

การจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ดีซี
Solar Cell Characteristic Simulation using DC Converter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Cell Characteristic Simulation using DC Converter



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ดีซี

Solar Cell Characteristic Simulation using DC Converter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้คอนเวอเตอร์ดีซี

ผู้จัดทำ

นายชวกร ชีระสานต์




..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ดีซี

นายชวกร ธีระศานต์
ดร.สมภาพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ในศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในงานต่าง ๆ ซึ่งต้องทำการทดลองกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมักถูกจำกัดด้วยเวลาและสภาพอากาศในแต่ละวันที่ไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลองที่ต้องการได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์จำลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อให้สามารถทำการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ โครงการนี้นำเสนอการใช้คอนเวอร์เตอร์ดีซีชนิดลดทอนแรงดันมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์จำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้การควบคุมค่ากระแสและแรงดันขาออกของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามเส้นโค้งคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในโครงการนี้โปรแกรม PSIM ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และสร้างเส้นโค้งคุณลักษณะเพื่อนำไปบันทึกเป็นตารางสำหรับใช้ในการควบคุมในวงจรควบคุมแบบ PI ของคอนเวอร์เตอร์ดีซี การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ดีซีถูกจำลองบนโปรแกรม PSIM ในระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่นำเสนอสามารถจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Cell Characteristic Simulation using DC Converter

Mr.Chawakorn Teerasan

Dr. Sompob Polmai Advisor

ABSTRACT

Studies of solar cell applications that require experiment with solar cell are usually limited by time and variation of weather on each day that cannot be controlled under the required experimental conditions. To avoid this limitation, solar cell characteristic simulators have been developed for using in laboratories. This project proposes solar cell characteristic simulation using step-down DC-DC converter by controlling the output voltage and current of the converter according to the volt-amp characteristic of a solar panel. In this project PSIM is used for simulating and generating volt-amp characteristic curves of the solar panel. The curves are sampled to make a look-up table for the PI controller in stepdown converter. The operation of DC converter is model and simulated using PSIM for various light intensity. The simulation results show that the propose circuit and control method can correctly simulate the characteristic of the solar panel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ถ่ายทอดความรู้แก่ผู้จัดทำ โดยให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนในเรื่องต่างๆ รวมถึงกำลังใจมาโดยตลอดจนทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัว ซึ่งคอยให้ความรัก ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด รวมถึงสถาบันการศึกษาอันทรงเกียรติที่มอบโอกาสในการศึกษาหาความรู้ และประสบการณ์อันมีค่าแก่คณะผู้จัดทำ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	II
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.2 วงจร Buck converter	12
บทที่ 3 ขั้นตอนการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
3.1 เลือกเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้เป็นตัวแบบในการจำลอง	13
3.2 วงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน	15
3.3 วงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี	18
3.3.1 ส่วนวงจรกำลัง	19
3.3.2 ส่วนวงจรควบคุม	20
3.3.2.1 ส่วน Current control	21
3.3.2.2 ส่วน Voltage control	22
3.3.2.3 ส่วนควบคุมโหมดการทำงาน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และvต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการจำลอง	25
4.1 ผลจากวงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน	25
4.1.1 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส	25
4.1.2 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน	31
4.2 ผลจากวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี	47
บทที่ 5 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการจำลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการ	61
ประวัติผู้เขียน	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ขณะยังไม่ได้รับแสง	6
รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ขณะเริ่มได้รับแสง	6
รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไหลของไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.5 แสดงการนำเซลล์หลายๆตัวมาต่อรวมกันในแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม	7
รูปที่ 2.7 แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน	8
รูปที่ 2.8 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงและอาร์เรย์	8
รูปที่ 2.9 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อแบบต่างๆ	9
รูปที่ 2.10 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบฟิล์มบาง แบบโพลีคริสตัลไลน์ แบบโมโนคริสตัลไลน์	10
รูปที่ 2.11 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 2.12 กราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสงต่างๆ	11
รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะที่อุณหภูมิต่างๆ	11
รูปที่ 2.14 วงจรBuck converter	12
รูปที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้เป็นตัวต้นแบบ	14
รูปที่ 3.2 วงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน	15
รูปที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใส่ลงใน solar module (physical model)	15
รูปที่ 3.4 แสดงการตั้งค่าของ Param Sweep (เมื่อตั้งค่า V_{DC} เป็น V_o)	17
รูปที่ 3.5 วงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย battery	18
รูปที่ 3.6 ส่วนวงจรกำลังของวงจรจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	19
รูปที่ 3.7 การตั้งค่า PI controller	20
รูปที่ 3.8 การตั้งค่า carrier wave	20
รูปที่ 3.9 ส่วนวงจรควบคุมของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	21
รูปที่ 3.10 ส่วน Current control	21
รูปที่ 3.11 ส่วน Voltage control	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และVIIต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.12 เปลี่ยนตารางที่นำมาใช้ใน 2D-lookup table	22
รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโหมดการทำงาน	23
รูปที่ 3.14 I1 วัดค่ากระแสไหล	24
รูปที่ 3.15 V4 วัดค่ากระแสจาก 2D-lookup table	24
รูปที่ 3.16 V2 วัดค่าแรงดันไหล	24
รูปที่ 3.17 V9 วัดค่าแรงดันจาก 2D-lookup table	24
รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $1000\text{W}/\text{m}^2$	25
รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $900\text{W}/\text{m}^2$	25
รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $800\text{W}/\text{m}^2$	26
รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $700\text{W}/\text{m}^2$	26
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $600\text{W}/\text{m}^2$	26
รูปที่ 4.6 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $500\text{W}/\text{m}^2$	27
รูปที่ 4.7 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $400\text{W}/\text{m}^2$	27
รูปที่ 4.8 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $300\text{W}/\text{m}^2$	27
รูปที่ 4.9 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง $200\text{W}/\text{m}^2$	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 100W/m^2	28
รูปที่ 4.11 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 0W/m^2	28
รูปที่ 4.12 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามทฤษฎี	28
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการนำค่าจากกราฟคุณลักษณะมาแปลงให้ใช้กับ 2D-lookup table ได้	30
รูปที่ 4.14 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 1000W/m^2	31
รูปที่ 4.15 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 900W/m^2	31
รูปที่ 4.16 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 800W/m^2	32
รูปที่ 4.17 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 700W/m^2	32
รูปที่ 4.18 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 600W/m^2	32
รูปที่ 4.19 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 500W/m^2	33
รูปที่ 4.20 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 400W/m^2	33
รูปที่ 4.21 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 300W/m^2	33
รูปที่ 4.22 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 200W/m^2	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.23 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 100W/m^2	34
รูปที่ 4.24 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 0W/m^2	34
รูปที่ 4.25 นำค่าจากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 มาปรับใช้กับ 2D-lookup table	36
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m^2	47
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m^2	47
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m^2	48
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m^2	48
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m^2	49
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m^2	49
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m^2	50
รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m^2	50
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m^2	51
รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m^2	51
รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m^2	52
รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m^2	52
รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m^2	53
รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m^2	53
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m^2	54
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m^2	54
รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m^2	55
รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m^2	55
รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2	56
รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบกระแสไหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ $0W/m^2$	57
รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบแรงดันไหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ $0W/m^2$	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ	3
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
ตารางที่ 3.2 ตารางข้อมูลเชิงกลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่ากระแสที่แรงดันและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสงต่างๆ	29
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 1000 W/m ²	35
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 900 W/m ²	37
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 800 W/m ²	38
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 700 W/m ²	39
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 600 W/m ²	40
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 500 W/m ²	41
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 400 W/m ²	42
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 300 W/m ²	43
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 200 W/m ²	44
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 100 W/m ²	45
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 0 W/m ²	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาภาวะโลกร้อนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผู้คนมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมโดยใส่ใจกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เทคโนโลยีต่างๆก็ต้องปรับตัวตามความต้องการนั้นเช่นกัน รวมถึงการผลิตไฟฟ้าด้วย ที่ถึงแม้จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นแต่ก็ต้องควบคู่ไปกับการใส่ใจธรรมชาติ ผู้คนจึงเริ่มหันมาสนใจพลังงานทดแทนมากขึ้นด้วย ซึ่งพลังงานทดแทนที่ถูกสนใจมากที่สุดก็คือพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ปัจจัยการผลิตคือแสงซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป ต่างจากพลังงานทดแทนอื่นๆที่ปัจจัยการผลิตค่อนข้างจำกัดด้วยปัจจัยต่างๆ โดยปัจจุบันจะเห็นโครงการเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นได้อย่างชัดเจนทั้งจากภาครัฐ และเอกชน รวมถึงประชาชนทั่วไปที่มีความต้องการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์เอง เช่น ประสิทธิภาพ ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น ในกรณีของระบบโซลาร์ฟาร์มซึ่งเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่อกัน ซึ่งการที่จะต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าก็จำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้ได้ ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นและดำเนินการผลิตไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการ

โดยการศึกษาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นค่อนข้างทำได้ยากเพราะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเข้มแสงในแต่ละวันได้ตามความต้องการของการทดลอง จากการศึกษาที่ผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ จึงใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อใช้ในการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์และนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ และพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม PSIM เพื่อใช้ในการสร้างวงจรวัดคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. ศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C เท่านั้น
3. ศึกษาที่ความเข้มแสง 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 W/m²

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์
2. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาเป็นต้นแบบในการจำลอง
3. ใช้โปรแกรม PSIM ในการสร้างวงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่างๆ
4. บันทึกผลการทดลองและเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะที่ได้จากวงจรวัดกับกราฟคุณลักษณะตามอุดมคติ
5. ออกแบบวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม PSIM โดยใช้ค่าคุณลักษณะที่ได้จากวงจรวัดในการควบคุม
6. บันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ารั่วไหล	←→								
2. ศึกษาระเบียบวิธีการไฟไนต์-เอลิเมนต์		←→							
3. ศึกษาการใช้งานและทดลองใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์			←→						
4. สร้างแผนภาพและกำหนดค่าขอบเขตที่ละเอียดและเสมือนจริงมากขึ้น				←→					
5. จำลองพื้นที่น้ำท่วมและวัดค่าแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ						←→		→	
6. นำค่าที่ได้มาสร้างแผนภาพ และเปรียบเทียบกัน							←→		
6. สรุปผลการทดลองและปรับปรุง								←→	→
7. จัดทำรูปเล่มปริญญา นิพนธ์								←→	→

←→ แทนระยะเวลาที่ดำเนินงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และออกแบบวงจรในการทดสอบคุณลักษณะ
2. สามารถต่อยอดทักษะในการใช้โปรแกรม PSIM ในเรื่องอื่นๆได้
3. สามารถนำการจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ในการศึกษาต่อไปได้โดยไม่มีปัญหาจากสภาพอากาศ

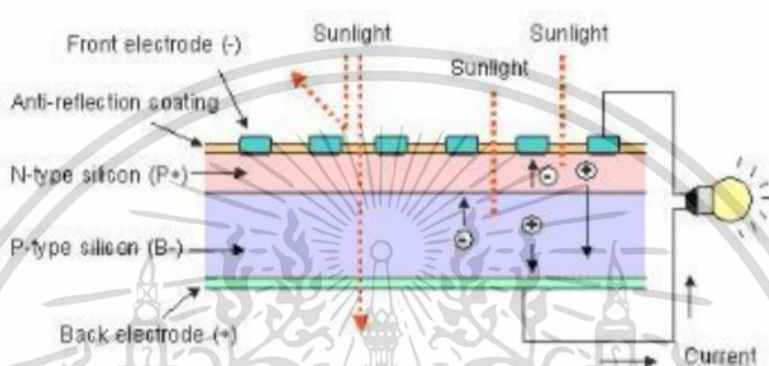


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

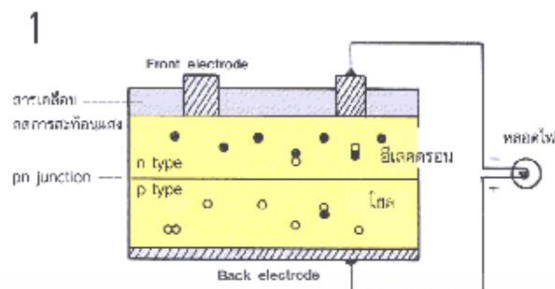
เซลล์แสงอาทิตย์อีกชื่อคือ photovoltaic cell หรือ PV cell เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการ photovoltaic เซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

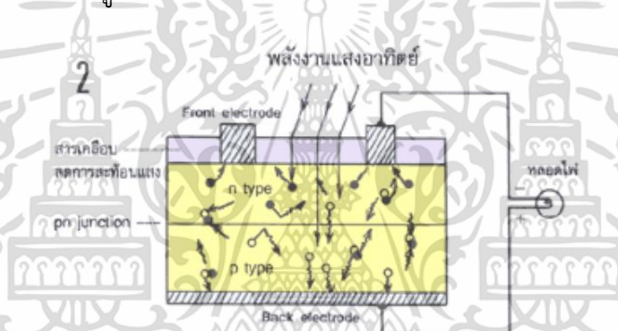
จากรูป N-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่โด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัสทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ติดอยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์และชั้นถัดมาคือ P-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่โด๊ปด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับ พลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำสารทั้ง 2 ชนิดมาประกบกันด้วย P-N junction จึงทำให้เกิดเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์”

ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด N-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้ อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยและบริเวณด้านหน้าของ N-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านล่างของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านล่างของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่รวบรวมโฮลดังแสดงในรูปที่ 2.2



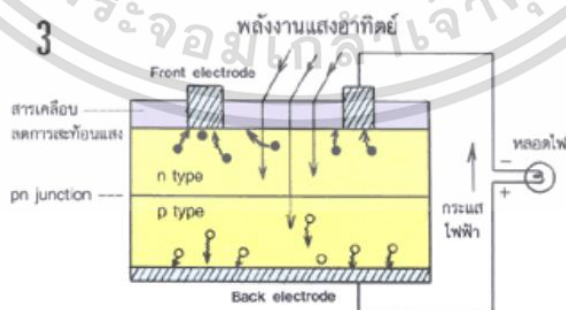
รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ขณะยังไม่ได้รับแสง

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผง แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหา เพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ขณะเริ่มได้รับแสง

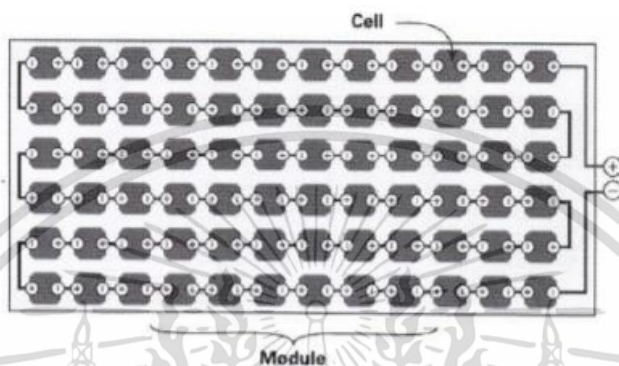
อิเล็กตรอน วิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่ง เพื่อจับคู่กันดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไหลของไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

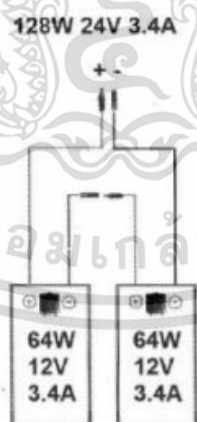
โดยปกติแล้วในแต่ละเซลล์ (Cell) ซึ่งเป็นตัวแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 - 0.7 V ทำให้ในการใช้จริงจะต้องมีการต่ออนุกรม เซลล์หลายๆตัวเข้าด้วยกันทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นและหากต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการต่อขนานกันซึ่งการต่อขนานหรืออนุกรมเข้าด้วยกันนั้นเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแผงก่อนนำไปใช้งานดังรูปที่ 2.5 ซึ่งการต่อเซลล์หลายๆตัวรวมกันในแผงนั้นเราจะเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.5 แสดงการนำเซลล์หลายๆตัวมาต่อรวมกันในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระบบ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกัน

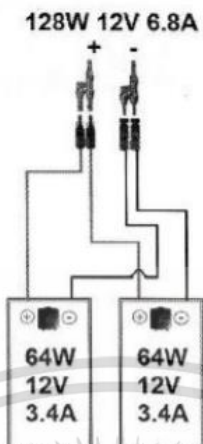
การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบอนุกรม นั้นจะเป็นการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจะมีค่าเท่ากันทั้งวงจร ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

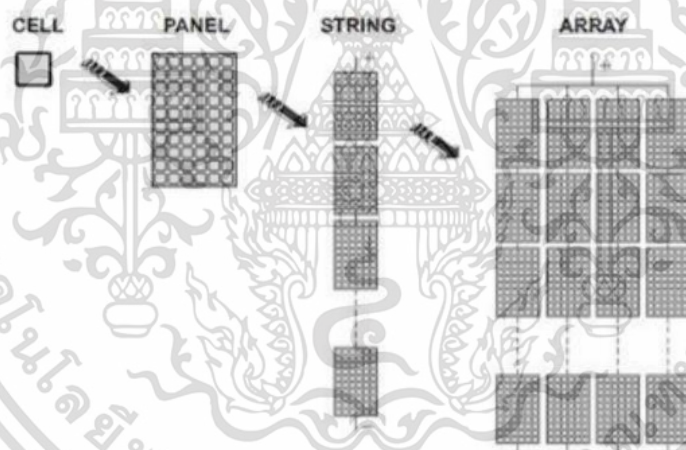
การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน นั้นจะเป็นการเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจะมีค่าเท่ากัน ทั้งวงจร ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



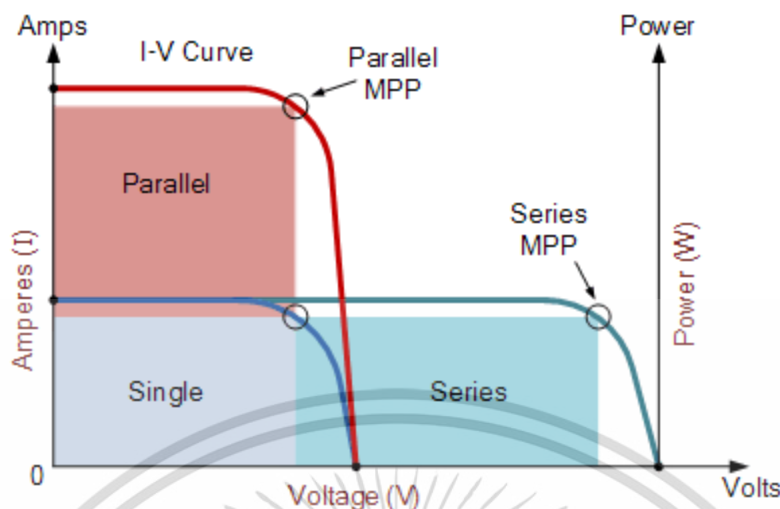
รูปที่ 2.7 แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมกันหลายๆแผงจะเรียกว่า สตริง (string) และการนำสตริงหลายๆสตริงมาต่อขนานกันจะเรียกว่า อาร์เรย์ (Array)



รูปที่ 2.8 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงและอาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อแบบต่างๆ

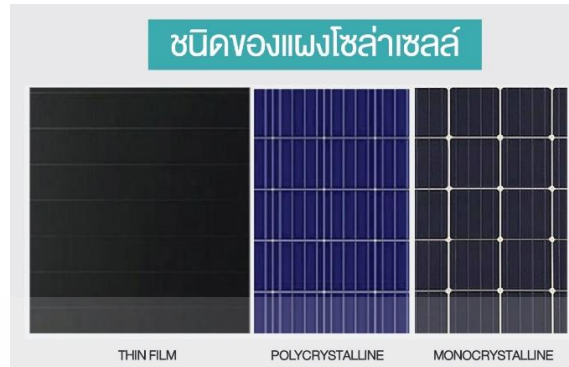
ในท้องตลาดมีเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ 3 ชนิดหลัก คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline) โพลี-คริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) ฟิล์มบาง (Thin Film)

แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline) หรือ ซิงเกิ้ลคริสตัลไลน์ (Single Crystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นชนิดผลึกเดี่ยว แต่ละเซลล์เป็นลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมและมีสี่เหลี่ยม เซลล์ประเภทนี้เป็นเทคโนโลยีเก่าและมีราคาแพงที่สุด แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพราะผลิตจากซิลิคอนเกรดดี โดยทั่วไปแล้วมีประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 15-20% ใช้พื้นที่ประมาณ 7-9 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่สูงสุดสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เกือบ 4 เท่า ของชนิดฟิล์มบาง มีอายุการใช้งานประมาณ 25 ปี เมื่อเทียบกับชนิดโพลีคริสตัลไลน์แล้วผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าที่ความเข้มแสงน้อย ถ้าหากแผงเซลล์ชนิดนี้มีความสกปรกหรือถูกบังแสงในบางส่วนของแผง อาจทำให้วงจรหรืออินเวอร์เตอร์ไหม้เนื่องจากอาจจะเกิดแรงดันสูงเกินไป

แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) หรือ มัลติ-คริสตัลไลน์ (Multi-Crystalline) แต่ละเซลล์เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ตัดมุม มีสีน้ำเงินไม่เข้มมาก เกิดจากนำซิลิคอนเหลวเทใส่แม่พิมพ์ ใช้ซิลิคอนในการผลิตน้อยกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 13-16% ใช้พื้นที่ประมาณ 7.5-10 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์

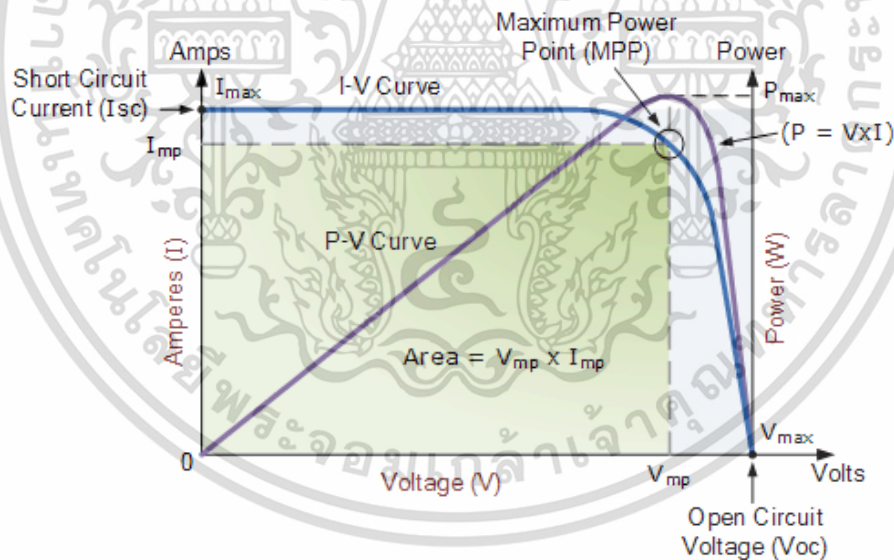
แบบฟิล์มบาง (Thin Film) เกิดจากการนำสารที่สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ามาฉาบเป็นฟิล์มบางๆซ้อนกันหลายชั้น โดยสารฉาบมีหลายชนิด ชื่อเรียกของแผงเซลล์จึงต่างกันออกไปตามสารที่ใช้ แผงเซลล์ชนิดนี้มีความไวแสงมากที่สุดจึงสามารถทำงานได้แม้มีเมฆหมอก หรือใช้เพียงแสงจากหลอดไฟ และได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิต่ำ แต่ประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ต่ำจึงต้องใช้พื้นที่เยอะกว่าอีกสองชนิด แต่ถ้าหากเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีสูงกว่าอีกสองชนิด มีประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 7-13% มีราคาถูกกว่าเนื่องจากสามารถผลิตเป็นจำนวนมากได้ง่ายแต่กระบวนการผลิตเป็นพิษมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



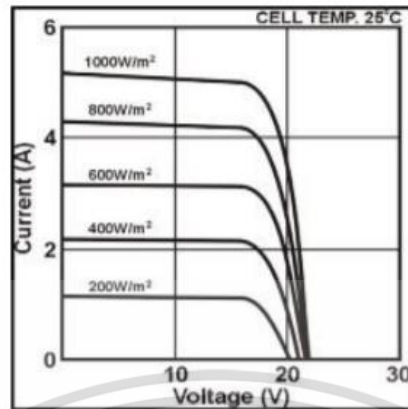
รูปที่ 2.10 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบฟิล์มบาง แบบโพลีคริสตัลไลน์ แบบโมโนคริสตัลไลน์

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์คือ ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน หรือแสดงในรูปกราฟคุณลักษณะ (I-V characteristics curve) โดยความเข้มแสงที่เซลล์ได้รับจะควบคุมกระแส ขณะที่อุณหภูมิของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ผลคูณของกระแสกับแรงดันจะเท่ากับกำลังไฟฟ้า กราฟนี้ทำให้เราสามารถทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point/MPP)

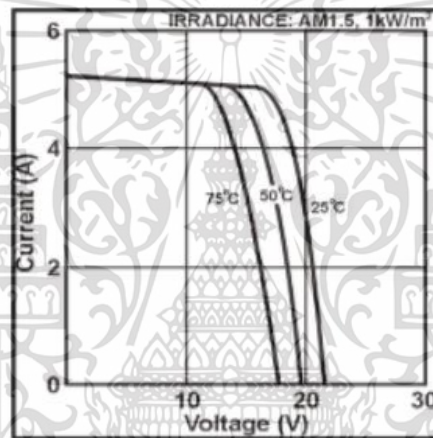


รูปที่ 2.11 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสงต่างๆ

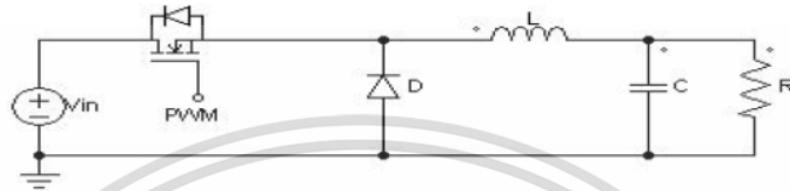


รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะที่อุณหภูมิต่างๆ

โดยกราฟคุณลักษณะนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง open circuit voltage (V_{oc}) ซึ่งกระแสมีค่าต่ำสุดหรือเป็นศูนย์และแรงดันมีค่าสูงสุด กับ short circuit current (I_{sc}) ซึ่งกระแสมีค่าสูงสุดและแรงดันมีค่าต่ำสุดหรือเป็นศูนย์ และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ที่ V_{mp} กับ I_{mp} โดยที่ V_{mp} มีค่าประมาณ 0.8 เท่าของ V_{oc} และ I_{mp} มีค่าประมาณ 0.85 เท่าของ I_{sc}

2.2 วงจร Buck converter

ในการศึกษานี้ใช้ Buck converter เนื่องจากง่ายต่อการควบคุม ใช้ L และ C ในการกรองแรงดันขาออกและใช้ไดโอดเป็น freewheeling diode โดยมีแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกซึ่งวัดคร่อมตัวต้านทาน R ในวงจร ค่าของ L และ C สามารถคำนวณได้โดยคำนึงถึงแรงดันขาเข้า แรงดันขาออก และค่าริบเปิลที่ต้องการ



รูปที่ 2.14 วงจร Buck converter

การคำนวณ Transfer Function ของ Buck converter

Duty ของแรงดันขาออกจะได้รับการควบคุมโดยมี Transfer function ดังนี้

$$G(s) = \frac{V_{out}(s)}{D(s)} = \frac{\frac{1}{sC} // R}{sL + \left(\frac{1}{sC} // R\right)} = \frac{V_{in}}{LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1}$$

โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปมาตรฐานเป็น

$$G(s) = \frac{G_0}{\omega_0^2 + \frac{s}{Q\omega_0} + 1}$$

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$G_0 = \frac{V_{out}}{D}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 เลือกเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้เป็นต้นแบบในการจำลอง

เลือกใช้ PW-150M (Monocrystalline 150 W)

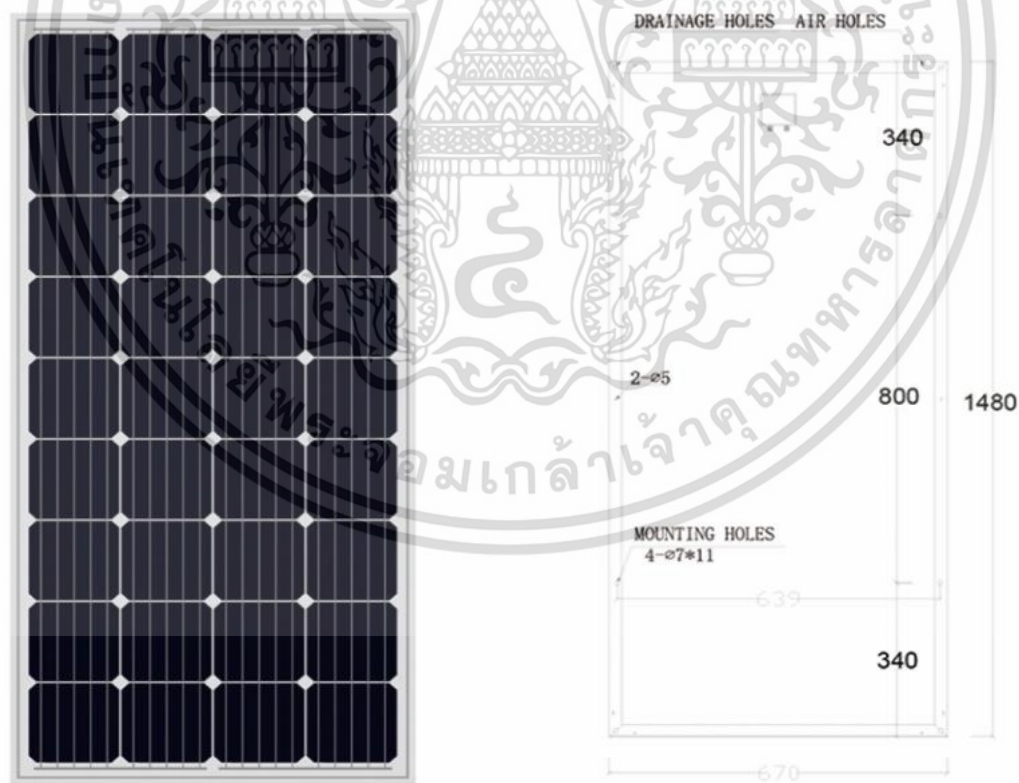
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Model	PW-150M
Specification	
Peak Power (Pmax)	150W
Maximum Power Voltage (Vmp)	18.1
Maximum Power Current (Imp)	8.29
Open Circuit Voltage (Voc)	21.72
Short Circuit Current (Isc)	8.79
Module Efficiency (%)	15.1
Maximum System Voltage (V)	1000
Maximum Series Fuse Rating (A)	10
Power Tolerance	0~+3%
Nominal Operating Cell Temperature (°C)	47±2
Operating Temperature (°C)	-40~+85
Standard Test Condition (STC)	1000W/m ² ; 25±2°C
Temperature Coefficients	+0.060%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางข้อมูลเชิงกลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Mechanical Characteristics	
Cell Type	Mono-Crystalline
No. of Cells	36
Dimensions	1480×670×35mm
Weight	11.6Kgs
Front Glass	3mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Cables	2.5mm ² , 90cm length

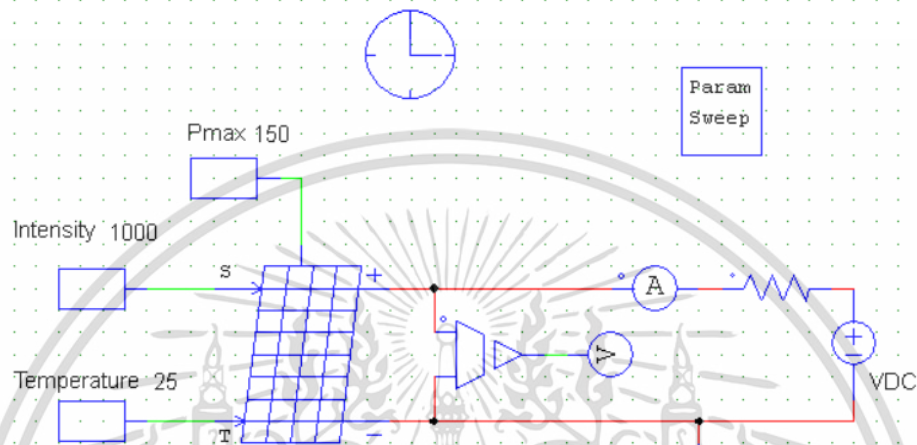


รูปที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้เป็นต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

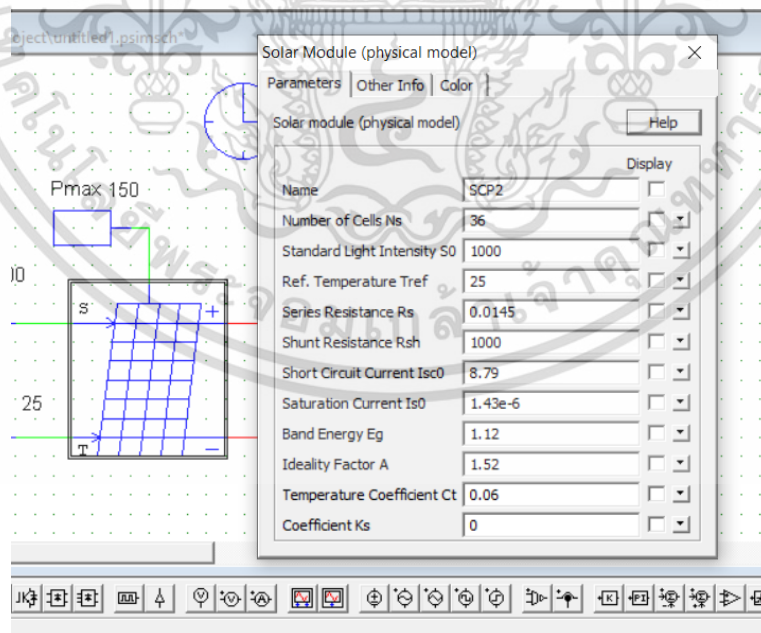
3.2 วงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน

ศึกษาคุณลักษณะของกระแสและแรงดันต่อความเข้มแสงต่างๆของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม PSIM โดยในที่นี้จะศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C เท่านั้น และศึกษาในช่วงความเข้มแสง 0 - 1000 W/m² (ได้แก่ 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000)



รูปที่ 3.2 วงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน

โดยใช้ solar module (physical model) ใส่พารามิเตอร์ต่างๆจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ



รูปที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใส่ลงใน solar module (physical model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่เลือกจากข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดังนี้

Number of Cells N_s	ใช้ค่า No. of Cells คือ 36
Standard Light Intensity S_0	ใช้ค่าความเข้มแสงจาก Standard Test Condition (STC) คือ $1000\text{W}/\text{m}^2$
Ref. Temperature T_{ref}	ใช้ค่าอุณหภูมิจาก Standard Test Condition (STC) คือ 25°C
Short Circuit Current	ใช้ค่า Short Circuit Current I_{sc} คือ 8.79
Temperature Coefficient C_t	ใช้ค่า Temperature Coefficients คือ $+0.060$

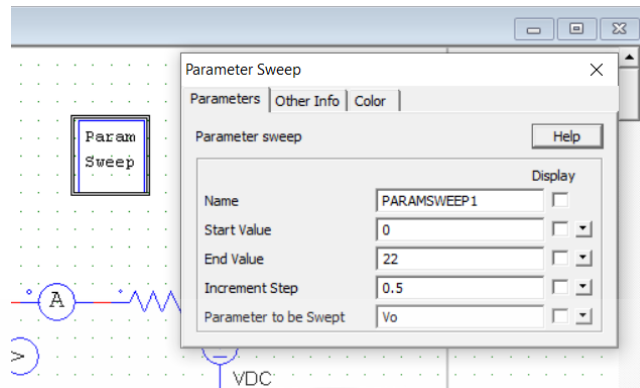
พารามิเตอร์อื่นๆเลือกใช้ค่าดังนี้

Band Energy E_g	ค่า band energy ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด crystalline silicon มีค่าประมาณ 1.12 และชนิด amorphous silicon มีค่าประมาณ 1.75
Ideality Factor A	ค่า ideality factor ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด crystalline silicon มีค่าประมาณ 2 และชนิด amorphous silicon มีค่าน้อยกว่า 2

พารามิเตอร์อื่นๆในวงจรวัดใช้ค่าดังนี้

P_{max}	เลือกใช้ค่าตามกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นต้นแบบในการจำลอง ในที่นี้คือ 150W
Intensity	ค่าความเข้มแสงในการจำลอง ปรับค่าตามช่วงความเข้มแสงที่ศึกษา $0-1000\text{W}/\text{m}^2$
Temperature	อุณหภูมิที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ คือ 25°C
V_{DC}	ปรับค่าตั้งแต่ 0-22 V โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 V
Param Sweep	ใช้ในการปรับค่า V_{DC} โดยตั้งค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการตั้งค่าของ Param Sweep (เมื่อตั้งค่า V_{DC} เป็น V_o)

หลังจากนั้นบันทึกค่าคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่างๆที่ต้องการ แล้วนำไปสร้างเป็น 2D-lookup table เพื่อนำไปใช้ในการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยรูปแบบของ 2D-lookuptable เป็นดังนี้

$$\begin{matrix} M, N \\ V_{r,1} \ V_{r,2} \ \dots \ V_{r,m} \\ V_{c,1} \ V_{c,2} \ \dots \ V_{c,N} \\ A(1,1) \ A(1,2) \ \dots \ A(1,N) \\ A(2,1) \ A(2,2) \ \dots \ A(2,N) \\ \dots \ \dots \ \dots \\ A(M,1) \ A(M,2) \ \dots \ A(M,N) \end{matrix}$$

เมื่อ M คือ จำนวนของแถว(row) , N คือ จำนวนของคอลัมน์(column)

$V_{r,i}$ คือ ค่าอินพุทของแถวที่ i , $V_{c,j}$ คือ ค่าอินพุทของคอลัมน์ที่ j (โดยค่า V_r และ V_c จะต้องเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเท่านั้น)

$A(i,j)$ คือ ค่าเอาต์พุทของแถวที่ i คอลัมน์ที่ j

โดยจะต้องบันทึก 2D-lookup table นี้ในรูปแบบไฟล์ .tbl

และการที่เราใช้ทั้ง Voltage control และ Current control ทำให้ต้องบันทึกทั้งตารางค่ากระแสโดยการเลือกแรงดัน และตารางค่าแรงดันโดยการเลือกกระแส จากการใช้ค่าที่เราต้องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้ความเข้มแสงหลายค่าเป็นอินพุทของคอลัมน์ ในกรณีของตารางค่ากระแสโดยการเลือกแรงดันซึ่งใช้ค่าแรงดันเป็นอินพุทของแถวสามารถทำตารางเดียวได้เพราะค่าแรงดันต้นในแต่ละความเข้มแสงมีค่าเท่ากัน ขณะที่กรณีตารางค่าแรงดันโดยการเลือกกระแสไม่สามารถทำเป็นตารางเดียวได้เพราะค่ากระแสที่เป็นค่าอินพุทของแถวในแต่ละความเข้มแสงนั้นมีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องแยกเป็นหลายตารางตามความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี

จำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ battery เป็นแหล่งจ่าย และควบคุมคุณลักษณะของกระแสและแรงดันโดยวงจรควบคุม ซึ่งนำ 2D-lookup table ที่ได้จากวงจรวัดคุณลักษณะมาใช้ในวงจรควบคุม และแบ่งโหมดการควบคุมเป็น 2 โหมดคือ Voltage control และ Current control เนื่องจากในช่วงแรงดัน V_{pv} มากกว่า 14.5V การใช้ Voltage control จะให้กราฟคุณลักษณะที่แกว่งแตกต่างจากกราฟคุณลักษณะที่ได้จากวงจรวัดมาก จึงปรับมาใช้ Current control ในช่วง V_{pv} มากกว่า 14.5V



รูปที่ 3.5 วงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย battery

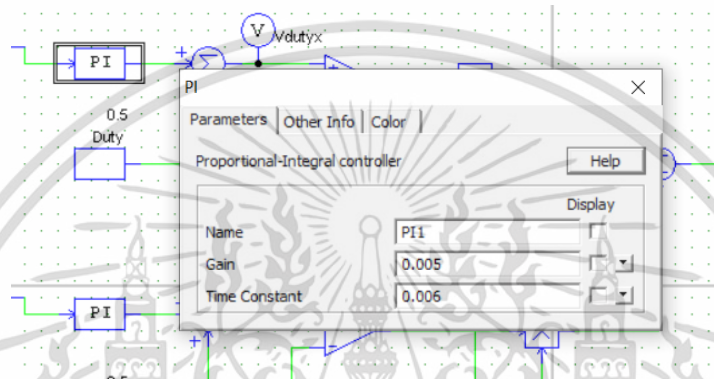
3.3.2 ส่วนวงจรควบคุม

ส่วนวงจรควบคุมมีการตั้งค่าต่างๆดังนี้

PI controller

ปรับค่า Gain เป็น 0.005

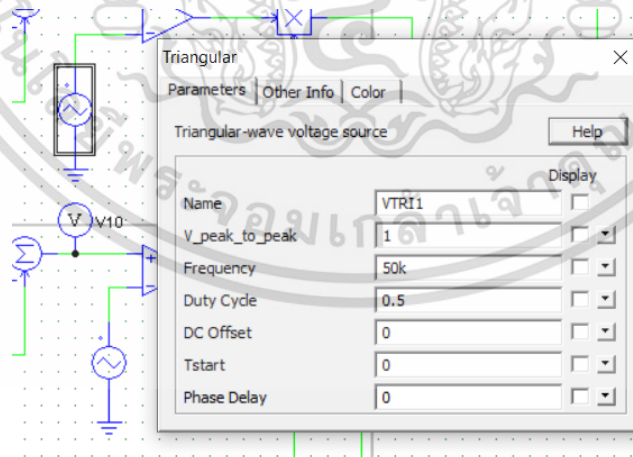
Time constant เป็น 0.006



รูปที่ 3.7 การตั้งค่า PI controller

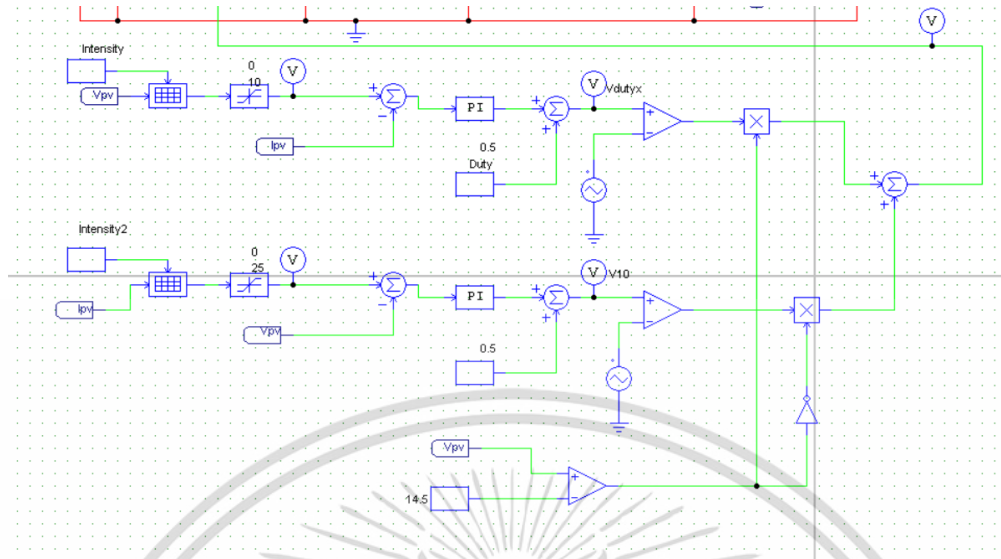
Triangle wave voltage source ซึ่งใช้เป็น carrier

ปรับค่า frequency เป็น 50 kHz



รูปที่ 3.8 การตั้งค่า carrier wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

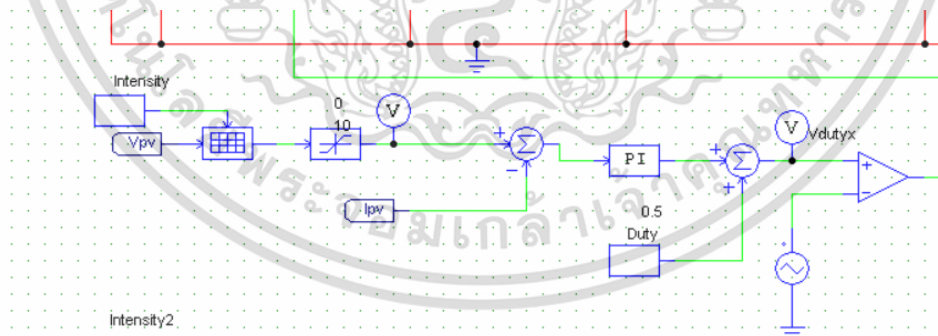


รูปที่ 3.9 ส่วนวงจรควบคุมของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรควบคุมแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆได้ดังนี้

3.3.2.1 ส่วน Current control

ใช้ตารางค่ากระแสโดยใช้อินพุตเป็นแรงดันและความเข้มแสงใส่ใน 2D-lookup table และแรงดันอินพุตคือ Vpv สามารถปรับ Intensity (ความเข้มแสง) ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนตารางที่ใส่ 2D-lookup table

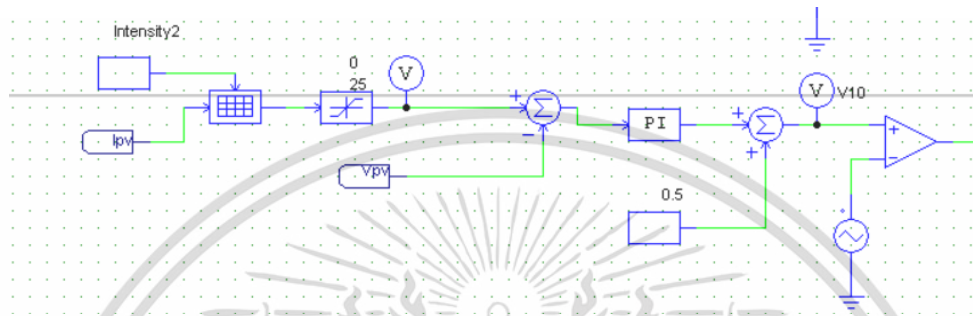


รูปที่ 3.10 ส่วน Current control

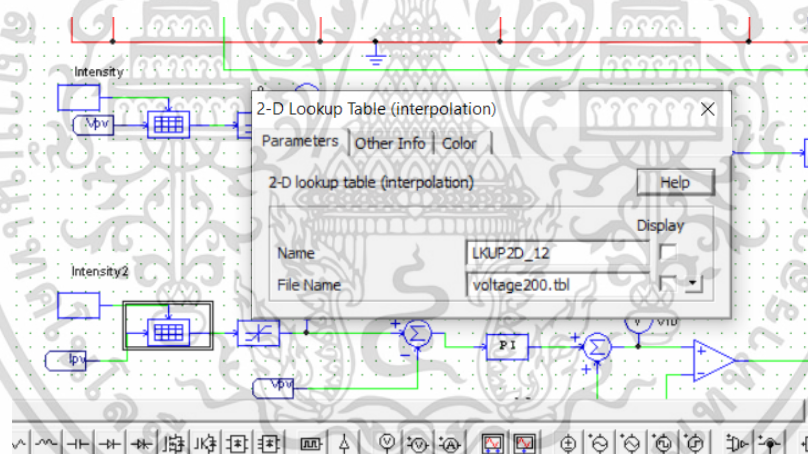
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ส่วน Voltage control

ใช้ตารางค่าแรงดันโดยใช้อินพุตเป็นกระแสและความเข้มแสง ใส่ใน 2D-lookup table กระแสอินพุตคือ I_{pv} หากต้องการเปลี่ยน Intensity2 (ความเข้มแสง) ต้องเปลี่ยนตารางที่นำมาใส่ 2D-lookup table ตามความเข้มแสงที่ต้องการจำลอง



รูปที่ 3.11 ส่วน Voltage control

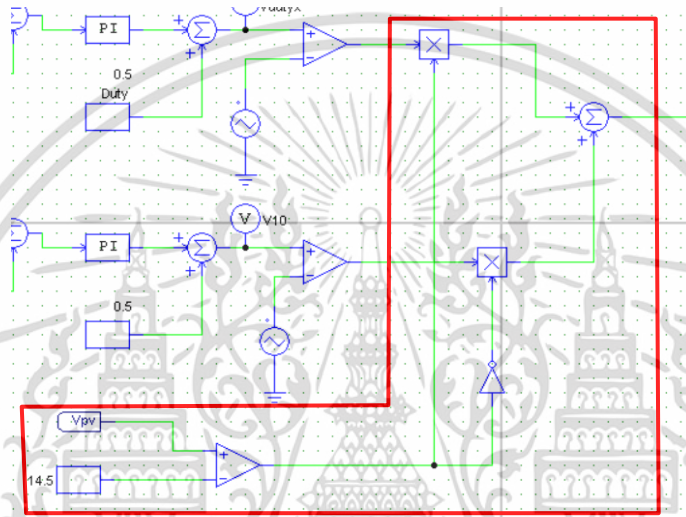


รูปที่ 3.12 เปลี่ยนตารางที่นำมาใช้ใน 2D-lookup table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

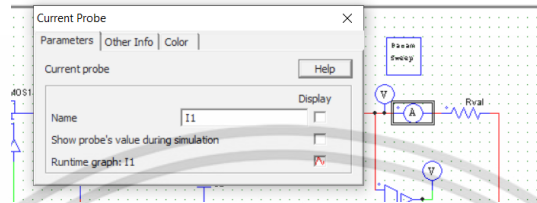
3.3.2.3 ส่วนควบคุมโหมดการทำงาน

นำค่า V_{pv} มาเทียบกับแรงดัน 14.5V ซึ่งเป็นค่าที่โหมดการทำงานแบบ Voltage control เริ่มมีการแกว่งมากขึ้น จึงสลับโหมดการทำงานไปเป็น Current control สัญญาณที่ได้จาก comparator จะมีค่าเมื่อ V_{pv} มากกว่า 14.5V สัญญาณนี้จะถูกกลับค่าโดย not gate แล้วส่งไปที่ส่วน Current control เพื่อให้ส่วน Current control ทำงานเมื่อ V_{pv} มากกว่า 14.5V

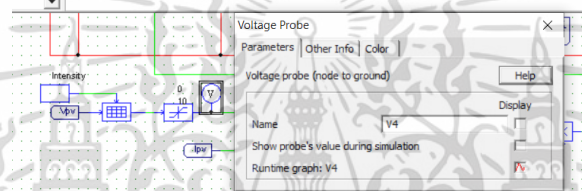


รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโหมดการทำงาน

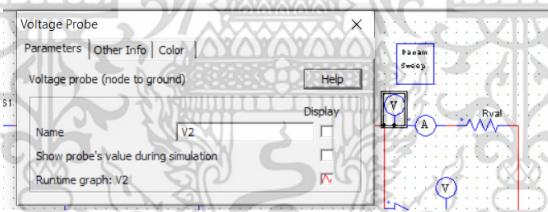
การจำลองจะปรับค่าความต้านทานขึ้นเรื่อยๆ เพื่อสังเกตการทำงานของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่โหลด กับกราฟคุณลักษณะที่ได้จาก 2D-lookuptable ซึ่งได้มาจากวงจรวัด โดยละเอียดเป็นดังนี้



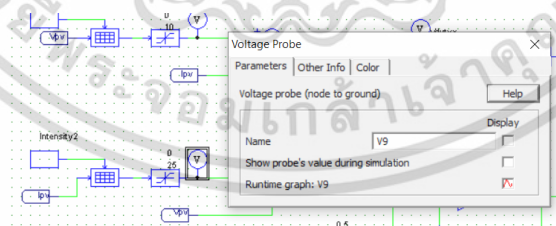
รูปที่ 3.14 I1 วัดค่ากระแสโหลด



รูปที่ 3.15 V4 วัดค่ากระแสจาก 2D-lookup table



รูปที่ 3.16 V2 วัดค่าแรงดันโหลด



รูปที่ 3.17 V9 วัดค่าแรงดันจาก 2D-lookup table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

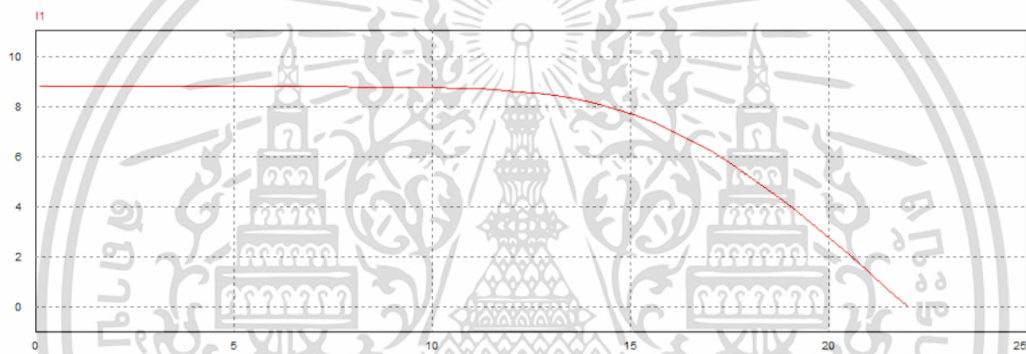
บทที่ 4

ผลการจำลอง

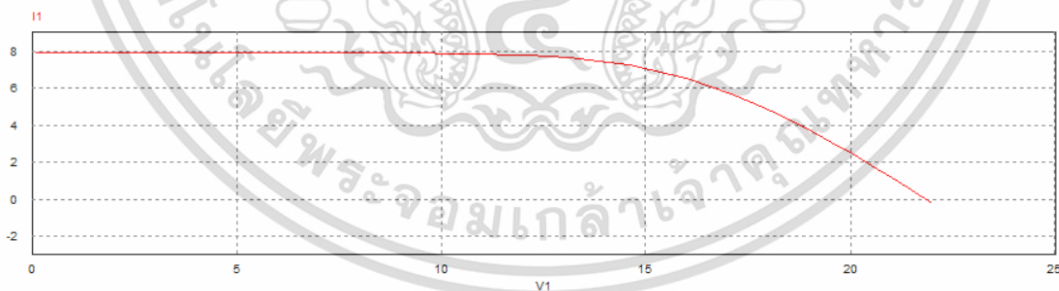
4.1 ผลจากวงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน

4.1.1 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส

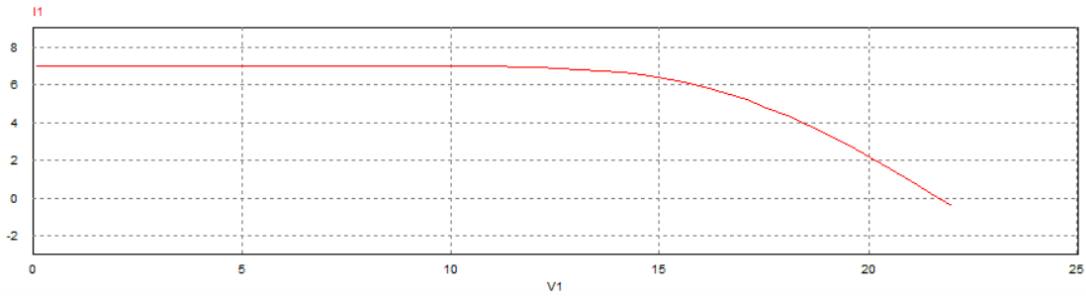
จากการ Run วงจรวัดคุณลักษณะในโปรแกรม PSIM (ในรูปที่ 3.2) โดยทำที่ความเข้มแสงต่างๆที่ค่า (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 W/m²) จะเห็นว่ากราฟคุณลักษณะที่ได้จะใกล้เคียงกับกราฟในทฤษฎี



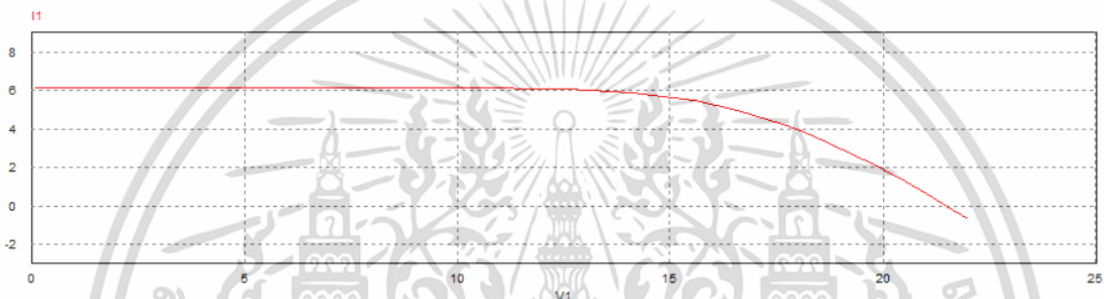
รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 1000W/m²



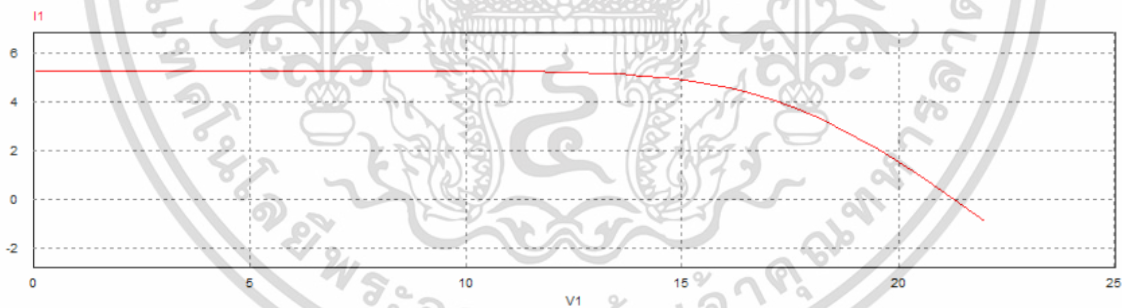
รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 900W/m²



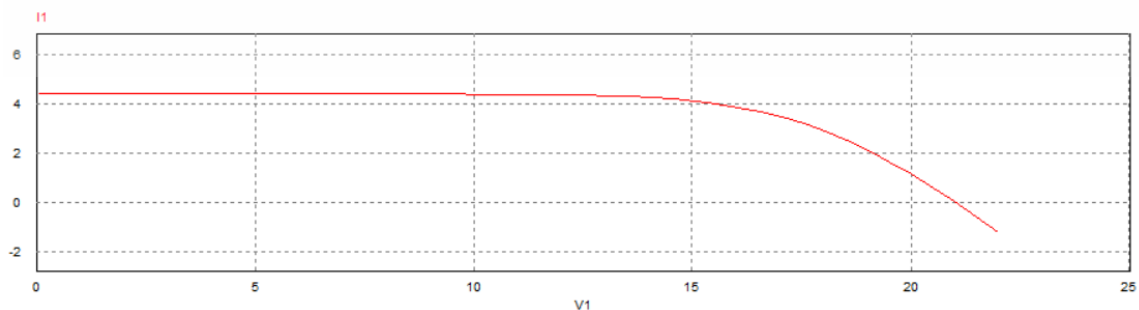
รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 800W/m^2



รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 700W/m^2



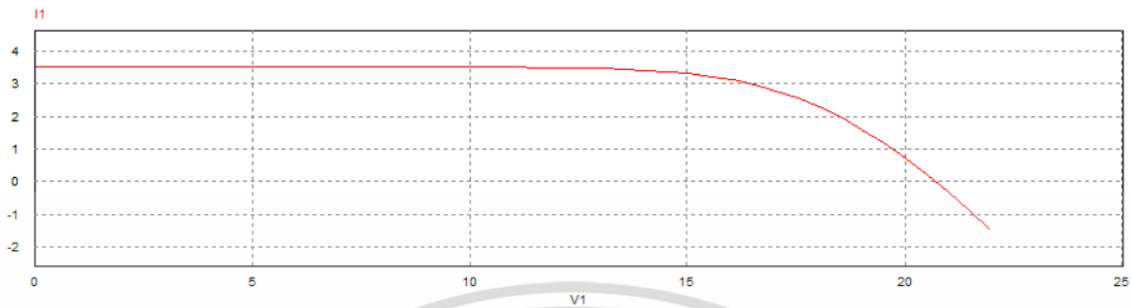
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 600W/m^2



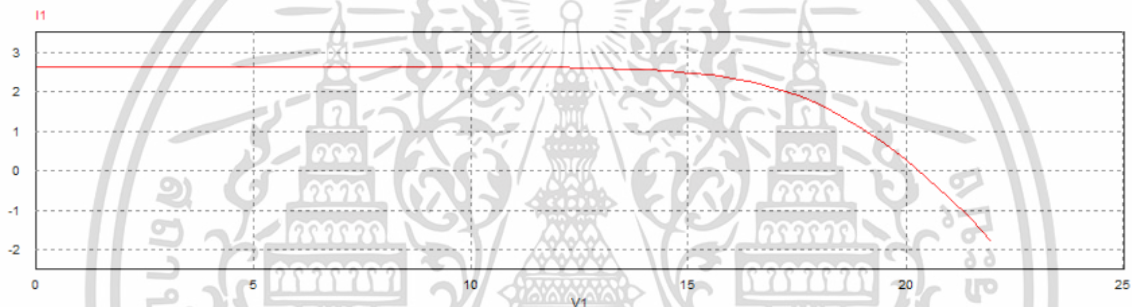
รูปที่ 4.6 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

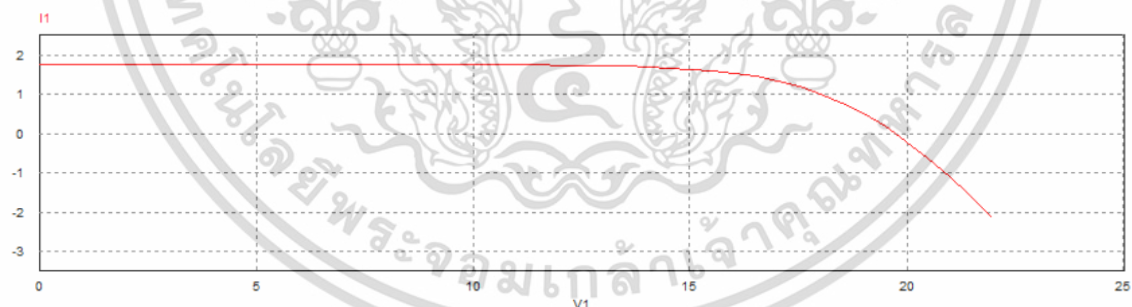
ที่ความเข้มแสง 500W/m^2



รูปที่ 4.7 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส
ที่ความเข้มแสง 400W/m^2

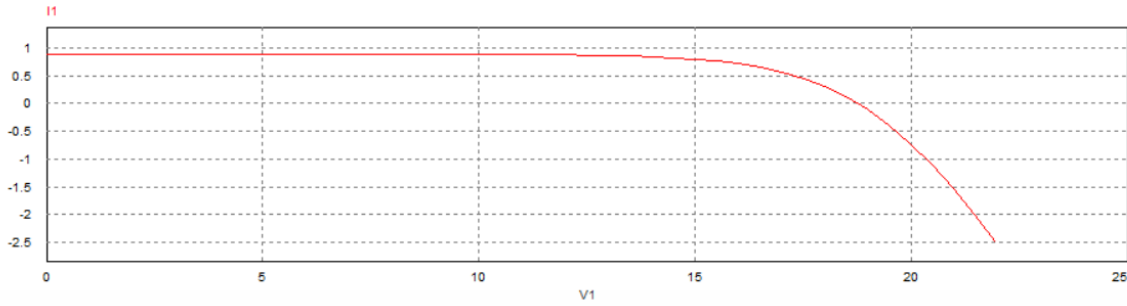


รูปที่ 4.8 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส
ที่ความเข้มแสง 300W/m^2

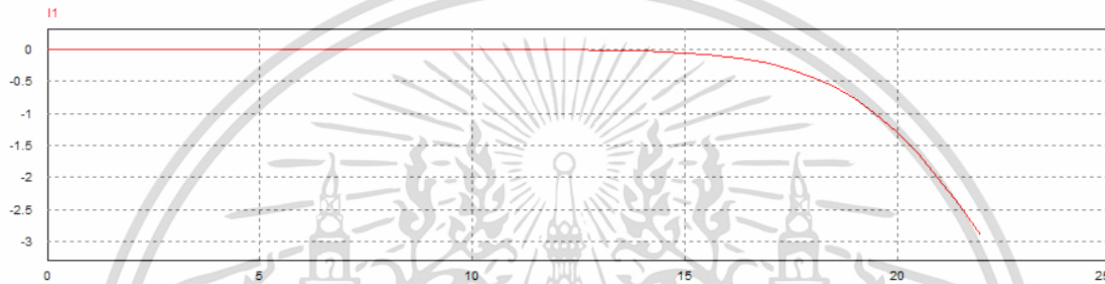


รูปที่ 4.9 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส
ที่ความเข้มแสง 200W/m^2

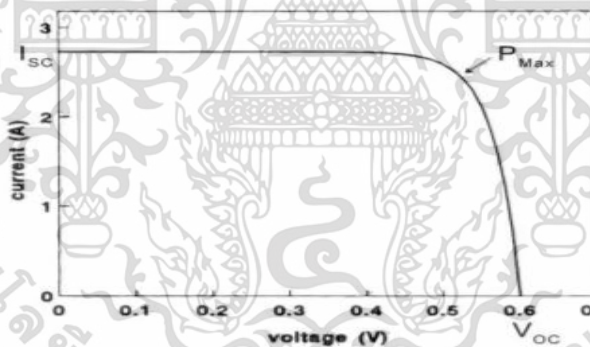
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 100W/m²



รูปที่ 4.11 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นแรงดัน แกน y เป็นกระแส ที่ความเข้มแสง 0W/m²



รูปที่ 4.12 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามทฤษฎี

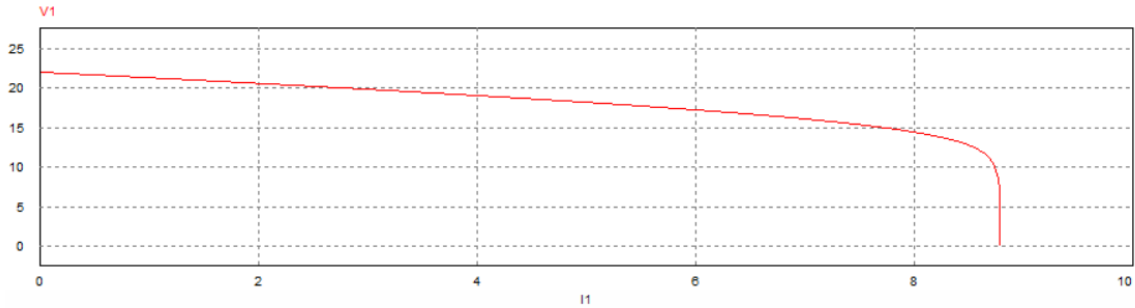
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่ากระแสที่แรงดันและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสงต่างๆ

แรงดัน	ความเข้มแสง										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
0.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
1.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
1.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
2.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79

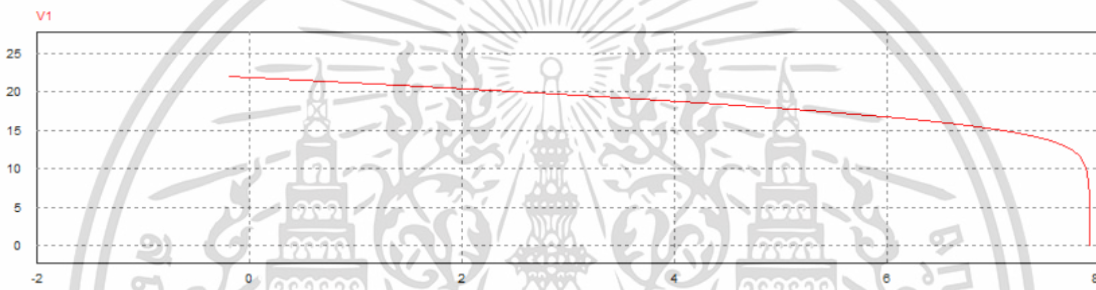
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
3.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
3.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
4.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
4.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
5.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
5.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
6.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
6.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.52	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.79
7.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.51	4.39	5.27	6.15	7.03	7.91	8.78
7.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.51	4.39	5.27	6.15	7.03	7.90	8.78
8.00	0.00	0.88	1.76	2.64	3.51	4.39	5.27	6.15	7.03	7.90	8.78
8.50	0.00	0.88	1.76	2.64	3.51	4.39	5.27	6.15	7.02	7.90	8.77
9.00	0.00	0.88	1.76	2.63	3.51	4.39	5.27	6.14	7.02	7.89	8.77
9.50	0.00	0.88	1.76	2.63	3.51	4.39	5.26	6.14	7.01	7.89	8.76
10.00	0.00	0.88	1.75	2.63	3.51	4.39	5.26	6.13	7.01	7.88	8.74
10.50	0.00	0.88	1.75	2.63	3.51	4.38	5.26	6.13	7.00	7.86	8.72
11.00	0.00	0.87	1.75	2.63	3.50	4.38	5.25	6.12	6.98	7.84	8.69
11.50	0.00	0.87	1.75	2.62	3.50	4.37	5.24	6.10	6.96	7.81	8.65
12.00	-0.01	0.87	1.74	2.62	3.49	4.36	5.22	6.08	6.93	7.77	8.60
12.50	-0.01	0.86	1.74	2.61	3.48	4.34	5.20	6.05	6.89	7.72	8.53
13.00	-0.01	0.86	1.73	2.60	3.46	4.32	5.17	6.01	6.83	7.64	8.43
13.50	-0.02	0.85	1.72	2.58	3.44	4.29	5.13	5.95	6.76	7.54	8.30
14.00	-0.03	0.84	1.70	2.56	3.41	4.24	5.07	5.87	6.66	7.41	8.13
แรงดัน	ความเข้มแสง										
14.50	-0.04	0.82	1.68	2.53	3.36	4.19	4.99	5.77	6.52	7.24	7.92
15.00	-0.06	0.80	1.64	2.48	3.30	4.10	4.88	5.63	6.35	7.03	7.66
15.50	-0.08	0.76	1.60	2.42	3.22	4.00	4.75	5.46	6.14	6.77	7.36
16.00	-0.12	0.72	1.54	2.34	3.11	3.86	4.57	5.24	5.87	6.46	7.01
16.50	-0.16	0.65	1.45	2.23	2.97	3.68	4.35	4.98	5.56	6.11	6.61
17.00	-0.23	0.57	1.34	2.08	2.79	3.46	4.08	4.67	5.21	5.70	6.16
17.50	-0.32	0.45	1.19	1.90	2.56	3.19	3.77	4.31	4.80	5.26	5.68
18.00	-0.43	0.30	1.01	1.67	2.29	2.87	3.40	3.90	4.35	4.77	5.15
18.50	-0.58	0.12	0.78	1.40	1.97	2.50	2.99	3.45	3.86	4.24	4.59
19.00	-0.77	-0.12	0.50	1.07	1.60	2.09	2.54	2.95	3.33	3.68	4.01
19.50	-1.01	-0.40	0.17	0.70	1.19	1.63	2.04	2.42	2.77	3.09	3.39
20.00	-1.29	-0.73	-0.20	0.28	0.73	1.14	1.51	1.86	2.18	2.48	2.75
20.50	-1.62	-1.10	-0.62	-0.18	0.23	0.60	0.95	1.27	1.56	1.84	2.09
21.00	-2.00	-1.53	-1.09	-0.68	-0.31	0.04	0.35	0.65	0.92	1.18	1.41

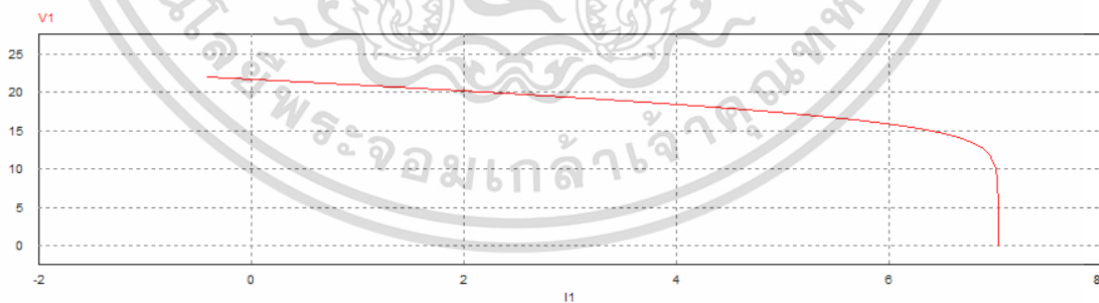
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 1000W/m^2

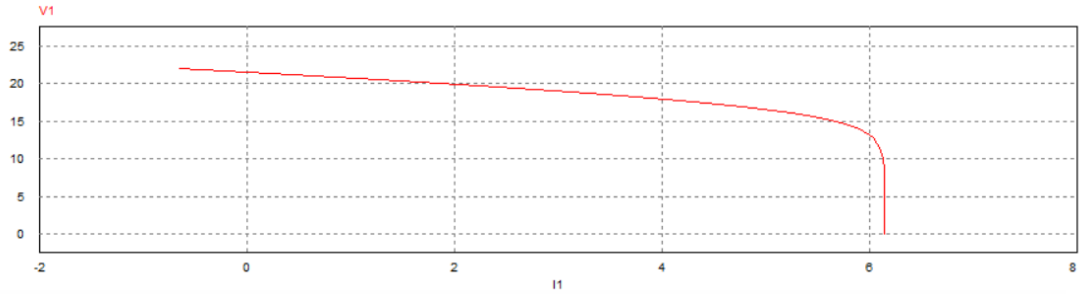


รูปที่ 4.15 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 900W/m^2

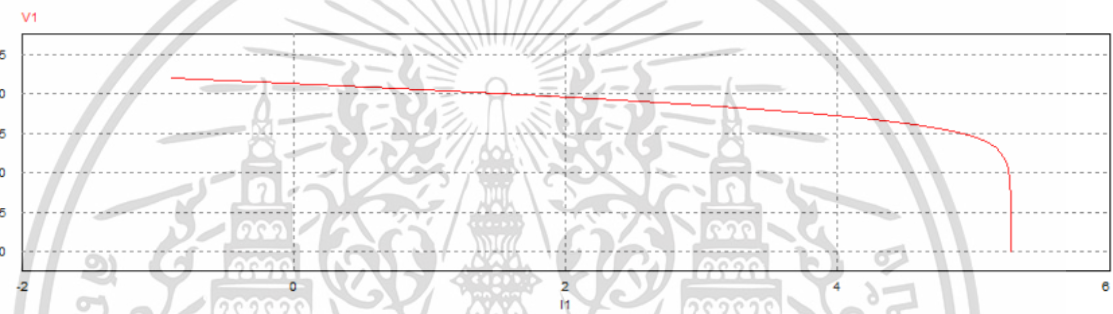


รูปที่ 4.16 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 800W/m^2

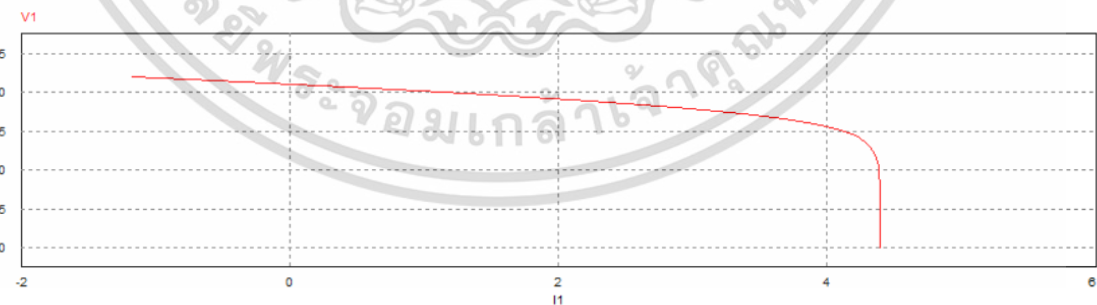
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 700W/m^2

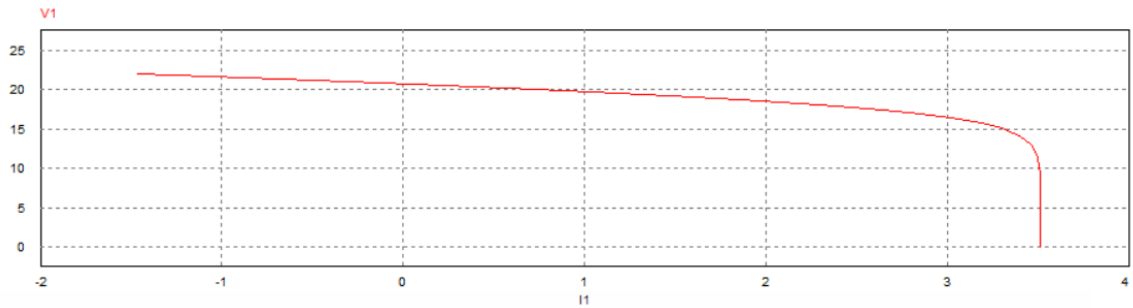


รูปที่ 4.18 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 600W/m^2

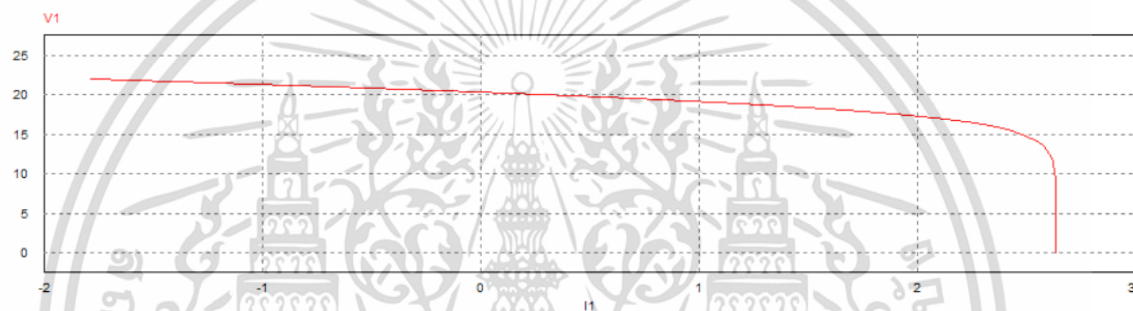


รูปที่ 4.19 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 500W/m^2

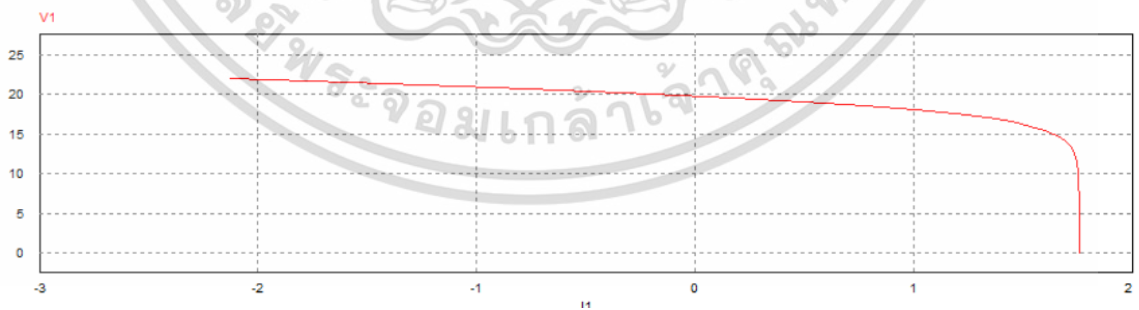
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



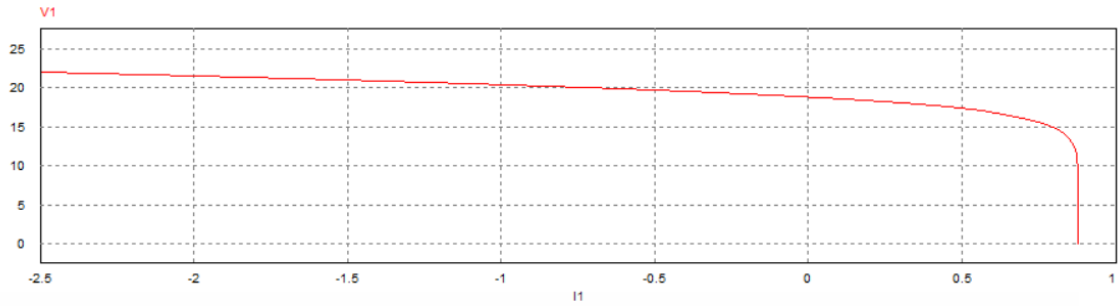
รูปที่ 4.20 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 400W/m^2



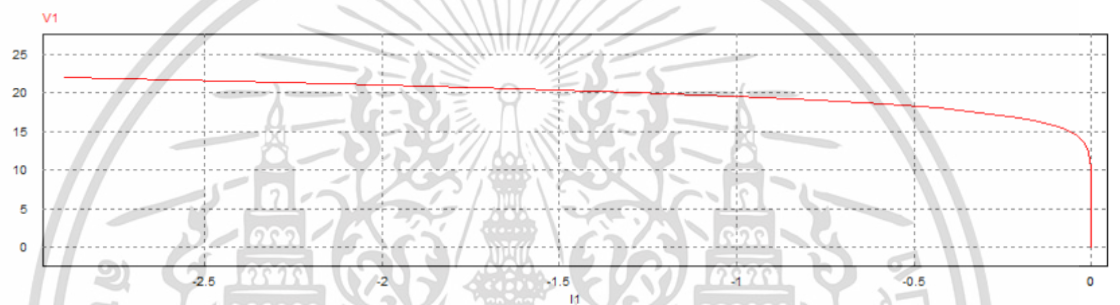
รูปที่ 4.21 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 300W/m^2



รูปที่ 4.22 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน
ที่ความเข้มแสง 200W/m^2



รูปที่ 4.23 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 100W/m^2



รูปที่ 4.24 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แกน x เป็นกระแส แกน y เป็นแรงดัน ที่ความเข้มแสง 0W/m^2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2

กระแส	แรงดัน
8.78983	0.12746
8.78980	0.62746
8.78976	1.12746
8.78971	1.62746
8.78965	2.12746
8.78956	2.62746
8.78944	3.12746
8.78928	3.62745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.78906	4.12745
8.78875	4.62745
8.78831	5.12744
8.78769	5.62743
8.78682	6.12742
8.78557	6.62740
8.78381	7.12737
8.78130	7.62734
8.77774	8.12729
8.77268	8.62721
8.76550	9.12711
8.75533	9.62696
8.74096	10.12675
8.72075	10.62646
8.69244	11.12605

กระแสน	แรงดัน
8.65307	11.62548
8.59884	12.12469
8.52505	12.62362
8.42621	13.12219
8.29631	13.62030
8.12936	14.11788
7.92006	14.61485
7.66443	15.11114
7.36031	15.60673
7.00741	16.10161
6.60714	16.59581
6.16213	17.08936
5.67581	17.58230
5.15192	18.07471
4.59424	18.56662
4.00639	19.05810
3.39169	19.54918
2.75312	20.03992
2.09335	20.53036
1.41470	21.02051
0.71922	21.51043
0.00868	22.00013

จากตารางนี้ ค่ากระแสที่จะใช้เป็นอินพุตของ 2D-lookup table มีค่าลดลง จึงต้องเรียงลำดับใหม่ก่อนที่จะบันทึกเป็นไฟล์ .tbl

ค่าที่ใส่ในไฟล์.tbl เป็นดังตัวอย่างนี้

```

voltage1000.tbl - Notepad
File Edit Format View Help
45,1
0.00868 0.71922 1.41470 2.09335 2.75312 3.39169 4.00639 4.59424 5.15192 5.67581 6.16213 6.60714 7.00741 7.36031 7.66443 7.92006 8.12936 8.29631 8.426
1000
22.00013
21.51043
21.02051
20.53036
20.03992
19.54918
19.05810
18.56662
18.07471
17.58230
17.08936
16.59581
16.10161
15.60673
15.11114
14.61485
14.11788
13.62030
13.12219
12.62362
12.12469
11.62548
11.12605
10.62646
10.12675
9.62696
9.12711
8.62721
8.12729
7.62734

```

รูปที่ 4.25 นำค่าจากกราฟพล็อตลักษณะที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 มาปรับใช้กับ 2D-lookup table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 900 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
7.91085	0.11472	7.81153	11.61327
7.91083	0.61471	7.77143	12.11269
7.91080	1.11471	7.71622	12.61189
7.91076	1.61471	7.64116	13.11080
7.91071	2.11471	7.54072	13.60935
7.91064	2.61471	7.40887	14.10744
7.91055	3.11471	7.23965	14.60498
7.91044	3.61471	7.02780	15.10191
7.91027	4.11471	6.76946	15.59816
7.91005	4.61470	6.46255	16.09371
7.90973	5.11470	6.10691	16.58856
7.90928	5.61469	5.70402	17.08271
7.90865	6.11468	5.25657	17.57623
7.90776	6.61467	4.76801	18.06914
7.90649	7.11465	4.24209	18.56151
7.90469	7.61463	3.68261	19.05340
7.90213	8.11459	3.09315	19.54485
7.89849	8.61454	2.47701	20.03592
7.89333	9.11446	1.83717	20.52664
7.88601	9.61435	1.17627	21.01706
7.87564	10.11420	0.49661	21.50720
7.86099	10.61399	-0.19977	21.99710
7.84038	11.11369		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 800 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
7.03188	0.10197	6.95999	11.60093
7.03185	0.60197	6.93058	12.10050
7.03183	1.10197	6.88973	12.59991
7.03179	1.60197	6.83353	13.09909
7.03175	2.10197	6.75719	13.59799
7.03170	2.60197	6.65513	14.09651
7.03164	3.10197	6.52131	14.59457
7.03155	3.60196	6.34979	15.09208
7.03143	4.10196	6.13539	15.58897
7.03126	4.60196	5.87433	16.08518
7.03103	5.10196	5.56464	16.58069
7.03071	5.60195	5.20626	17.07550
7.03025	6.10195	4.80075	17.56962
7.02961	6.60194	4.35087	18.06309
7.02870	7.10192	3.86008	18.55598
7.02740	7.60190	3.33216	19.04832
7.02556	8.10188	2.77088	19.54018
7.02295	8.60184	2.17981	20.03161
7.01925	9.10179	1.56225	20.52265
7.01398	9.60171	0.92115	21.01336
7.00651	10.10160	0.25912	21.50376
6.99593	10.60145	-0.42154	21.99389
6.98100	11.10123		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 700 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
6.15289	0.08922	6.10099	11.58847
6.15287	0.58922	6.07956	12.08816
6.15285	1.08922	6.04960	12.58773
6.15282	1.58922	6.00799	13.08712
6.15279	2.08922	5.95078	13.58629
6.15275	2.58922	5.87313	14.08517
6.15270	3.08922	5.76943	14.58366
6.15263	3.58922	5.63363	15.08169
6.15254	4.08922	5.45980	15.57917
6.15242	4.58922	5.24283	16.07603
6.15225	5.08921	4.97904	16.57220
6.15202	5.58921	4.66657	17.06767
6.15169	6.08921	4.30546	17.56243
6.15122	6.58920	3.89734	18.05652
6.15056	7.08919	3.44504	18.54996
6.14963	7.58918	2.95204	19.04281
6.14831	8.08916	2.42212	19.53512
6.14644	8.58913	1.85906	20.02696
6.14378	9.08909	1.26640	20.51836
6.13999	9.58904	0.64742	21.00939
6.13462	10.08896	0.00507	21.50007
6.12700	10.58885	-0.65808	21.99046
6.11622	11.08869		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 600 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
5.27391	0.07648	5.23648	11.57593
5.27389	0.57648	5.22095	12.07571
5.27387	1.07648	5.19912	12.57539
5.27385	1.57648	5.16858	13.07495
5.27382	2.07648	5.12620	13.57434
5.27379	2.57648	5.06797	14.07349
5.27375	3.07647	4.98899	14.57235
5.27370	3.57647	4.88363	15.07082
5.27363	4.07647	4.74582	15.56882
5.27354	4.57647	4.56967	16.06626
5.27341	5.07647	4.35012	16.56308
5.27324	5.57647	4.08359	17.05922
5.27300	6.07646	3.76834	17.55464
5.27266	6.57646	3.40450	18.04937
5.27219	7.07645	2.99379	18.54341
5.27152	7.57644	2.53908	19.03682
5.27057	8.07643	2.04388	19.52964
5.26922	8.57641	1.51198	20.02193
5.26731	9.07638	0.94713	20.51373
5.26460	9.57634	0.35290	21.00512
5.26074	10.07629	-0.26748	21.49612
5.25526	10.57621	-0.91109	21.98679
5.24748	11.07609		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 500 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
4.39493	0.06373	4.36796	11.56334
4.39491	0.56373	4.35674	12.06318
4.39489	1.06373	4.34090	12.56295
4.39487	1.56373	4.31864	13.06262
4.39485	2.06373	4.28752	13.56217
4.39482	2.56373	4.24436	14.06155
4.39479	3.06373	4.18509	14.56069
4.39475	3.56373	4.10477	15.05952
4.39469	4.06373	3.99772	15.55797
4.39462	4.56373	3.85789	16.05594
4.39453	5.06373	3.67940	16.55335
4.39440	5.56372	3.45726	17.05013
4.39423	6.06372	3.18799	17.54623
4.39398	6.56372	2.86996	18.04162
4.39364	7.06371	2.50339	18.53630
4.39316	7.56371	2.09010	19.03031
4.39247	8.06370	1.63298	19.52368
4.39151	8.56368	1.13560	20.01647
4.39013	9.06366	0.60173	20.50873
4.38818	9.56363	0.03512	21.00051
4.38541	10.06359	-0.56069	21.49187
4.38147	10.56354	-1.18246	21.98285
4.37588	11.06345		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 400 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
3.51594	0.05098	3.49650	11.55070
3.51593	0.55098	3.48842	12.05059
3.51591	1.05098	3.47697	12.55042
3.51589	1.55098	3.46083	13.05019
3.51587	2.05098	3.43814	13.54986
3.51585	2.55098	3.40643	14.04940
3.51582	3.05098	3.36246	14.54876
3.51579	3.55098	3.30214	15.04788
3.51574	4.05098	3.22046	15.54670
3.51569	4.55098	3.11171	16.04512
3.51562	5.05098	2.96983	16.54307
3.51552	5.55098	2.78898	17.04044
3.51540	6.05098	2.56424	17.53718
3.51522	6.55097	2.29223	18.03324
3.51497	7.05097	1.97141	18.52859
3.51462	7.55097	1.60213	19.02323
3.51412	8.05096	1.18626	19.51720
3.51343	8.55095	0.72676	20.01054
3.51244	9.05093	0.22720	20.50329
3.51104	9.55091	-0.30863	20.99552
3.50905	10.05088	-0.87699	21.48728
3.50622	10.55084	-1.47436	21.97862
3.50221	11.05079		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 300 W/m²

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
2.63696	0.03824	2.62293	11.53804
2.63694	0.53824	2.61712	12.03795
2.63693	1.03824	2.60887	12.53783
2.63691	1.53824	2.59720	13.03766
2.63689	2.03824	2.58073	13.53742
2.63687	2.53824	2.55760	14.03709
2.63685	3.03824	2.52529	14.53662
2.63682	3.53824	2.48052	15.03597
2.63678	4.03824	2.41912	15.53508
2.63674	4.53824	2.33606	16.03388
2.63669	5.03823	2.22560	16.53227
2.63662	5.53823	2.08165	17.03019
2.63652	6.03823	1.89843	17.52753
2.63639	6.53823	1.67107	18.02423
2.63620	7.03823	1.39631	18.52025
2.63595	7.53822	1.07271	19.01556
2.63559	8.03822	0.70072	19.51016
2.63509	8.53821	0.28229	20.00409
2.63438	9.03820	-0.17959	20.49740
2.63337	9.53819	-0.68132	20.99012
2.63194	10.03817	-1.21910	21.48232
2.62991	10.53814	-1.78919	21.97405
2.62703	11.03809		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
1.75797	0.02549	1.74783	11.52535
1.75796	0.52549	1.74365	12.02528
1.75794	1.02549	1.73772	12.52520
1.75793	1.52549	1.72931	13.02508
1.75791	2.02549	1.71741	13.52490
1.75789	2.52549	1.70062	14.02466
1.75787	3.02549	1.67704	14.52432
1.75784	3.52549	1.64412	15.02384
1.75782	4.02549	1.59852	15.52318
1.75778	4.52549	1.53603	16.02227
1.75774	5.02549	1.45157	16.52105
1.75768	5.52549	1.33937	17.01942
1.75761	6.02549	1.19334	17.51730
1.75751	6.52549	1.00773	18.01461
1.75738	7.02548	0.77775	18.51128
1.75719	7.52548	0.50023	19.00725
1.75693	8.02548	0.17386	19.50252
1.75657	8.52547	-0.20084	19.99709
1.75606	9.02546	-0.62183	20.49098
1.75533	9.52545	-1.08607	20.98425
1.75430	10.02544	-1.58995	21.47694
1.75285	10.52542	-2.12966	21.96912
1.75078	11.02539		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 100 W/m^2

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
0.87899	0.01275	0.87163	11.51264
0.87897	0.51275	0.86863	12.01260
0.87896	1.01275	0.86437	12.51253
0.87894	1.51275	0.85832	13.01245
0.87892	2.01275	0.84974	13.51232
0.87891	2.51275	0.83760	14.01215
0.87889	3.01274	0.82048	14.51190
0.87887	3.51274	0.79645	15.01155
0.87884	4.01274	0.76290	15.51106
0.87881	4.51274	0.71646	16.01039
0.87878	5.01274	0.65287	16.50947
0.87874	5.51274	0.56700	17.00822
0.87868	6.01274	0.45304	17.50657
0.87861	6.51274	0.30491	18.00442
0.87851	7.01274	0.11689	18.50169
0.87837	7.51274	-0.11572	18.99832
0.87818	8.01273	-0.39601	19.49426
0.87792	8.51273	-0.72515	19.98948
0.87754	9.01273	-1.10255	20.48401
0.87702	9.51272	-1.52609	20.97787
0.87628	10.01271	-1.99268	21.47110
0.87523	10.51269	-2.49870	21.96377
0.87375	11.01267		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

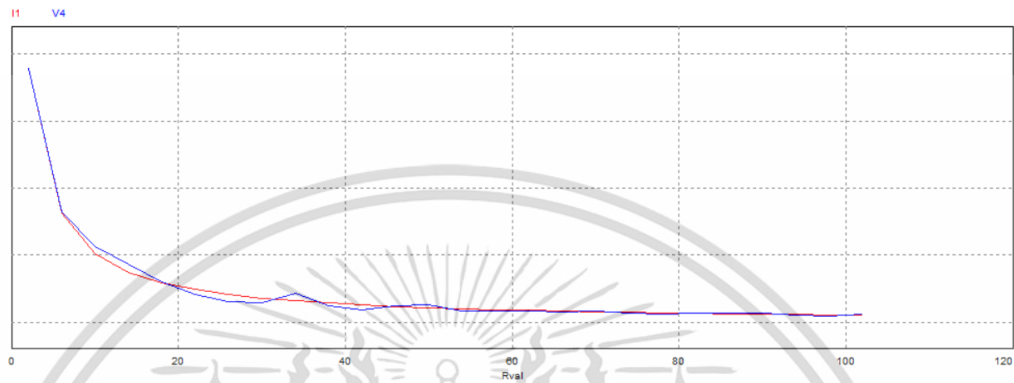
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าแรงดันที่กระแสและความเข้มแสงต่างๆที่ได้จากกราฟคุณลักษณะ ที่ความเข้มแสง 0 W/m^2

กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน
0.00000	0.00000	-0.00535	11.49992
-0.00001	0.50000	-0.00751	11.99989
-0.00003	1.00000	-0.01057	12.49985
-0.00004	1.50000	-0.01492	12.99978
-0.00006	2.00000	-0.02110	13.49969
-0.00008	2.50000	-0.02985	13.99957
-0.00009	3.00000	-0.04223	14.49939
-0.00011	3.50000	-0.05968	14.99913
-0.00013	4.00000	-0.08418	15.49878
-0.00016	4.50000	-0.11836	15.99828
-0.00019	5.00000	-0.16565	16.49760
-0.00022	5.50000	-0.23036	16.99666
-0.00027	6.00000	-0.31767	17.49539
-0.00032	6.50000	-0.43341	17.99372
-0.00040	6.99999	-0.58366	18.49154
-0.00050	7.49999	-0.77410	18.98877
-0.00064	7.99999	-1.00936	19.48536
-0.00083	8.49999	-1.29240	19.98126
-0.00110	8.99998	-1.62432	20.47645
-0.00148	9.49998	-2.00441	20.97093
-0.00201	9.99997	-2.43048	21.46476
-0.00277	10.49996	-2.89942	21.95796
-0.00384	10.99994		

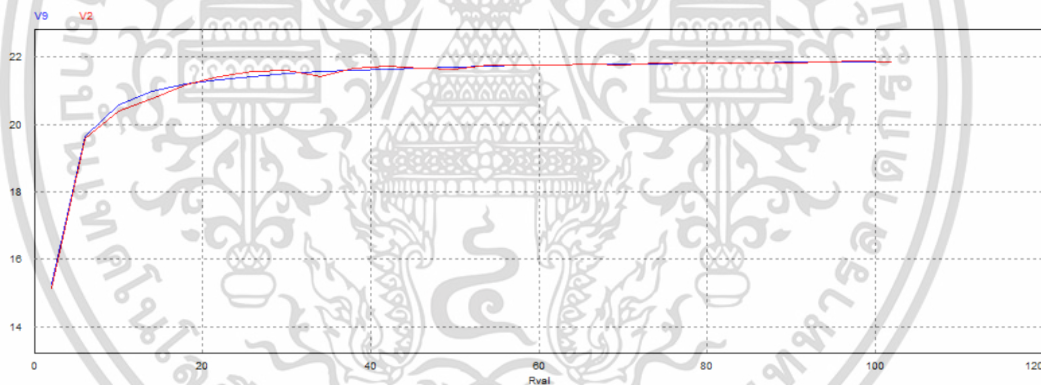
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลจากวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี

ที่ความเข้มแสง 1000W/m^2

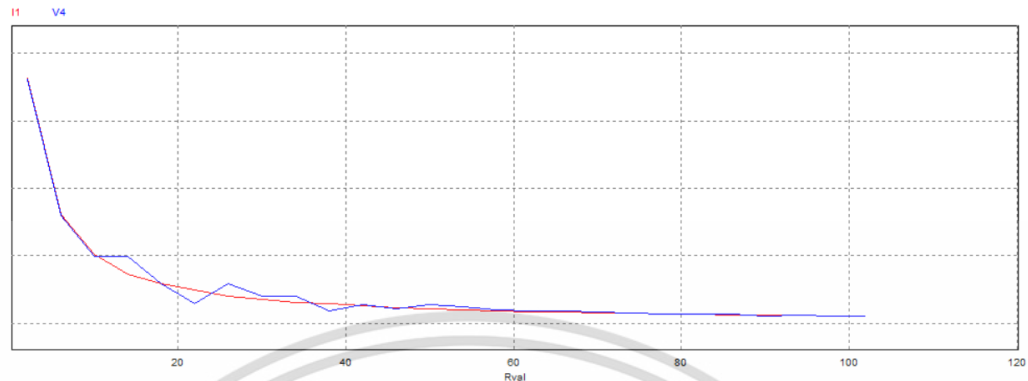


รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบกระแสโหนดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m^2

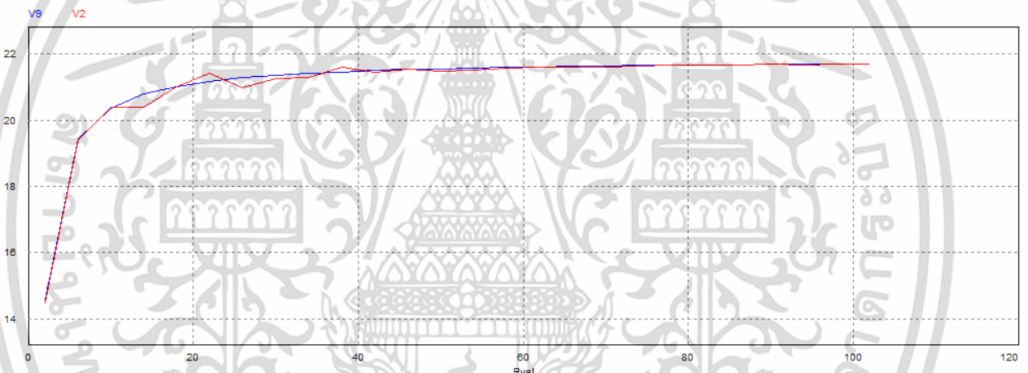


รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบแรงดันโหนดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m^2

ที่ความเข้มแสง 900W/m^2



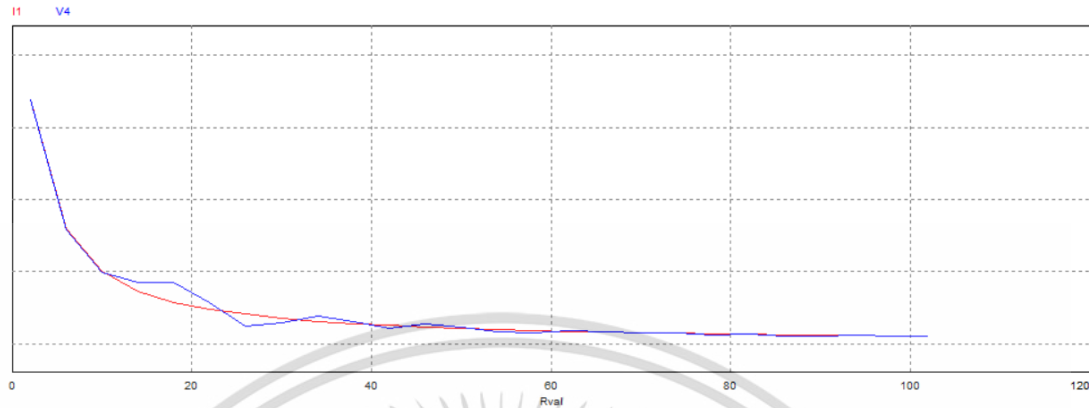
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m^2



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 800W/m^2



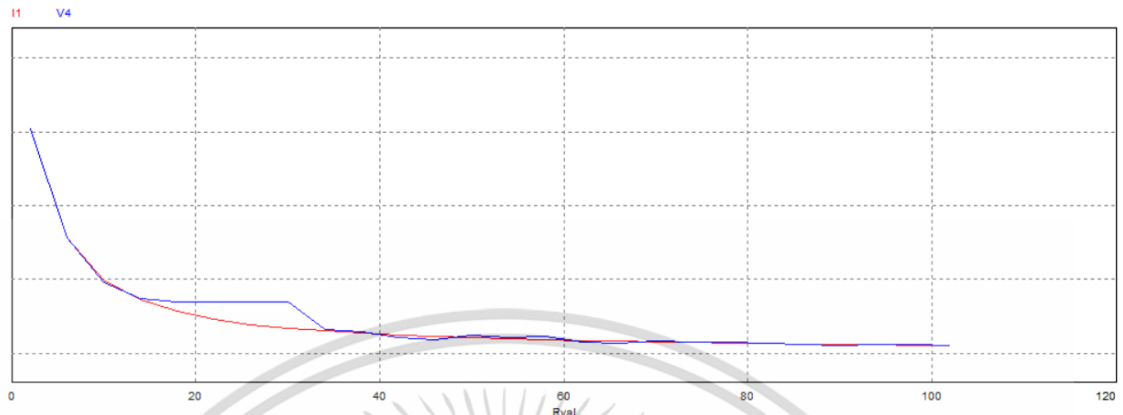
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m^2



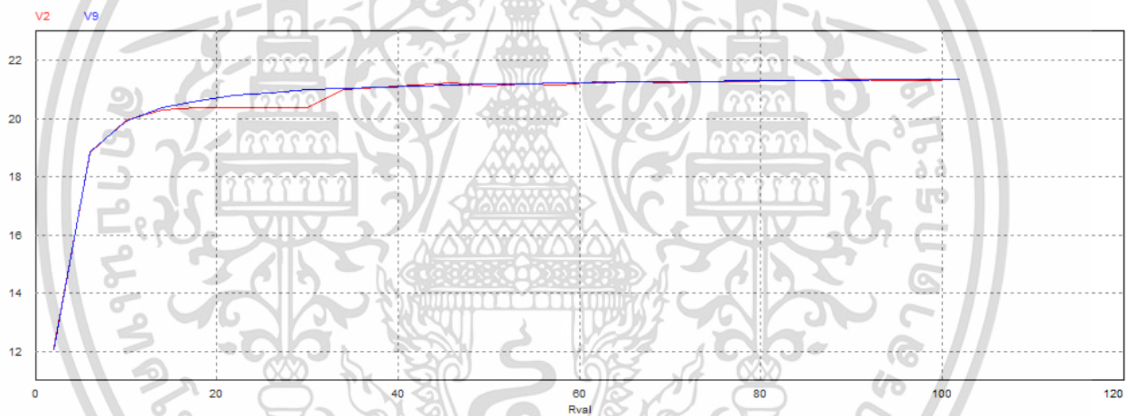
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 700W/m^2



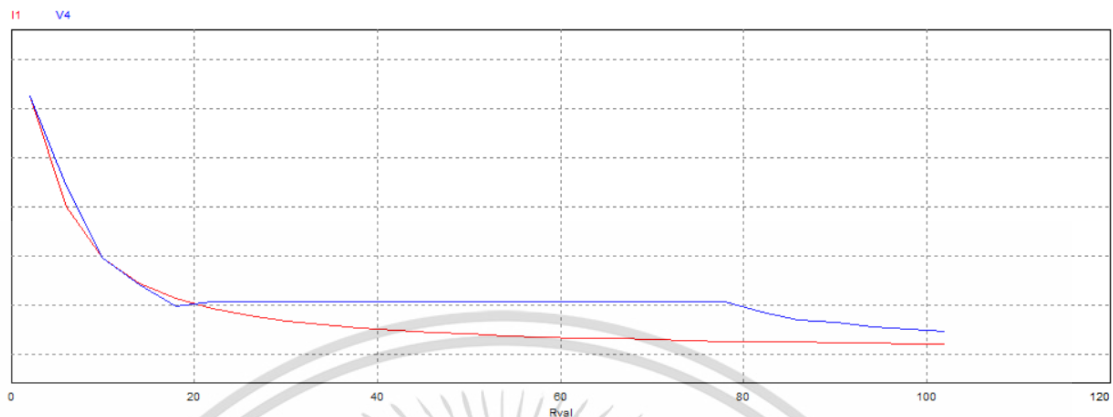
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m^2



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 600W/m^2



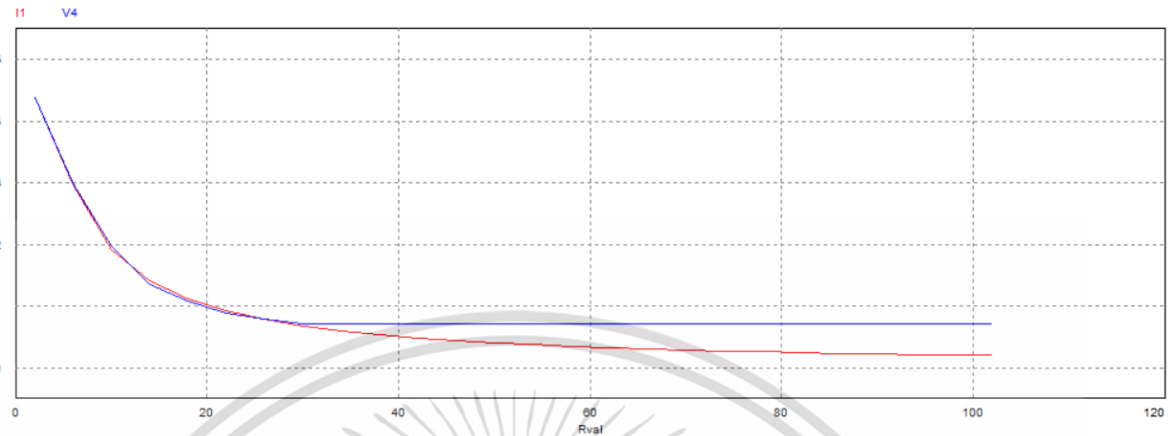
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบกระแสไหลด์กับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m^2



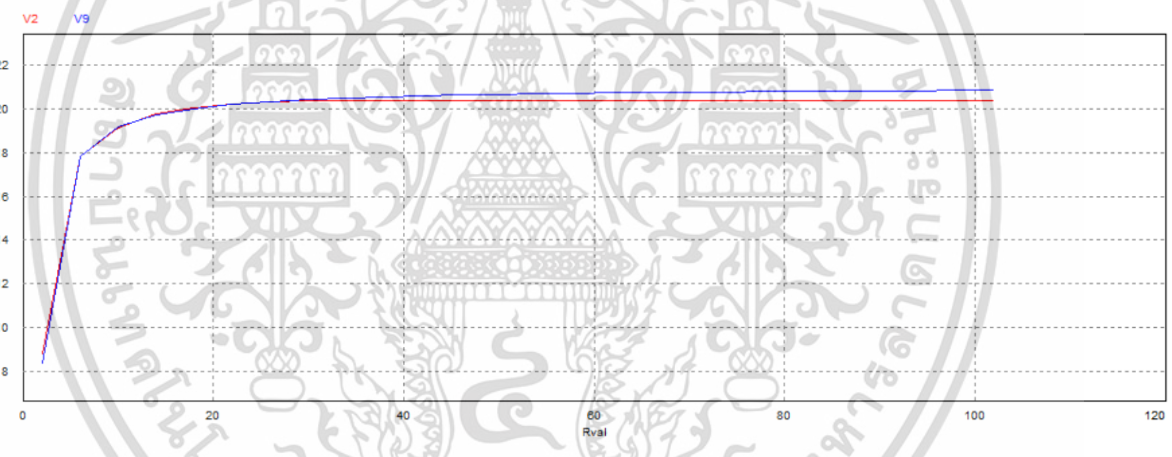
รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบแรงดันไหลด์กับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 50 0W/m^2



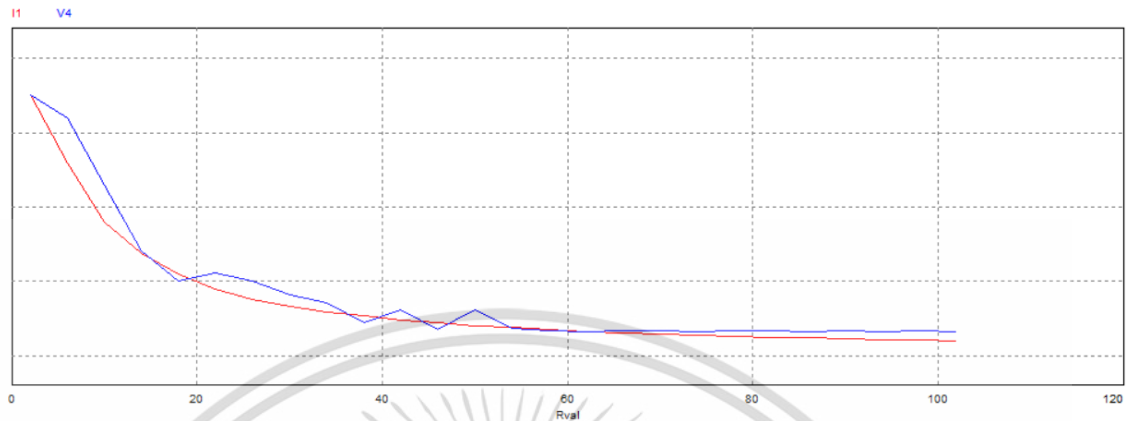
รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบกระแสไหลด์กับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m^2



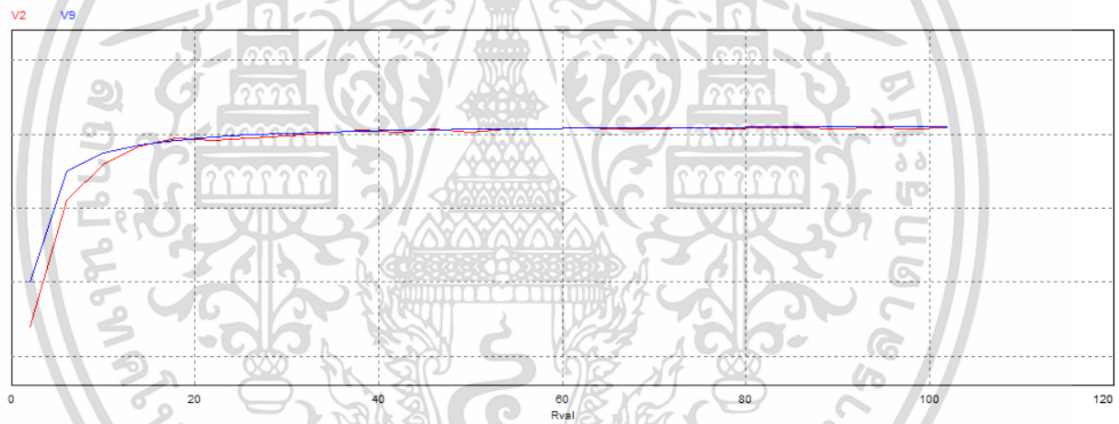
รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบแรงดันไหลด์กับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 400W/m^2



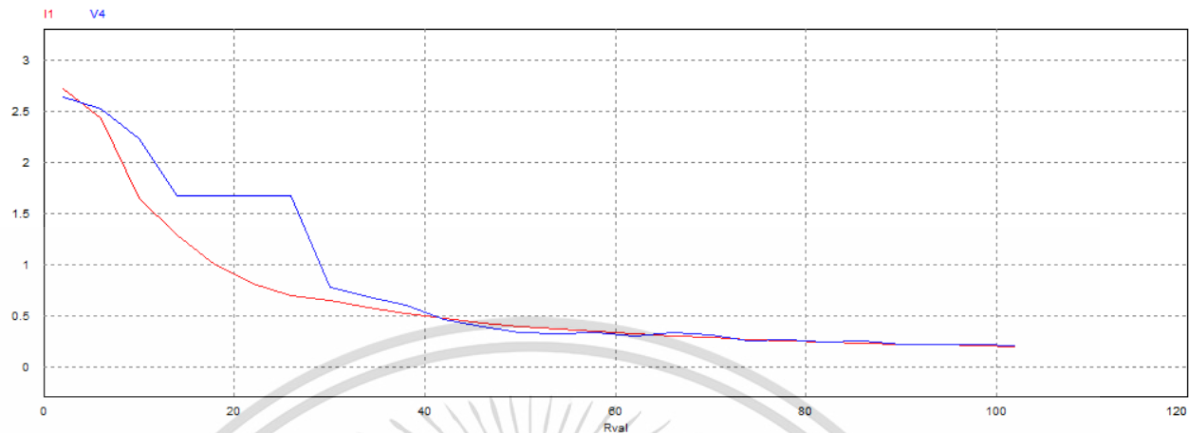
รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบกระแสไหลด์กับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m^2



รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบแรงดันไหลด์กับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 300W/m^2



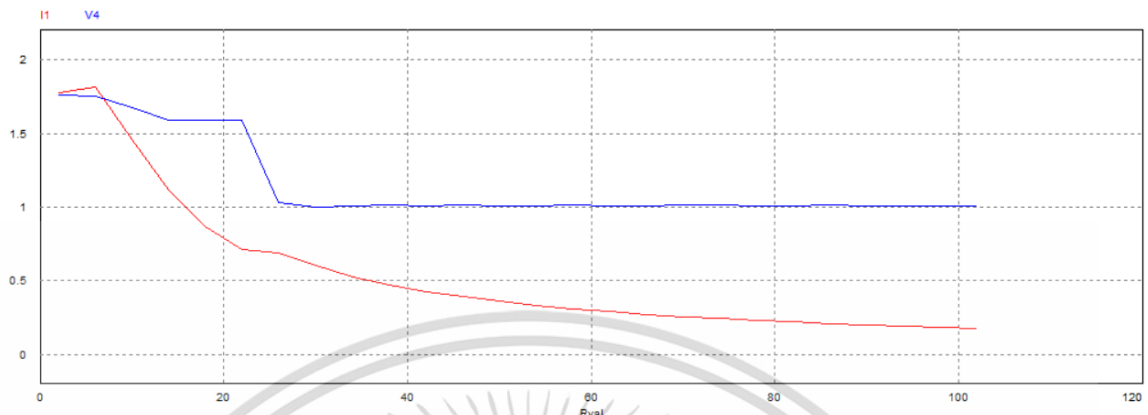
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบกระแสไหลด์กับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m^2



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบแรงดันไหลด์กับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 200W/m^2



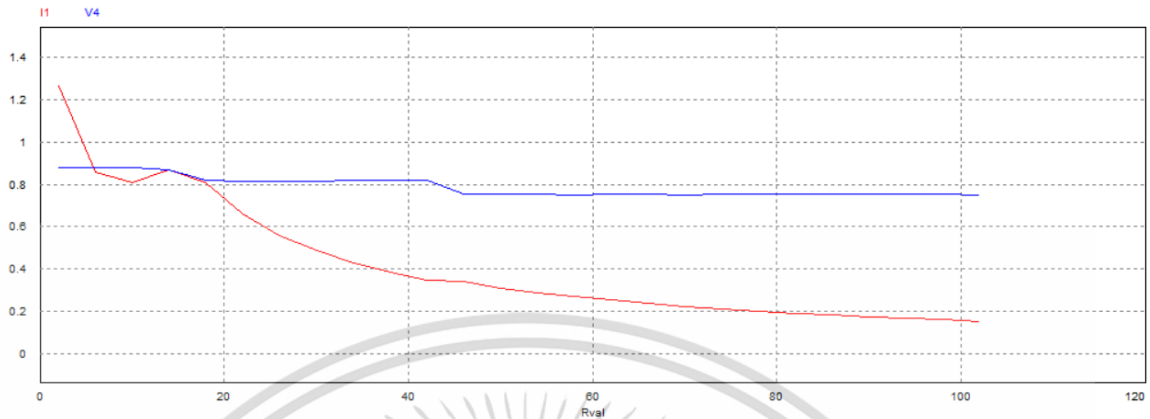
รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m^2



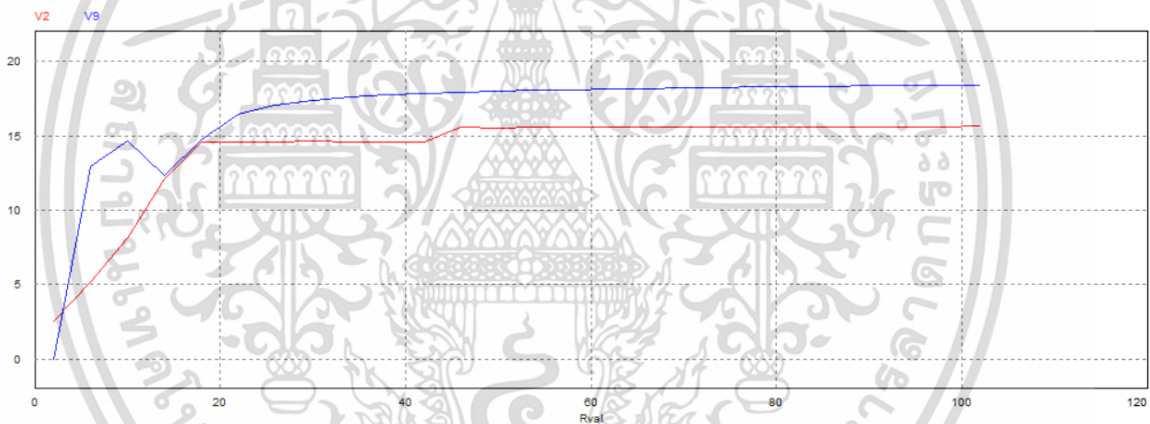
รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง 100W/m^2



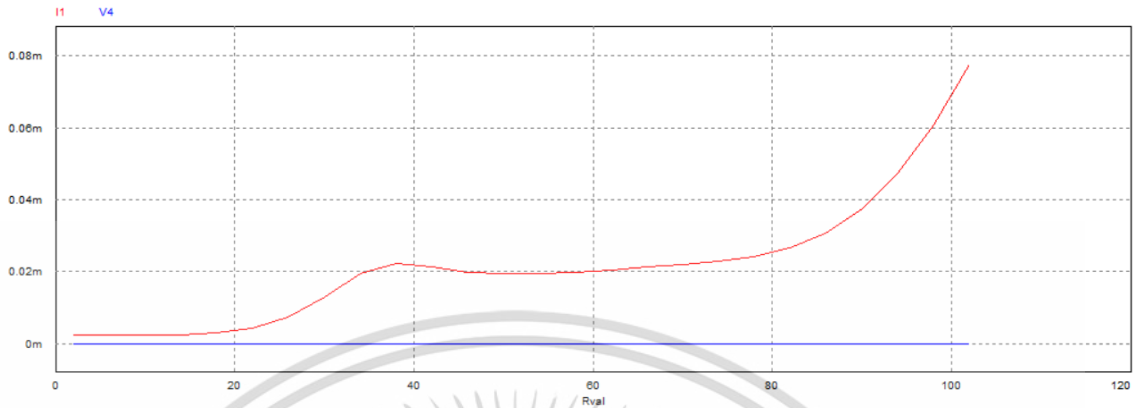
รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบกระแสไหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2



รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบแรงดันไหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มแสง $0\text{W}/\text{m}^2$



รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ $0\text{W}/\text{m}^2$



รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ $0\text{W}/\text{m}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการจำลอง

จากผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PSIM ในขั้นตอนของวงจรวัดคุณลักษณะกราฟคุณลักษณะที่ได้มีความใกล้เคียงกับกราฟคุณลักษณะในทางทฤษฎี ยกเว้นที่ความเข้มแสงต่ำๆซึ่งกราฟที่ได้แตกต่างไปจากทฤษฎี แต่ในขั้นตอนการทดสอบวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นพบว่ากราฟคุณลักษณะทั้งของกระแสและแรงดันที่ไหลตั้น ที่บางความเข้มแสงคือ 600, 300, 200, 100, 0 W/m² (ที่ 600 และ 300 ในส่วนของกระแสไหล) แตกต่างจากกราฟที่ได้จากวงจรวัดคุณลักษณะอย่างมาก ขณะที่บางความเข้มแสงคือ 1000, 900, 800, 700, 500, 400 มีความใกล้เคียงกับกราฟจากวงจรวัดคุณลักษณะ แต่ในบางช่วงยังมีความแตกต่างที่เห็นได้ชัด ผลของวงจรวัดที่ความเข้มแสงต่ำๆกราฟคุณลักษณะยังไม่ใกล้เคียงกับทางทฤษฎีและผลการจำลองในส่วนของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงยังไม่เป็นที่น่าพอใจ และยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงส่วนของวงจรควบคุมเพื่อให้ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวงจรวัดมากยิ่งขึ้น
2. การทดสอบด้วยฮาร์ดแวร์จะช่วยยืนยันว่าผลการจำลองสอดคล้องกันหรือไม่ แต่ต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมด้วย
3. วงจรวัดคุณลักษณะควรปรับปรุงให้ทำงานในช่วงความเข้มแสงต่ำได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Solar Cell: Working Principle & Construction (Diagrams Included). (ออนไลน์) ที่มา <https://www.electrical4u.com/solar-cell/>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. (ออนไลน์) ที่มา http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf
- [3] แผงโซลาร์เซลล์มีกี่ชนิด ต่างกันอย่างไร. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.irradiance.co.th/th/>
- [4] SOLAR PANELS – CHOOSE YOUR TECHNOLOGY. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/>
- [5] Solar Cell I-V Characteristic. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยคอนเวอร์เตอร์ดีซี

Solar Cell Characteristic Simulation using DC Converter

ชวกร ชีระสานต์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-Mail: klong_ooo@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในงานต่าง ๆ ซึ่งต้องทำการทดลองกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมักถูกจำกัดด้วยเวลาและสภาพอากาศในแต่ละวันที่ไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลองที่ต้องการได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์จำลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อให้สามารถทำการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ โครงการนี้นำเสนอการใช้คอนเวอร์เตอร์ดีซีชนิดลดทอนแรงดันมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์จำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้การควบคุมค่ากระแสและแรงดันขาออกของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามเส้นโค้งคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในโครงการนี้โปรแกรม PSIM ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และสร้างเส้นโค้งคุณลักษณะเพื่อนำไปบันทึกเป็นตารางสำหรับใช้ในการควบคุมในวงจรควบคุมแบบ PI ของคอนเวอร์เตอร์ดีซี การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ดีซีถูกจำลองบนโปรแกรม PSIM ในระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่นำเสนอสามารถจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง

ABSTRACT

Studies of solar cell applications that require experiment with solar cell are usually limited by time and variation of weather on each day that cannot be controlled under the required experimental conditions. To avoid this limitation, solar cell characteristic simulators have been developed for using in laboratories. This project proposes solar cell characteristic simulation using step-down DC-DC converter by controlling the output voltage and current of the converter according to the volt-amp characteristic of a solar panel. In this project PSIM is used for simulating and generating volt-amp characteristic curves of the solar panel. The curves are sampled to make a look-up table for the PI controller in stepdown converter. The operation of DC converter is model and simulated using PSIM for various

light intensity. The simulation results show that the propose circuit and control method can correctly simulate the characteristic of the solar panel.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาภาวะโลกร้อนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผู้คนมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมโดยใส่ใจกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เทคโนโลยีต่างๆก็ต้องปรับตัวตามความต้องการนั้นเช่นกัน รวมถึงการผลิตไฟฟ้าด้วย ที่ถึงแม้จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามกขึ้นแต่ก็ต้องควบคุมไปกับการใส่ใจธรรมชาติ ผู้คนจึงเริ่มหันมาสนใจพลังงานทดแทนมากขึ้นด้วย ซึ่งพลังงานทดแทนที่ถูกสนใจมากที่สุดก็คือพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ปัจจัยการผลิตคือแสงซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป ต่างจากพลังงานทดแทนอื่นๆที่ปัจจัยการผลิตค่อนข้างจำกัดด้วยปัจจัยต่างๆ โดยปัจจุบันจะเห็นโครงการเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นได้อย่างชัดเจนทั้งจากภาครัฐและเอกชน รวมถึงประชาชนทั่วไปที่มีความต้องการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

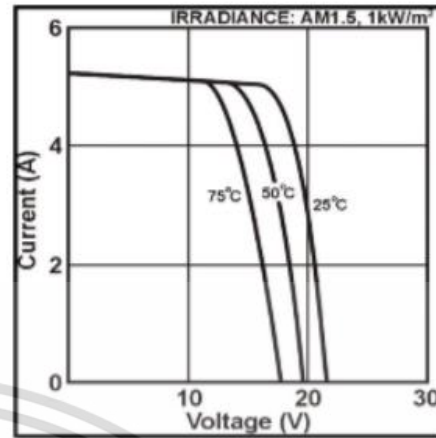
เนื่องจากความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์เอง เช่น ประสิทธิภาพ ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น ในกรณีของระบบโซลาร์ฟาร์มซึ่งเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่อกัน ซึ่งการที่จะต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าก็จำเป็นต้องควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้ได้ ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นและดำเนินการผลิตไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการ

โดยการที่จะศึกษาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นค่อนข้างทำได้ยากเพราะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเข้มแสงในแต่ละวันได้ตามต้องการของการทดลอง จากการที่ผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ จึงใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อใช้ในการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

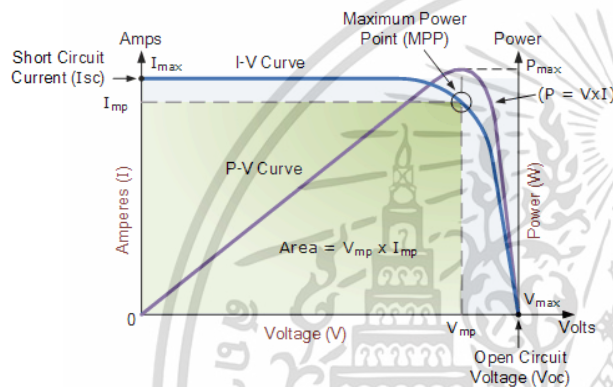
2. หลักการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์คือความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน หรือแสดงในรูปกราฟคุณลักษณะ (I-V characteristics curve) โดยความเข้มแสงที่เซลล์ได้รับจะควบคุมกระแส ขณะที่อุณหภูมิของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ผลคุณของกระแสกับแรงดันจะเท่ากับกำลังไฟฟ้า กราฟนี้ทำให้เราสามารถทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point/MPP)

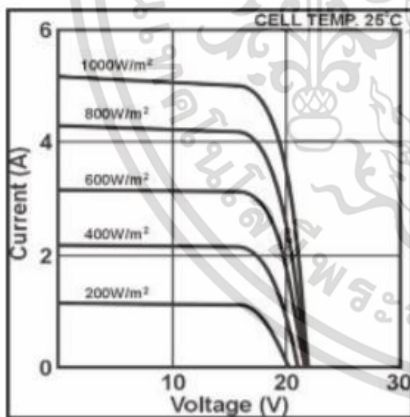


รูปที่ 3 กราฟคุณลักษณะที่อุณหภูมิต่างๆ

โดยกราฟคุณลักษณะนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง open circuit voltage (Voc) ซึ่งกระแสมีค่าต่ำสุดหรือเป็นศูนย์และแรงดันมีค่าสูงสุด กับ short circuit current (Isc) ซึ่งกระแสมีค่าสูงสุดและแรงดันมีค่าต่ำสุดหรือเป็นศูนย์ และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ที่ Vmp กับ Imp โดยที่ Vmp มีค่าประมาณ 0.8 เท่าของ Voc และ Imp มีค่าประมาณ 0.85 เท่าของ Isc



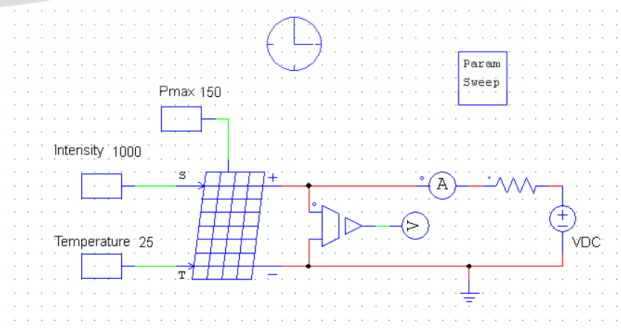
รูปที่ 1 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสงต่างๆ

3. ขั้นตอนการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ศึกษาคุณลักษณะของกระแสและแรงดันต่อความเข้มแสงต่างๆของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ตามรูปที่ 4 ในโปรแกรม PSIM โดยในที่นี้จะศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C เท่านั้น และศึกษาในช่วงความเข้มแสง 0 - 1000 W/m² (ได้แก่ 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000)

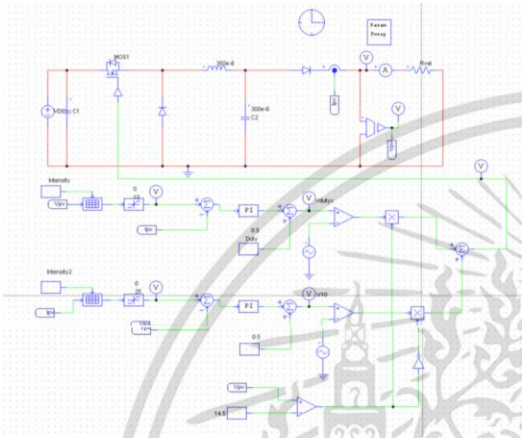


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 วงจรวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน

2. บันทึกค่ากระแสและแรงดันของแต่ละความเข้มแสงลงในตารางแล้วปรับเป็นรูปแบบไฟล์ .tbl เพื่อใช้ใน 2D-lookup table ของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

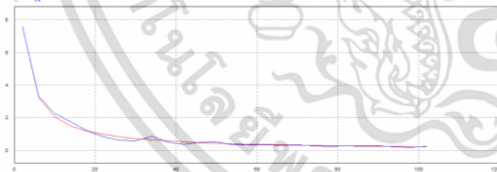
3. จำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวาดวงจรดังรูปที่ 5 ในโปรแกรม PSIM



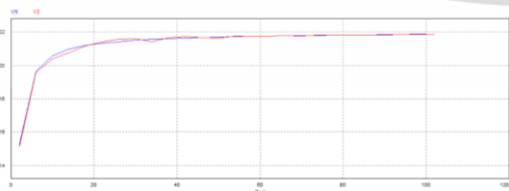
รูปที่ 5 วงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่โหลด กับกราฟที่ได้จาก 2D-lookup table

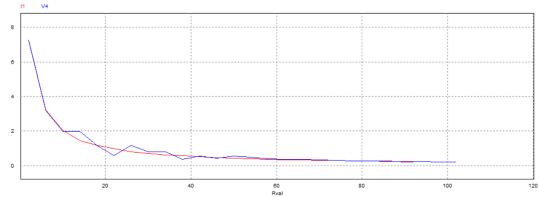
4. ผลการจำลอง



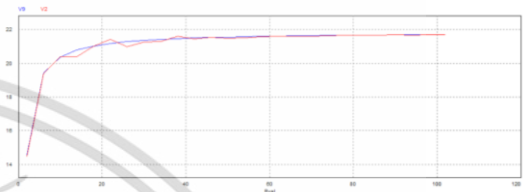
รูปที่ 6 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m²



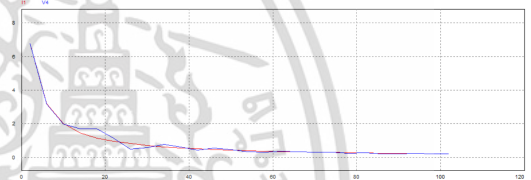
รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 1000W/m²



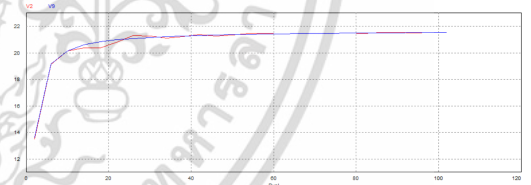
รูปที่ 8 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m²



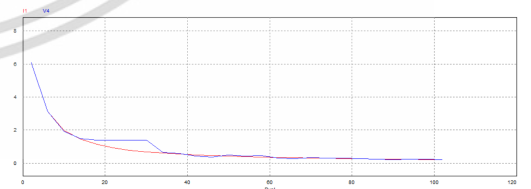
รูปที่ 9 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 900W/m²



รูปที่ 10 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m²

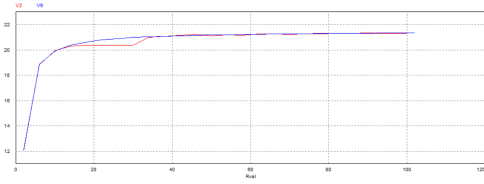


รูปที่ 11 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 800W/m²

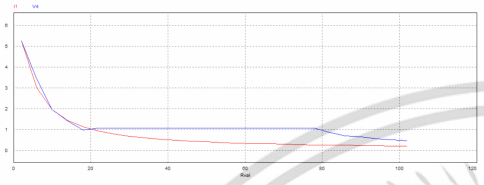


รูปที่ 12 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m²

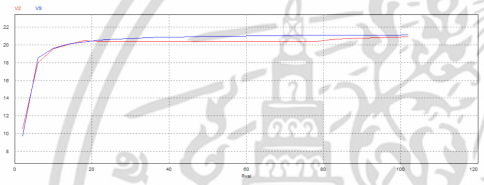
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



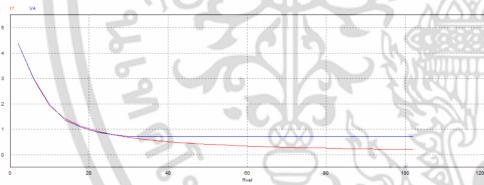
รูปที่ 13 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 700W/m²



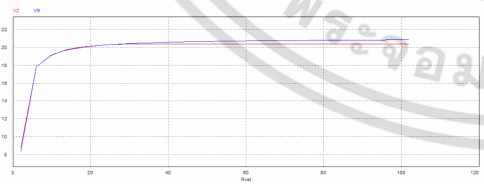
รูปที่ 14 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m²



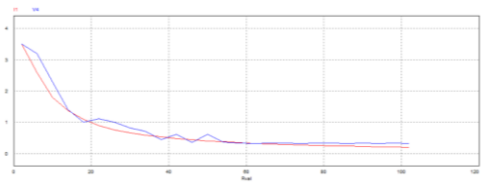
รูปที่ 15 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 600W/m²



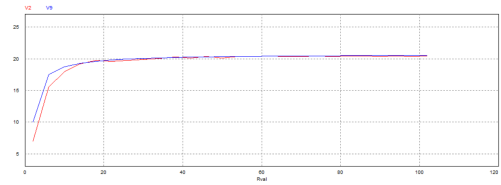
รูปที่ 16 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m²



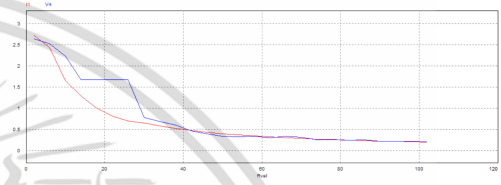
รูปที่ 17 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 500W/m²



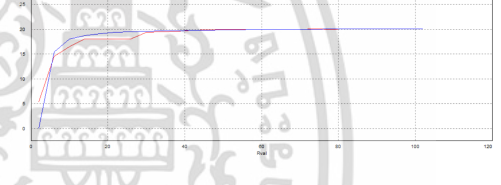
รูปที่ 18 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m²



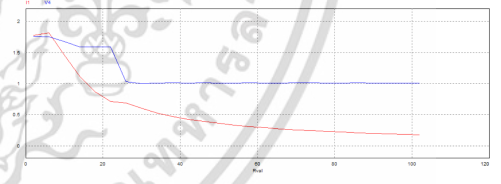
รูปที่ 19 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 400W/m²



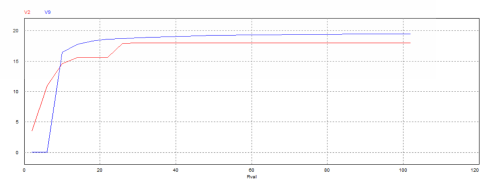
รูปที่ 20 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m²



รูปที่ 21 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 300W/m²

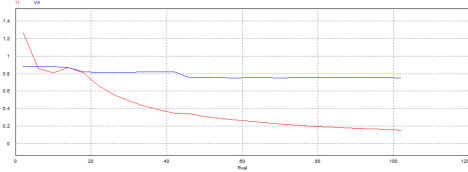


รูปที่ 22 เปรียบเทียบกระแสโหลดกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m²

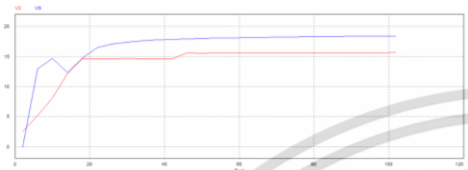


รูปที่ 23 เปรียบเทียบแรงดันโหลดกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 200W/m²

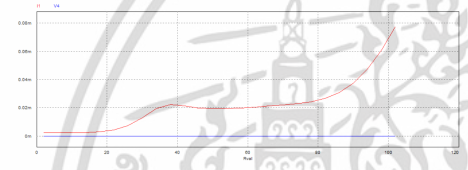
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



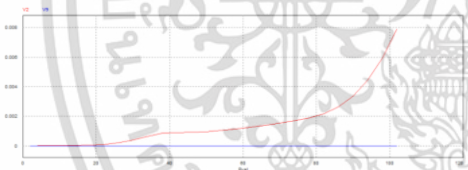
รูปที่ 24 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2



รูปที่ 25 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 100W/m^2



รูปที่ 26 เปรียบเทียบกระแสไหลต่อกับกระแสจาก 2D-lookup table ที่ 0W/m^2



รูปที่ 27 เปรียบเทียบแรงดันไหลต่อกับแรงดันจาก 2D-lookup table ที่ 0W/m^2

5. สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PSIM ในขั้นตอนของวงจรวัดคุณลักษณะกราฟคุณลักษณะที่ได้มีความใกล้เคียงกับกราฟคุณลักษณะในทางทฤษฎี ยกเว้นที่ความเข้มแสงต่ำๆ ซึ่งกราฟที่ได้แตกต่างไปจากทฤษฎี แต่ในขั้นตอนการทดสอบวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น พบว่ากราฟคุณลักษณะทั้งของกระแสและแรงดันที่ไหลต่อนั้น ทั้งบางความเข้มแสงคือ 600, 300, 200, 100, 0 W/m^2 (ที่ 600 และ 300 ในส่วนของกระแสไหลต่อ) แตกต่างจากกราฟที่ได้จากวงจรวัดคุณลักษณะอย่างมาก ขณะที่บางความเข้มแสงคือ 1000, 900, 800, 700, 500, 400 มีความใกล้เคียงกับกราฟจากวงจรวัดคุณลักษณะแต่ในบางช่วงยังมีความแตกต่างที่เห็นได้ชัด ผลของวงจรวัดที่ความเข้มแสงต่ำๆ กราฟคุณลักษณะยังไม่ใกล้เคียงกับทางทฤษฎีและผลการจำลองใน

ส่วนของวงจรจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงยังไม่เป็นที่น่าพอใจ และยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงส่วนของวงจรควบคุมเพื่อให้ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวงจรวัดมากยิ่งขึ้น
2. การทดสอบด้วยฮาร์ดแวร์จะช่วยยืนยันว่าผลการจำลองสอดคล้องกันหรือไม่ แต่ต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมด้วย
3. วงจรวัดคุณลักษณะควรปรับปรุงให้ทำงานในช่วงความเข้มแสงต่ำได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Solar Cell: Working Principle & Construction (Diagrams Included). (ออนไลน์) ที่มา <https://www.electrical4u.com/solar-cell/>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. (ออนไลน์) ที่มา http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf
- [3] แผงโซลาร์เซลล์มีกี่ชนิด ต่างกันอย่างไร. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.irradiance.co.th/th/>
- [4] SOLAR PANELS – CHOOSE YOUR TECHNOLOGY. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/>
- [5] Solar Cell I-V Characteristic. (ออนไลน์) ที่มา <https://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html>

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชวกร ชีระสานต์ เกิดวันที่ 31 มีนาคม 2539
203 หมู่ 1 ต.ไร่ส้ม อ.เมือง จ.เพชรบุรี
ปีการศึกษา 2557-2562 ปริญญาตรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชวกร ชีระศานต์ รหัสนักศึกษา 57010280 เกิดวันที่ 31 มีนาคม 2539

ภูมิลำเนา 203 หมู่ 1 ต.ไร่ส้ม อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

ประวัติการศึกษา : ปีการศึกษา 2557-2562 ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้