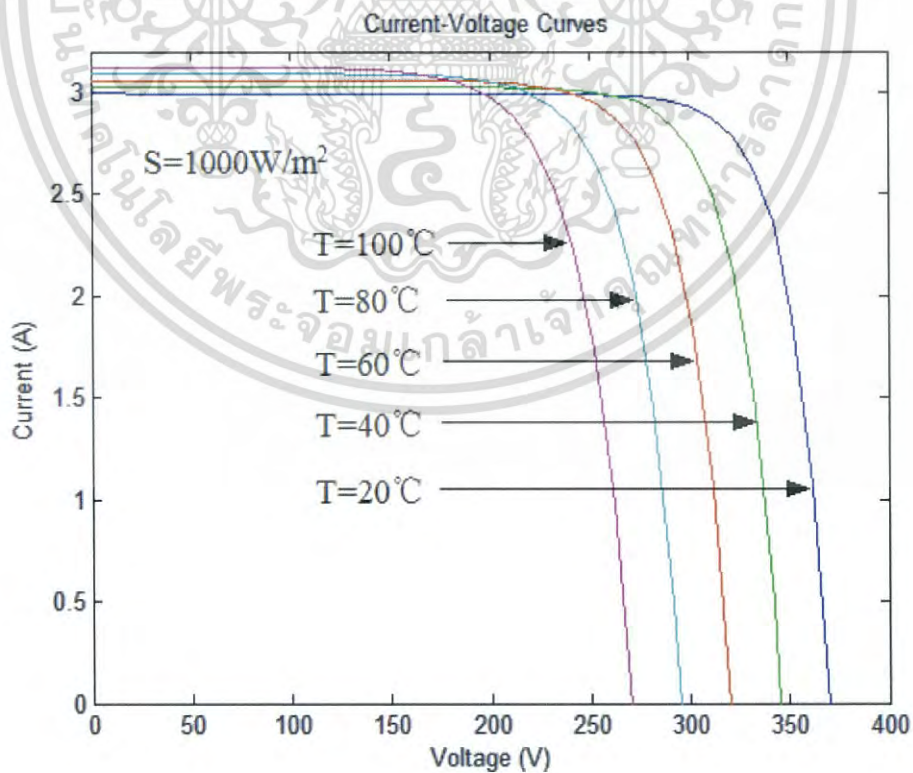
และจากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ทำให้รู้ว่าคุณลักษณะของโฟโตโวลตาอิกนั้นเปลี่ยนแปลงเมื่อ S และ T มีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของ S และ T เป็นสาเหตุให้คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ($I-V$) ของโฟโตโวลตาอิกนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังที่แสดงในรูปที่ 2 เมื่อ S นั้นแสดงถึงค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 200 W/m^2 ไปจนถึง $1,000 \text{ W/m}^2$ และคงค่าอุณหภูมิโดยรอบไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส นอกเหนือจากความเข้มแสง ปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดังกล่าวคืออุณหภูมิโดยรอบดังที่แสดงในรูปที่ 3 เมื่อคงค่าความเข้มแสงไว้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,000 W/m² และอุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนไปตั้งแต่ 20 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 100 องศาเซลเซียส [3]



รูปที่ 2.3 ผลการจำลองของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไป [3]



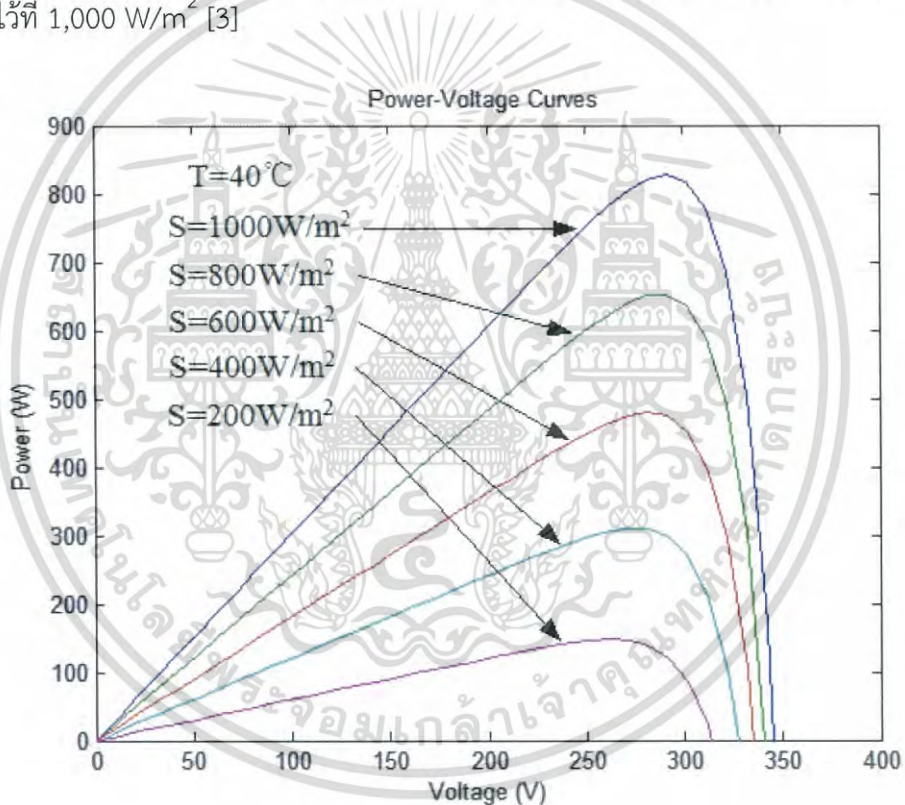
รูปที่ 2.4 ผลการจำลองของกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังเอาต์พุตของแผงโฟโตโวลตาอิกคือผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้า I และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว V จะได้

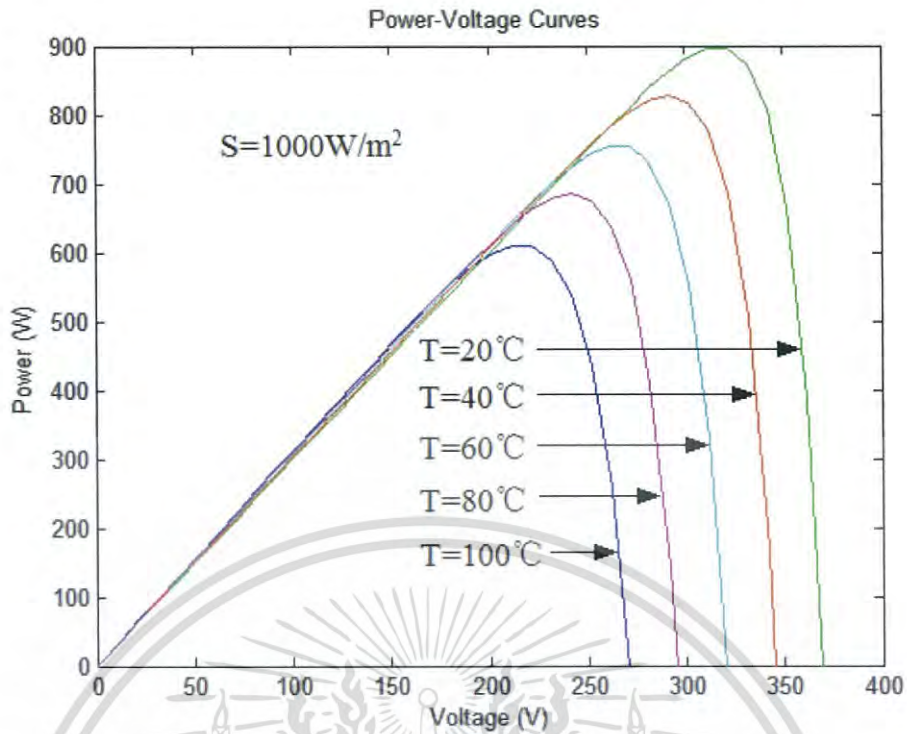
$$P = n_p V_{ph} - n_p V_0 \left[e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V^2 + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.3)$$

จากสมการด้านบนสามารถทำให้รู้ได้ว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบนั้นจะมีผลกระทบต่อกำลังเอาต์พุตของแผงโฟโตโวลตาอิก ในรูปที่ 4 นั้นแสดงถึงกำลังเอาต์พุตของโฟโตโวลตาอิกเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปและคงค่าอุณหภูมิโดยรอบไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส และในรูปที่ 5 นั้นแสดงถึงคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของกำลังเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปและคงค่าความเข้มแสงไว้ที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ [3]



รูปที่ 2.5 ผลการจำลองของกำลังและแรงดันเมื่อความเข้มเปลี่ยนแปลงไป [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

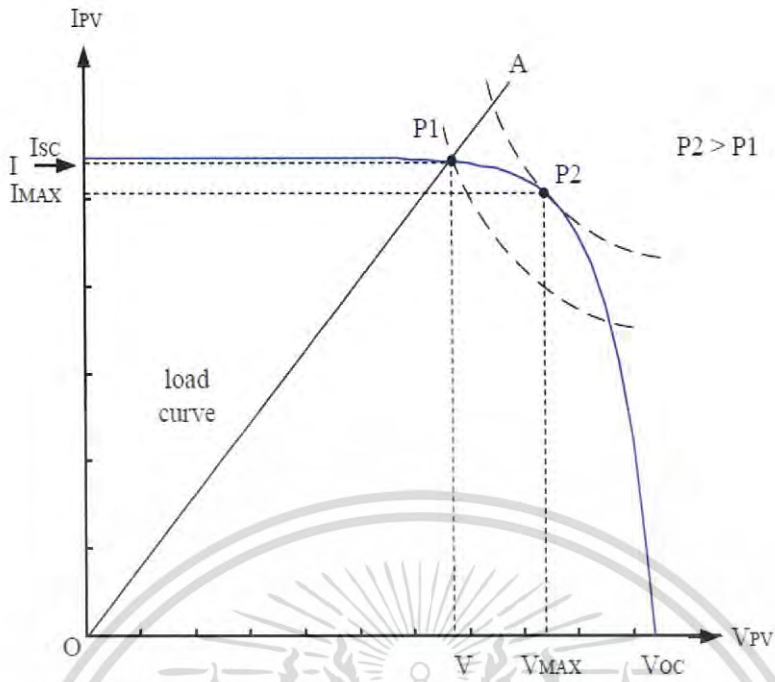


รูปที่ 2.6 ผลการจำลองของกำลังและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป [3]

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 สามารถเห็นได้ว่ากำลังเอาต์พุตของโมดูลโฟโตโวลตาอิกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบ ดังนั้นจุดทำงานที่จะให้ค่ากำลังงานสูงสุดนั้นจะเปลี่ยนไปด้วยเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทั้งค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบมีการเปลี่ยนแปลงไปในเวลาเดียวกันแล้วจะทำให้การติดตามหาจุดการทำงานนั้นอาจเกิดการผิดพลาดได้ถ้าวิธีที่ใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานนั้นใช้จำนวนรอบที่มากหรือใช้เวลานาน

2.2 วิธีการหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุด

การจ่ายกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับโหลดพบว่าเส้นกราฟคุณลักษณะของโหลด (Load line) จะต้องเหมาะสมกับเส้นกราฟระหว่างแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.7 พบว่าจากเส้นกราฟคุณลักษณะของโหลดที่แสดงด้วยเส้น OA เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกำลังเป็น P_1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้สูงสุดคือ P_2 ดังนั้นจึงมีเทคนิคต่างๆ ในการหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์



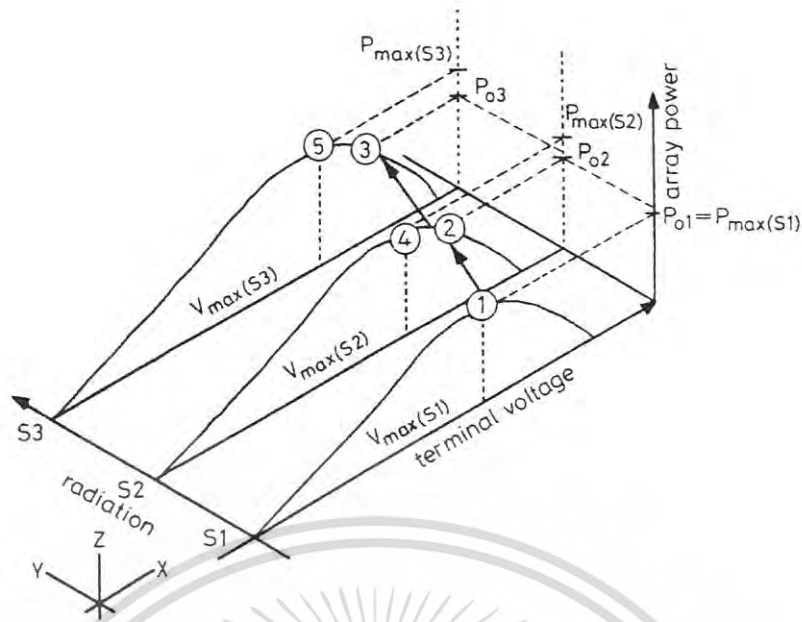
รูปที่ 2.7 ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

2.2.1 วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation: P&O) [5]

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนทำงานเป็นคาบเวลาโดยใช้การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนดังสมการ (2.4)

$$dP = P(k) - P(k-1) \quad (2.4)$$

โดยถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก ระบบจะปรับทิศทางของแรงดัน (เพิ่มหรือลดแรงดัน) ตามทิศทางเดิม และถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ ระบบจะปรับทิศทางของแรงดันสวนทางกับทิศทางเดิมเพื่อวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ซึ่งวิธีนี้สามารถทำงานได้ดีที่สภาวะคงตัว (สภาวะที่ปริมาณแสง และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ) แต่จะมีข้อเสีย คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงอย่างรวดเร็วจะทำให้การติดตามหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดผิดพลาดได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเบี่ยงเบนจากจุดจ่ายกำลังสูงสุดของวิธี P&O [4]

โดยที่ $P_{o3} > P_{o2} > P_{o1}$ แต่ $P_{o3} < P_{MAX(S3)}$ และ $P_{o2} < P_{MAX(S2)}$

จากรูปที่ 2.8 สมมติจุดการทำงานเริ่มต้นของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่จุด 1 ซึ่งเป็นจุดจ่ายกำลังสูงสุดที่ปริมาณแสง S1 เมื่อปรับระบบครั้งต่อไปในขณะที่ปริมาณแสงเพิ่มขึ้นเป็น S2 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดที่ 2 ซึ่งมีกำลังไฟฟ้ามากกว่าจุดที่ 1 แต่น้อยกว่าจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดจ่ายกำลังสูงสุดของปริมาณแสง S2 ระบบก็จะปรับเพิ่มแรงดันขึ้นซึ่งทำให้จุดทำงานวิ่งออกจากจุดจ่ายกำลังสูงสุดของปริมาณแสง S2 และเมื่อปรับระบบอีกครั้งในขณะที่ปริมาณแสงเพิ่มขึ้นเป็น S3 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จุด 3 ซึ่งมีกำลังไฟฟ้ามากกว่าจุดที่ 2 แต่น้อยกว่าจุดที่ 5 ซึ่งเป็นจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของปริมาณ S3 ระบบก็จะปรับเพิ่มแรงดันขึ้นอีกทำให้จุดการทำงานเบี่ยงเบนไปจากจุดจ่ายกำลังสูงสุดทำให้ไม่สามารถถึงกำลังสูงสุดมาใช้ได้ ส่วนการที่ระบบจะสามารถกลับมาหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดได้อย่างถูกต้องอีกครั้งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อปริมาณแสงมีการเปลี่ยนแปลงช้าลง หรือเข้าสู่สภาวะคงตัว

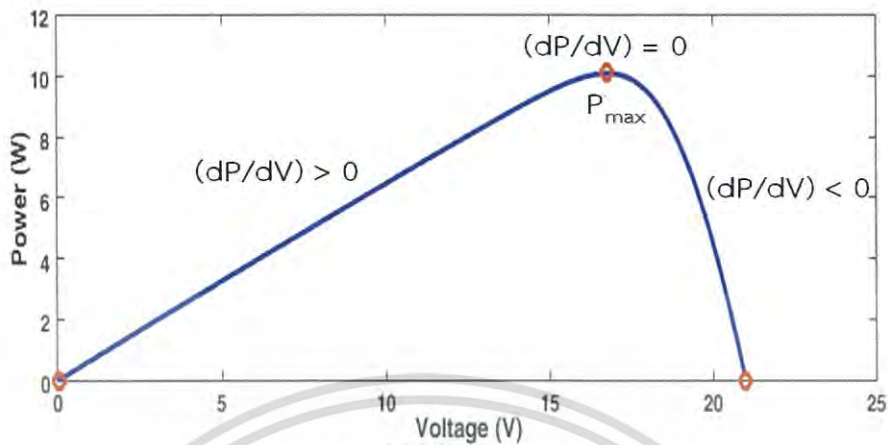
2.2.2 วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A fixed percentage of the open-circuit voltage) [6]

วิธีนี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร โดยกำหนดให้แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมีค่าประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันขณะเปิดวงจร แต่เนื่องจากแรงดันขณะเปิดวงจรไม่คงที่ในแต่ละเวลาดังนั้นการทำงานของวิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยตัดโพลต์ออกเพื่อวัดขนาดแรงดันขณะเปิดวงจรเพื่อนำไปหาแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (โดยทั่วไปจะตัดโพลต์ออกทุกๆ 1 วินาทีเป็น

เวลา 10-50 มิลลิวินาที) ซึ่งข้อเสียของวิธีนี้คือจะทำให้การทำงานของโพลต์ไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีเพิ่มความนำ (Incremental conductance : IncCond) [7]



รูปที่ 2.9 กราฟกำลังไฟฟ้า - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากกราฟกำลังไฟฟ้า - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.9 จะได้ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็น

- ถ้า $(dP/dV) > 0$ แสดงว่าจุดทำงานอยู่ทางด้านซ้ายของจุดจ่ายกำลังสูงสุด
- ถ้า $(dP/dV) = 0$ แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด
- ถ้า $(dP/dV) < 0$ แสดงว่าจุดทำงานอยู่ทางด้านขวาของจุดจ่ายกำลังสูงสุด

ดังนั้นถ้าหากจัด (dP/dV) ให้อยู่ในรูปของกระแสและแรงดันจะได้สมการเป็น

$$dP/dV = d(VI) / dV$$

$$dP/dV = I(dV/dV) + V(dI/dV)$$

$$dP/dV = I + V(dI/dV) \quad (2.5)$$

ดังนั้นที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดจะได้ค่าเป็น

$$(I/V) + (dI/dV) = 0 \quad (2.6)$$

โดย (I/V) คือความนำของเซลล์แสงอาทิตย์ และ dI/dV คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความนำ ซึ่งถ้าผลรวมของสมการ (2.6) มีค่าเป็นบวกแสดงว่าระบบกำลังทำงานทางด้านซ้ายของจุดจ่ายกำลังสูงสุด ตัวระบบก็จะปรับแรงดันเพิ่มขึ้น แต่ถ้าผลรวมมีค่าเป็นลบแสดงว่าระบบทำงานอยู่ทางด้านขวาของจุดจ่ายกำลังสูงสุด ระบบก็จะปรับลดค่าแรงดันลง และถ้าผลรวมมีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าระบบทำงานที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด ระบบก็จะคงระดับแรงดันเดิมไว้ วิธีนี้จะ

สามารถหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดได้แม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงอย่างรวดเร็ว แต่ก็มีขั้นตอนการคำนวณเพิ่มขึ้น

2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [8]

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

จุดเริ่มต้นของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม มาจากการวิจัยในปี 1912 แต่กว่าจะออกมาเป็นแบตเตอรี่ให้ใช้ได้จริงกันจริงๆ นั้นเมื่อปี 1970 ซึ่งตอนนั้นก็เป็นที่นิยมใช้ครั้งเดียวทิ้ง หรือที่เรียกว่า "ไพรมารีเซลล์" (Primary Cell) ลิเทียมเป็นโลหะที่เบาที่สุด ให้แรงดันไฟฟ้าสูงที่สุด และยังมี ความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุดในน้ำหนักที่เท่ากัน การนำโลหะลิเทียมมาใช้ในแบตเตอรี่ใน ระยะเวลาแรกของการวิจัยพบปัญหาในเรื่องของความปลอดภัย มันไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากๆ โดยเฉพาะในขณะประจุไฟ ต่อมาจึงได้เปลี่ยนจากการใช้ลิเทียมในรูปของโลหะมาเป็นรูปของ ไอออนแทนซึ่งมีความปลอดภัยกว่า ในปี 1991 บริษัทโซนี่เป็นผู้นำแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออนออกสู่ตลาดเป็นรายแรก ความหนาแน่นพลังงานของเซลล์ลิเทียมไอออนมีค่าสูงกว่า เซลล์ชนิดนิเกิลแคดเมียม 2 เท่า เนื่องด้วยมีแรงดันที่มากกว่าและข้อดีตรงที่มีแรงดันสูง ปัจจุบันนี้ เซลล์ในแพคเกจแบตเตอรี่จึงใช้เพียงแค่เซลล์เดียวก็สามารถให้พลังงานกับ โทรศัพท์มือถือได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาเรื่องความปลอดภัย จึงไม่ต้อง มีการ "ล้างแบตเตอรี่" หรือการใช้แบตเตอรี่ให้หมดเกลี้ยงประมาณเดือนละครั้งอย่างที่ ต้องทำ ในแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ และนิเกิลแคดเมียม แต่อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ลิเทียมก็มี ข้อจำกัดคือ เสียหายได้ง่ายถ้าใช้งานไม่ถูกวิธี จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันประกอบอยู่ในแพคเกจ แบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย วงจรป้องกันจะจำกัดแรงดันสูงสุดของ เซลล์ขณะประจุ รวมทั้งป้องกันไม่ให้มีการใช้งานจนแรงดันต่ำลงจนเกินไปและป้องกันการ ลัดวงจร แรงดันที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปและกระแสไหลที่สูงผิดปกติ เช่น การลัดวงจรทำให้ เซลล์ลิเทียมสูญเสียความจุหรือเสียหายเป็นการถาวร นอกจากนี้ยังมีการวัดอุณหภูมิเพื่อ ป้องกันไม่ให้มีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำผิดปกติ

ผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ มักไม่ได้กล่าวถึงเรื่องอายุการใช้งาน แต่ตามปกติแล้วแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออนจะสูญเสียความจุบางส่วนให้เป็นที่สังเกตได้เมื่อผ่านระยะเวลาไปประมาณ 1 ปี ไม่ว่าจะใช้งานมันหรือไม่ก็ตาม และจะใช้ไม่ได้หลังจากผ่านไป 2 หรือ 3 ปี ถ้าต้องเก็บ แบตเตอรี่เป็นเวลานาน การเก็บในที่เย็นจะชะลอการเสื่อมของแบตเตอรี่ทุกชนิดลงได้ ผู้ผลิต แบตเตอรี่แนะนำว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาแบตเตอรี่ลิเทียมที่ได้อยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส และ ต้องมีไฟประจุอยู่ 40 % (ประมาณ 3.7-3.8 โวลต์)

2.3.2 ข้อดีและข้อจำกัดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ข้อดีของลิเทียมไอออนมีดังนี้

- 1) ความหนาแน่นพลังงานสูง
- 2) ไม่จำเป็นต้องกระตุ้นก่อนใช้ หลังจากเก็บเป็นเวลานาน
- 3) มีอัตราการคายประจุตัวเองต่ำ
- 4) ไม่ต้องดูแลรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของลิเทียมไอออนมีดังนี้

- 1) จำเป็นต้องใช้วงจรป้องกันแรงดันและกระแสให้อยู่ในเขตปลอดภัย
- 2) มีการเสื่อมอายุตามเวลาแม้ว่าจะไม่มีการใช้งาน
- 3) อัตราการจ่ายกระแสไม่สูงมาก ไม่เหมาะกับงานที่ใช้โหลดหนักๆ

2.3.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้อุปกรณ์ที่เคยมีขนาดใหญ่ เทอะทะ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก รวมถึงมีระยะเวลาใช้งานก่อนจะประจุไฟใหม่ยาวนานขึ้นมาก แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด และรถยนต์ไฟฟ้า และยังมีความพยายามนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านอวกาศ ด้านการทหาร ด้านการไฟฟ้าและสาธารณสุขภาค แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประกอบด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

- 1) ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ ขั้วแคโทดและขั้วแอโนด
- 2) แผ่นกั้นในแบตเตอรี่ (separator) ช่วยป้องกันกระแสลัดวงจรโดยทำให้ขั้วแคโทดไม่สัมผัสกับขั้วแอโนด
- 3) อิเล็กโทรไลต์ เป็นสารละลายที่มีเกลือของลิเทียมผสมอยู่ เป็นตัวนำที่ยอมให้ไอออนผ่าน แต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่าน ดังนั้นจึงเป็นตัวนำไอออนที่ดีแต่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนที่ไม่ดี
- 4) ตัวรับกระแส (current collector) เป็นโลหะตัวนำทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอก และเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ต่างๆ

ความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่สำคัญขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำขั้วแคโทดและแอโนด วัสดุสำหรับทำขั้วแคโทดในปัจจุบันมี 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุประเภทเลเยอร์ (layered structure) เช่น LiCoO_2 วัสดุประเภทสปินเนล (spinel structure) เช่น LiMn_2O_4 และวัสดุประเภทโอลิวีน (Olivine structure) เช่น LiFePO_4 วัสดุทำขั้วแคโทดของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้ในอุปกรณ์พกพาส่วนใหญ่จะใช้วัสดุ LiCoO_2 เพราะโคบอลต์เป็นธาตุที่มีปริมาณน้อย ราคาสูง และไม่ปลอดภัย ส่วนงานที่ต้องการความปลอดภัยสูงและใช้วัสดุปริมาณมาก เช่น รถยนต์พลังงานไฟฟ้า การเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน จะใช้วัสดุประเภทสปินเนลคือ LiMn_2O_4 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาถูกกว่าและปลอดภัยกว่า LiCoO_2 (เนื่องจากใช้แมงกานีสเป็นธาตุหลักแทนโคบอลต์) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีข้อเสียในเรื่องโครงสร้างที่ซับซ้อน มีกลไกการเปลี่ยนเฟสขณะใช้งานของวัสดุที่ซับซ้อน และไม่เสถียรเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง (เกินกว่า 50 องศาเซลเซียส) ในขณะที่วัสดุประเภทโอลิวีน LiFePO_4 ถึงแม้มีความสามารถในการเก็บพลังงานได้น้อยกว่าทั้งสปินเนลและเลเยอร์ แต่เป็นวัสดุที่มีราคาถูก เพราะธาตุเหล็กหาง่ายและราคาถูกกว่าโคบอลต์มาก และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความเสถียรมากที่อุณหภูมิสูง และมีความปลอดภัยสูง วัสดุ LiFePO_4 เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น รถยนต์พลังงานไฟฟ้า หรือต้องการวัสดุปริมาณมากแต่ราคาไม่แพง เช่น สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน และสำหรับงานใหญ่อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุสำหรับทำขั้วแอโนดส่วนใหญ่ใช้วัสดุประเภทคาร์บอน เช่น แกรไฟต์ โดยเมื่อประจุไฟ ลิเทียมไอออนจะเข้าไปอัดตัวอยู่ในโครงสร้างของแกรไฟต์ในรูปของสารประกอบ Li_xC_6 ซึ่งมีความปลอดภัยสูงกว่าการใช้โลหะลิเทียมทำขั้วไฟฟ้าโดยตรง นอกจากวัสดุประเภทคาร์บอน วัสดุอื่นๆ ก็สามารถนำไปใช้ทำขั้วแอโนด เช่น Li_xSi Li_xGe และวัสดุที่มีขนาดระดับนาโนเมตร เช่น ซิลิคอนนาโนไวร์ (silicon nanowires) ได้ค้นพบว่าเหมาะสำหรับทำขั้วแอโนด เนื่องจากมีความสามารถในการรับลิเทียมไอออนมากกว่าแกรไฟต์กว่า 10 เท่า แต่วัสดุนี้มีข้อเสียคือการขยายตัวอย่างมากเมื่อถูกอัดลิเทียมไอออนเข้าไปในโครงสร้าง ซึ่งส่งผลให้วัสดุมีโอกาสเสื่อมสภาพและเสียหายได้ง่าย ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ส่วนวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ทำขั้วแอโนดได้คือ วัสดุ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่มีการหดหรือขยายตัวเมื่อถูกอัดลิเทียมไอออนเข้าไปในโครงสร้าง ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ทำจากวัสดุนี้ยาวนาน แต่วัสดุชนิดนี้มีข้อเสียคือมีความสามารถในการอัดลิเทียมไอออนได้น้อยเมื่อเทียบกับสารประกอบโลหะของลิเทียม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของวัสดุที่ทำขั้วแอโนด ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น และแบตเตอรี่มีขนาดและน้ำหนักที่มากขึ้นด้วย

2.3.4 การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

การประจุแบตเตอรี่ลิเทียม มีวิธีเดียว คือ ประจุตามข้อแนะนำของผู้ผลิตเซลล์ ไม่มีชาร์จเจอร์ใดสามารถดึงเอาความจุไฟฟ้าที่เสียไปแล้วคืนมาได้ เซลล์ชนิดลิเทียมไม่จำเป็นต้องกระตุ้นก่อนใช้ เหมือนอย่างที่ต้องกระตุ้นเซลล์ตระกูลนิกเกิล (นิกเกิลแคดเมียม , นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์) แบตเตอรี่ลิเทียมไม่มีข้อแตกต่างของความจุที่ได้ ไม่ว่าจะเป็นการประจุครั้งที่ 1 หรือครั้งที่ 5 แม้แต่ครั้งที่ 50 ก็ไม่แตกต่าง ข้อแนะนำการใช้งานที่ระบุให้ประจุครั้งแรกนาน 8 ชั่วโมงหรือมากกว่าควรจะถูกนำมาพิจารณาในการใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวเป็นของแบตเตอรี่ตระกูลนิกเกิลสมัยโบราณ เซลล์ส่วนใหญ่ประจุเต็มที่ 4.2 โวลต์ โดยมีค่าคลาดเคลื่อน ± 0.05 โวลต์ต่อเซลล์ การประจุด้วยแรงดัน 4.1 โวลต์ จะได้ความจุต่ำกว่าปกติ 10 % แต่ได้อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

รูปที่ 2.10 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ชนิดลิเทียมขณะประจุ กระบวนการประจุไฟฟ้า จะแบ่งเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 : การประจุด้วยกระแสเต็ม (current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ (เกือบเต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการประจุในอัตราเร่ง

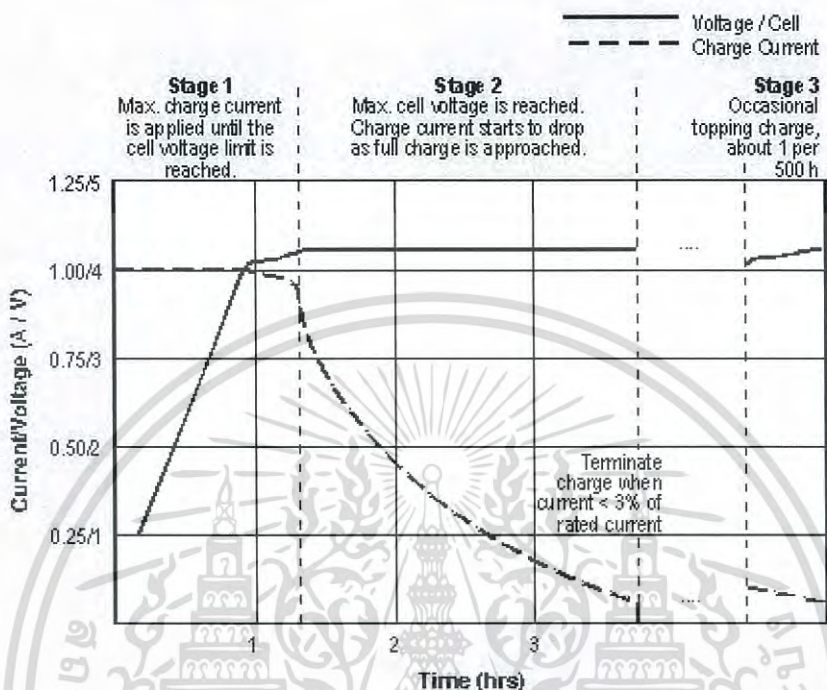
ระยะที่ 2 : การประจุต่อให้เซลล์ของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) คล้ายๆกับการค่อยๆเติมประจุ ในระยะนี้กระแสของเครื่องประจุที่เข้า cell จะลดลง (ตามรูป เส้นประ) และจะตัดการประจุเมื่อกระแสต่ำกว่า 3% ของอัตรากระแสพิกัด

ระยะที่ 3 : การประจุแบบเติมเต็มเป็นครั้งๆ (occasional topping charge) เป็นการเติมประจุเป็นครั้งคราว ประมาณ 1 ครั้งทุก 500 ชม.

ระยะเวลาที่ใช้ประจุจะประมาณ 3 ชั่วโมง แบตเตอรี่เล็กๆ อย่างที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือ สามารถประจุโดยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 4.2 โวลต์ จำกัดกระแส 1C^* (1 เท่าของความจุเซลล์) ได้ ส่วนแบตเตอรี่ใหญ่ๆ อย่างในแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ ควรจะประจุที่ 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C ค่าพลังงานสูญเสียระหว่างการประจุอยู่ที่ 0.1 % ดังนั้นแบตเตอรี่ลิเทียมจะไม่เกิดความร้อนเลยขณะประจุ การตรวจสอบว่าแบตเตอรี่เต็มหรือไม่นั้นดูที่แรงดันคร่อมแบตเตอรี่สูงขึ้นจนถึงแรงดันที่จ่ายให้ คือ 4.2 โวลต์ และกระแสไหลลดลงเหลือ 3 % ของกระแสที่ตั้งไว้



รูปที่ 2.10 แรงดันและกระแสของเซลล์ลิเทียมขณะประจุไฟฟ้า [8]

* ค่า xC คือ จำนวนเท่าของความจุ (Capacity*) ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 650 mAh กระแสประจุ 1C คือ กระแส 650 mA กระแสประจุ 0.8 C คือ กระแส $0.8 \times 650 = 520$ mA

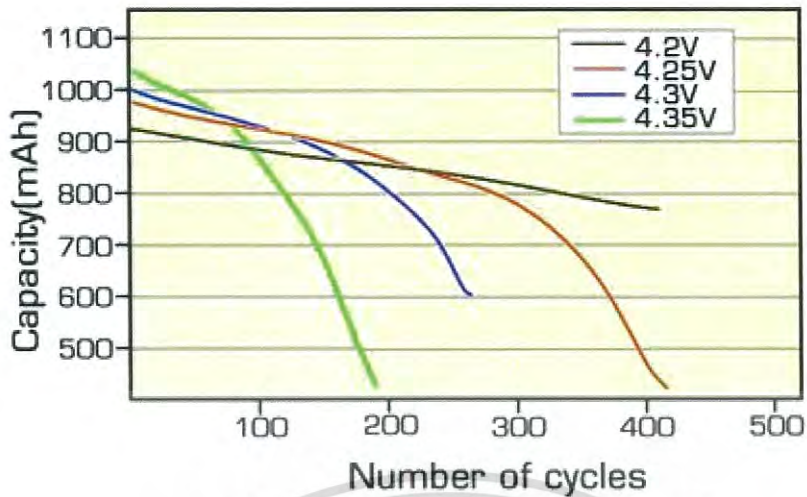
* Capacity คือ ความจุของแบตเตอรี่ (คนละตัวกับความหนาแน่นพลังงาน ซึ่งคิดเป็นกำลังต่อน้ำหนัก หรือ วัดต่อกิโลกรัม) ความจุคือ ความสามารถในการจ่ายกระแสในเวลา 1 ชั่วโมง ถ้ามีแบตเตอรี่ 1,000 mAh จะสามารถจ่ายโหลดที่ตั้งกระแส 1,000 mA ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ สามารถจ่ายโหลด 500 mA ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือ จ่ายโหลดที่ตั้งกระแส 2,000 mA ได้เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

การประจูดัวยความต่างศักย์ต่ำกว่าจะช่วยยืดอายุแบตเตอรี่ จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่ายิ่งประจูดัวยแรงดันสูง ถึงแม้ว่าจะได้ความจุเพิ่มขึ้น แต่ต้องแลกมากับอายุการใช้ (cycle life) ที่ลดลง

ในทางปฏิบัติ จึงเห็นว่าแบตเตอรี่ที่ใช้ในกิจการทางทหาร (military grade) จะกำหนดการประจุไฟฟ้าที่แรงดันต่ำกว่า เช่น ที่ 3.92V เพื่อยืดอายุการใช้งาน

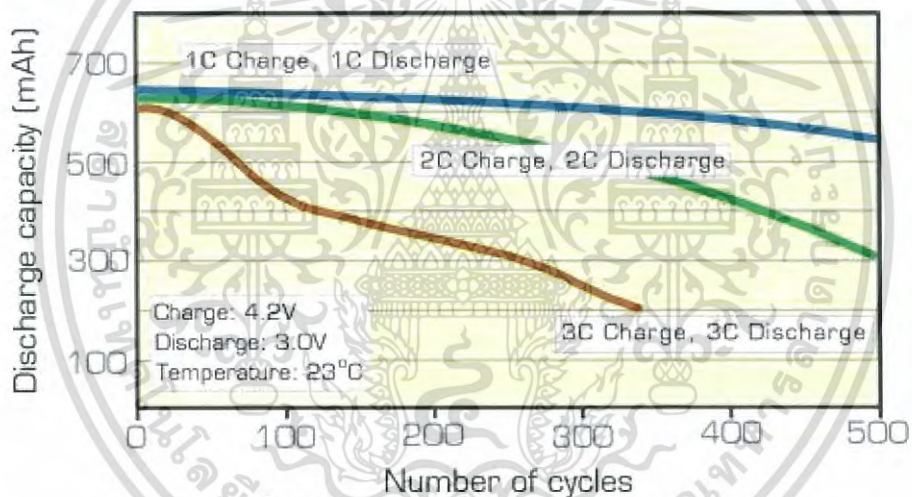
การเพิ่มกระแสของการประจุ และการดึงกระแสออกมาใช้ (discharge current) หากเพิ่มขึ้นจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น จากในรูปที่ 2.12 การประจุ & discharge ที่ 1C จะทำให้แบตเตอรี่ทนกว่า 2C & 3C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การประจุไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์ [8]

Cycle performance at various charge/discharge rates



รูปที่ 2.12 การเพิ่มกระแสของการประจุไฟฟ้า [8]

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกออกแบบให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยในช่วงแรงดันทำงานปกติ แต่จะเกิดความไม่มีเสถียรภาพถ้าประจุให้แรงดันสูงกว่านั้น เมื่อประจุไฟฟ้าจนแรงดันสูงถึง 4.3 โวลต์ ภายในเซลล์จะเกิดการก่อตัวของโลหะลิเทียมบนขั้วลบ ส่วนที่ขั้วบวกจะเกิดสารออกซิไดส์ สูญเสียความจุ และเกิดก๊าซออกซิเจนขึ้น การประจุไฟฟ้าเกินทำให้เซลล์ร้อนขึ้น ถ้าทิ้งไว้โดยไม่ได้อุ เซลล์จะแตกและเกิดไฟลุก (โลหะลิเทียมไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก โดยเฉพาะเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจน)

นอกจากแรงดันชาร์จเกินแล้ว ยังต้องระวังการใช้งานจนแรงดันตกต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ วงจรป้องกันถูกออกแบบให้ตัดวงจรออกเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานจนแรงดันต่ำกว่า 2.5 โวลต์ต่อเซลล์ เมื่อวงจรตัดไปแล้ว แบตเตอรี่ไม่สามารถใช้งานได้อีก การนำไปประจุไฟฟ้าโดยชาร์จเจอร์ตามปกติไม่สามารถทำได้

ถ้าเซลล์ถูกปล่อยให้แรงดันตกลงมาจนเหลือ 1.5 โวลต์ต่อเซลล์หรือต่ำกว่าเป็นเวลา

เพียงสองสามวัน ควรหลีกเลี่ยงการชาร์จเข้าไปอีก เพราะภายในเซลล์จะเกิดการก่อตัวของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะทองแดง ซึ่งอาจทำให้เกิดลัดวงจรภายในเซลล์ แบตเตอรี่นั้นจะไม่มีเสถียรภาพ อาจจะทำให้เกิดการลัดวงจรในก้อนเซลล์เมื่อไรก็ได้ ซึ่งทำให้มีความร้อนสูงขึ้นได้เองและไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 การสูญเสียความจุถาวรของเซลล์ลิเทียมตามฟังก์ชันของอุณหภูมิและระดับการประจุ [8]

| Temperature | 40% charge level (recommended storage charge level) | 100% charge level (typical user charge level) |
|-------------|--|--|
| 0°C | 98% after 1 year | 94% after 1 year |
| 25°C | 96% after 1 year | 80% after 1 year |
| 40°C | 85% after 1 year | 65% after 1 year |
| 60°C | 75% after 1 year | 60% after 3 months |

ไม่มีวิธีการใดที่จะดึงเอาความจุที่เสียไปแล้วของแบตเตอรี่ลิเทียมคืนมาได้ จะมีก็แต่การลดความต้านทานภายในเป็นการชั่วคราวโดยอุ่นให้แบตเตอรี่ร้อนขึ้น แบตเตอรี่อาจใช้ได้ปกติ แต่เมื่อมันเย็นลง ความต้านทานภายในก็กลับสูงขึ้นเหมือนเดิม ใช้ไม่ได้อย่างเก่า

ถ้าเป็นไปได้ ควรเก็บแบตเตอรี่ในที่เย็น โดยประจุไฟไว้ประมาณ 40 % วัดแรงดันตัวเปล่าได้ 3.75 - 3.8 โวลต์ ระหว่างการเก็บอาจจะต้องนำมาประจุซ้ำ เพราะวงจรป้องกันจะดึงกระแสไปใช้เล็กน้อยระหว่างการเก็บทำให้แรงดันลดต่ำลงจนอาจถึงจุดที่วงจรป้องกันตัดวงจรออก สิ่งที่ทำอันตรายได้มากที่สุดคือการประจุไฟจนเต็มที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเกิดขึ้นในการประจุไฟและเก็บแบตเตอรี่ไว้ในรถร้อนๆ ดังนั้นการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมให้ออนจึงมีข้อแนะนำการใช้ดังนี้

1. หลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดก้อน เพราะจะทำให้เกิดคราบสะสมบนอิเล็กโทรดในก้อนเซลล์ การใช้งานไปเพียงบางส่วนและประจุบ่อยๆ ดีกว่าการใช้ให้หมดและประจุครั้งเดียว การประจุขณะไฟยังไม่หมดไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆ ไม่มีปัญหาเรื่องความจำในแบตเตอรี่ ส่วนเรื่องอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์และแล็ปท็อปที่สั้นกว่าปกติ ไม่ได้เกิดจากรูปแบบการใช้งาน หากแต่เกิดปัญหาเพราะความร้อนจากตัวเครื่องมากกว่า

2. แบตเตอรี่ที่มีระบบวัดพลังงาน (แล็ปท็อป) ควรปรับตั้งให้สเกลตรงโดยการใช้ให้หมดก้อนโดยอุปกรณ์นั้นสัก 1 ครั้ง ทุกๆ การชาร์จ 30 ครั้ง ถ้าไม่ได้ทำ สเกลแบตเตอรี่อาจจะไม่ตรง ในบางกรณีอาจทำให้เตือนแบตเตอรี่หมดก่อนเวลาที่ควรจะเป็น

3. เก็บแบตเตอรี่ในที่เย็น หลีกเลี่ยงการทิ้งไว้ในรถ ถ้าจำเป็นต้องเก็บไว้นานๆ ควรชาร์จไว้ 40 % ก่อนเก็บ

4. ควรถอดแบตเตอรี่ออกจากเครื่องแล็ปท็อปถ้าใช้พลังงานจากไฟบ้าน

5. อย่าซื้อแบตเตอรี่เก็บสำรองไว้ใช้ ก่อนซื้อให้ดูวันที่ผลิต อย่าซื้อของหลังไล่สต็อก แม้ว่าจจะราคาถูกก็ตาม

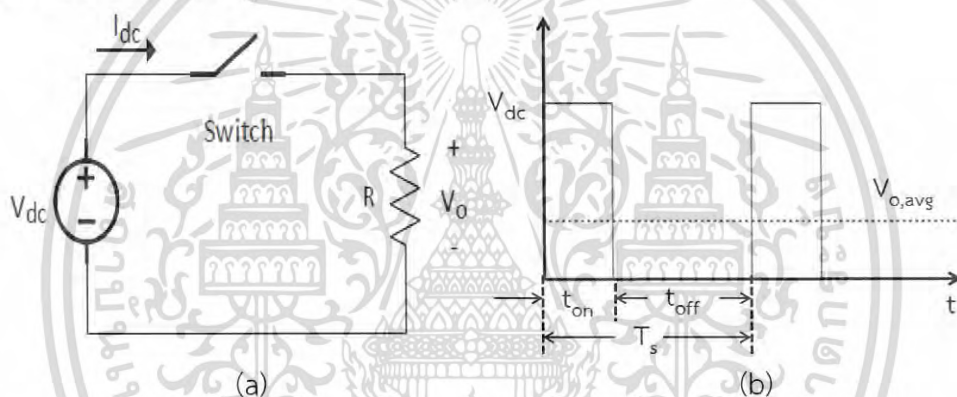
6. ถ้าคุณมีแบตเตอรี่ลิเทียมสำรอง ให้ใช้ก้อนหนึ่งให้เต็มที่ และเก็บอีกก้อนห่อใส่ถุงเก็บไว้ในตู้เย็น ห้ามแช่แข็ง และเพื่อผลที่ดีที่สุด ให้ชาร์จไว้ 40 % (3.75 - 3.8 โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรง (DC-DC Converter) [9]

2.4.1 การควบคุมดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

ในดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ แรงดันกระแสตรงเอาต์พุตจำเป็นต้องควบคุมให้เท่ากับแรงดันที่ต้องการถึงแม้แรงดันอินพุตและโหลดเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลง ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สวิตช์โหมดยุคจะนำมาใช้กับการเปลี่ยนแปลงแรงดันดีซีจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งโดยใช้สวิตช์ในดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยถูกควบคุมโดยใช้การควบคุมช่วงเวลาในการเปิดปิดสวิตช์ (t_{on} และ t_{off}) จากรูปที่ 2.13a เป็นการแสดงแบบอุดมคติและดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบพื้นฐาน ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต V_o ในรูปที่ 2.13b ขึ้นอยู่กับค่า t_{on} และ t_{off} หนึ่งในวิธีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตจะใช้สวิตช์ที่ความถี่คงที่ คาบเวลาในการสวิตช์ซึ่งคือ $T = t_{on} + t_{off}$ และใช้การปรับช่วงเวลาของการสวิตช์เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยในวิธีการนี้ถูกเรียกว่า พัลส์วิดท์มอดดูเลชัน (Pulse Width Modulation; PWM) อัตราส่วนช่วงเวลาการเปิดสวิตช์ต่อคาบเวลาของการสวิตช์ซึ่งที่เปลี่ยนแปลงเรียกว่า วัฏจักรงาน (Duty Cycle)



รูปที่ 2.13 วงจรลดทอนระดับแรงดันดีซีเอาต์พุต

2.4.2 คอนเวอร์เตอร์ลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

โครงสร้างและวงจรการทำงานพื้นฐาน จากรูปที่ 2.13a และ 2.13b แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ลดทอนระดับแรงดันและรูปคลื่นการสวิตช์สำหรับสวิตช์กำลัง แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยสามารถคำนวณได้เทอมของอัตราส่วนสวิตช์ (Switch duty ratio)

$$V_o = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} V_o(t) dt = \frac{t_{on}}{T} V_{in} \quad (2.7)$$

ถ้ากำหนดให้ D เป็นดิวิตีไซเคิลหรือวัฏจักรงาน

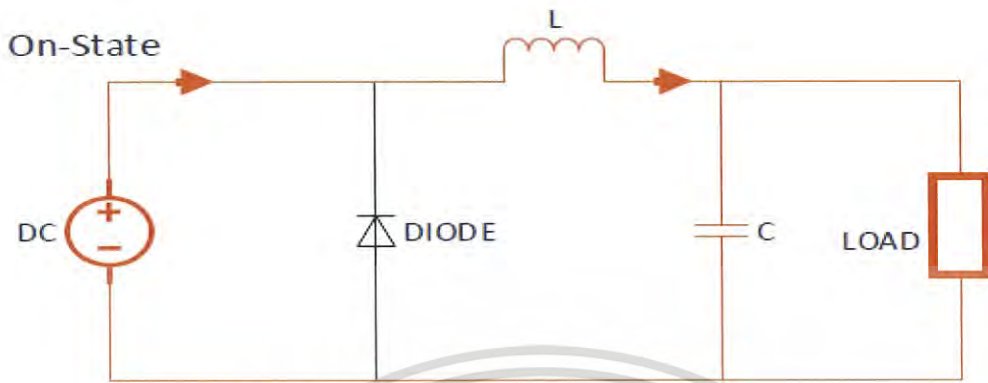
$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.8)$$

จะได้แรงดันเฉลี่ยเอาต์พุต คือ

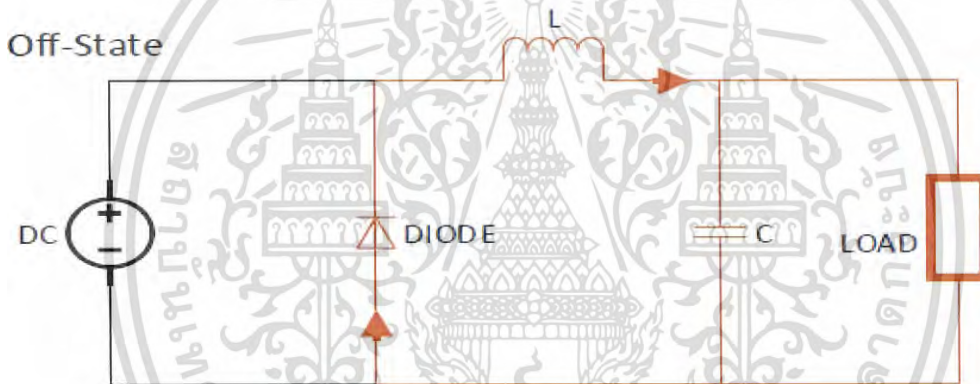
$$V_o = DV_{in} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานจะมี 2 ช่วงการทำงานคือ โหมดที่สวิตช์จะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และ โหมดที่สวิตช์ไม่ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 วงจรลวดทองระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ทำงาน



รูปที่ 2.15 วงจรลวดทองระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่ทำงาน

2.4.3 โหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (Continuous-conduction mode)

จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงรูปคลื่นสำหรับการนำกระแสแบบต่อเนื่องของการทำงานที่ ซึ่งกระแสอินดักเตอร์ไหลอย่างต่อเนื่อง ($i_L > 0$) เมื่อสวิตช์ทำงานในระหว่างเวลา t_{on} สวิตช์จะนำกระแสอินดักเตอร์ แรงดันนี้เป็นเหตุทำให้กระแสอินดักเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง และเมื่อสวิตช์ไม่ทำงานกระแสที่ไหลในขณะนี้จะไหลผ่านไดโอดและ $V_L = -V_o$

เนื่องจากการทำงานในสภาวะคงที่ มักจะเกิดขึ้นซ้ำๆกันจากคาบเวลาหนึ่งจนถึงคาบเวลาถัดไป ผลรวมของแรงดันอินดักเตอร์ V_L มากกว่า 1 คาบเวลามักเป็นศูนย์

$$\int_0^T V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^T V_L dt = 0 \tag{2.10}$$

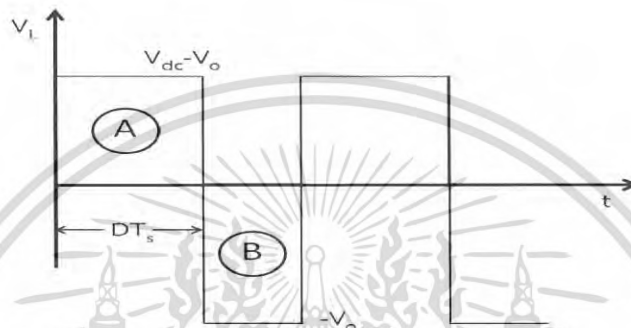
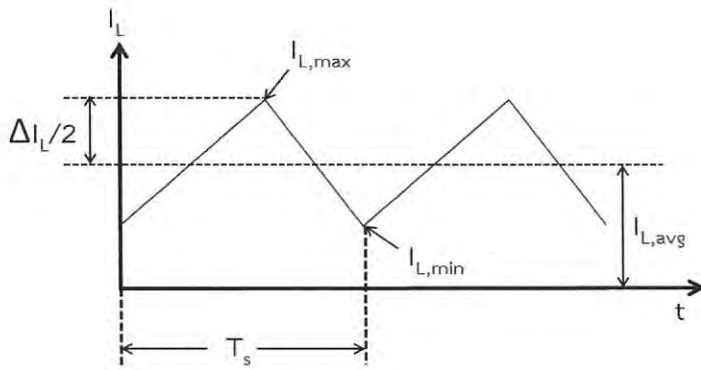
จากรูปที่ 2.16 จะได้พื้นที่ด้านบนล่างมีขนาดเท่ากันดังนั้นจะได้

$$(V_{in} - V_o)t_{on} = V_o (T - t_{on}) \tag{2.11}$$

หรือ

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t_{on}}{T} = D \tag{2.12}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นสำหรับการนำกระแสแบบต่อเนื่อง

ดังนั้นในโหมดนี้ แรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเส้นตรงด้วย อัตราส่วนของการสวิตช์ เพื่อให้แรงดันอินพุตซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ ในวงจร สามารถหาแรงดันเฉลี่ย V_o ได้อย่างสมบูรณ์และเป็นที่ยอมรับว่าแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมในอินดักเตอร์ขณะทำงานในสภาวะคงที่มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{V_{in} t_{on} + 0(t_{off})}{T} = V_o \quad (2.13)$$

สมมติว่าอุปกรณ์ไม่มีการสูญเสียกำลังงานและอุปกรณ์สวิตช์เป็นอุดมคติ ค่าเฉลี่ยกำลังด้านอินพุต P_{in} และค่าเฉลี่ยกำลังด้านเอาต์พุต P_o เท่ากัน

$$P_{in} = P_o \quad (2.14)$$

$$V_{in} I_{in} = V_o I_o \quad (2.15)$$

$$\frac{I_o}{I_{in}} = \frac{V_{in}}{V_o} = \frac{1}{D} \quad (2.16)$$

2.4.4 ขีดความสามารถระหว่างการนำกระแสแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

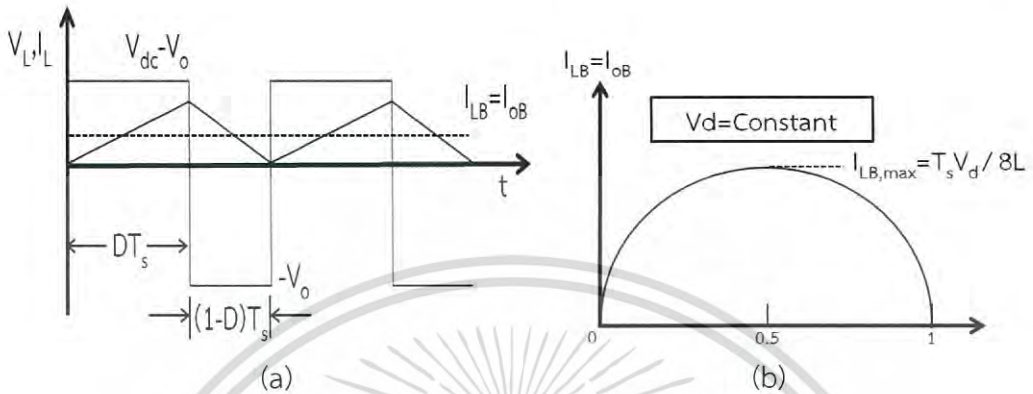
(Boundary between continuous and discontinuous conduction)

ในส่วนนี้จะพัฒนาสมการ ซึ่งจะแสดงอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงของวงจรบนโหมดการนำกระแสอินดักเตอร์ (แบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง) ที่ขอบสุดของโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง รูปที่ 2.17a แสดงรูปคลื่น V_L และ I_L ที่เป็นขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถระหว่างโหมดการนำแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง กระแสอินดักเตอร์ I_L ไปสู่ศูนย์ที่ปลายสุดของ t_{off}

$$I_{LB} = \frac{1}{2} I_{L,peak} = \frac{t_{on}}{2L} (V_{in} - V_o) = \frac{DT}{2L} (V_{in} - V_o) = I_{oB} \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.17 ช่วงการนำกระแสแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

ดังนั้นในระหว่างการทำงานตามเงื่อนไขนี้ ถ้ากระแสเอาต์พุตเฉลี่ย เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า I_{LB} ตามสมการ ดังนั้นจึงทำให้ I_L นั้นเปลี่ยนแปลงเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

2.4.5 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous conduction mode)

เมื่อนำเอาคอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ไปใช้งาน แรงดันอินพุต V_{in} หรือแรงดันเอาต์พุต V_o อยู่ในสภาพคงที่ในระหว่างที่คอนเวอร์เตอร์ทำงาน การทำงานทั้งสองแบบนี้จะได้อธิบายต่อไปนี้

2.4.5.1 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องโดยให้ V_{in} คงที่ (Discontinuous conduction mode with constant V_{in})

ในการนำไปใช้งานจริง เช่น ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ V_{in} จำเป็นจะต้องให้อยู่ในสภาพที่คงที่ และ V_o จะถูกควบคุมโดยการปรับอัตราส่วน D ของคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจาก $V_o = DV_{in}$ กระแสอินดักเตอร์เฉลี่ยที่ขอบของโหมดการนำแบบต่อเนื่องจากสมการ (2.17) คือ

$$I_{LB} = \frac{TV_{in}}{2L} D(1 - D) \quad (2.18)$$

การใช้สมการนี้ สามารถค้นหาได้จากรูปที่ 2.17b ซึ่งแสดงโดยการพล็อต I_{LB} ในฟังก์ชันของ D โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆคงที่ จะแสดงกระแสเอาต์พุตที่ต้องการสำหรับโหมดการนำแบบต่อเนื่องซึ่งจะมีค่าสูงสุดที่ $D = 0.5$

$$I_{LB,max} = \frac{TV_{in}}{8L} \quad (2.19)$$

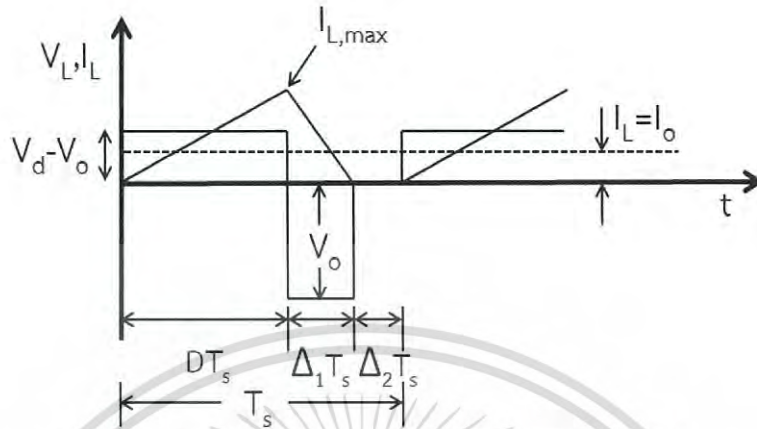
จากสมการที่ (2.18) และ (2.19) จะได้

$$I_{LB} = 4I_{LB,max}D(1 - D) \quad (2.20)$$

อัตราส่วนแรงดัน V_o/V_{in} จะสามารถคำนวณหาในโหมดแบบไม่ต่อเนื่อง ให้สมมติว่าคอนเวอร์เตอร์เริ่มต้นที่ขอบด้านการนำแบบต่อเนื่อง ดังในรูปที่ 2.17a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์คงที่และให้พลังงานเอาต์พุตที่โหลดลดลงแล้วกระแสอินดักเตอร์เฉลี่ยจะลดลงดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง

ในช่วงที่กระแสอินดักเตอร์เป็นศูนย์ พลังงานที่จ่ายให้กับโหลดความต้านทานจะถูกจ่ายโดยฟิลเตอร์ตัวเก็บประจุอย่างเดียวนั้น แรงดันอินดักเตอร์ V_L ในช่วงระหว่างเวลานี้เป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมของแรงดันอินดักเตอร์ที่มากกว่า 1 คาบเวลาจะเป็นศูนย์

$$(V_{in} - V_o)DT + (-V_o)\delta T = 0 \quad (2.21)$$

จะได้

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{D + \delta} \quad (2.22)$$

เมื่อ $D + \delta < 1.0$ จากสมการที่ (2.19)

$$I_{LB,max} = \frac{V_o}{L} \delta T \quad (2.23)$$

ดังนั้น

$$I_o = I_{LB,max} \frac{D + \delta}{2} \quad (2.24)$$

$$I_o = \frac{2V_o T}{2L} (D + \delta) \delta \quad (2.25)$$

$$I_o = \frac{V_{in} T}{2L} D \delta \quad (2.26)$$

$$I_o = 4I_{LB,max} D \delta \quad (2.27)$$

$$\delta = \frac{I_o}{4I_{LB,max} D} \quad (2.28)$$

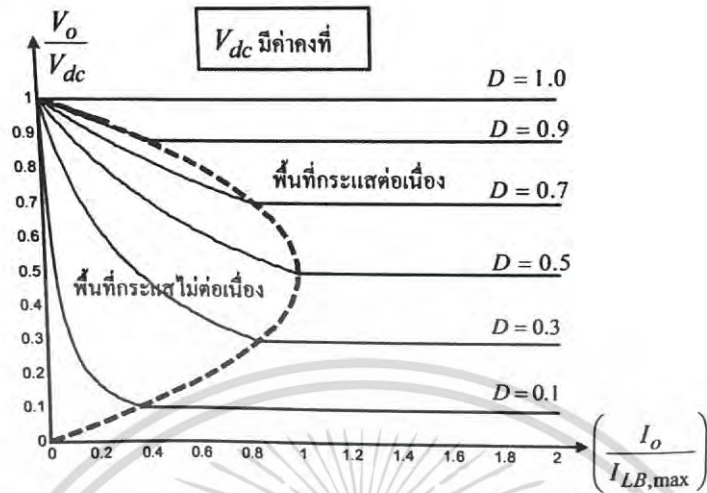
จากสมการที่ (2.22) และ สมการที่ (2.28)

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D^2}{D^2 + \frac{1}{4}(I_o/I_{LB,max})} \quad (2.29)$$

จากรูปที่ 2.19 แสดงคุณลักษณะการทำงานทั้งสองโหมดของคอนเวอร์เตอร์ลดทอนระดับแรงดัน เมื่อ V_{in} คงที่ อัตราส่วนแรงดัน V_o/V_{in} จะพลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกับฟังก์ชัน $I_o/I_{LB,max}$ ขอบเขตความสามารถระหว่างโหมดการทำงานแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง แสดงโดยเส้นโค้งที่เปลี่ยนกะทันหัน



รูปที่ 2.19 กราฟคุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์ลดทอนระดับแรงดันที่ขณะให้ V_{in} คงที่ [9]

2.4.5.2 โหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อ V_o คงที่ (Discontinuous conduction mode with constant V_o)

ในการนำไปใช้รักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายพลังงานดีซี V_{in} อาจจะขึ้นลง แต่ V_o จะมีค่าคงที่ด้วยการปรับดิวิตีไซเคิล D

เนื่องจาก $V_{in} = V_o/D$ กระแสอินดักเตอร์เฉลี่ยที่ขอบของโหมดการนำแบบไม่ต่อเนื่องมาจากสมการคือ

$$I_{LB} = \frac{V_o T}{2L} (1 - D) \quad (2.30)$$

สมการ (2.30) แสดงขณะที่ V_o คงที่ และค่าของ I_{LB} ที่เกิดขึ้นที่ $D=0$ มีค่าสูงสุด

$$I_{LB,max} = \frac{V_o T}{2L} \quad (2.31)$$

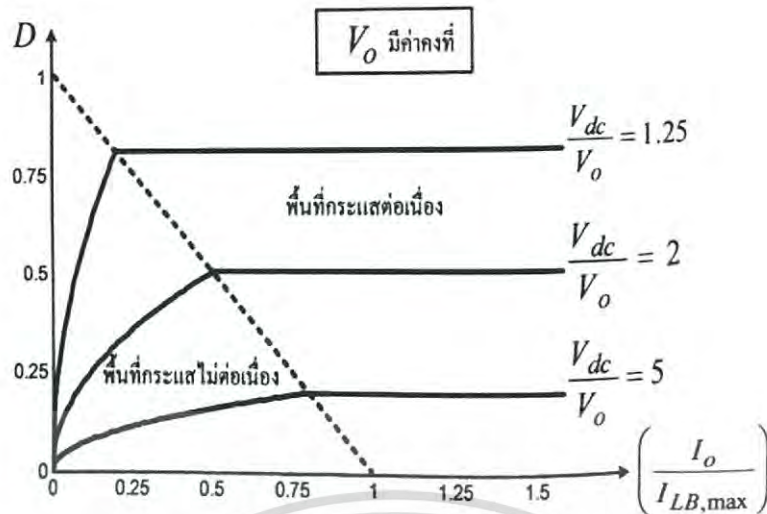
จากสมการ (2.30) และ (2.31)

$$I_{LB} = (1 - D) I_{LB,max} \quad (2.32)$$

จากสมการ (2.31)

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \left[\frac{I_o/I_{LB,max}}{1 - V_o/V_{in}} \right]^{1/2} \quad (2.33)$$

อัตราส่วนดิวิตี D เหมือนกับฟังก์ชันของ $I_o/I_{LB,max}$ ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งค่าของ V_{in}/V_o เปลี่ยนแปลง ส่วน V_o คงที่ ขอบเขตการทำงานของโหมดการนำแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องหาได้โดยใช้สมการ (2.32)



รูปที่ 2.20 กราฟคุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงลงที่ขณะให้ V_o คงที่ [9]

2.4.6 ริปเปิลของแรงดันเอาต์พุต (Output voltage ripple)

สมมติว่า แรงดันเอาต์พุตไม่มีริปเปิล กระแสเอาต์พุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังตัวเก็บประจุที่ต่อขนานและมีเพียงกระแสไฟตรงเท่านั้นที่ไปยังความต้านทานที่เป็นโหลด ในทางปฏิบัติ ค่าตัวเก็บประจุเอาต์พุตจะเป็นพารามิเตอร์ ที่สำคัญในการออกแบบซึ่งมีผลกระทบต่อขนาดทั้งหมดของคอนเวอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และริปเปิลของความถี่ในการสวิตช์จะต้องถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการจำกัดออกไป ในทางปฏิบัติ การออกแบบจะเลือกค่าตัวเก็บประจุเอาต์พุตให้มีขนาดใหญ่เพื่อจะจำกัดริปเปิลแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาต์พุต V_o ตามทฤษฎีแล้ว ถ้า $C \rightarrow \infty$ ค่าตัวเก็บประจุจะทำตัวเหมือนลัตววงจรที่ริปเปิลแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต ผลคือริปเปิลแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าสมมติให้ C มีค่าจำกัดแล้วจะมีริปเปิลของแรงดันเกาะอยู่กับแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุต และถ้าส่วนประกอบริปเปิลทั้งหมดใน I_L จะไหลผ่านตัวเก็บประจุ และส่วนประกอบเฉลี่ยของริปเปิลจะไหลผ่านโหลดความต้านทาน พื้นที่ที่แรเงาในรูปที่ 2.21 ซึ่งแสดงถึงประจุ ดังนั้นแรงดันริปเปิลจากยอดถึงยอด ΔV_c สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta V_c = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L T}{2} \quad (2.34)$$

จะได้

$$\Delta I_L = \frac{\Delta V_c}{L} (1 - D) T \quad (2.35)$$

แทน ΔI_L จะได้สมการ

$$\Delta V_c = \frac{TV_o}{8CL} (1 - D) T \quad (2.36)$$

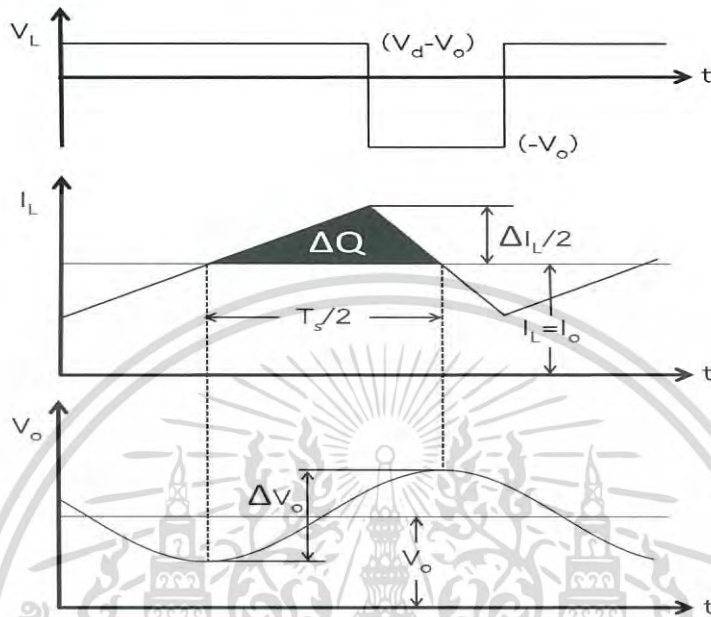
ซึ่งความถี่ในการสวิตช์ซึ่งคือ $f = 1/T$ และ

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.37)$$

จากสมการ แสดงว่าแรงดันริปเปิล สามารถทำให้น้อยลงได้ ด้วยการเลือกความถี่หักมุมของวงจรกรองความถี่ต่ำ เช่น เลือก $f_c \ll f$ ริปเปิลที่เกิดขึ้นจากพลังงานเอาต์พุตของ

โพลต์นั้น ถ้าการทำงานของคอนเวอร์เตอร์อยู่ในโหมดการนำแบบไม่ต่อเนื่อง การวิเคราะห์ที่คล้ายกันนี้สามารถนำไปใช้กับโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

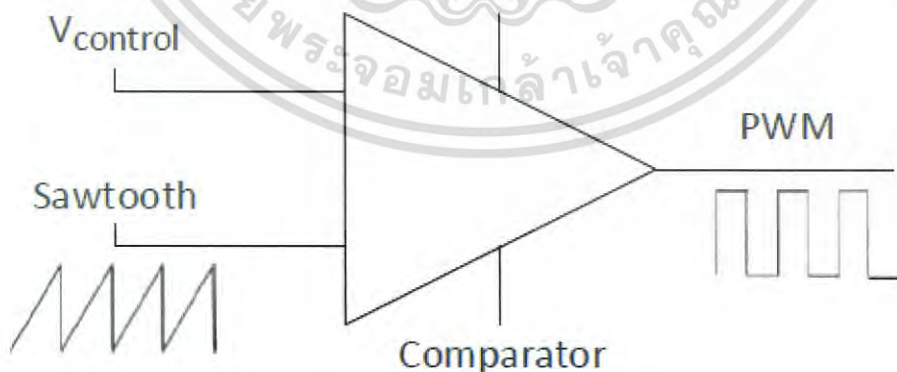
ในแหล่งจ่ายดีซีแบบสวิตช์โหมด เพอร์เซ็นต์รีปเปิลในแรงดันเอาต์พุตปกติควรจะกำหนดไว้ให้มีค่าน้อยมาก แต่ในความเป็นจริงแล้วควรเท่ากับ 1



รูปที่ 2.21 รีปเปิลของแรงดันเอาต์พุตในคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงลง

2.5 สัญญาณ PWM ที่นำมาใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง [9]

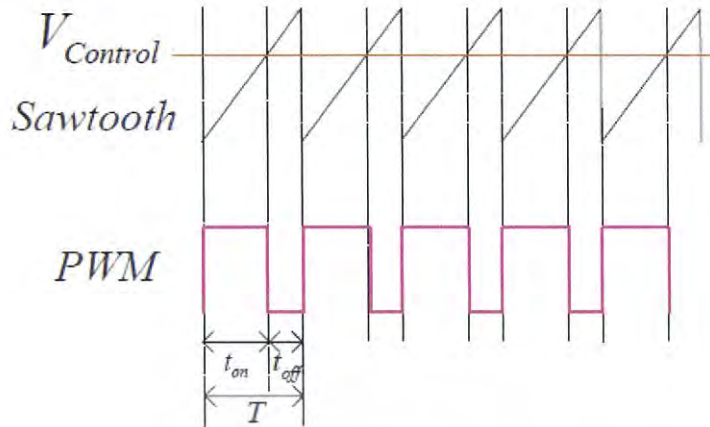
การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรมอดูเลชันจะใช้การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณแบบขั้นบันไดมาเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่เป็นระดับสัญญาณกระแสตรงหรือสัญญาณไซน์ ตามรูปแบบของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ การสร้างสัญญาณ PWM แบบอนาล็อกแสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจร PWM แบบอนาล็อก

จากรูป สัญญาณ Sawtooth จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณ $V_{control}$ ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณ ตามรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 การสร้างสัญญาณ PWM

รูปที่ 2.23 แสดงสัญญาณ PWM ที่ได้จาก สัญญาณ Sawtooth กับ $V_{control}$ ที่เปรียบเทียบกันผลของการเปรียบเทียบ เมื่อระดับของสัญญาณ $V_{control}$ สูงกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น High แต่เมื่อระดับของสัญญาณ $V_{control}$ ต่ำกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น Low ซึ่งคำนวณค่าดิวตีไซเคิล ได้ เท่ากับ

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.38)$$

โดยที่ D แทนเปอร์เซ็นต์ค่าดิวตีไซเคิล
 t_{on} แทนค่าช่วงเวลาในสถานะ High
 T แทนค่าคาบเวลา

บทที่ 3

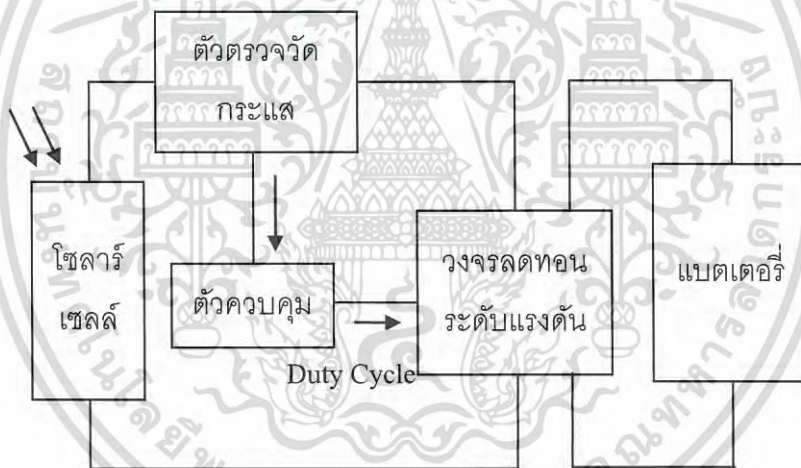
หลักการงานและการออกแบบ

3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการอธิบายหลักการงานและการออกแบบวงจรประจุไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในวงจรนี้มีมอสเฟตทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งควบคุมโดยใช้สัญญาณ PWM ในการขับเคลื่อนโดยงานวิจัยนี้จะใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion) เป็นโพลดในการประจุพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป และอธิบายหลักการที่ใช้เพียงค่ากระแสในการคำนวณและติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดัน

3.2 ส่วนประกอบของวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนประกอบที่ใช้ในงานวิจัยมีดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้

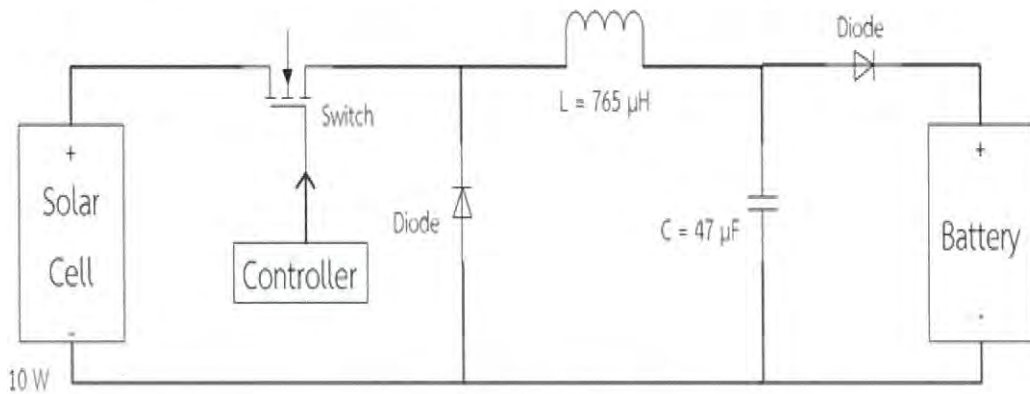


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบประจุแบตเตอรี่โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)
2. ตัวตรวจวัดกระแส (Current Sensor)
3. ตัวควบคุม (Microcontroller)
4. วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)
5. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)



รูปที่ 3.2 วงจรในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรลดทอนระดับแรงดัน

จากในรูปที่ 3.2 วงจรลดทอนระดับแรงดันมีอุปกรณ์ทั้งหมดดังนี้

1. มอสเฟต ทำงานที่ความถี่สวิตซิง 31.25 กิโลเฮิร์ตซ์ (ความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ Arduino สามารถขับออกมาได้) เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ P80NF55-08 ซึ่งมีพิกัดแรงดัน 55 โวลต์ และมีพิกัดกระแส 80 แอมแปร์

รูปที่ 3.3 MOSFET เบอร์ P80NF55-08

2. ตัวเหนี่ยวนำในวงจรลดทอนระดับแรงดันสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{\Delta i_L \times f_s \times V_{in}} \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนดค่าริบเปิลของกระแสมีค่าเท่ากับ 5% และความถี่สวิตซิง 31.25 กิโลเฮิร์ตซ์ จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 765 μ H

3. ตัวเก็บประจุในวงจรลดทอนระดับแรงดันสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$C = \frac{\Delta i_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}} \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดค่าริบเปิลของแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.5% และความถี่สวิตซิง 31.25 กิโลเฮิร์ตซ์ จะได้ค่าตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 47 μ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไดโอดชนิด Schottky Diode เบอร์ 1N5822 ที่มีพิกัดแรงดัน 40 โวลต์ และพิกัดกระแส 3 แอมแปร์

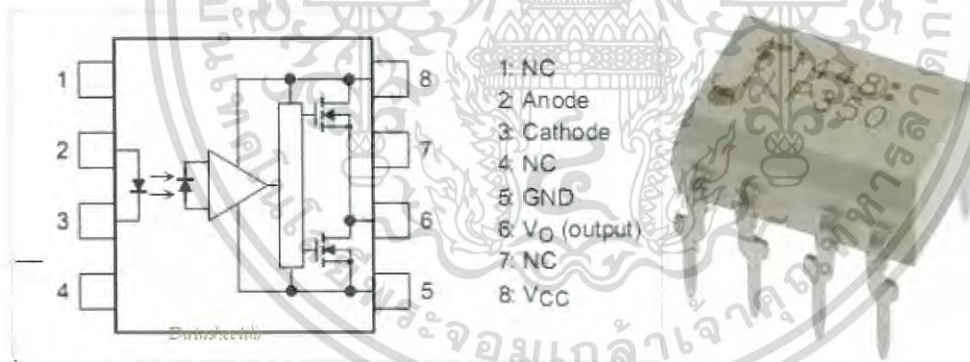


รูปที่ 3.4 Schottky Diode เบอร์ 1N5822

3.4 การออกแบบวงจรขั้วเกต

ในการขับสวิทช์นั้นต้องได้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งส่งสัญญาณออกมาขับสวิทช์ มีแรงดันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ แต่สวิทช์นั้นต้องการแรงดันในการขับสวิทช์อยู่ในช่วง 10 โวลต์ขึ้นไป จึงต้องมีวงจรในการช่วยขับเกตที่รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นคือ TLP 350

ในงานวิจัยนี้ใช้ TLP350 เป็นตัวขับเกต โดยจะทำงานเมื่อมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามายังขาที่ 2 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นการสั่งให้ TLP350 ทำงานส่งสัญญาณขับเกตจากขาที่ 6 เข้าขาเกตของมอสเฟต ด้วยแรงดัน 0 ถึง 15 โวลต์ และต่อขา 5 (ขากราวด์) ไปสู่ขา Source ของมอสเฟต



รูปที่ 3.5 วงจรภายใน TLP350 และอุปกรณ์ TLP350

3.5 วิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดโดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดัน

ในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมนั้นจะนำวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC to DC Converter) มาใช้ในการทำงาน ซึ่งจุดการทำงานที่เหมาะสมที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุดนั้นจะมีจุดการทำงานเพียงจุดเดียวเท่านั้นภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆของแผงโซลาร์เซลล์ ในงานวิจัยนี้นำเสนอการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่สำรองซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.8 - 4.2 V ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) เนื่องจากแรงดันเอาต์พุต (แรงดันบนของแบตเตอรี่) มีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุต (แรงดันของแผงโซลาร์เซลล์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 แรงดันเอาต์พุตของวงจรถอดทอนระดับแรงดันมีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจากโหลดเป็นแบบเตอริสสารองซึ่งในช่วงเวลาสั้นๆนั้น แรงดันจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ในส่วนของตัวควบคุมจะทำการรับเพียงค่ากระแสที่ออกจากแฉงโซลาร์เซลล์ค่าเดียว และทำตามอัลกอริทึมที่จะกล่าวในภายหลังแล้วส่งเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าวัฏจักรงานค่าหนึ่งให้กับตัว MOSFET ของวงจรถอดทอนระดับแรงดัน ซึ่งในแต่ละรอบการทำงานจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ดังกล่าวไปเรื่อยๆจนถึงจุดที่ได้กำลังงานสูงสุดภายใต้สภาวะแวดล้อมโดยรอบต่างๆของแฉงโซลาร์เซลล์

เมื่อกำลังงานระดับแรงดันทำงานอยู่ในโหมดกระแสต่อเนื่อง จะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าดังนี้ [9]

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = D \quad (3.3)$$

โดยที่ V_{out} คือแรงดันขาออก, V_{in} คือแรงดันขาเข้าและ D คือค่าวัฏจักรงานของวงจรถอดทอนระดับแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของแฉงโซลาร์เซลล์สามารถหาได้จากผลคูณของแรงดันและกระแสของโซลาร์เซลล์ดังนี้

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} = \frac{V_{out}}{D} \times I_{in} \quad (3.4)$$

โดยที่ P_{in} คือกำลังไฟฟ้าของแฉงโซลาร์เซลล์และ I_{in} คือกระแสขาเข้าของวงจรถอดทอนระดับแรงดัน เนื่องจาก V_{out} มีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจากโหลดเป็นแบบเตอริส ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่ากำลังจำลองที่ใช้ในอัลกอริทึมมีค่าดังนี้

$$P' = \frac{I_{in}}{D} = \frac{I_{pv}}{D} \quad (3.5)$$

โดยที่ P' คือกำลังจำลองที่นำไปใช้ในอัลกอริทึมและ I_{pv} คือกระแสของโซลาร์เซลล์ จากสมการที่ (3.5) เห็นได้ว่าค่ากำลังจำลองนั้นขึ้นอยู่กับ ค่ากระแสของโซลาร์เซลล์และค่าวัฏจักรงาน ดังนั้นการใช้ตัวตรวจวัดกระแสเพียงตัวเดียวสามารถทำการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้

3.6 การออกแบบวงจรถอดทอนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino UNO R3 ในการป้อนสัญญาณ PWM ให้กับมอสเฟต โดยมีการทำงานตามอัลกอริทึมที่จะกล่าวถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino UNO R3 [10] ไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

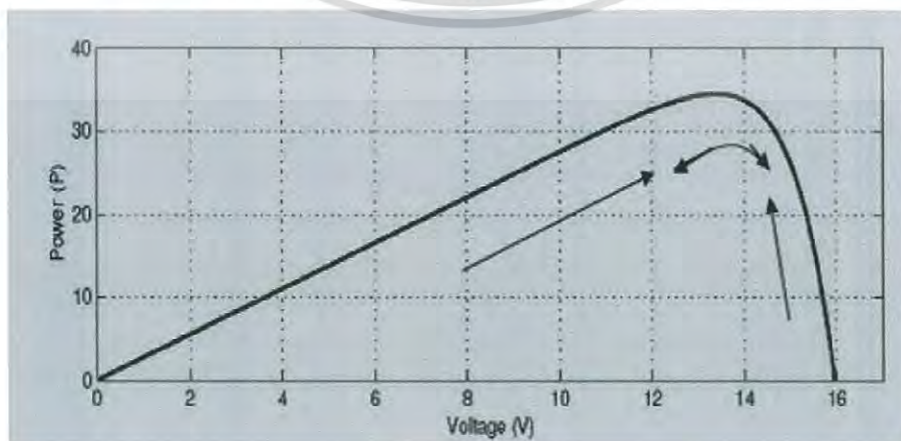
ในการตรวจวัดค่ากระแสจะใช้ Current Sensor รุ่น ACS712 5A เป็นตัวรับค่ากระแสส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 Current Sensor รุ่น ACS712 5A [10]

3.7 อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทัวไป

ในเทคนิคการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดแบบ Perturbation and Observation นั้นโดยทั่วไปแล้วจะทำการกำหนดค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานในแต่ละรอบการทำงานให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่งตลอดเวลา ต่อจากนั้นทำการหาค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์และทำการตัดสินใจว่าจะเพิ่มหรือลดค่าวัฏจักรงานในรอบถัดๆไป ซึ่งหากค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงนั้นมีค่ามากเกินไป ก็จะทำให้ไม่สามารถหาจุดการทำงานที่เหมาะสมอย่างแท้จริงได้ เพราะช่วงของค่าวัฏจักรงานที่ได้จะมีช่วงที่กว้างเกินไป และถ้าหากค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงนั้นมีค่าน้อยเกินไป ก็จะทำให้ในบางครั้งการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์แทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งทำให้การติดตามหาจุดการทำงานนั้นใช้จำนวนรอบที่มากและใช้เวลาในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมนาน ส่งผลให้เมื่อสภาพแวดล้อมโดยรอบของแผงโซลาร์เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแล้ว อัลกอริทึมทั่วไปของวิธี P&O อาจจะไม่ติดตามหาจุดการทำงานที่ผิดพลาดได้เนื่องจากยังหาจุดการทำงานที่เหมาะสมไม่เจอ สภาพแวดล้อมโดยรอบก็เปลี่ยนไปก่อนแล้ว แต่วิธีดังกล่าวก็ยังเป็นที่นิยมและง่ายต่อการนำไปใช้ [11],[12] รูปที่ 3.8 แสดงถึงการดำเนินการของอัลกอริทึมของวิธี P&O

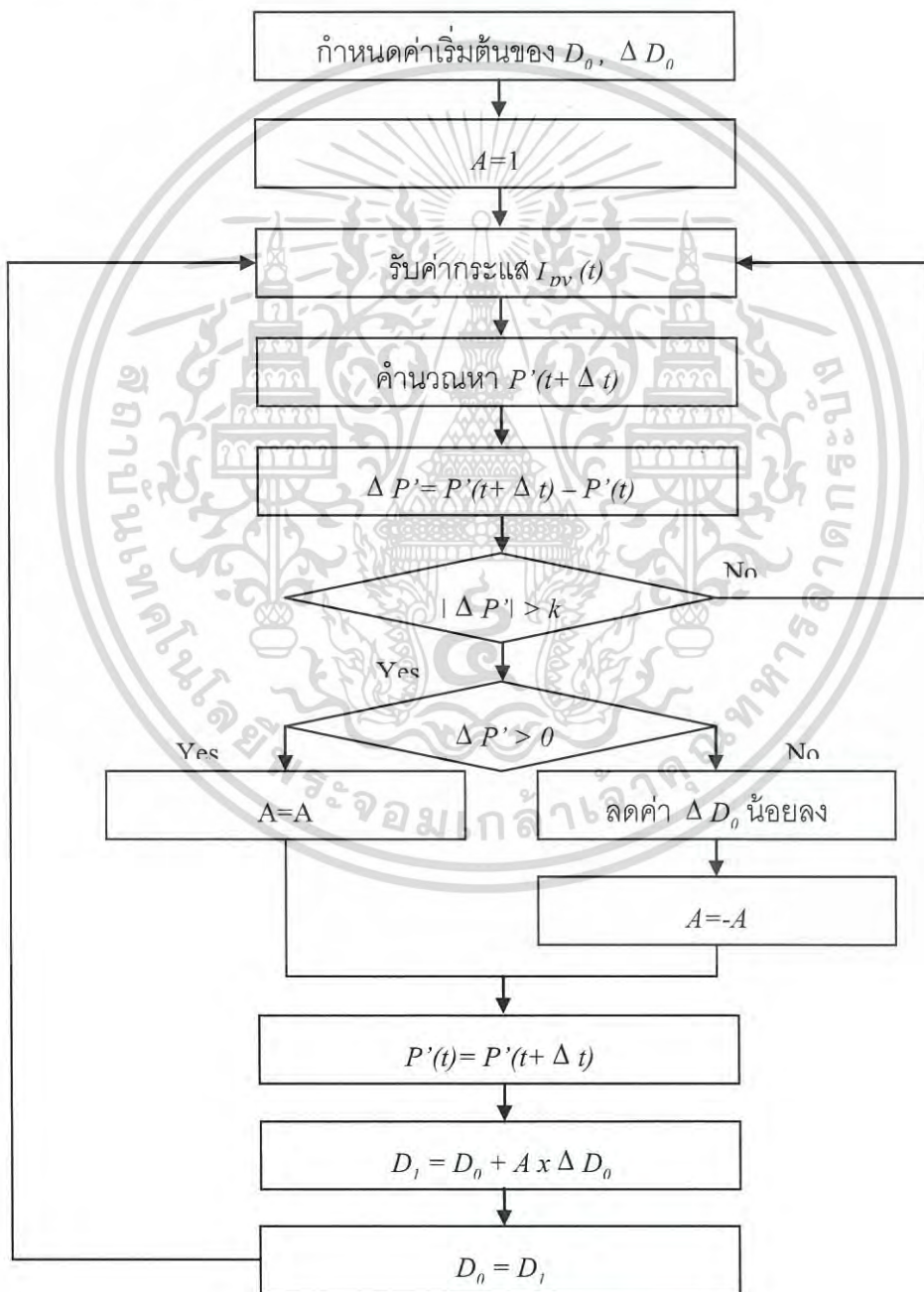


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของวิธี P&O [11]

จะเห็นได้ว่าหากค่าวัฏจักรงานที่เริ่มต้นนั้นส่งผลให้แรงดันของแผงโซลาร์เซลล์นั้นมีค่าที่อยู่ห่างจากจุดทำงานที่ให้กำลังสูงสุดแล้ว ต้องใช้จำนวนรอบในการติดตามหาจุดการทำงานจำนวนมากถึงจะได้จุดการทำงานที่เหมาะสมหากกำหนดค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานนั้นมีค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอดเวลา

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O โดยทั่วไปคือ ในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน กำหนดให้ค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานนั้นมีค่ามากๆ และเมื่ออัลกอริทึมทำงานในแต่ละรอบทำงานไปเรื่อยๆ แล้วทำให้ค่าผลต่างของกำลังในรอบปัจจุบันกับรอบก่อนหน้ามีค่าที่ติดลบ นั่นก็คือเลยจุดการทำงานที่เหมาะสมไป จะสั่งการให้มีการกลับทิศของการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานและลดค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.9 Flowchart ของอัลกอริทึมที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.9 แสดง Flowchart ของอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่ม ขั้นตอนแรกกำหนดค่าเริ่มต้นของวัฏจักรงาน (D_0) และขั้นในการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานเริ่มต้น (ΔD_0) จากนั้นรับค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณค่ากำลังจำลอง ($P'(t + \Delta t)$) ตามสมการที่ (3.5) และเปรียบเทียบกับค่ากำลังจำลองในรอบก่อนหน้าว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม ถ้าหากเพิ่มขึ้น จะสั่งการให้ระบบดำเนินการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในค่าขั้นเดิมและในทิศทางเดิมอยู่ แต่ถ้าหากลดลง จะสั่งการให้ระบบดำเนินการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในค่าขั้นที่ลดลงและเปลี่ยนทิศทางที่กลับจากเดิม และระบบก็จะทำงานเป็นรอบๆเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่า ค่ากำลังจำลองที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบนั้น ($\Delta P'$) มีค่าน้อยกว่าค่า k ที่กำหนดขึ้นมา ระบบก็จะหยุดการทำงานจนกว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนไป ระบบจึงกลับมาทำงานอีกครั้ง การทำงานด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมาี้ จะทำให้จำนวนรอบในการติดตามหาจุดการทำงานนั้นน้อยลง ส่งผลให้เวลาในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมน้อยลงไปด้วยและทำให้ลดความผิดพลาดของการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยรอบของแผงโซลาร์เซลล์อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

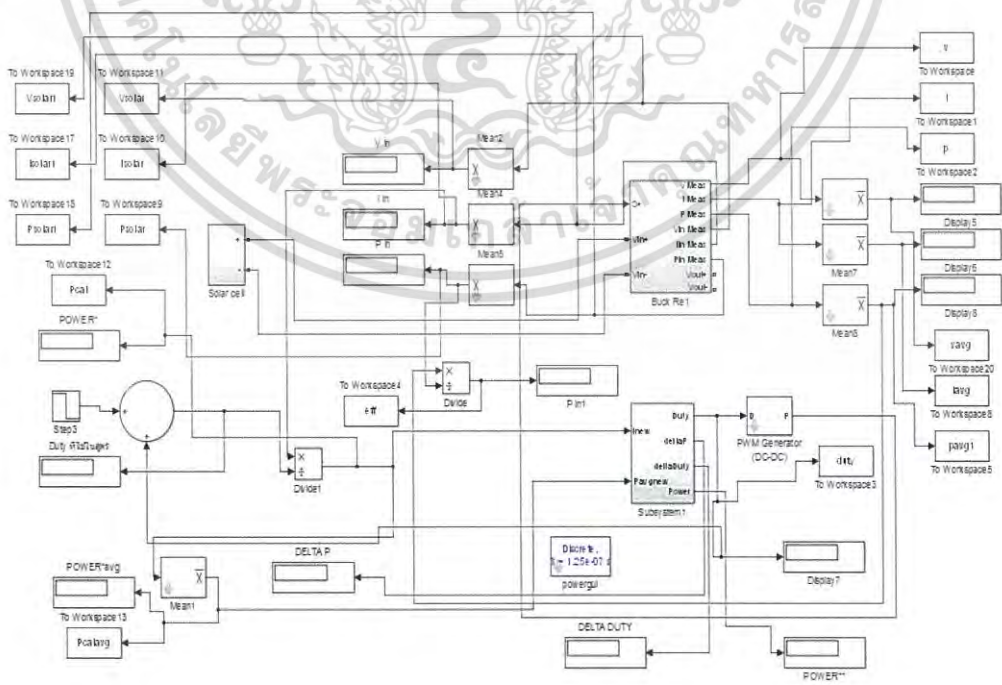
การจำลองการทำงานและผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการแสดงผลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกำหนดเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมขึ้นมาและให้จำลองให้วงจรมีการทำงานตามอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งในวงจรที่ใช้สำหรับการทำ MPPT นั้นจะใช้เพียงตัวตรวจวัดกระแสเพียงตัวเดียวเท่านั้น และเปรียบเทียบผลระหว่างการทำงานโดยใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไปกับการทำงานโดยใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งใช้ค่ากำลังจำลองในการจำลองผล ดังนั้นจึงใช้เพียงตัวตรวจวัดกระแสเพียงอย่างเดียว ไม่รับค่าแรงดันมาพิจารณา ในส่วนที่สองนั้นเป็นการแสดงผลจากการทดลองจริงโดยใช้เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจำลองแผงเซลล์อาทิตย์ สภาพอากาศ ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ โดยมีไฟฟ้ากระแสตรงออกมาเหมือนสภาวะจริง โดยรับไฟ 3 เฟส เพื่อเลี้ยงให้เครื่องสามารถทำงานได้ ต่อเข้ากับวงจรลดทอนระดับแรงดัน เพื่อทำการหาจุดการทำงานที่เหมาะสมและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมค่าวัฏจักรงานและส่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปขับมอเตอร์ในวงจรลดทอนระดับแรงดัน

4.2 วงจรที่ใช้จำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink

ทำการจำลองวงจรลดทอนระดับแรงดันในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมโดยมีวงจรโดยรวมดังรูปที่ 4.1

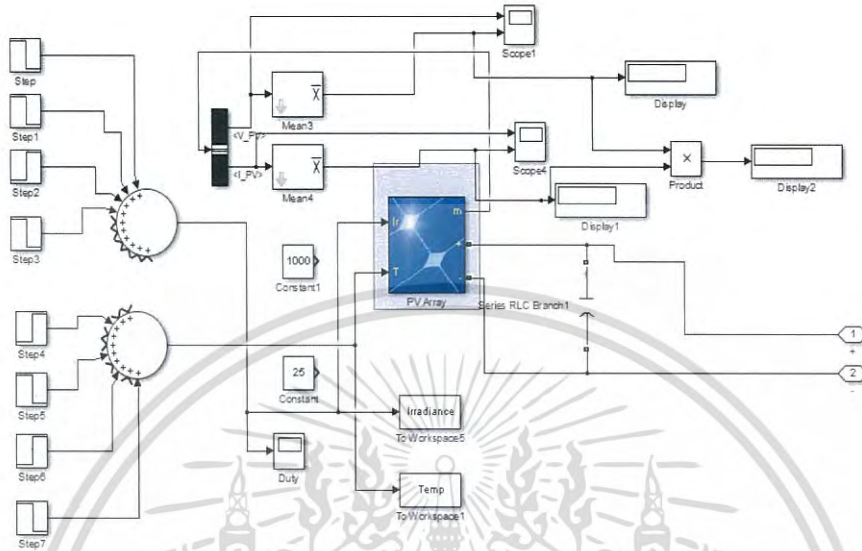


รูปที่ 4.1 วงจรโดยรวมในการทำ MPPT

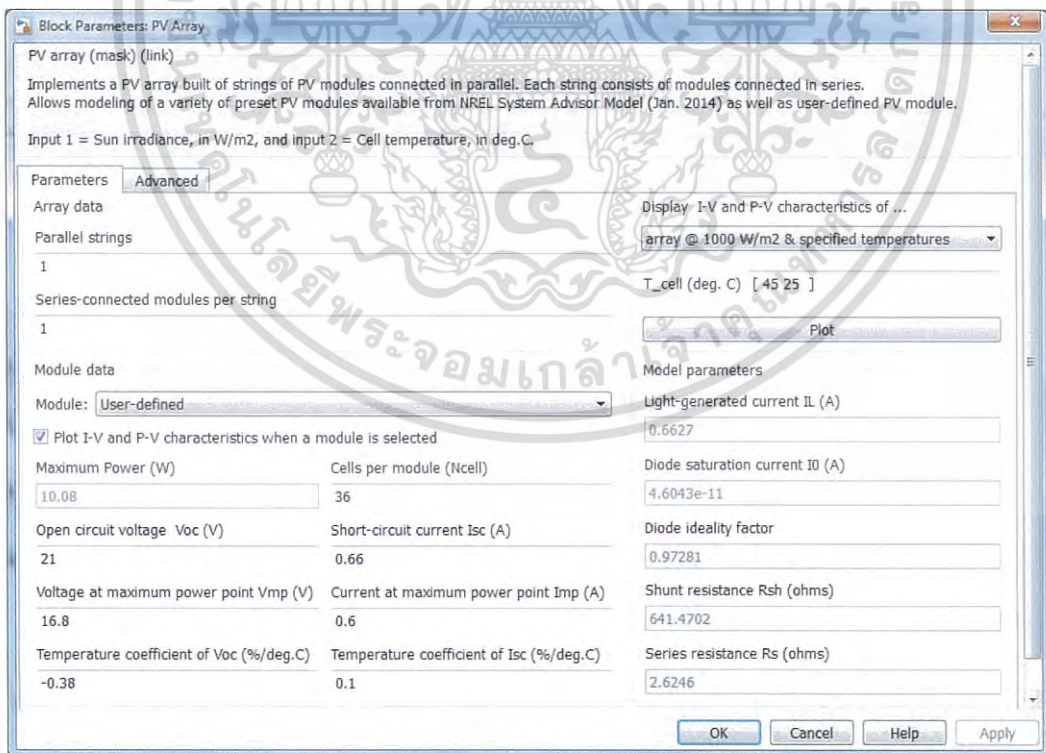
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 4.1 มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

- PV Array เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบ โดยสามารถกำหนดความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบให้กับ PV Array ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 และมีข้อจำกัดต่างๆดังรูปที่ 4.3



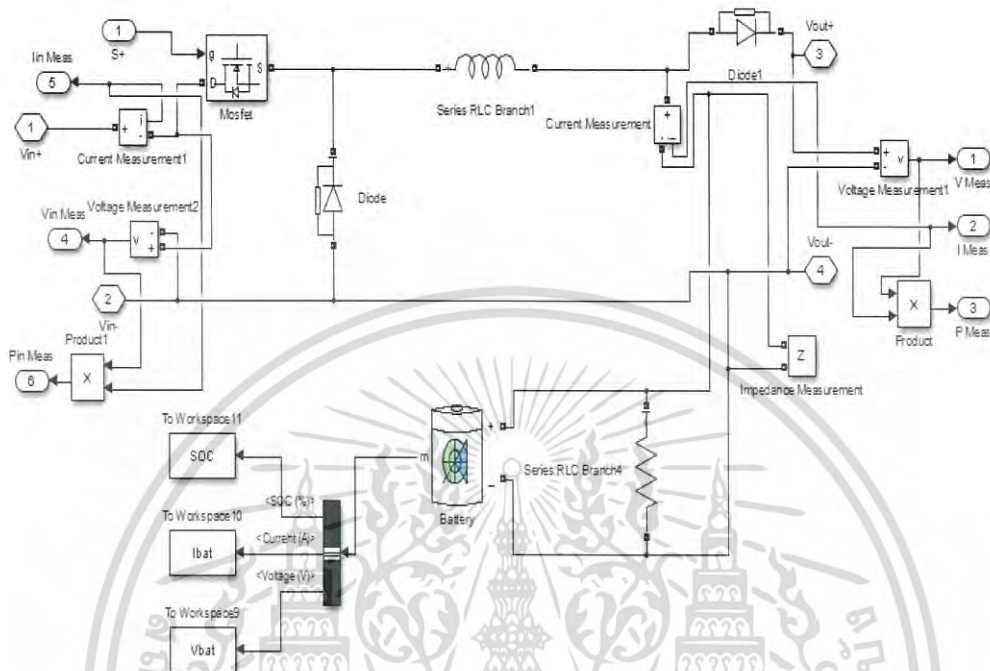
รูปที่ 4.2 วงจรในส่วนของ PV Array



รูปที่ 4.3 ข้อจำกัดต่างๆของ PV Array

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

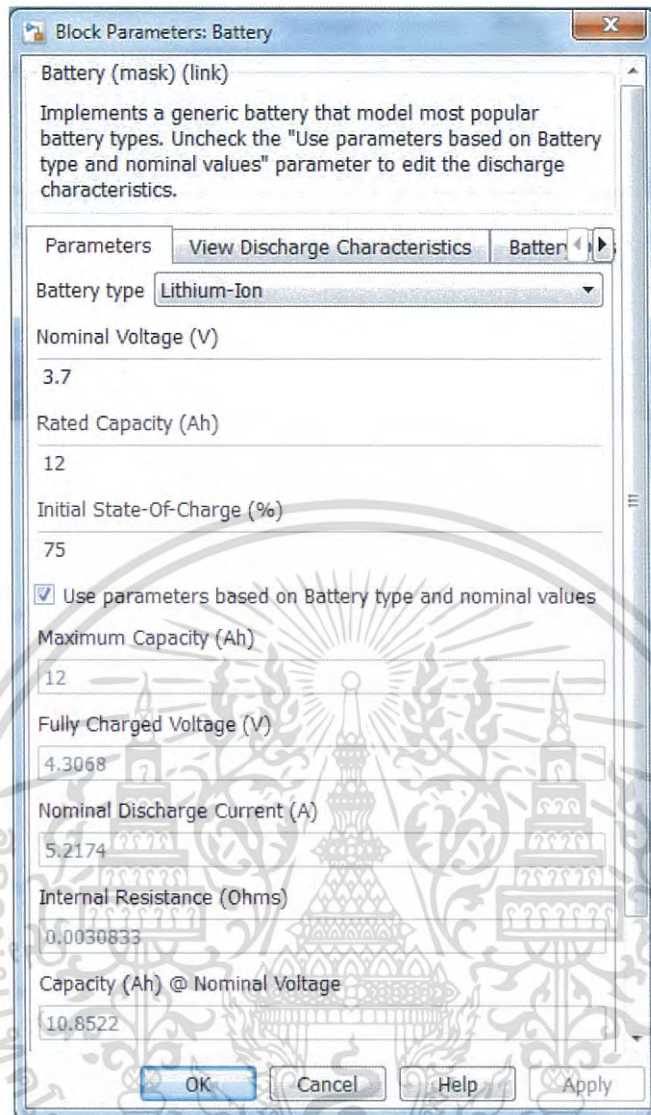
- วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) โดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆตามที่ได้คำนวณในบทที่ 3 คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ $765 \mu\text{H}$ และ ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ $47 \mu\text{F}$ ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ในการสวิตซิ่งแสดงดังรูปที่ 4.4



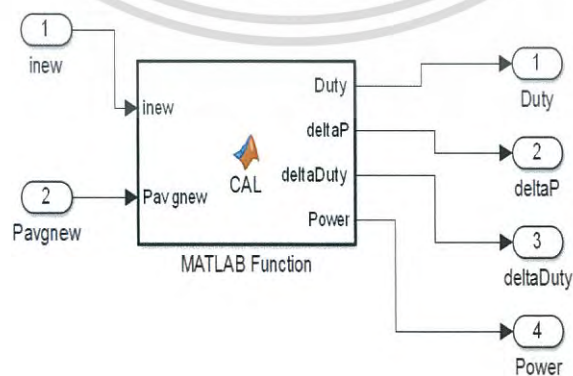
รูปที่ 4.4 วงจรในส่วนของวงจรลดทอนระดับแรงดัน

โดยได้รับสัญญาณขับเคลื่อนจาก PWM Generator ที่สามารถปรับค่าวัฏจักรงานของคลื่นสี่เหลี่ยมได้ โดยตัวควบคุมที่จะกล่าวในถัดไป ซึ่งวงจรลดทอนระดับแรงดันนั้นมีการต่อไดโอดเพื่อทำการบล็อกไม่ให้กระแสไหลออกจากแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบและมีโหลดเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนต่อขนานกับตัวต้านทานซึ่งข้อจำกัดต่างๆของแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.5

- ตัวควบคุม ทางด้านอินพุตนั้นเป็นการรับค่ากระแสและค่ากำลังจำลองที่ได้จากสมการที่ (3.5) และทางด้านเอาต์พุตเป็นค่าวัฏจักรงานเพื่อส่งออกให้ PWM Generator สร้างสัญญาณ PWM ตามที่ต้องการ, ค่าความแตกต่างของกำลังจำลองในแต่ละรอบการทำงาน, ค่าความแตกต่างของวัฏจักรงานในแต่ละรอบการทำงานและค่ากำลังจำลองในแต่ละรอบการทำงาน เพื่อสังเกตการทำงาน ของวงจรว่าทำงานได้ถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งอัลกอริทึมที่กำหนดให้ นั้นจะเขียนเป็น Code ใส่เข้าไปในกล่อง MATLAB Function แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ข้อจำกัดต่างๆของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

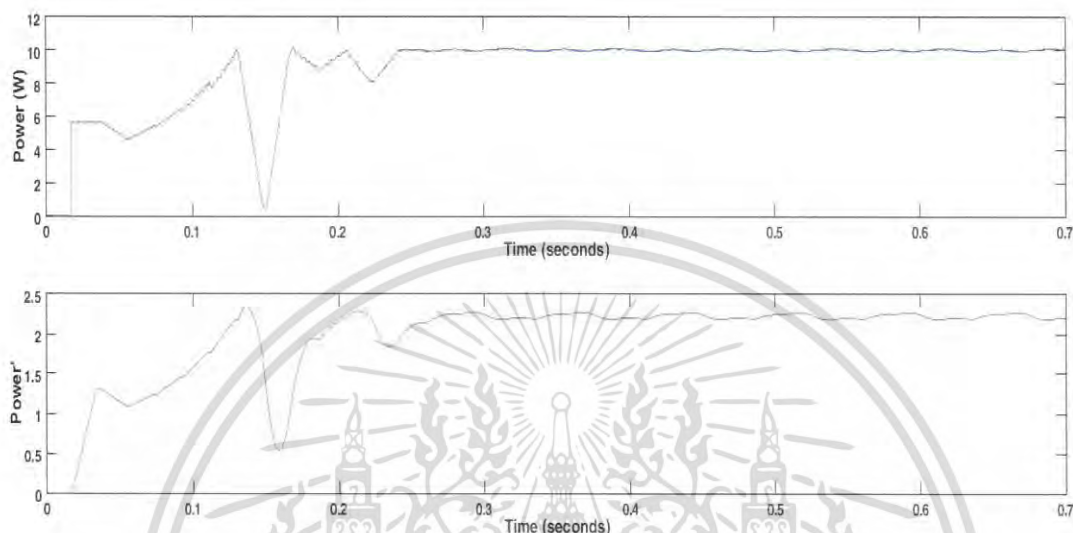


รูปที่ 4.6 วงจรในส่วนของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การจำลองผลเปรียบเทียบระหว่างกำลังกับกำลังจำลอง

ทำการกำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อมของ PV Array โดยมีความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 วัตต์ ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และทำการเปรียบเทียบกราฟของ กำลังกับกำลังจำลองตามสมการที่ (3.5) ว่ามีความคล้ายคลึงกันเพียงใดโดยใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่ม จากวิธี P&O ทั่วไปแสดงในรูปที่ 4.7

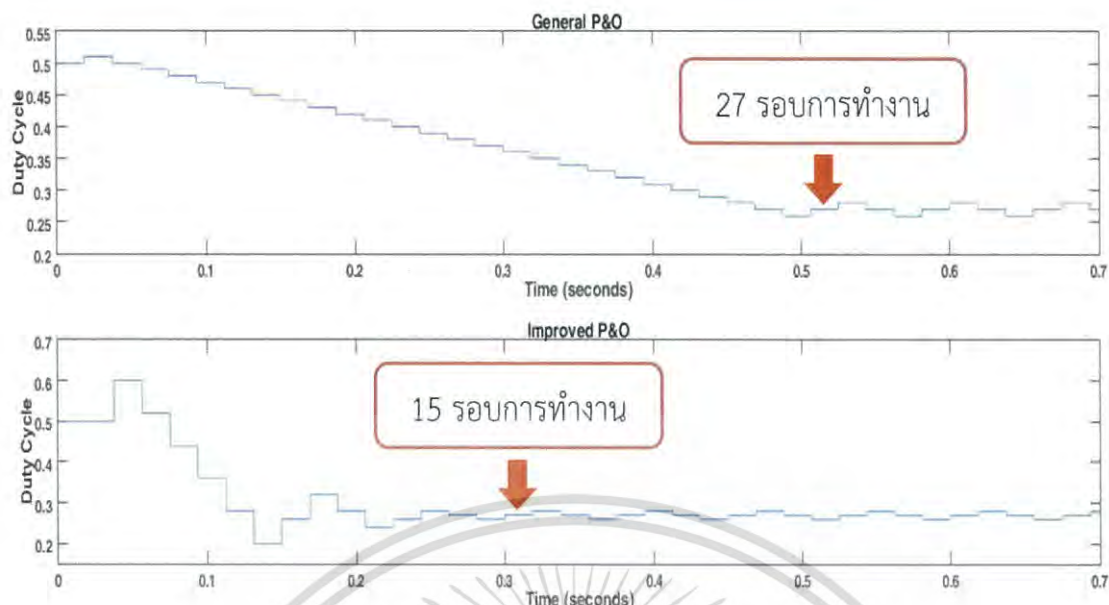


รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (ด้านบน) กับ กำลังจำลอง (ด้านล่าง)

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ารูปกราฟของกำลังและกำลังจำลองนั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก แต่ขนาดของทั้งสองนั้นแตกต่างกัน เนื่องจากกำลังจำลองนั้นไม่ได้นำค่าแรงดันมาใช้ในการคำนวณ ทำให้มีค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังที่แท้จริง แต่มีลักษณะรูปกราฟในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นสามารถนำค่า กำลังจำลองไปใช้ในอัลกอริทึมต่างๆ เพื่อทำการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดได้ ซึ่งใช้ เพียงค่ากระแสที่วัดได้จากตัวตรวจวัดกระแสและค่าวัฏจักรงานที่มีอยู่ในตัวควบคุมอยู่แล้ว ทำให้ สามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านตัวตรวจวัดแรงดันออกไปได้เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ในอัลกอริทึม

4.4 การจำลองผลเปรียบเทียบระหว่างการใช่วิธี P&O ทั่วไปกับอัลกอริทึมที่นำเสนอ

ทำการกำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อมของ PV Array โดยมีความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 วัตต์ ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการใส่ Code ที่เป็น อัลกอริทึม P&O ทั่วไป (โดยใช้ค่ากำลังจำลองในการทำงาน ซึ่งไม่ได้ตรวจวัดค่าแรงดันมาเพื่อคำนวณ ค่ากำลังที่แท้จริง) และอัลกอริทึมที่นำเสนอเข้าไปใน MATLAB Function ที่อยู่ในส่วนของตัวควบคุม และทำการเปรียบเทียบการติดตามหาจุดการทำงาน ซึ่งจะได้รูปกราฟของวัฏจักรงานที่แตกต่างกัน ตามที่ดังแสดงในรูปที่ 4.8

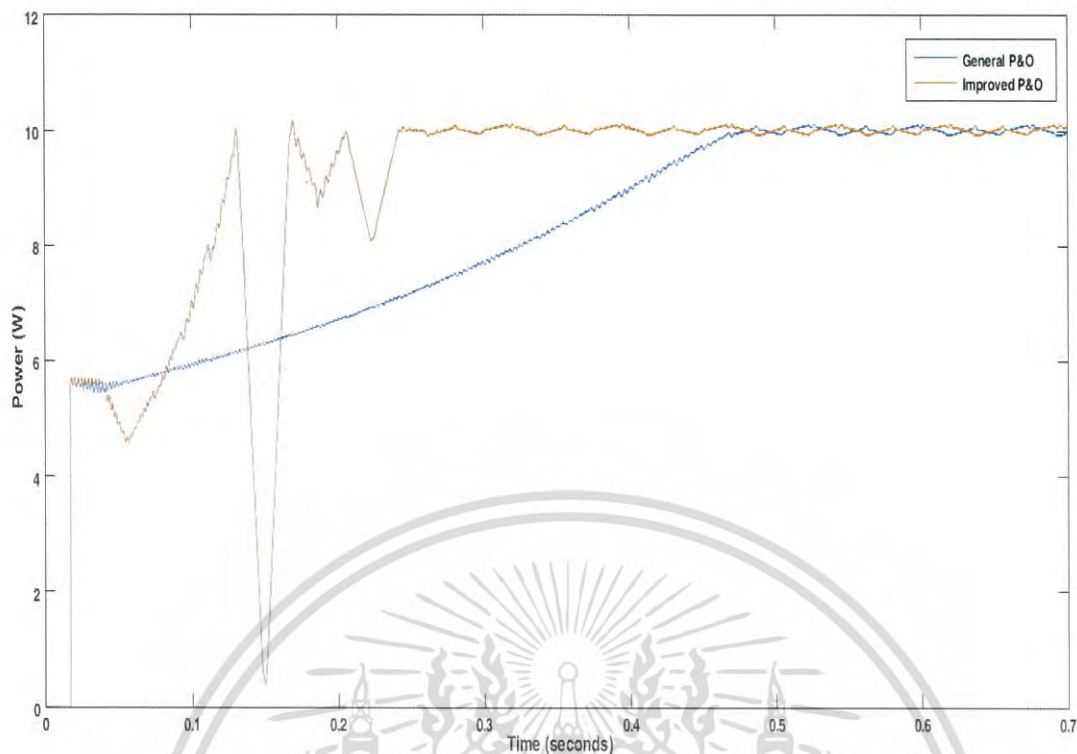


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบระหว่างวิธี P&O ทั่วไป (ด้านบน) กับอัลกอริทึมที่นำเสนอ (ด้านล่าง)

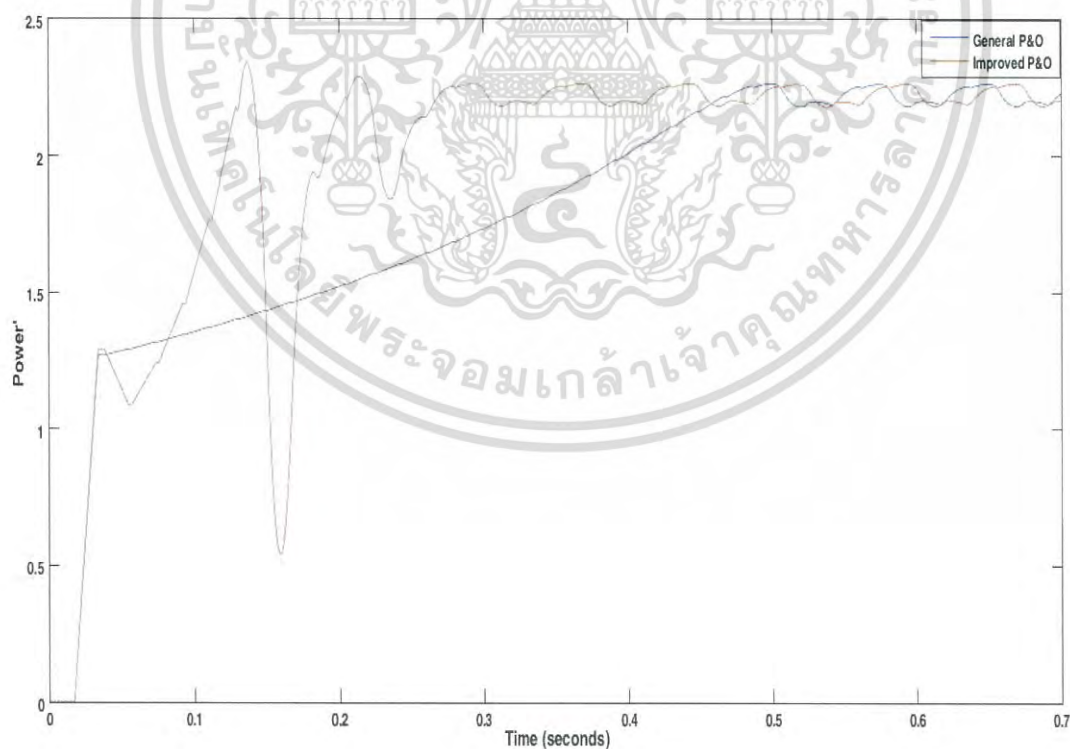
จากรูปภาพที่แสดงในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้โดยใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกันออกไปพบว่า เมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป ใช้จำนวนรอบในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมทั้งหมด 27 รอบ และเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการติดตามดังกล่าวเพียง 15 รอบ ทำให้อัลกอริทึมที่นำเสนอนั้นสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าและเป็นผลดีมากกว่าหากนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ในส่วนรูปภาพของกำลังและกำลังจำลองที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธี P&O ทั่วไปกับอัลกอริทึมที่นำเสนอแสดงดังในรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอแล้วค่ากำลังและค่ากำลังจำลองจะมีการลู่เข้าสู่จุดที่สูงที่สุดได้เร็วกว่าอัลกอริทึม P&O ทั่วไป ดังนั้นหากนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้สามารถลดเวลาในการติดตามและสามารถทำงานได้ดีขึ้นในการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธี P&O ทั่วไป

จากรูปภาพของกำลังและกำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 0.15 วินาทีนั้น ทั้งค่ากำลังและกำลังจำลองมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานในวงจรลดทอนระดับแรงดันตามอัลกอริทึมที่กำหนด ทำให้ค่าวัฏจักรงานดังกล่าวมีค่าน้อยมาก ทำให้มีการลดลงของปริมาณกระแสที่ไหลในวงจรอย่างรวดเร็วซึ่งอาจจะทำให้กระแสในวงจรไหลอย่างไม่ต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ค่าของกำลังและกำลังจำลองนั้นลดลงอย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตาม เมื่อถึงรอบการทำงานถัดไป ระบบจะสั่งการให้มีการเพิ่มค่าวัฏจักรงานเนื่องจากจุดการทำงานได้เลยจุดจ่ายกำลังสูงสุด ทำให้ค่ากำลังและกำลังจำลองกลับมาอยู่ในระดับสูงสุดได้



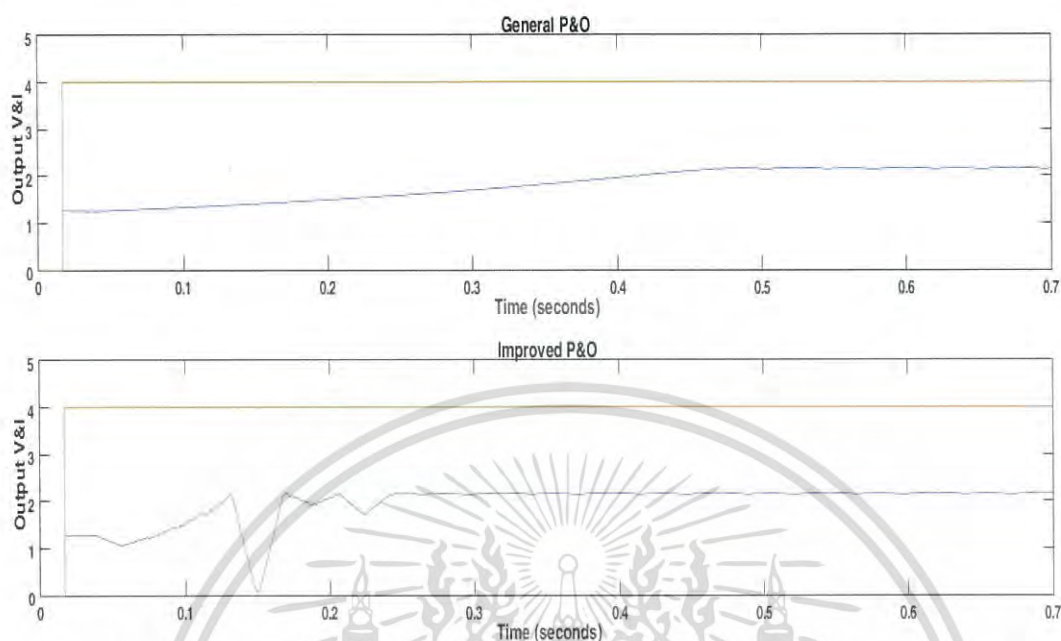
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบกำลังระหว่างวิธี P&O ทั่วไป (สีน้ำเงิน) กับอัลกอริทึมที่นำเสนอ (สีแดง)



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบกำลังจำลองระหว่างวิธี P&O ทั่วไป (สีน้ำเงิน) กับอัลกอริทึมที่นำเสนอ (สีแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เข้าสู่โหลดซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ทำการเปรียบเทียบ ถูกแสดงดังในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบเอาต์พุตของวงจรระหว่างวิธี P&O ทั่วไป (ด้านบน) กับ อัลกอริทึมที่นำเสนอ (ด้านล่าง)

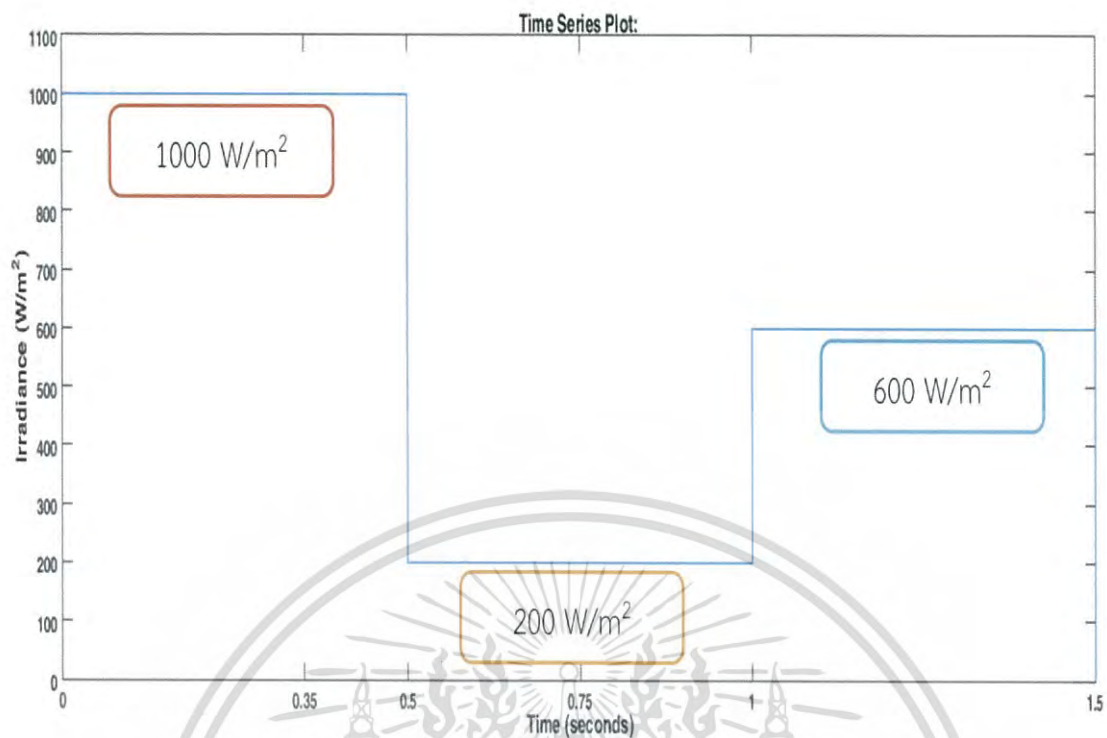
จากรูปแสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกนั้นมีค่าคงที่เนื่องจากคุณสมบัติของแบตเตอรี่ ทำให้เห็นว่าสมการที่ (3.5) นั้นสามารถนำมาใช้ในการทำงานได้ และเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอในการติดตามหาจุดการทำงาน กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่นั้นจะลู่เข้าสู่จุดสูงสุดได้รวดเร็วกว่าอัลกอริทึม P&O ทั่วไป ทำให้การประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่นั้นทำได้รวดเร็วกว่า ใช้เวลาน้อยกว่าในการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้เต็ม

4.5 การจำลองผลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยรอบของ PV Array

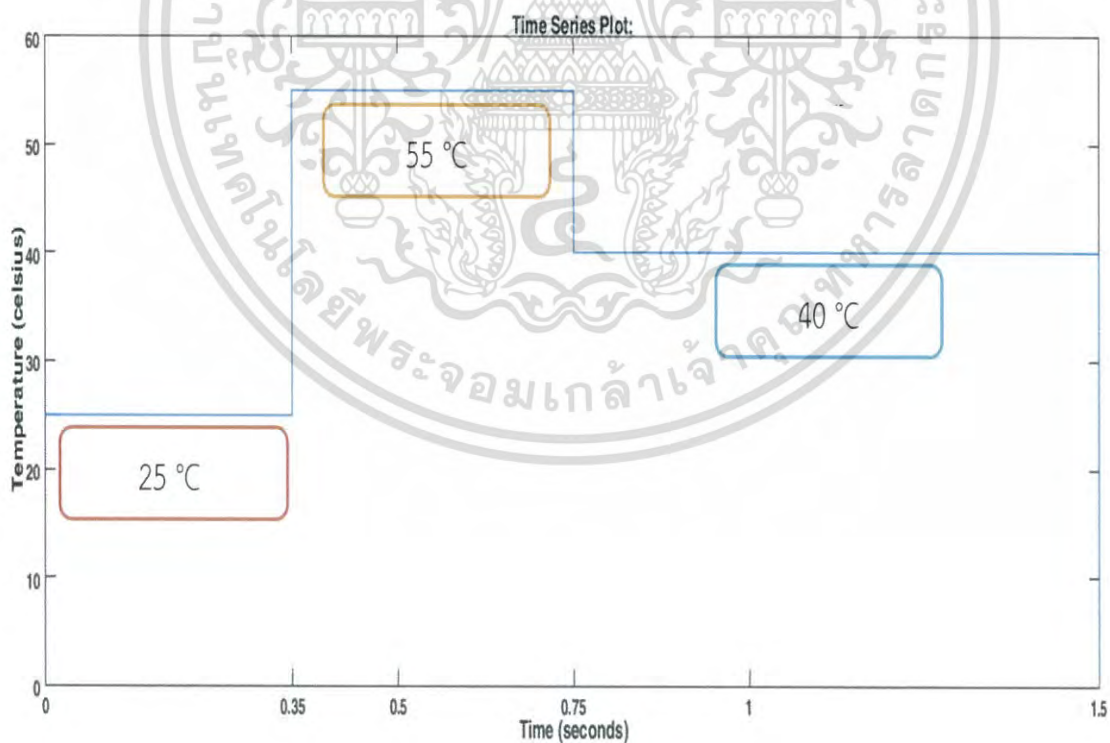
ในหัวข้อนี้ทำการจำลองผลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบที่เวลาแตกต่างกันออกไปซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13 ตามลำดับดังนี้

- ความเข้มแสงมีค่าเริ่มต้นที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร จากนั้นเปลี่ยนแปลงเป็น 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 0.5 วินาที และเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเป็น 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 1 วินาที
- อุณหภูมิโดยรอบนั้นมีค่าเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเปลี่ยนแปลงเป็น 55 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0.35 วินาที และเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเป็น 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0.75 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การกำหนดค่าความเข้มแสงที่เวลาต่างๆในการจำลองผล

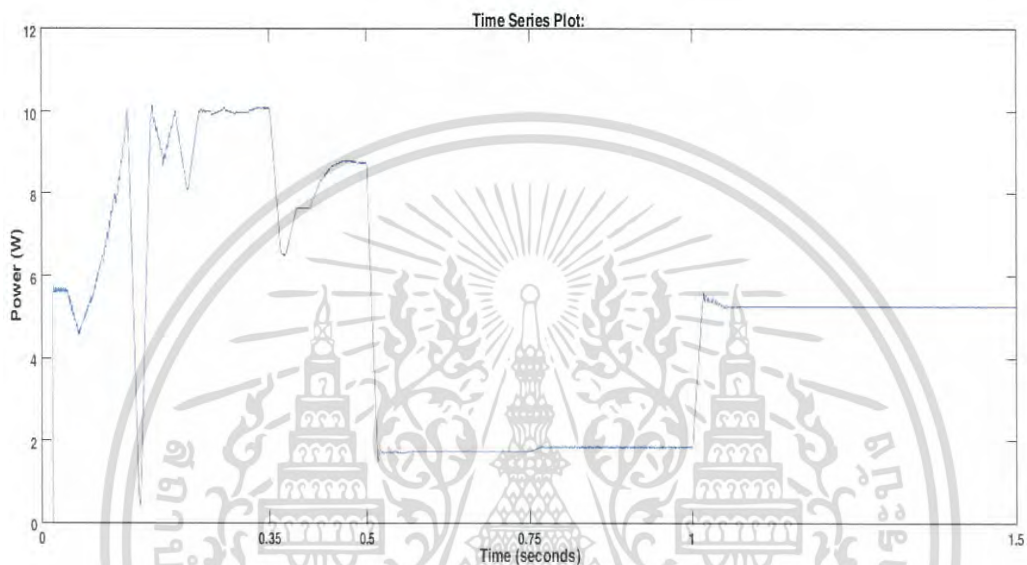


รูปที่ 4.13 การกำหนดค่าอุณหภูมิโดยรอบที่เวลาต่างๆในการจำลองผล

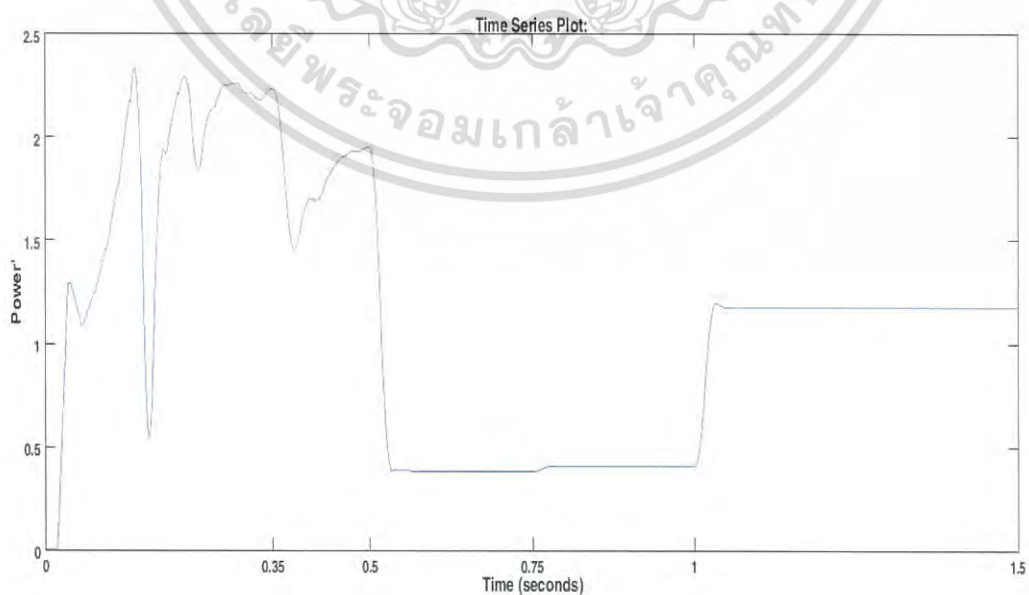
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบ่งออกเป็นหลายๆ ส่วนดังนี้

- กำลังเฉลี่ยขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงในรูปที่ 4.14)
- กำลังจำลองเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงในรูปที่ 4.15)
- แรงดันเฉลี่ยขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงในรูปที่ 4.16)
- กระแสเฉลี่ยขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงในรูปที่ 4.17)
- แรงดันเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยที่เข้าสู่โหลด (แสดงในรูปที่ 4.18)
- วัฏจักรงานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน (แสดงในรูปที่ 4.19)

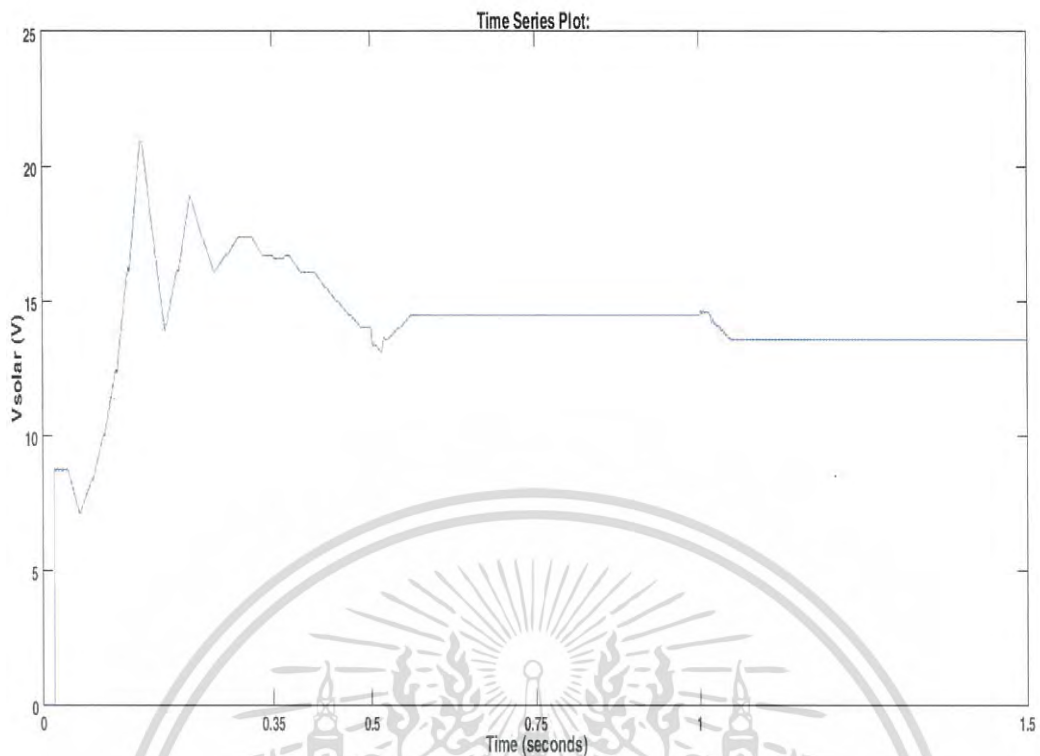


รูปที่ 4.14 กำลังเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์

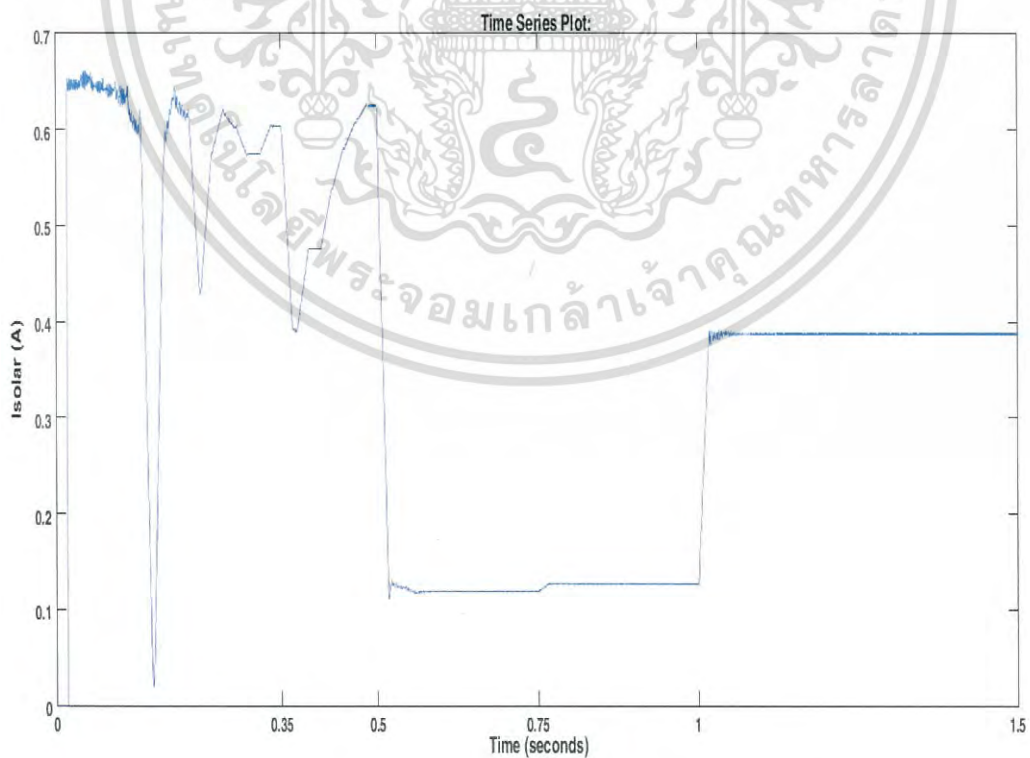


รูปที่ 4.15 กำลังจำลองเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

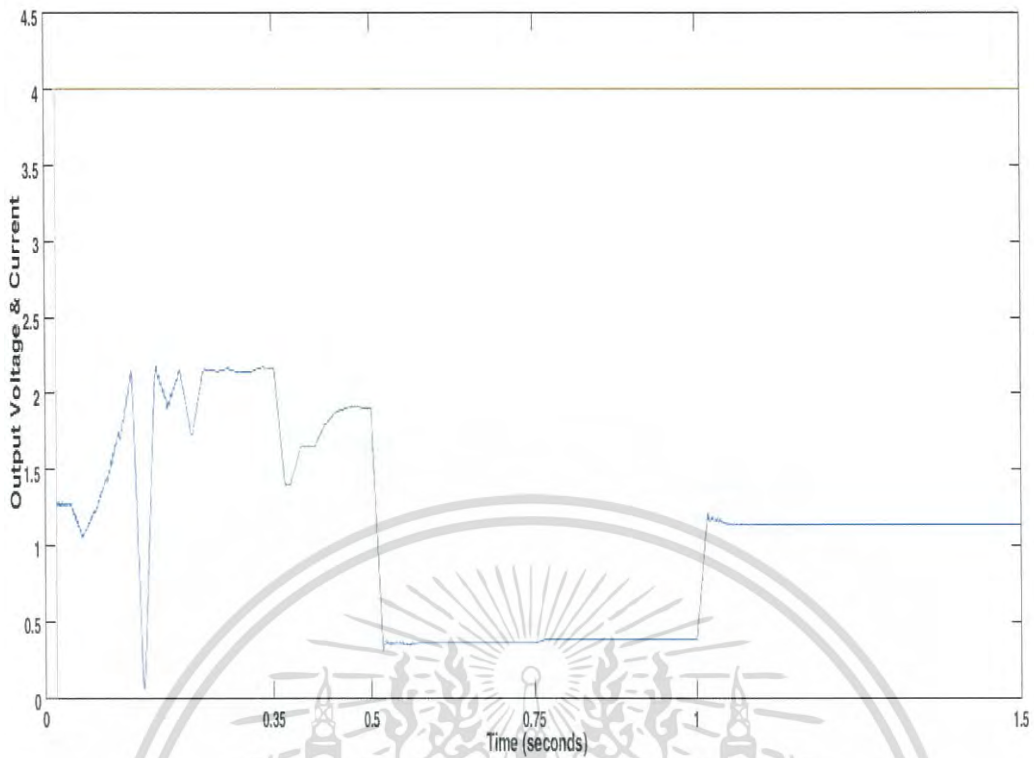


รูปที่ 4.16 แรงดันเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์

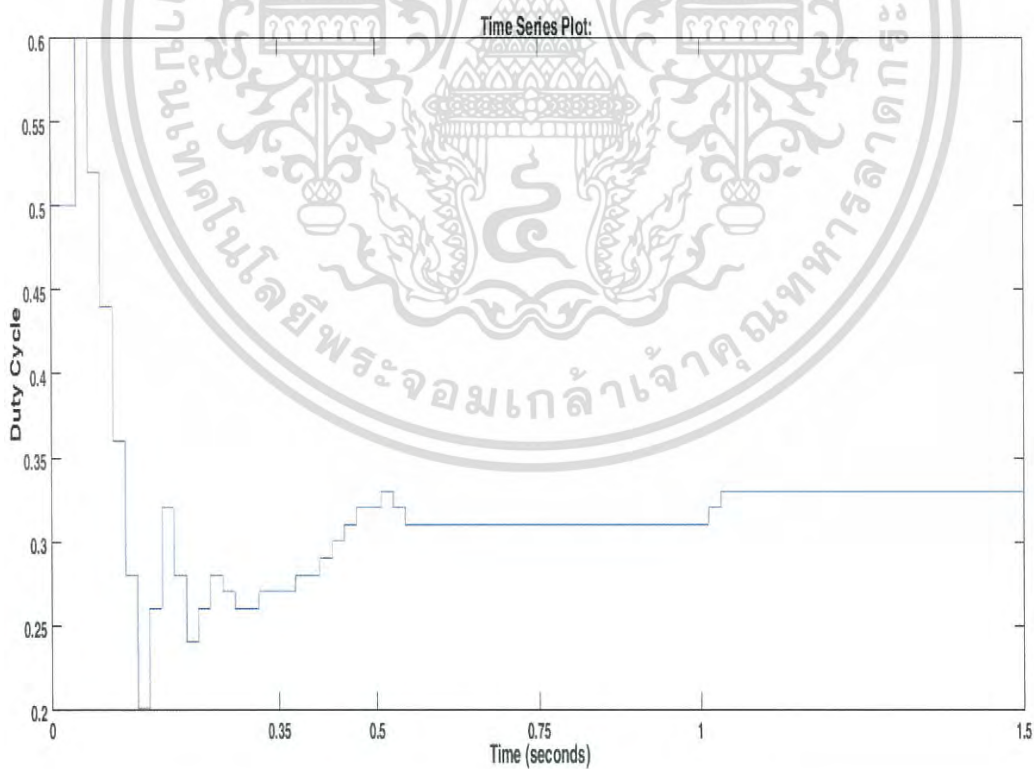


รูปที่ 4.17 กระแสเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



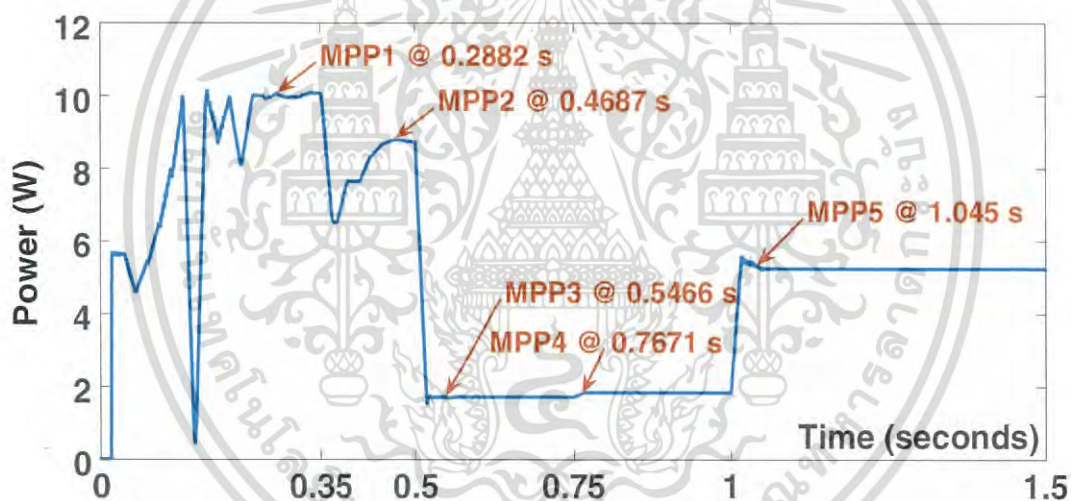
รูปที่ 4.18 แรงดันเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยที่เข้าสู่โหลด



รูปที่ 4.19 วัฏจักรงานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมให้แตกต่างกันออกไปในเวลาที่แตกต่างกัน แต่กราฟของกำลังเฉลี่ยขาออกของโซลาร์เซลล์ กับกราฟของกำลังจำลองเฉลี่ยที่ใช้ในอัลกอริทึมนั้นยังมีรูปร่างที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งทำให้สามารถนำค่ากำลังจำลองมาใช้แทนค่ากำลังจริงของโซลาร์เซลล์ในอัลกอริทึมที่กล่าวไว้ข้างต้นได้ และสามารถทำการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ในสภาวะแวดล้อมโดยรอบที่แตกต่างกันออกไป โดยในช่วงแรกก่อนมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (0 ถึง 0.35 วินาที) พบว่าค่ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเนื่องจากตัวควบคุมสั่งการให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานเพื่อหาจุดการทำงานที่เหมาะสม และเมื่อพบจุดการทำงานดังกล่าวแล้วจะสั่งการให้หยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ทำให้ค่ากำลังนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ ณ เวลา 0.2882 วินาที จากนั้นเมื่อเข้าสู่ช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (0.35 ถึง 0.5 วินาที) ค่ากำลังจะลดลงเนื่องจากมีการเพิ่มอุณหภูมิโดยรอบ ทำให้ตัวควบคุมสั่งการให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานเพื่อหาจุดการทำงานที่เหมาะสม จุดใหม่และเมื่อพบจุดการทำงานดังกล่าวแล้วจะสั่งการให้หยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ทำให้ค่ากำลังนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ ณ เวลา 0.4687 วินาที และระบบจะทำงานในลักษณะเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยรอบที่เวลา 0.75 วินาที และ 1 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 จุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดในแต่ละสภาวะแวดล้อม

จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าเมื่อตัวควบคุมสั่งการให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานไปในแต่ละรอบการทำงานทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขาออกและกระแสเฉลี่ยขาออกของแผงโซลาร์เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงออกไปด้วยและจะมีค่าคงที่เมื่อตัวควบคุมสั่งการให้มีการหยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวงจรดังกล่าวกำลังทำการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมจนกว่าจะได้จุดที่ได้กำลังงานสูงสุด

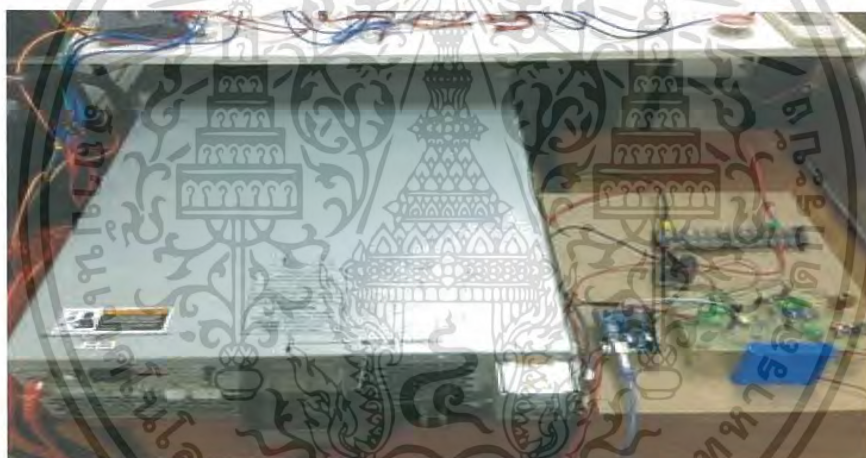
จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรลดทอนระดับแรงดันนั้นมีค่าคงที่เนื่องจากโพลต์ในวงจรเป็นแบตเตอรี่ซึ่งมีคุณสมบัติคือแรงดันค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ทำให้เห็นได้ว่าถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมให้แตกต่างกันออกไป ค่ากำลังจำลองในสมการที่ (3.5) ยังสามารถใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ ในส่วนของกระแสไฟฟ้าขาออกของวงจรลดทอนระดับแรงดันนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงออกไปเมื่อตัวควบคุมมีการสั่งการให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานและจะมีค่าคงที่เมื่อตัวควบคุมสั่งการให้หยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานนั้นก็คือเมื่อระบบทำงานมีจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุด

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานในช่วงแรกมีช่วงมากและจะลดลงเรื่อยๆจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเนื่องจากผลต่างของกำลังจำลองเฉลี่ยน้อยกว่าค่าคงที่ k ที่กำหนดไว้ และเมื่อสภาวะแวดล้อมโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปพบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานไม่มากนักเทียบกับจุดการทำงานที่เหมาะสมเดิม

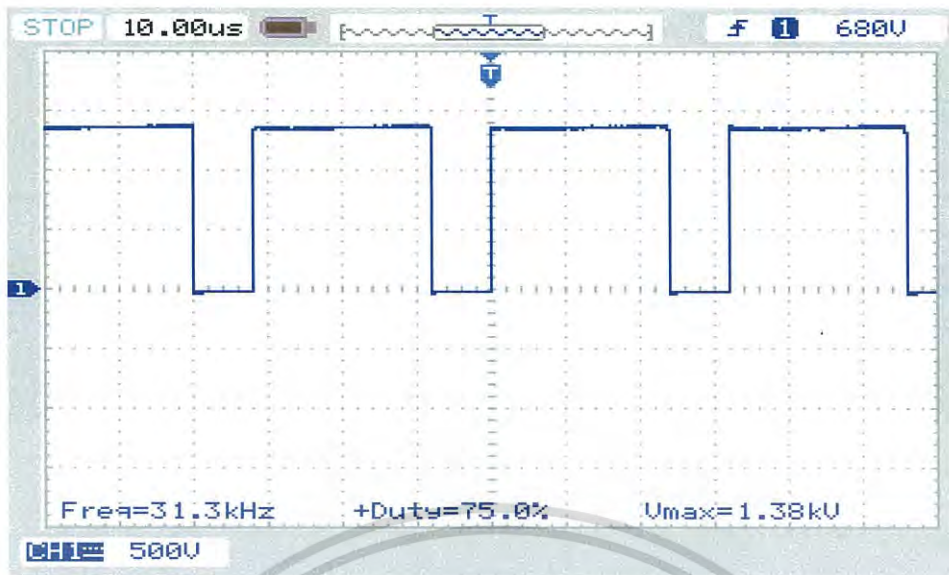
4.6 การทดสอบจากวงจรจริงโดยใช้เครื่องจำลองโซลาร์เซลล์

ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบผลวงจรลดทอนระดับแรงดันที่สร้างขึ้นเพื่อทำการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่องจำลองโซลาร์เซลล์ซึ่งสามารถจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สภาพอากาศ ค่าความเข้มแสง และอุณหภูมิโดยมีไฟฟ้ากระแสตรงออกมาเหมือนสภาวะจริง โดยรับไฟ 3 เฟส เพื่อเลี้ยงให้เครื่องสามารถทำงานได้ ต่อเข้ากับวงจรลดทอนระดับแรงดันและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมค่า Duty Cycle ในการหาจุดการทำงานที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เครื่องจำลองโซลาร์เซลล์และวงจรที่ใช้ในการทดสอบ

ในส่วนแรกทำการทดสอบคือการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์และสัญญาณชับเกตโดยทำการจ่ายไฟเลี้ยงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และจ่ายไฟเลี้ยงแรงดันกระแสตรง 15 โวลต์ให้กับวงจรชับเกต ซึ่งใช้ TLP350 จากนั้นทำการตรวจวัดสัญญาณ PWM ที่ส่งออกมาโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และผ่าน TLP350 เพื่อให้ได้สัญญาณที่นำไปใช้ขับมอสเฟตในวงจรลดทอนระดับแรงดัน โดยใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.22

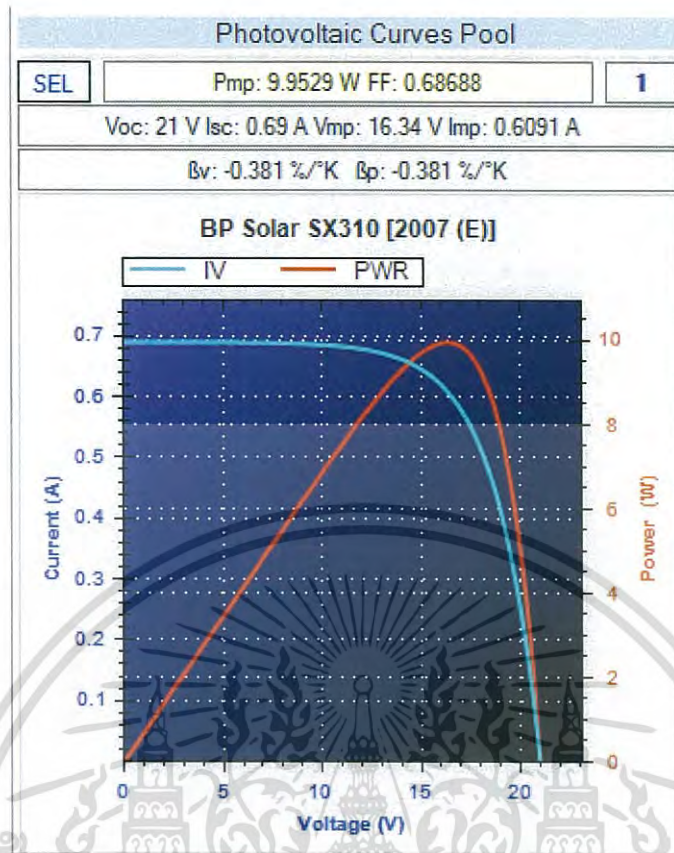


รูปที่ 4.22 สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่นำไปใช้ขับมอเตอร์ในวงจรลดทอนระดับแรงดัน

หลังจากทำการทดสอบสัญญาณที่ใช้ในการขับมอเตอร์แล้วพบว่าสัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์และผ่าน TLP350 นั้นสามารถนำไปใช้ได้จริง จากนั้นทำการต่อวงจรลดทอนระดับแรงดันเข้ากับเครื่องจำลองโซลาร์เซลล์และต่อแบตเตอรี่เป็นโหลดให้กับวงจรดังรูปที่ 4.21 โดยเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น BP Solar SX310 (2007(E)) ซึ่งมีคุณสมบัติข้อจำกัดต่างๆดังนี้

- ขนาดกำลังสูงสุด 9.9529 วัตต์
- แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร 21.00 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 0.69 แอมแปร์
- แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 16.80 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 0.59 แอมแปร์

ค่าตัวเลขต่างๆเหล่านี้คิดจากสภาวะมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



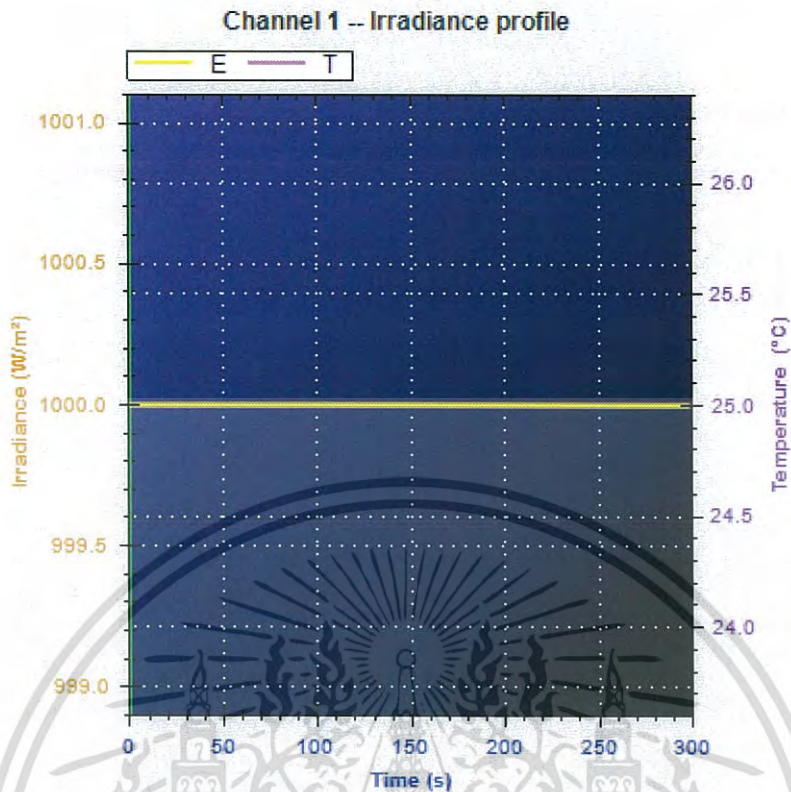
รูปที่ 4.23 กราฟคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นถึงกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเส้นสีฟ้าแสดงถึง I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเส้นสีแดงแสดงถึง P-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

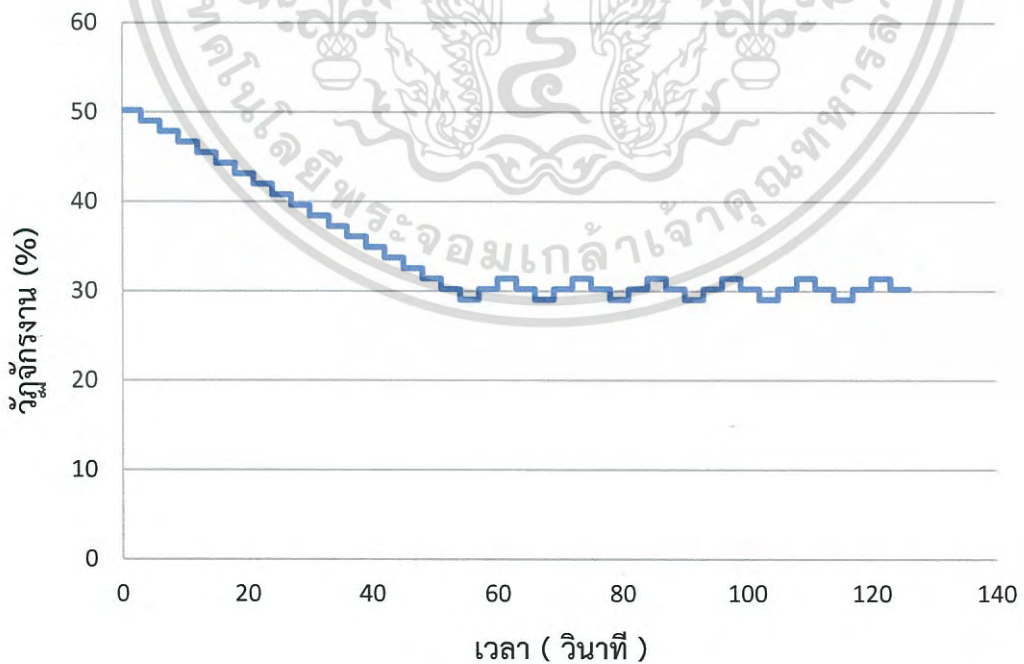
หลังจากกำหนดคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขสถานะแวดล้อม ซึ่งเงื่อนไขแรกในการทดสอบนั้นเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึม P&O (โดยใช้ค่ากำลังจำลองในการทำงาน ซึ่งไม่ได้ตรวจวัดค่าแรงดันมาเพื่อคำนวณค่ากำลังที่แท้จริง) ทัวไปกับอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยกำหนดค่าความเข้มแสงคงที่ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 4.24 ซึ่งได้ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- ค่าวัฏจักรงานเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทัวไป (แสดงในรูปที่ 4.25)
- ค่าวัฏจักรงานเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ (แสดงในรูปที่ 4.26)
- ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทัวไป (แสดงในรูปที่ 4.27)
- ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ (แสดงในรูปที่ 4.28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

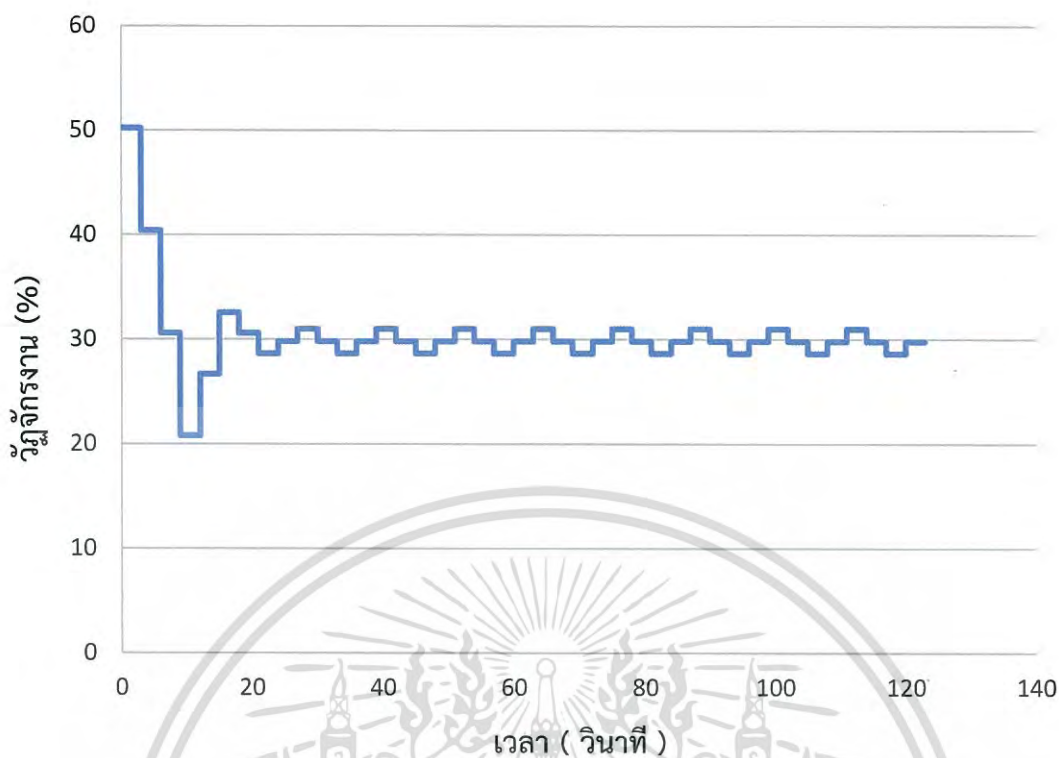


รูปที่ 4.24 ความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบแบบคงที่ในการทดสอบ

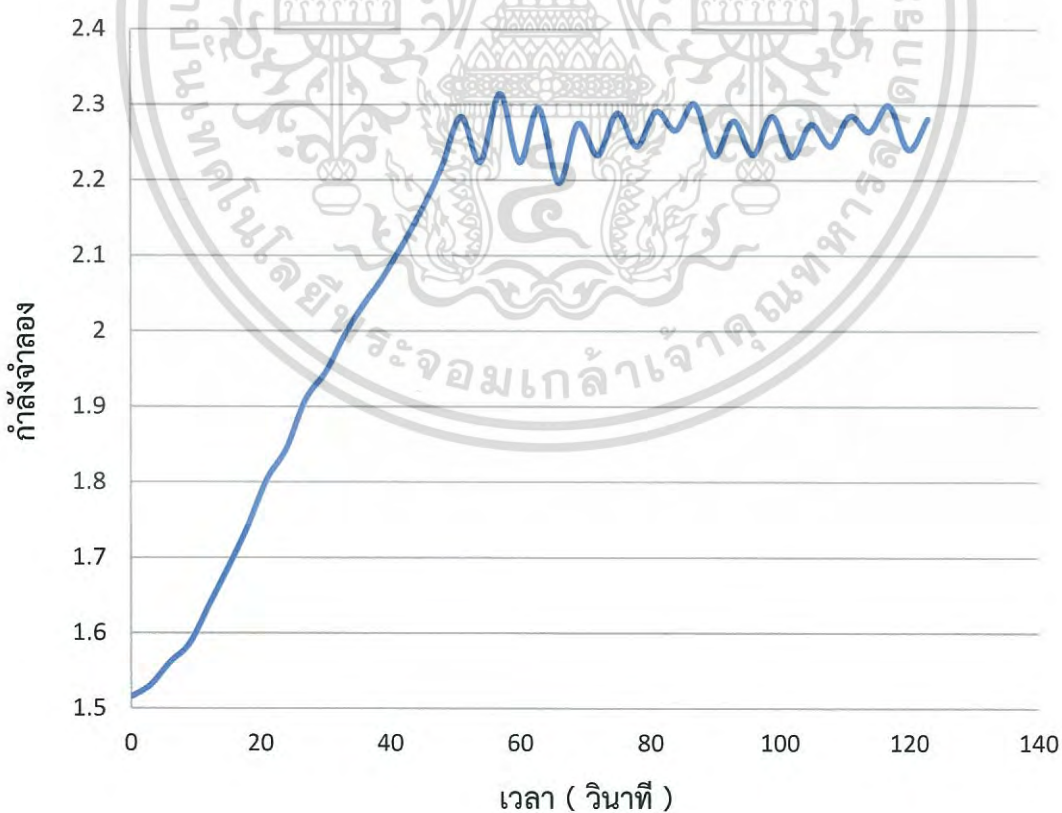


รูปที่ 4.25 ค่าวัฏจักรงานเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

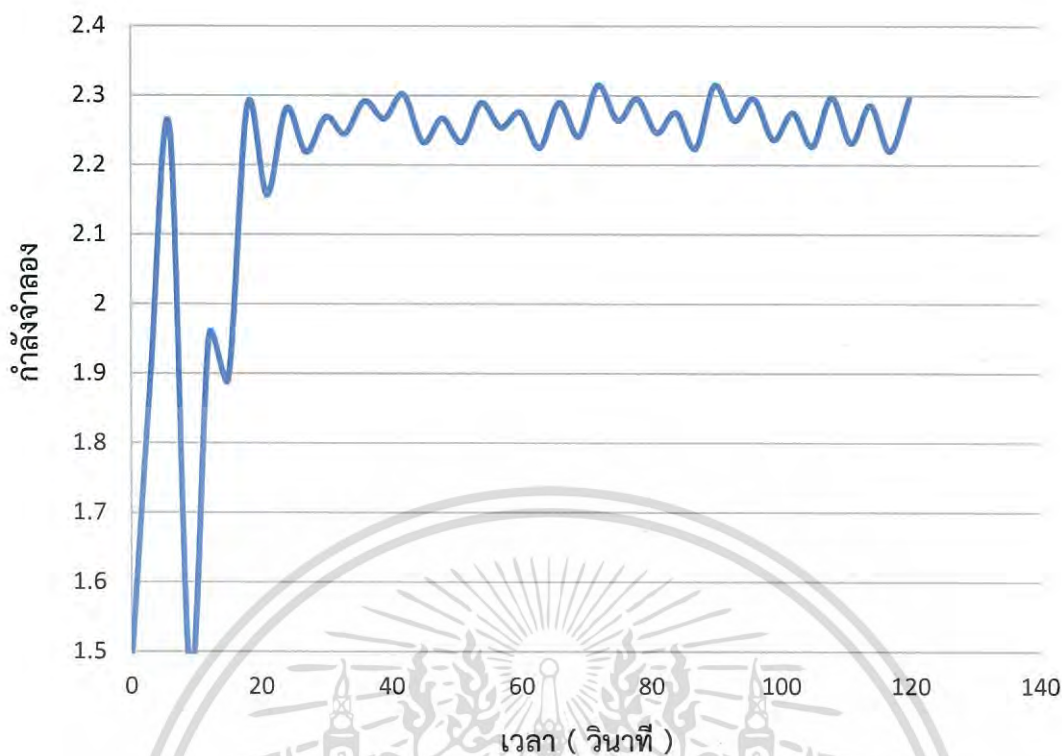


รูปที่ 4.26 ค่าวิฤกษ์กรงานเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ



รูปที่ 4.27 ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ

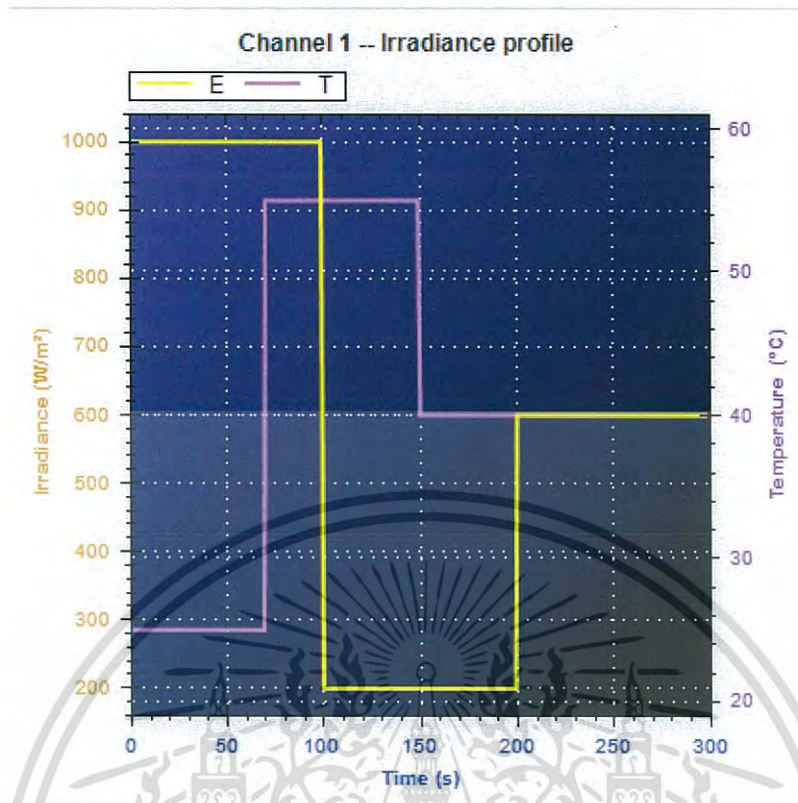
จากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป ต้องใช้จำนวนรอบในการทำงานทั้งหมด 19 รอบ ถึงจะเข้าสู่จุดการทำงานที่ได้กำลังสูงสุด และจากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอจะใช้จำนวนรอบในการทำงานทั้งหมด 10 รอบ ถึงจะเข้าสู่จุดการทำงานที่ได้กำลังสูงสุด ดังนั้นอัลกอริทึมที่นำเสนอนั้นสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดได้รวดเร็วกว่าวิธี P&O ทั่วไปจริง

จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไปนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงแรกและไปแกว่งเข้าใกล้ค่าสูงสุดเมื่อเวลา 57 วินาที (19 รอบการทำงาน) และจากรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังจำลองเมื่อใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอนั้นจะมีค่าทั้งเพิ่มและลดจนกระทั่งเวลา 30 วินาที (10 รอบการทำงาน) จะมีค่าแกว่งเข้าใกล้ค่าสูงสุด

เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมลำดับต่อมาเป็นการทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เวลาต่างๆซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.29 ดังนี้

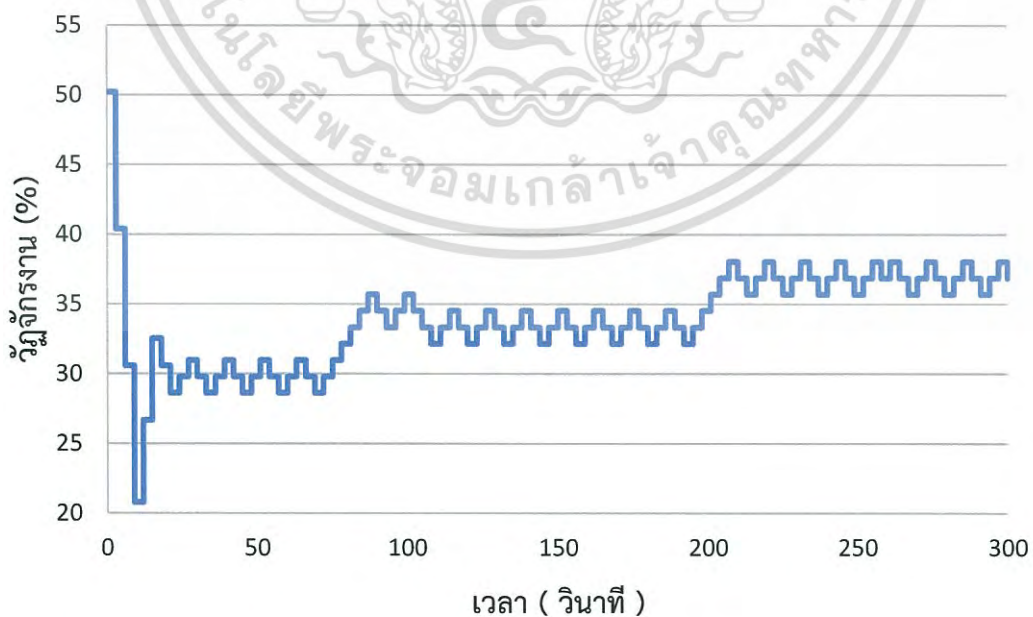
- ความเข้มแสงมีค่าเริ่มต้นที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร จากนั้นเปลี่ยนแปลงเป็น 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 100 วินาที และเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเป็น 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 200 วินาที
- อุณหภูมิโดยรอบนั้นมีค่าเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเปลี่ยนแปลงเป็น 55 องศาเซลเซียส ที่เวลา 70 วินาที และเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเป็น 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 150 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

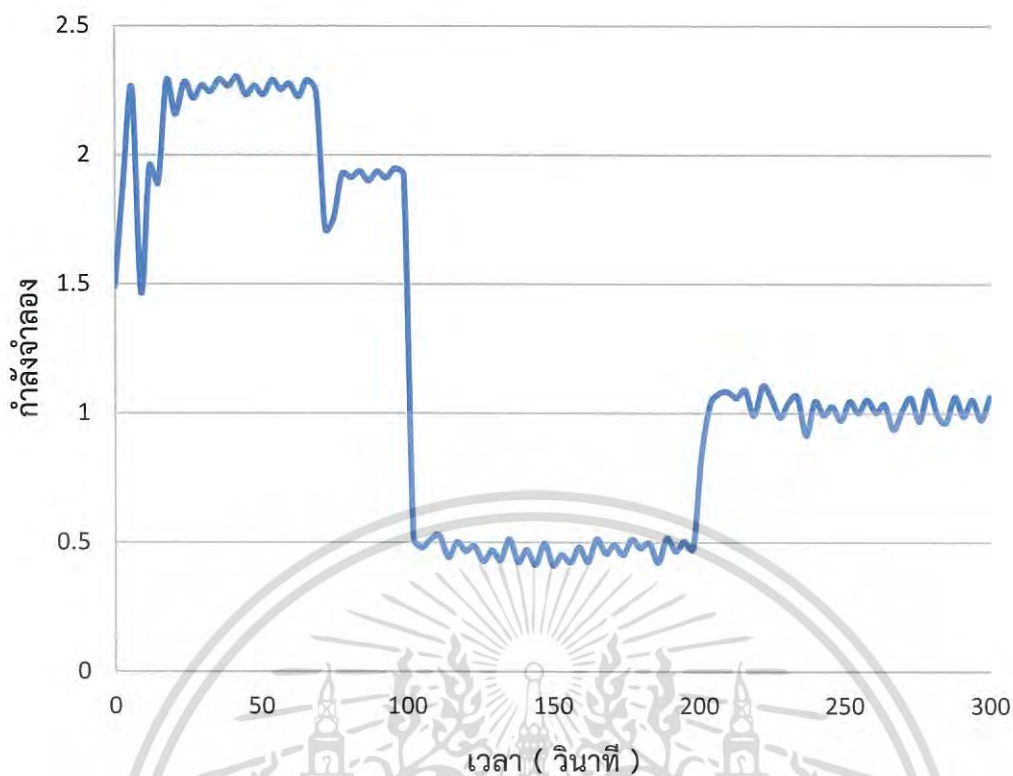


รูปที่ 4.29 ความเข้มแสงและอุณหภูมิโดยรอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในการทดสอบ ผลการทดสอบในเงื่อนไขนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- ค่าวัฏจักรงานในเวลาต่างๆ (แสดงในรูปที่ 4.30)
- ค่ากำลังจำลองในเวลาต่างๆ (แสดงในรูปที่ 4.31)



รูปที่ 4.30 วัฏจักรงานในเวลาต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในการทดสอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยในเวลาต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในการทดสอบ

จากรูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าค่าวัฏจักรงานนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการจำลองในรูปที่ 4.19 เนื่องจากในการทดสอบจริงนั้นไม่ได้ทำการกำหนดค่า k ที่ใช้ในการหยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ทำให้ค่าวัฏจักรงานมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงทีละ 1 ชั้นเมื่อจุดการทำงานนั้นเข้าสู่จุดการทำงานที่เหมาะสม และจากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังจำลองนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการจำลองในรูปที่ 4.15 จึงสามารถสรุปได้ว่าวงจรที่ใช้ทดสอบจริงมีผลการทำงานที่ใกล้เคียงกับการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink และสามารถใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดได้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการที่ได้ทำการศึกษารวมไปถึงการออกแบบสร้างและทำการทดสอบจริงของวงจรลดทอนระดับแรงดันโดยมีตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการควบคุมดังกล่าวเป็นการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงดันด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป พบว่าการนำค่ากำลังจำลองมาใช้แทนค่ากำลังจริงสามารถใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ ทำให้สามารถลดความซับซ้อนของวงจรและลดค่าใช้จ่ายด้านตัวตรวจวัดแรงดันได้ และอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถทำการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้รวดเร็วกว่าวิธี P&O ทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยรอบได้แก่ ความเข้มแสง และอุณหภูมิ วงจรที่สร้างขึ้นยังสามารถติดตามหาจุดการทำงานดังกล่าวได้โดยตัวควบคุมสั่งการให้เปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานของวงจรลดทอนระดับแรงดันอยู่ตลอดเวลาตามอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งวงจรดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมโดยรอบซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 80 – 90 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอเหมาะสมกับระบบที่จุดการทำงานที่เหมาะสมนั้นมีค่าวัฏจักรงานที่อยู่ห่างกันออกไปในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันและระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานน้อยๆในแต่ละรอบการทำงาน หากระบบนั้นมีค่าวัฏจักรงานจุดการทำงานที่เหมาะสมใกล้เคียงกันในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันหรือระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานในช่วงกว้างๆ จะทำให้ในบางครั้งอัลกอริทึมที่นำเสนออาจจะใช้เวลาในการติดตามหาจุดการทำงานใกล้เคียงกับวิธี P&O ทั่วไป
2. วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่ใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งจะสามารถลดความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างมาก
3. หากใช้ตัวควบคุมที่ทำงานได้อย่างรวดเร็วจะสามารถลดเวลาในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ลงไปอีก เนื่องจากในชิ้นงานจริงที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในแต่ละรอบการทำงานประมาณ 3 วินาที เนื่องมาจากการเขียนโปรแกรมและความรวดเร็วของ Arduino Uno R3 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม
4. การนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ควรกำหนดค่าวัฏจักรงานขั้นต่ำ เนื่องจากถ้าหากค่าวัฏจักรงานของวงจรลดทอนระดับแรงดันมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้กำลังงานและกำลังจำลองลดลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cuauhtemoc Rodriguez, and Gehan A. J Amaratunga. "Analytic Solution to the Photovoltaic Maximum Power Point Problem." *IEEE Transactions on Circuit and Systems*. Vol. 54. No. 9. 2007. pp : 2054 - 2060.
- [2] J. Nelson. *The Physics of Solar Cells*. London, U.K. : Imperial College Press. 2003.
- [3] Jiyong Li, and Honghua Wang. "Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generarion Based on the Fuzzy Control Method." *Sustainable Power Generation and Supply*. SUPERGEN '09. 2009. pp: 1-6.
- [4] สีนชาย แซ่ตั้ง. " การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกิต โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2546.
- [5] Hua, C., Lin, J. and Shen, C.. "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 45. 1998. pp : 99-107.
- [6] Langridge, D., Lawrance, W. and Wichert, B.. "High Efficiency Solar Water Pumping System Using BDC Motor." *12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. 1994. pp : 227-230.
- [7] Hussein, K.H. and Muta, I.. "Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions." *IEE Proceedings on Generation, Transmission, and Distribution*. Vol. 142. No. 1. 1995. pp : 59-64.
- [8] นงลักษณ์ มีทอง. วัสดุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน. [Online].Available : <http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/18892-lithium-ion-battery.2553>.
- [9] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. 2553.
- [10] รุ่งทิวา ปัญญาทิพย์. จำหน่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์. [Online].Available : <http://www.elec2you.com/category.2560>.
- [11] J. Surya Kumari, Dr. Ch. Sai Babu, and A. Kamalakar Babu. "Design and Analysis of P&O and IP&O MPPT Techniques for Photovoltaic System." *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. Vol.2. Issue.4. 2012. pp : 2174-2180.
- [12] Ahmed M. Atallah, Almoataz Y. Abdelaziz, and Raihan S. Jumaah. "Imprementation of Perturb and Observe MPPT of PV System with Direct Control Method Using Buck and Buck-Boost Converters." *An international Journal(EEIEJ)*. Vol. 1. No. 1. 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int sensor=A0;
int sensorvalue=0;
float current=0;
float currentavg;
float sumcurrent;
int Duty=128;
int divide;
int count;
float currentnew;
float currentold;
int sensor2=A1;
int sensorvalue2=0;
float current2=0;
float sumcurrent2;
float currentavg2;
int dutyinc;
int a;
float powereq;
int x=25;
int first=1;
float dP;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pwmSetup();
  int Duty = 128;
  OCR2A = Duty;
  int divide =1;
  currentavg=0;
  sumcurrent=0;
  currentavg2=0;
  sumcurrent2=0;
  int count =0;
  currentold=0;
  int x=25;
  int first=1;
}
void loop(){
  if (count>30)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
powereq=currentavg/Duty*255;
divide = 1;
count = 0;
sumcurrent=0;
currentold = currentnew;
currentnew = powereq;
Serial.print(OCR2A);
Serial.print("\t ");
Serial.print(x);
Serial.print("\t ");
Serial.print(powereq,4);
Serial.print("\t ");
Serial.print(currentavg,4);
Serial.print("\t ");
Serial.print(currentnew,4);
Serial.print("\t ");
Serial.print(currentold,4);
dP=currentnew-currentold;
Serial.print("\t ");
Serial.println(dP,4);
delay(100);
dutychange();
if (a=1)
{
dutyinc=1;
}
if (a=2)
{
dutyinc=0;
}
}
currentsensor();
delay(100);
count = count+1;
divide = divide+1;
}

```

```
void pwmSetup(){//just run once at setup
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(11, OUTPUT); //OCR2A
TCCR2A = _BV(COM2A1) | _BV(COM2B1) | _BV(WGM20);
TCCR2B = _BV(CS20);
OCR2A = 0;
OCR2B = 0;
}
void dutychange(){
    if (dutyinc==1)
    {
        if (dP>0)
        {
            Duty = Duty + x;
            a=1;
        }
        if (dP<0)
        {
            x=x-10;
            if (x<5)
            {
                x=3;
            }
            Duty = Duty - x;
            a=2;
        }
    }
    if (dutyinc==0)
    {
        if (dP>0)
        {
            Duty = Duty - x;
            a=2;
        }
        if (dP<0)
        {
            x=x-10;
            if (x<5)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x=3;
}
Duty = Duty + x;
a=1;
}
}
OCR2A = Duty;
}
void currentsensor(){
float sensorvalue = analogRead(sensor);
current = (((sensorvalue-512)*5)/1023/0.185);
sumcurrent= sumcurrent+current;
currentavg = sumcurrent/divide;
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int sensor=A0;
int sensorvalue=0;
float current=0;
float currentavg;
float sumcurrent;
int Duty=128;
int divide;
int count;
float currentnew;
float currentold;
int sensor2=A1;
int sensorvalue2=0;
float current2=0;
float sumcurrent2;
float currentavg2;
int dutyinc;
int a;
float powereq;
int x=3;
float dP;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pwmSetup();
  int Duty = 128;
  OCR2A = Duty;
  int divide =1;
  currentavg=0;
  sumcurrent=0;
  currentavg2=0;
  sumcurrent2=0;
  int count =0;
  currentold=0;
  int x=3;
}
void loop(){
  if (count>30)
  {
    powereq=currentavg/Duty/255;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

divide = 1;
count = 0;
sumcurrent=0;
sumcurrent2=0;
currentold = currentnew;
currentnew = powereq;
Serial.print(OCR2A);
Serial.print("\t ");
Serial.print(x);
Serial.print("\t ");
Serial.print(powereq,4);
Serial.print("\t ");
Serial.print(currentavg,4);
dP=currentnew-currentold;
Serial.print("\t ");
Serial.println(dP,4);
delay(100);
dutychange();
if (a=1)
{
  dutyinc=1;
}
if (a=2)
{
  dutyinc=0;
}
}
currentsensor();
delay(100);
count = count+1;
divide = divide+1;
}

void pwmSetup(){//just run once at setup
  pinMode(11, OUTPUT); //OCR2A
  TCCR2A = _BV(COM2A1) | _BV(COM2B1) | _BV(WGM20);
  TCCR2B = _BV(CS20);
  OCR2A = 0;
  OCR2B = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void dutychange(){

  if (dutyinc==1)
  {
    if (dP>0)
    {
      Duty = Duty + x;
      a=1;
    }
    if (dP<0)
    {
      Duty = Duty - x;
      a=2;
    }
  }
  if (dutyinc==0)
  {
    if (dP>0)
    {
      Duty = Duty - x;
      a=2;
    }
    if (dP<0)
    {
      Duty = Duty + x;
      a=1;
    }
  }
  OCR2A = Duty;
}

void currentsensor(){
  float sensorvalue = analogRead(sensor);
  current = (((sensorvalue-510)*5)/1023/0.185);
  sumcurrent= sumcurrent+current;
  currentavg = sumcurrent/divide;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator)

เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถจำลองพฤติกรรมไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถจำลองลักษณะไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ออกมาเพื่อใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังสามารถจำลองสภาพภูมิอากาศในขณะการทดลองได้อีกด้วย เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีฟังก์ชันการทำงานแบบผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) เพื่อรองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (inverter) อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในรูปแบบระบบอิสระ (Off grid) และระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (On grid)



รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ETS600X8E-PVF

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ETS6008E-PVF

| ข้อมูลทั่วไป | ETS6008E-PVF |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| แรงดันไฟฟ้าขาออก | 600 VDC |
| แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุด | 660 VDC |
| กระแสไฟฟ้าขาออก | 8 |
| กำลังไฟฟ้าสูงสุด | 5800 W |
| ความเร็วในการดิ่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด | 200 HZ |
| ความสามารถในการประจุไฟฟ้าขาออก | < 40uF |
| การเชื่อมต่อภายนอก ขาเข้า/ขาออก | Ethernet |
| แรงดันไฟฟ้าขาเข้า | 396-528 VAC |
| ความถี่ไฟฟ้าขาเข้า | 47-63 Hz |
| ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า | > 0.9 |
| อุณหภูมิทำงาน | 0-50 degs C |
| ขนาดอุปกรณ์ | 64.7 x 13.3 x 48.3 cm 40 lbs |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






The 9th Conference of Electrical Engineering Network
of Rajamangala University of Technology

งานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

EENET 2017

"การพัฒนานวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมและการเกษตรอย่างยั่งยืน"
Sustainable Development of Innovation for Industry and Agriculture

2-4 May 2017, K.P. Grand Hotel Chanthaburi

Conference Topics

- Electrical Power (PW)
- Power Electronics (PE)
- Energy and Energy Saving (ES)
- Control Systems and Instrumentation (CT)
- Computer and Information Technology (CP)
- Electric Communication (CM)
- Electronics (EL)
- Digital Signal Processing (DS)
- Innovation and Invention (IN)
- General Electrical Engineering (GN)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยปราศจาก ตัวตรวจวัดแรงดันด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทัวไปสำหรับประจุแบตเตอรี่สำรอง

Maximum Power Point Tracking of Solar Cell using Improved P&O without Voltage Sensor for Power Bank Charging

พีรพันธุ์ บางเพชร¹, กพ อัมพรเจริญสุข² และ อนุวัฒน์ อจวนิชสิทธิ์³

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8330 E-mail: peeraphun_bang@outlook.co.th¹, kephop@kmitl.ac.th², jkjanuwat@gmail.com³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคาดการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 10 วัตต์ สำหรับชาร์จแบตเตอรี่สำรองประเภทลิเทียมไอออน เทคนิคที่นำเสนอไม่จำเป็นต้องใช้ตัวตรวจวัดแรงดันในระบบ ใช้เพียงตัวตรวจวัดกระแสตัวเดียว อัลกอริทึมซึ่งพัฒนาเพิ่มจากเทคนิค Perturb and Observe ทัวไปนี้ สามารถลดจำนวนรอบในการติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมเวลาที่ใช้จึงสั้นลง โดยตัวควบคุมนั้นจะกั้นมิตัวจุกังของวงจรถดถอยระดับแรงดันที่ต่อเชื่อมระหว่างโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่สำรอง ผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB Simulink พบว่าระบบสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่เหมาะสมได้ในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลายของความเร็วแสง อุณหภูมิ และ แรงดันของแบตเตอรี่ พร้อมทั้งสามารถลดจำนวนรอบในการติดตามลงได้ วัฏจักรงานที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 0.4

คำสำคัญ: การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุด, โซลาร์เซลล์, วิธี P&O, ปราศจากตัวตรวจวัดแรงดัน, วงจรถดถอยระดับแรงดัน

Abstract

This paper presents a study about the maximum power point tracking of 10 watt solar panel for charging a power bank without voltage sensor. Only one current sensor can track the maximum power point by using algorithm developed from the general Perturb and Observe (P&O) technique. This algorithm can reduce the number of iterations for the tracking. In addition to adjusting duty cycle, the controller is used for driving MOSFET of buck converter. The simulation results from MATLAB Simulink showed that only one current sensor can track the maximum power point on different environment conditions in terms of irradiance, ambient temperature and

battery voltage. Furthermore, The developed algorithm can track the maximum power point faster than the general P&O algorithm. The range of duty cycle of buck converter for the maximum power point is between 0.2 – 0.4

Keywords: Maximum Power Point Tracking, Solar Cell, P&O Method, Voltage Sensorless, Buck Converter

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้แบตเตอรี่สำรองอย่างแพร่หลาย แบตเตอรี่สำรองที่มีการชาร์จด้วยไฟฟ้ายังมีข้อจำกัดอยู่ คือ มีความจุจำกัด เมื่อใช้งานจนแบตเตอรี่หมดแล้วนั้นต้องเอาไปชาร์จกับไฟบ้าน หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การชาร์จด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้เวลานาน ทางผู้วิจัยจึงคิดว่าหากสามารถทำให้การชาร์จดังกล่าวใช้เวลาที่น้อยลงได้ก็จะเกิดประโยชน์ขึ้นอย่างมาก

แผงโซลาร์เซลล์นั้นผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแสงอาทิตย์ จากการเกิดขึ้นของซิลิกอน P-N junction ในช่วงปี 1950 นั้น ทำให้กระแสที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกนั้นสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อม P-N junction [1] ซึ่งก่อให้เกิดความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแผงโซลาร์เซลล์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถสังเกตได้ว่าจะมีจุดทำงานที่แตกต่างกันไปที่ทำให้ได้กำลังงานสูงสุดที่เรียกว่า “Maximum Power Point (MPP)” จุดการทำงานดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานเมื่อเทียบกับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ [2], [3] เทคนิคในการติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดนั้นเรียกว่า “Maximum Power Point Tracking (MPPT)”

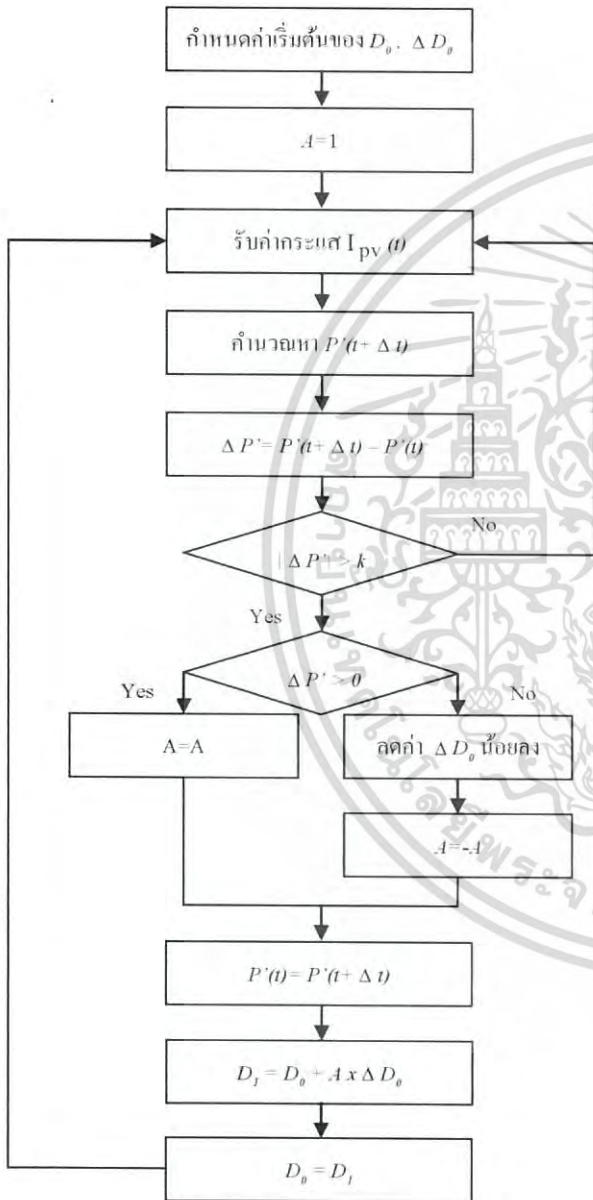
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 โรงแรมเก็ท แกรนด์ จันทบุรี อําเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

ค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงาน นั้นมีค่ามากๆ และเมื่ออัลกอริทึมทำงานในแต่ละรอบทำงานไปเรื่อยๆแล้วทำให้ค่าผลต่างของกำลังในรอบปัจจุบันกับรอบก่อนหน้ามีค่าที่ติดลบนั้นก็คือเลขจุดการทำงานที่เหมาะสมไป จะสั่งการให้มีการกลับทิศของการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานและลดค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในเวลานี้ด้วย



รูปที่ 2 Flowchart ของอัลกอริทึมที่นำเสนอ

ในรูปที่ 2 แสดง Flowchart ของอัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มขึ้นตอนแรกกำหนดค่าเริ่มต้นของวัฏจักรงาน (D₀) และขึ้นในการ

เปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานเริ่มต้น (ΔD₀) จากนั้นรับค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ ขึ้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาค่ากำลังจำลอง (P'(t+Δt)) ตามสมการที่ (3) และเปรียบเทียบกับค่ากำลังจำลองในรอบก่อนหน้าว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม ถ้าหากเพิ่มขึ้น จะสั่งการให้ระบบดำเนินการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในค่าขึ้นเดิมและในทิศทางเดิมอยู่ แต่ถ้าหากลดลง จะสั่งการให้ระบบดำเนินการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานในค่าขึ้นที่ลดลงและเปลี่ยนทิศทางที่กลับจากเดิม และระบบก็จะทำงานเป็นรอบๆ เช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่า ค่ากำลังจำลองที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบนั้น (ΔP') มีค่าน้อยกว่าค่า k ที่กำหนดขึ้นมา ระบบก็จะหยุดการทำงานจนกว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนไป ระบบจึงกลับมาทำงานอีกครั้ง

4. ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล

ระบบที่ศึกษาใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 10W ต่อกับวงจรโหลดของระดับแรงดัน โดยใช้ความถี่สวิตชิง 40 kHz และต่อกับแบตเตอรี่สำรองที่มีแรงดันอยู่ในช่วง 3.8 - 4.2 V

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อจำลองผลการทำงานของระบบ โดยกำหนดให้ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1000 W/m² เป็น 200 W/m² ที่ 0.5 วินาที และเป็น 600 W/m² ที่ 1 วินาที ส่วนอุณหภูมิกำหนดให้เปลี่ยนแปลงจาก 25 °C เป็น 55 °C ที่ 0.35 วินาที และเป็น 40 °C ที่ 0.75 วินาที จากผลการจำลองพบว่าวัฏจักรงานของวงจรคิกออฟระดับแรงดัน ณ จุดการทำงานที่ค่ากำลังงานสูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.4

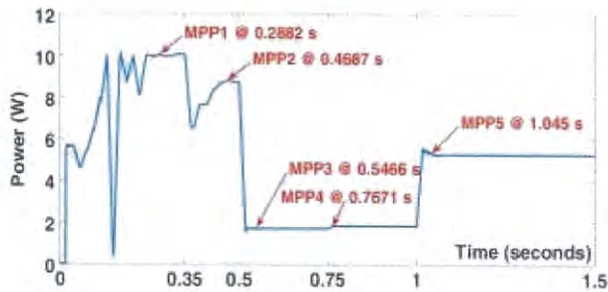
จากรูปที่ 3(ก) และ รูปที่ 3(ข) เห็นได้ว่ากราฟของกำลังเฉลี่ยขาออกของโซลาร์เซลล์กับกราฟของกำลังจำลองเฉลี่ยที่ใช้ในอัลกอริทึม นั้นมีรูปร่างที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งทำให้สามารถนำค่ากำลังจำลองมาใช้แทนค่ากำลังจริงของโซลาร์เซลล์ในอัลกอริทึมที่กล่าวไว้ข้างต้นได้ โดยในช่วงแรกก่อนมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (0 ถึง 0.35 วินาที) พบว่ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเนื่องจากตัวควบคุมสั่งการให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานเพื่อหาจุดการทำงานที่เหมาะสม และเมื่อพบจุดการทำงานดังกล่าวแล้วจะสั่งการให้หยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ทำให้ค่ากำลังนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ ณ เวลา 0.2882 วินาที จากนั้นเมื่อเข้าสู่ช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (0.35 ถึง 0.5 วินาที) ค่ากำลังจะลดลงเนื่องจากมีการเพิ่มอุณหภูมิโดยรอบ ทำให้ตัวควบคุมสั่งการให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานเพื่อหาจุดการทำงานที่เหมาะสมจุดใหม่และเมื่อพบจุดการทำงานดังกล่าวแล้วจะสั่งการให้หยุดการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงาน ทำให้ค่ากำลังนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ ณ เวลา 0.4687 วินาที และระบบจะทำงานในลักษณะเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยรอบที่เวลา 0.75 วินาที และ 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 โรงแรม เทพี แกรนด์ จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

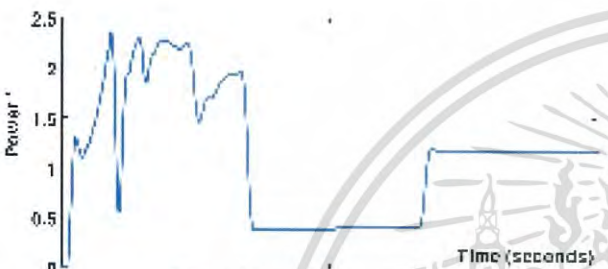
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3 ผลการจำลองโดยใช้วงจรลดทอนระดับแรงดัน, (ก) กำลังเฉลี่ยขาออกของโซลาร์เซลล์, (ข) กำลังจำลองเฉลี่ยของโซลาร์เซลล์, (ค) วัฏจักรงานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน และ (ง) แรงดันและกระแสขาออกของวงจรลดทอนระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3(ค) เห็นได้ว่าค่าขึ้นในการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานในช่วงแรกมีช่วงมาก และจะลดลงเรื่อยๆจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากผลต่างของกำลังจำลองเฉลี่ยน้อยกว่าค่าคงที่ k ที่กำหนดไว้ และเมื่อสภาวะแวดล้อมโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานไม่มากนักเทียบกับจุดการทำงานที่เหมาะสมเดิม

5. สรุป

จากการจำลองผลพบว่า การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดโดยใช้เพียงตัวตรวจวัดกระแสเพียงตัวเดียวนั้นทำได้จริง โดยใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทั่วไป และเมื่อระบบได้ทำงานถึงจุดการทำงานที่เหมาะสมในสภาวะแวดล้อมหนึ่งแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยรอบอีกครั้งพบว่า จุดการทำงานที่เหมาะสมเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานให้มีค่าน้อยและเป็นค่าคงที่ไปตลอดเวลาหลังจากได้เข้าสู่จุดการทำงานที่เหมาะสมในสภาวะแวดล้อมแรกแล้ว ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอใช้จำนวนรอบน้อยกว่าการใช้อัลกอริทึม P&O ทั่วไป ทำให้การติดตามจุดการทำงานนั้นรวดเร็วขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cuauhtemoc Rodriguez, and Gehan A. J. Amarantunga, "Analytic Solution to the Photovoltaic Maximum Power Point Problem," *IEEE Transactions on Circuit and Systems*, Vol. 54, No. 9, September 2007, pp. 2054-2060.
- [2] J. Nelson, *The Physics of Solar Cells*. London, U.K.: Imperial College Press, 2003.
- [3] Jiyong Li, and Honghua Wang, "Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation Based on the Fuzzy Control Method," *Sustainable Power Generation and Supply*. SUPERGEN '09, April 2009, pp. 1-6.
- [4] สินชาย แซ่ตั้ง, "การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกรีดโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรระดับปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546
- [5] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ชรธีรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง, 2553.



พิรพันธ์ บงเพชร สำเร็จการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับ 1 ปีการศึกษา 2558 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและกำลังศึกษาต่อปริญญาโท ณ สถาบันเดิมในปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 โรงแรม เคพี แกรนด์ จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพีรพันธุ์ บางเพชร
 วัน เดือน ปีเกิด 30 เมษายน 2537
 ที่อยู่ 18 ซ.15 ถ.ติวานนท์ ต.ท่าทราย อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
 ประวัติการศึกษา 2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 1)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1) การประยุกต์ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
 2) การเขียนโปรแกรมภาษา C++
 3) การใช้โปรแกรม Matlab/Simulink

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2560

ตีพิมพ์บทความเรื่อง “การติดตามหาจุดการทำงานที่ให้กำลังงานสูงสุดของ เซลล์แสงอาทิตย์โดยปราศจากตัวตรวจวัดแรงด้วยวิธีที่พัฒนาเพิ่มจากวิธี P&O ทัวไปสำหรับประจุแบตเตอรี่สำรอง” การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้