

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วงจรขยายกระแสและแรงดัน

A SOLAR CELL SIMULATOR USING I-V AMPLIFIER CIRCUIT



ว
ค 871 6
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....87881
วัน,เดือน,ปี.....1.9...ส.ค...2552

b. 120 ๖ 871
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-020-191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SOLAR CELL SIMULATOR USING I-V AMPLIFIER CIRCUIT



**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
2008**

KMITL-2008-EN-M-020-191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วงจรรายกระแสและแรงดัน
นักศึกษา	นายเอก เอื้อตระกูลวิวัฒน์
รหัสประจำตัว	46060720
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่อาศัยวงจรอนุกรมอย่างง่ายเพื่อขยายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเซลล์เดียวทำหน้าที่แทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงขนาดใหญ่ ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง เช่นภายใต้การเปลี่ยนความเข้มแสง ในวิทยานิพนธ์ได้มีการวิเคราะห์และออกแบบวงจรอย่างง่าย ตลอดจนการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม OrCAD 9.1 ผลการทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับผลการจำลองนี้ได้ยืนยันความถูกต้องของระบบที่ได้นำเสนอ

Thesis Title	A Solar Cell Simulator Using I-V Amplifier Circuit
Student	Mr. Ake Euartakarnwiwat
Student ID.	46060720
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnares

ABSTRACT

This thesis is concerned with the study of a mathematical model and implementation of a 16 watt solar cell simulator based on a simple analog circuit for amplifying the electrical characteristics of a small solar cell acting as a large solar cell module. The characteristic of the solar cell simulator is similar to that of a practical solar cell when working under actual surroundings such as an insolation change. In this thesis, the analysis and design of the proposed circuit as well as simulation of the simulator operation using OrCAD 9.1 software package are given. Experimental results of performance testing are compared with the simulation. These results confirm the correctness of the proposed system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความกรุณาของ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ดร. สุรินทร์ คำฝอย ประธานกรรมการและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ชี้แนะแนวทางในการปรับปรุง แก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัย ECC 405 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสถิตย์ คุณแม่ท้อมฟ้า ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณ คุณต้นดาวดีและน้องนภา น้องเกษร ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอก เอื้อตระการวิวัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
2.1 บทนำ.....	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน.....	5
2.2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2.2 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.2.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ แสงอาทิตย์.....	9
2.3 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.3.1 การศึกษาผลการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งาน.....	14
2.3.2 การศึกษาผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเงาบัง.....	15
2.4 ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.4.1 หลักการทำงาน.....	17
2.4.2 ชุดขยายกำลังไฟฟ้า.....	18
2.4.3 ชุดสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 การเปรียบเทียบเทคนิคการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง.....	31
2.5 ทฤษฎีวงจรรออปแอมป์เบื้องต้น	32
2.5.1 วงจรขยายแบบกลับเฟส.....	32
2.5.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	34
2.5.3 วงจรขยายแรงดันตาม	35
2.5.4 วงจรอินทิเกรต	36
2.5.5 วงจรอินทิเกรตรวมสัญญาณ	37
2.6 สรุป.....	37
บทที่ 3 การออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
3.1 บทนำ.....	38
3.2 การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงขนาดเล็ก.....	39
3.3 การออกแบบวงจร DC bias controller.....	40
3.3.1 วงจรตรวจจับกระแสเอาท์พุท	40
3.3.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์	41
3.4 วงจรขยายกำลัง.....	42
3.5 บทสรุป.....	44
บทที่ 4 การศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยจำลองการทำงาน ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1.....	45
4.1 บทนำ.....	45
4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	45
4.2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK.....	47
4.2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1	50
4.2.3 การจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อใช้งานแบบ อนุกรม.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.4 การจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อใช้งานแบบขนาน	62
4.2.5 การจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	66
4.2.6 การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับ โปรแกรม OrCAD 9.1.....	67
4.3 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	69
4.3.1 หลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	69
4.3.2 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์	70
4.3.3 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์	74
4.3.4 การนำแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้วิเคราะห์สถานะการมีเงบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมโดยไม่มีบายพาสไดโอด	77
4.3.5 การนำแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้วิเคราะห์สถานะการมีเงบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมโดยมีบายพาสไดโอด	80
4.4 สรุป.....	83
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	84
5.1 บทนำ	84
5.2 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง	84
5.2.1 การทดสอบกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อเปลี่ยนความเข้มแสง	85
5.2.2 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนความเข้มแสง	85
5.3 การทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะเปิดวงจร	87
5.4 สรุป.....	88
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	89
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.1.1 การศึกษาการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1	89
6.1.2 การออกแบบและสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	89
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	90
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	102



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงเทคนิคการเปลี่ยนแปลงโพลด..... 21
2.2	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงเทคนิคการใช้วงจรสมมูลอย่างง่าย 23
2.3	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงโดยใช้ค่ากราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้า..... 25
2.4	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ 29
2.5	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่อาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ 31
2.6	แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง 31
4.1	ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK..... 48
4.2	แสดงค่าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (STC) 56
4.3	เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (STC) กับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์..... 57
4.4	เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานกับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมจำนวน 3 เซลล์..... 61
4.5	เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานกับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อขนานจำนวน 3 เซลล์..... 31
4.6	แสดงข้อมูลเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 66
4.7	แสดงข้อมูลเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40..... 66
4.8	ตารางเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลอง..... 67
4.9	เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับโปรแกรม OrCAD 9.1 68
4.10	แสดงอัตราขยายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 16 วัตต์ 73
4.11	แสดงอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์..... 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- 4.12 แสดงอัตราขยายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์..... 77
- 4.13 แสดงอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์..... 77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	แสดงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 ถึงพ.ศ. 2550.....	1
2.1	ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน.....	5
2.2	ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน.....	5
2.3	ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน.....	6
2.4	การเกิดคู่อิเล็กตรอนและ โฮล เมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.5	การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้า.....	8
2.6	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานอนุกรม และความต้านทานขนาน.....	9
2.7	พารามิเตอร์ที่สำคัญในกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.8	การเปลี่ยนคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ.....	12
2.9	การพิจารณากราฟคุณลักษณะเฉพาะเพื่อผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลแฟกเตอร์ และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.10	ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.11	คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	15
2.12	คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	15
2.13	ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการบังเงา.....	16
2.14	แสดงอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการบังเงา.....	16
2.15	ลักษณะการต่อบายพาสไดโอดกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.16	หลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.17	วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้สร้างชุดขยายกำลังไฟฟ้า.....	19
2.18	วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้สร้างชุดขยายกำลังไฟฟ้า.....	19
2.19	แสดงหลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยค่าที่ได้จากการวัดจริง.....	21
2.20	แสดงหลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยวงจรสมมูลอย่างง่าย.....	22
2.21	สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยวงจรสมมูลอย่างง่าย.....	23
2.22	แสดงหลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยค่าที่ได้จากกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้า.....	24
2.23	วิธีการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	แสดงหลักการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยใช้เทคนิคจิจิตอล.....	30
2.25	วงจรถยายแบบกลับเฟส	33
2.26	วงจรถยายแบบไม่กลับเฟส	34
2.27	วงจรถยายแรงดันตาม.....	35
2.28	วงจรถวายอินทิเกรต	36
2.29	วงจรถวายอินทิเกรตรวมสัญญาณ.....	37
3.1	แสดงวงจรตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
3.2	แสดงลักษณะของโฟโต้ไดโอดรุ่น BS520.....	39
3.3	แสดงสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าเปิดวงจรของโฟโต้ไดโอด รุ่น BS520	39
3.4	วงจร DC bias controller	40
3.5	วงจรตรวจจับกระแสเอาท์พุท	41
3.6	วงจรตรวจจับกระแสไฟโต้	42
3.7	ลักษณะ ไอซี OPA544 ที่ใช้สำหรับวงจรถยายกำลังไฟฟ้า	43
3.8	วงจรถยายกำลังไฟฟ้า	43
3.9	การเลือกความถี่ในการกรองสัญญาณรบกวน	44
4.1	วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการวิเคราะห์ความต้านทานขนาน.....	46
4.2	แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ	46
4.3	แสดงวงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย	47
4.4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ..	48
4.5	ขั้นตอนการคำนวณหาค่า Ideality Factor และความต้านทานอนุกรมของแบบจำลอง.....	49
4.6	คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK	49
4.7	วงจรสมมูลในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โปรแกรม OrCAD 9.1	50
4.8	วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะลัดวงจร	53
4.9	แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างด้วยโปรแกรมOrCAD 9.1 ..	55
4.10	แสดงการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ค่าพารามิเตอร์ TR ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ เซลล์แสงอาทิตย์.....	55
4.11	ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.69 cm^2 ที่สภาวะความ เข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$, Air Mass 1.5	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 1300 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	57
4.13 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 700 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	58
4.14 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 14 °C	50
4.15 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 50 °C	59
4.16 แสดงการต่ออนุกรมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	60
4.17 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมจำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	60
4.18 แสดงการต่ออนุกรมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงเซลล์ที่ 3 เป็น 500 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	61
4.19 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบอนุกรม เมื่อเปลี่ยนความเข้มแสงเซลล์ที่ 3 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	62
4.20 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบอนุกรม เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเซลล์ที่ 3 เป็นสภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 14 °C	62
4.21 แสดงการต่อขนานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ที่สภาวะความ เข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	63
4.22 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนาน จำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	64
4.23 แสดงการต่อขนานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงเซลล์ที่ 2 เป็น 500 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	65
4.24 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนาน เมื่อเปลี่ยนความเข้มแสงเซลล์ที่ 2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m ² , อุณหภูมิ 25 °C	65
4.25 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนานเมื่อ เปลี่ยนอุณหภูมิเซลล์ที่ 2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 1000 W/m ² , อุณหภูมิ 14 °C	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	67
4.27 แสดงหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์.....	70
4.28 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1	70
4.29 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ การทดสอบมาตรฐาน (ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C , Air Mass 1.5).....	71
4.30 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1300 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	71
4.31 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 700 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	72
4.32 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 50°C	72
4.33 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 14°C	73
4.34 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ที่สภาวะ การทดสอบมาตรฐาน (ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C , Air Mass 1.5)	74
4.35 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1300 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	75
4.36 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 700 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	75
4.37 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 50°C	76
4.38 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 14°C	76
4.39 แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการเกิด เงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์.....	78
4.40 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองเซลล์ แสงอาทิตย์อ้างอิงจำนวน 4 เซลล์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	79
4.42 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 และ Module_2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	80
4.43 แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการเกิดเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการต่อบายพาสไดโอดใน Module_1 และ Module_2	81
4.44 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มี Module_1 และ Module_2 ต่อบายพาสไดโอด ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C	81
4.45 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C และมีการต่อบายพาสไดโอด	82
4.46 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 และ Module_2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C และมีการต่อบายพาสไดโอด.....	82
5.1 แสดงวงจรการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอดรุ่น BS520	84
5.2 แสดงวงจรการวัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มแสง	85
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันตกคร่อมหลอด LED	85
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอดในโหมด Photovoltaic	86
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอดในโหมด Photovoltaic	86
5.6 ลักษณะการวัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	87
5.7 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง	87

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เน้นการศึกษาตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษา และออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือเพื่อใช้สำหรับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ใกล้เคียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง มีการออกแบบที่ง่ายต่อการนำไปใช้และมีราคาถูก

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่างานวิจัยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีต [2], [3] มีการใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งมีข้อดีคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง แต่มีผลกระทบจากความถี่สวิตช์ทำให้สัญญาณเอาต์พุตผิดเพี้ยน มีการออกแบบระบบควบคุมยุ่งยากและซับซ้อน จึงทำให้เกิดงานวิจัยที่ใช้ระบบที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุม [4], [5] เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของสัญญาณเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากต้องใช้โปรแกรมและการออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้การใช้งานตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ยากลำบาก จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นส่วนใหญ่มุ่งเน้นในการศึกษาและทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งปัจจุบันยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์น้อยมาก

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 หัวข้อใหญ่ดังนี้

1.4.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้สำหรับศึกษารูปแบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าและตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.2 ทฤษฎีตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้เพื่อศึกษาแนวคิดในการสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองการทำงานของด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1 ของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยมุ่งเน้นศึกษา แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 16 วัตต์ โดยมีสัญญาณเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าและประยุกต์ใช้งานในด้านการศึกษาการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบังเงาบนเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษาที่สำคัญดังต่อไปนี้

1.6.1 ศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคุณภาพไฟฟ้าเมื่อนำมาใช้งานจริง

1.6.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีจากบทความ, วารสาร, เอกสาร ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และวิเคราะห์การทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

1.6.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1 และเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

1.6.4 จำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวงจรที่ออกแบบไว้



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ดังนี้

- เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน จะกล่าวถึงปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแสงและอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างและชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อข้างเคียง

- ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวถึงหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงเทคนิคการขยายแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ [8], [9]

2.2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยแบ่งออกได้หลายชนิดดังนี้ คือ

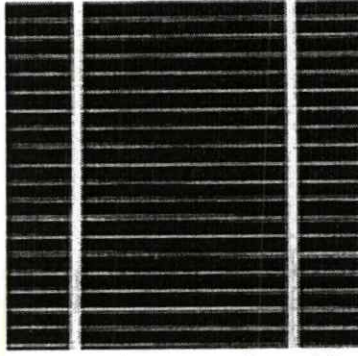
1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน
2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก โพลีซิลิกอน
3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิส

2.2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ปัจจุบันมีการผลิตใช้งานกันมากที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนนั้นทำมาจากซิลิกอนที่มีระนาบเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน โดยที่ความหมายของแผ่นซิลิกอนนั้นมีค่าน้อย ทำให้น้ำหนักเบาและเป็นวัสดุที่ทนต่อแรงเค้นแม้จะมีความหนาเพียง 50 μm ก็ยังคงสภาพเป็นแผ่นได้ติดตั้งแสดงในรูปที่ 2.1 เซลล์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน และแบบอะมอร์ฟิส โดยที่ลักษณะสมบัติการผลิตพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานน้อยมาก อายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้จะมีบ้างก็คือ เนื่องจากผลึกซิลิกอนมีช่องว่างแถบพลังงานชนิดไม่ตรง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าน้อย การผลิตจึงต้องให้หนาพอสมควร ซึ่งความหนาจะอยู่ประมาณ ขึ้นไป โดยที่การผลิตนั้นทำได้ง่าย ซึ่งใช้เทคโนโลยีการสร้าง IC ในการทำรอยต่อ พี-เอ็น ซึ่งมีความก้าวหน้าไปมากในปัจจุบันโดยในทางทฤษฎีแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 44% แต่ในทางปฏิบัติจริงเซลล์ชนิดนี้จะมีการสูญเสียต่างๆ เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

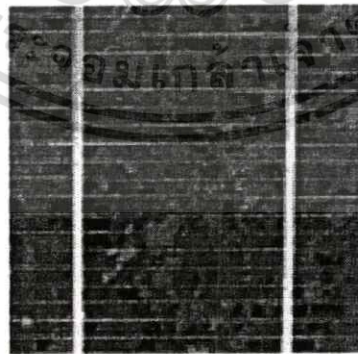


รูปที่ 2.1 ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

2.2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากซิลิกอนที่อยู่ในผลึกจะมีระนาบของผลึกหลายชนิดปะปนอยู่ในระนาบเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อดูด้วยตาเปล่าจะเห็นความแตกต่างของสีของแต่ละระนาบอย่างชัดเจน อาณาเขตของผลึกเรียกว่า “เกรน” (grain) เทคโนโลยีปัจจุบันนี้สามารถผลิตโพลีซิลิกอนให้มีเกรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่หลายสิบล้านไมครอนถึงหลายพันไมครอน ถ้าเกรนมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของเซลล์ พาหะโฟโตที่เกิดจากแสงสามารถเดินทางผ่านรอยต่อพี-เอ็น ออกสู่วงจรภายนอกเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

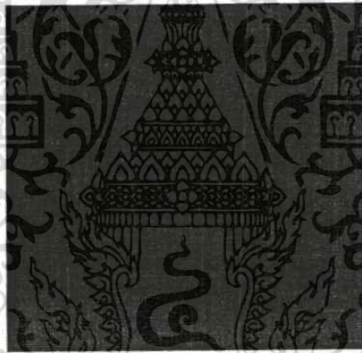
ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้ก็คือมีพันธะของซิลิกอนที่มีแขนขาอยู่มาก ซึ่งไม่มีซิลิกอนอะตอมอื่นมาเกาะพันธะด้วย ซึ่งพันธะแขนขานี้จะเป็นตัวทำให้เกิดสถานะจุดบกพร่อง (defect state) ซึ่งสถานะจุดบกพร่องนี้จะเป็นตัวกอยจับพาหะขี้น้อยจากแสงไม่ให้เดินทางออกสู่วงจรภายนอก และส่งผลทำให้เวลาอายุ (life time) ของพาหะข้างน้อยลดลง และที่ขอบของเกรนจะทำให้เกิดแถบพลังงานที่ขอบของเกรนเกิดขึ้น โค้งขึ้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

2.2.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะเป็นแบบฟิล์มบาง ซึ่งสร้างมาจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน ซึ่งเป็นซิลิกอนที่เรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบหรือเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมแต่ไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอม ซึ่งการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมจะทำให้มีคุณสมบัติคล้ายผลึก แต่ในขณะที่การเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอมนี้จะทำให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ แปรลกออกไปเช่น ค่าคงที่ต่างๆ ทางฟิสิกส์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์จะเหมือนกันตลอดทุกทิศทางของวัสดุ ข้อดีของอะมอร์ฟัสซิลิกอนก็คือมีคุณสมบัติทางไฟที่ต่ำ สามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200 - 300 องศาเซลเซียส โดยสามารถสร้างบนพื้นผิวฐานรองอะไรก็ได้ ราคาถูกและประหยัดพลังงาน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ถูกผลิตครั้งแรกในปี ค.ศ.1977 โดย Carlson และ Wronski ต่อมา Dr Hamakawa มหาวิทยาลัยโอซากา ได้ออกแบบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์เป็นลักษณะของ (a-Su:H) p-I-n ซึ่งใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์ชนิดนี้มีค่าอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเซลล์ชนิดนี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อย่างอื่นได้อีกเช่นกัน

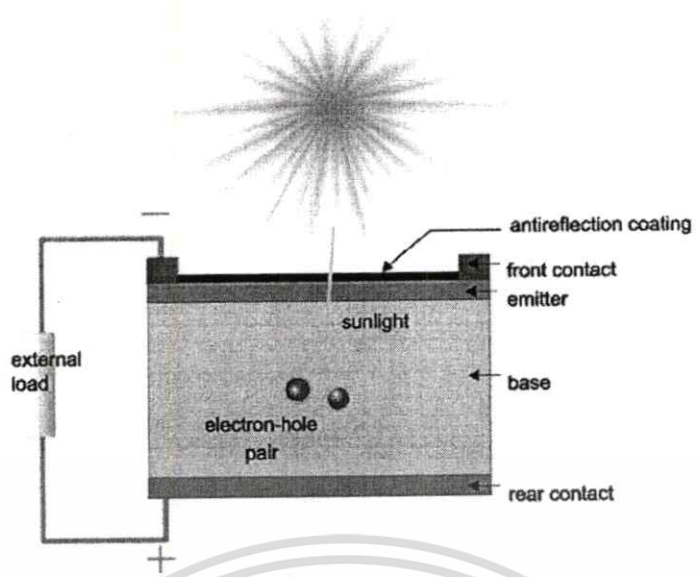


รูปที่ 2.3 ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

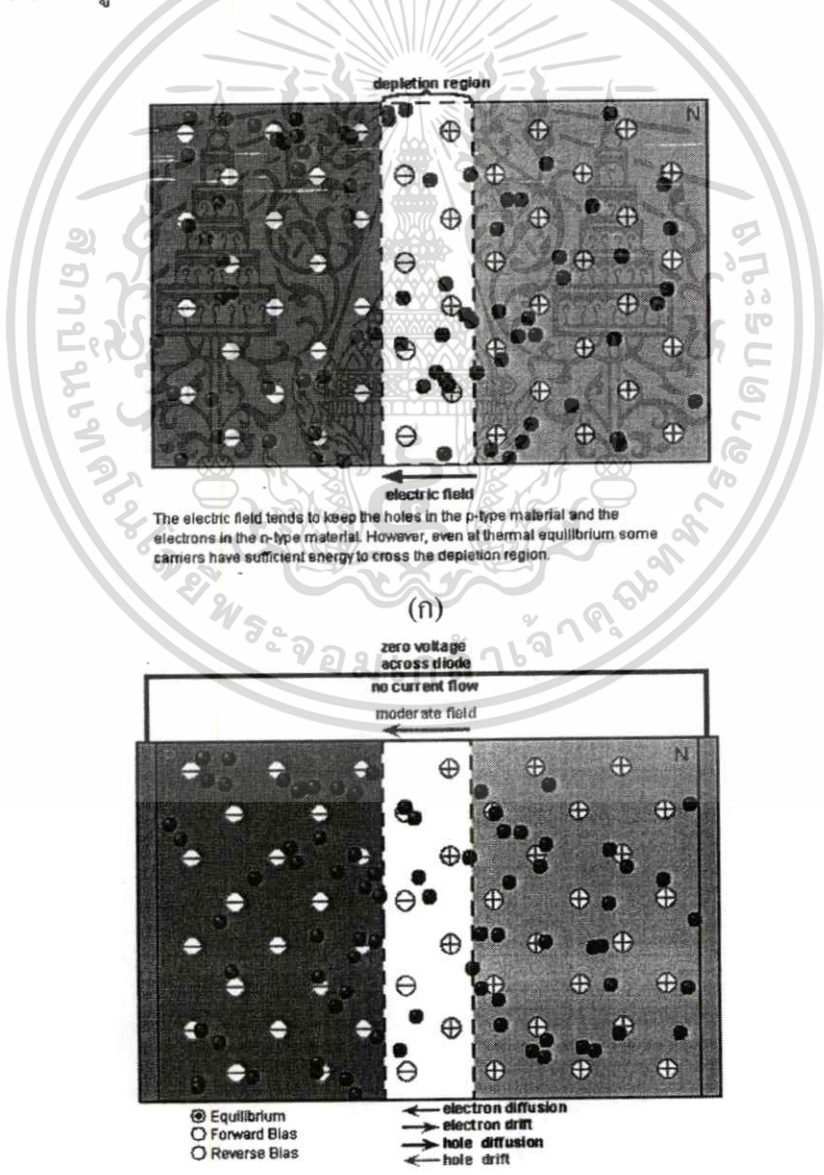
2.2.2 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมาต่อเข้าด้วยกันนั้น จะได้ลักษณะของแถบพลังงานซึ่งอยู่ในสถานะของสมดุลความร้อน และเมื่อมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณปลดพาหะนั้นจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้น ดังรูปที่ 2.4 ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับพลังงานแสงด้วยว่าจะเพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนสามารถที่จะเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้หรือไม่ ถ้าพลังงานมากพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้และเหลือโฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ ที่บริเวณปลดพาหะนั้นจะมีสนามไฟฟ้าอยู่ ซึ่งมีทิศทางจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพี สนามไฟฟ้านี้เองจะเป็นตัวทำให้อิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงให้เคลื่อนที่ไปยังด้านเอ็น ในขณะที่เดียวกันโฮลก็จะเคลื่อนที่ไปยังด้านพี โดยการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้าได้แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

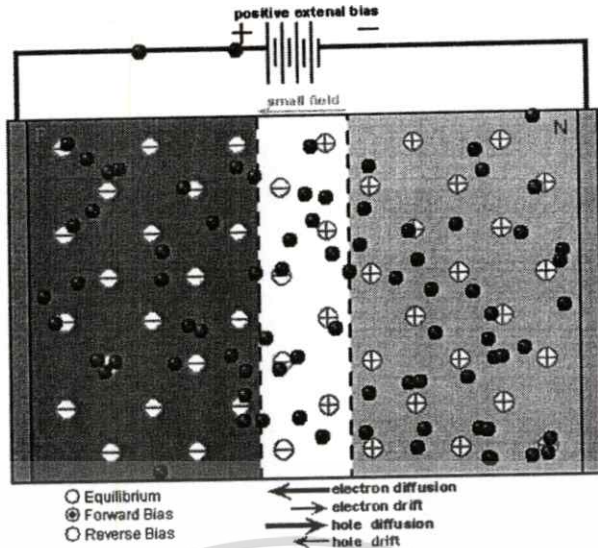


รูปที่ 2.4 การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล เมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

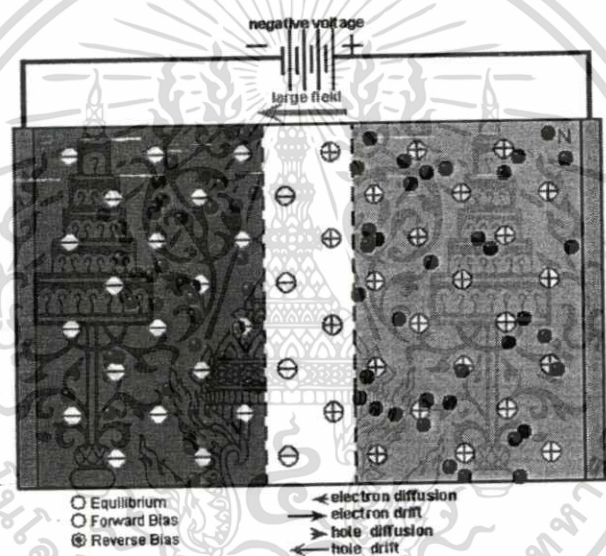


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ง)

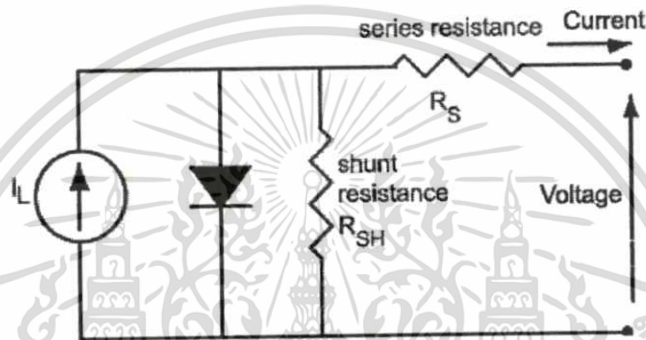
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้า

- (ก) สภาพปกติ
- (ข) ที่สภาวะสมดุล
- (ค) การกระตุ้นแบบ forward bias
- (ง) การกระตุ้นแบบ reverse bias

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากลักษณะ โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.5 สามารถศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะพิจารณาจากวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามแสงอาทิตย์จริง นั่นก็คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) ความต้านทานขนาน (R_{sh}) และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_L ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอดและ R_{sh} แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) กระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I .



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานอนุกรม และความต้านทานขนาน

ในรูปที่ 2.6 เป็นวงจรสมมูลที่ถูกใช้ในการคำนวณสำหรับเซลล์แต่ละตัว ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะการต่อเซลล์ในหัวข้อถัดไป จากรูปที่ 2.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ 5 ตัว อันได้แก่ I_L, I_0, R_s, R_{sh} ได้ดังสมการที่ 2.1

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{V + IR_s}{a} \right] - 1 \right\} - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

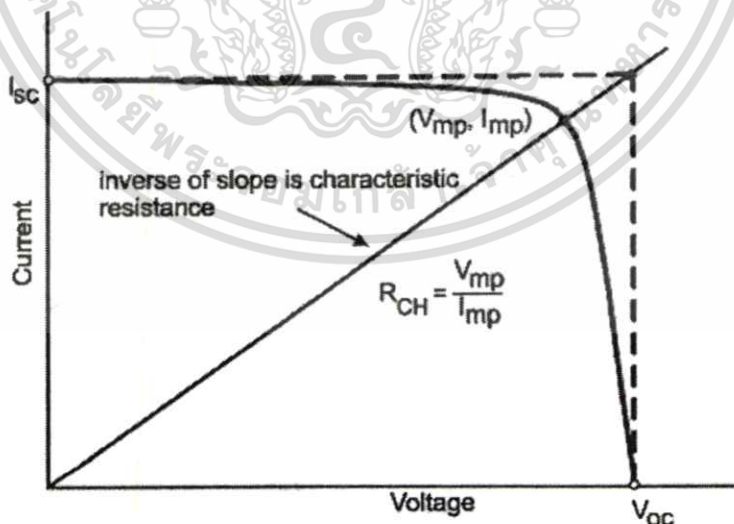
และกำลังไฟฟ้าจะเป็นดังสมการ

$$P = IV \quad (2.2)$$

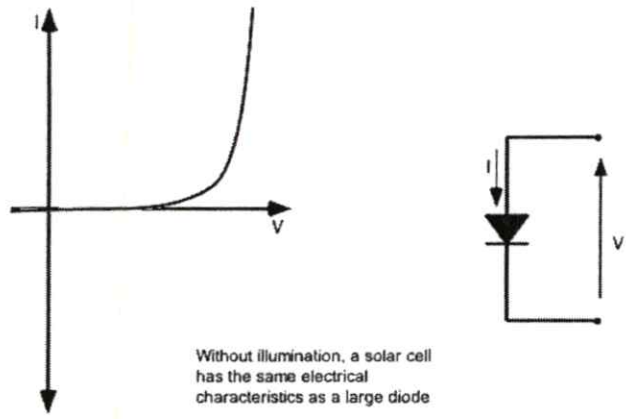
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยรอยต่อเช่นเดียวกับไดโอดส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าออกมามีรูปที่ 2.7 โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นผลให้ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น แต่ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีโหลดต่อใช้งานกล่าวคือในสภาวะเปิดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) ซึ่งที่จุดนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีความต้านทานโหลด (R_{CH}) มาเชื่อมต่อกับเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตามภาระโหลดนั้น ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 2.7 จะมีอยู่จุดหนึ่งที่ค่าผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุด จุดนี้จะเรียกว่าจุดพลังงานสูงสุดของเซลล์กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_{mp} และ V_{mp} ตามลำดับถ้าเรานำไปให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_m เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานโหลด V_m / I_m

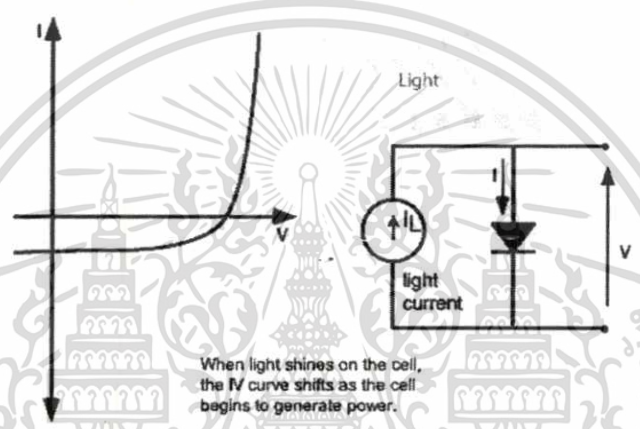
เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นรอยต่อแบบ พี - เอ็น เช่นเดียวกับรอยต่อภายในไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางแสงของเซลล์ในขณะที่ยังไม่ได้รับแสงจึงเหมือนกับไดโอดทั่วไป เพียงแต่มีกระแสรั่วไหลที่รอยต่อมากกว่าเท่านั้นดูได้จากรูป 2.5 ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำที่สภาวะต่างๆ ไว้ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ยังมีพื้นที่รอยต่อมากกว่า ในขณะที่เซลล์ได้รับแสงทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านรอยต่อของเซลล์จะตรงกันข้ามขณะที่ยังไม่ได้รับแสง โดยที่แรงดันยังมีลักษณะเหมือนเดิมดังรูปที่ 2.8



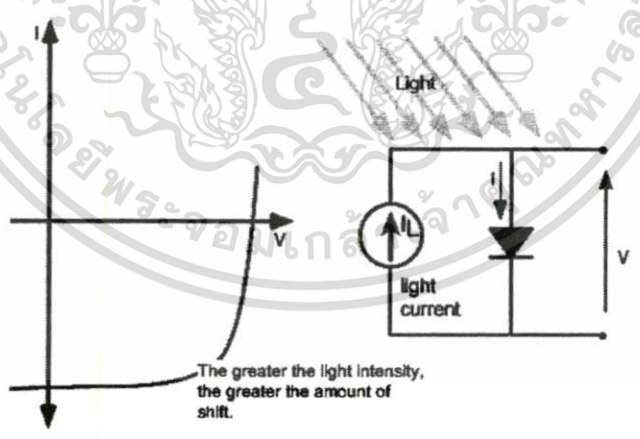
รูปที่ 2.7 พารามิเตอร์ที่สำคัญในกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



(ก)

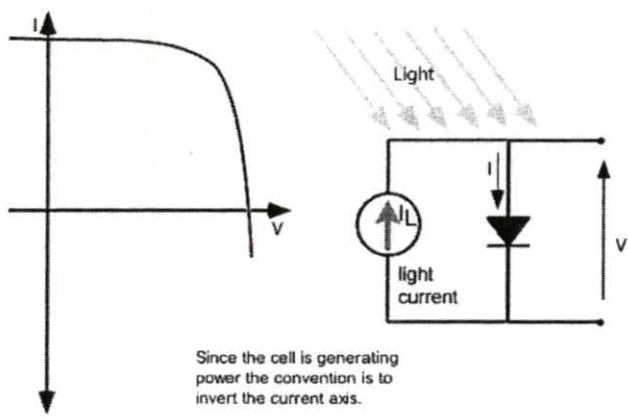


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ

- ก) เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ
- ข) เมื่อมีแสงตกกระทบเพียงเล็กน้อย
- ค) เมื่อแสงที่ตกกระทบมีปริมาณมาก
- ง) ทิศทางการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์จริง

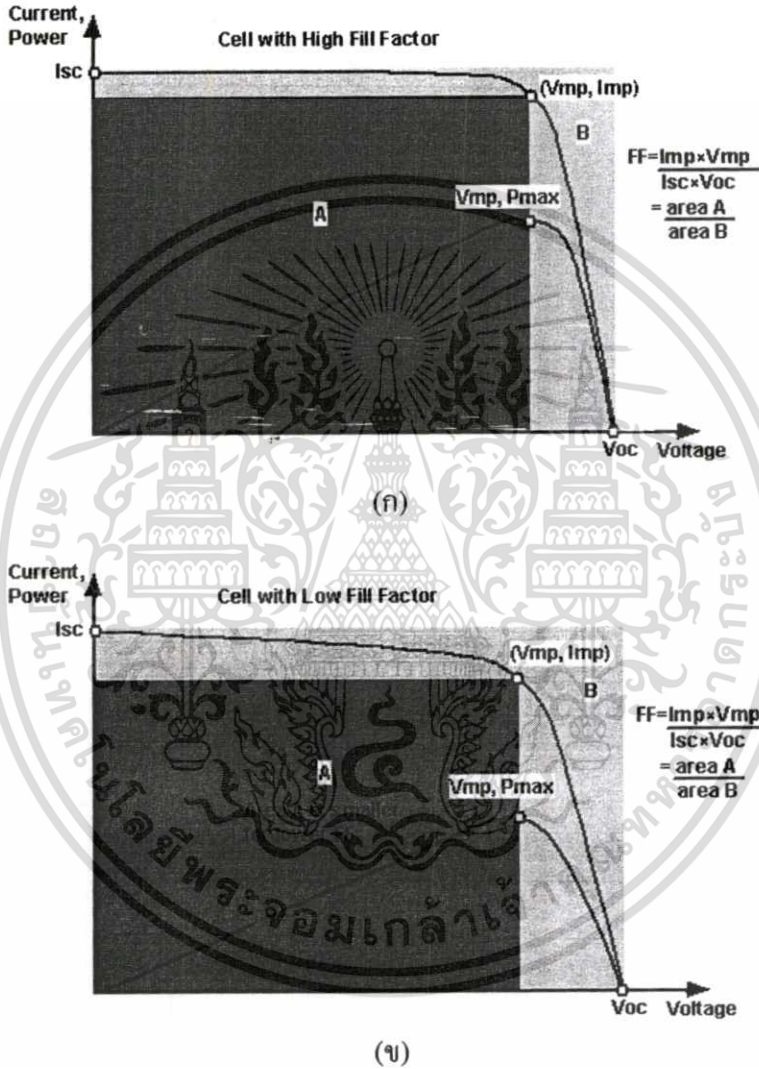
ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟ คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่าตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟกเตอร์" (F.F.: Fill Factor) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ของเซลล์ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F = \frac{P_m}{P_o} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \tag{2.3}$$

เมื่อ	F.F.	คือ	ค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
	P_m	คือ	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
	I_m	คือ	กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
	V_m	คือ	แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
	P_o	คือ	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ในทางอุดมคติ
	I_{sc}	คือ	ค่ากระแสลัดวงจร
	V_{oc}	คือ	แรงดันขณะวงจรเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้กราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ นั้นจะอยู่ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{mp}), กระแสสูงสุด (V_{mp}) ใน อุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนี้



รูปที่ 2.9 การพิจารณารูปคุณลักษณะเฉพาะ เพื่อผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลแฟกเตอร์ และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

ก) เมื่อค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูง

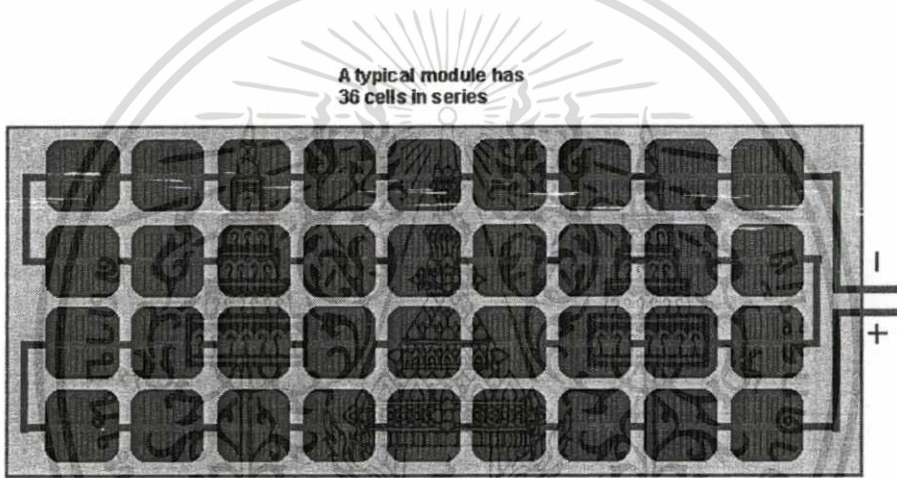
ข) เมื่อค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.1 การศึกษาผลการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งาน

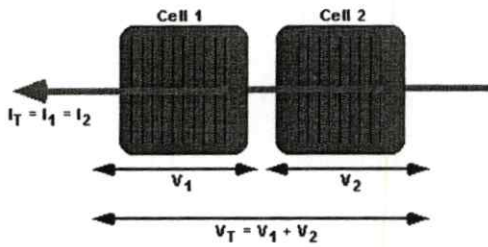
การต่อเซลล์ในลักษณะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานทำให้สะดวกในการใช้งาน และการผลิตเป็นอุตสาหกรรมก็สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้มาตรฐานแน่นอน เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำมาประกอบโดยการเชื่อมต่อเซลล์ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะเอาท์พุทที่มีการออกแบบไว้แล้วจึงต่อสายไฟออกมาภายนอก แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประกบด้วยชั้นสเตรทและผ่านกระบวนการนำกระจกมาปิดทับ ซึ่งในลักษณะนี้เซลล์แสงอาทิตย์จะเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (module) ซึ่งพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้ การต่อเซลล์ในรูปแบบอนุกรม/ขนาน (หรือขนาน/อนุกรม) นั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่สำคัญอันหนึ่ง คือความน่าเชื่อถือ อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า จะต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความปลอดภัยและใช้งานได้แน่นอน



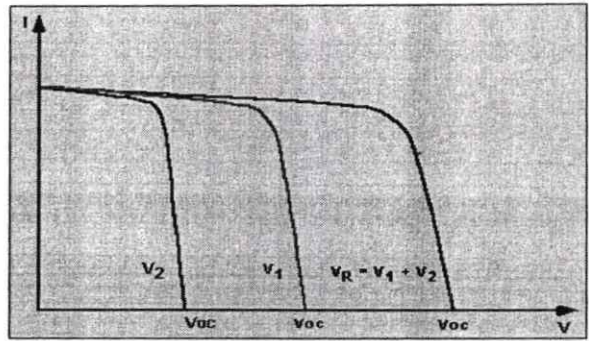
รูปที่ 2.10 ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในวงจรที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.10 เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรม โดยผลที่ได้จะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นดังจะเห็นได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันใน ขณะที่กระแสไม่มีการเพิ่มขึ้น เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อร่วมกันในรูปที่ 2.11 เป็นการต่อแบบอนุกรมที่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะมีขนาดเท่าเดิม ซึ่งการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำลักษณะการเชื่อมต่อแบบอนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.11 มาใช้ในการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเชื่อมต่อเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลกระทบที่เกิดจากเซลล์แต่ละตัวในกรณีที่มีการบังเงาเกิดขึ้นผลที่ได้จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย ดังจะกล่าวในข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

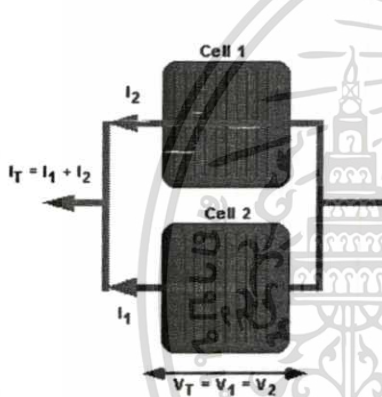


(ข)

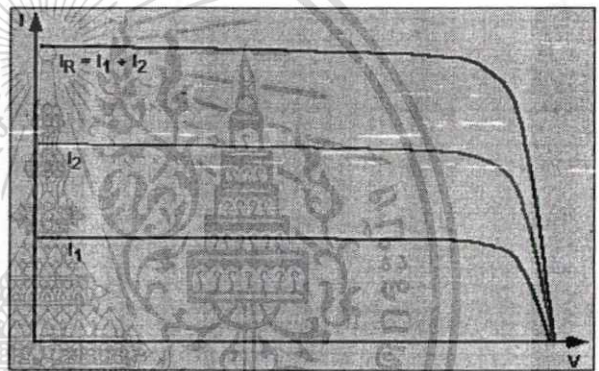
รูปที่ 2.11 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

(ก) การต่อเซลล์ร่วมกันแบบอนุกรม

(ข) การเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะจากผลการต่อร่วมเซลล์แบบอนุกรม



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.12 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

(ก) การต่อเซลล์ร่วมกันแบบขนาน

(ข) การเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะจากผลการต่อร่วมเซลล์แบบขนาน

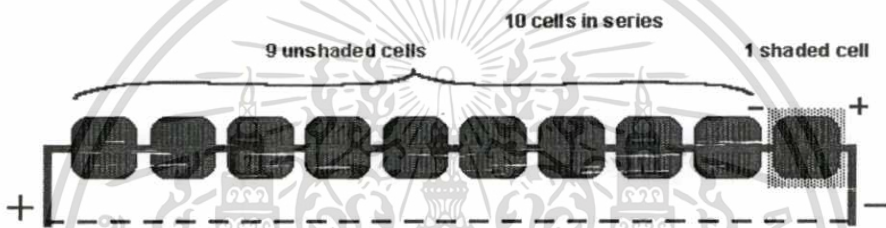
2.3.2 การศึกษาผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเงบัง

จากรูปที่ 2.13 เป็นการเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมเพื่อแสดงให้เห็นสภาวะที่เกิดเงบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากรูปมีการบังจำนวนหนึ่งเซลล์จากคุณลักษณะทางไฟฟ้าในกรณีที่น่าเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อใช้งานแบบอนุกรมแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่มาต่อในขณะที่กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาจากหลักการดังกล่าวในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในภาวะเปิดวงจรไม่มีความต้านทานโหลดมาเชื่อมต่อที่เอาต์พุต แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่

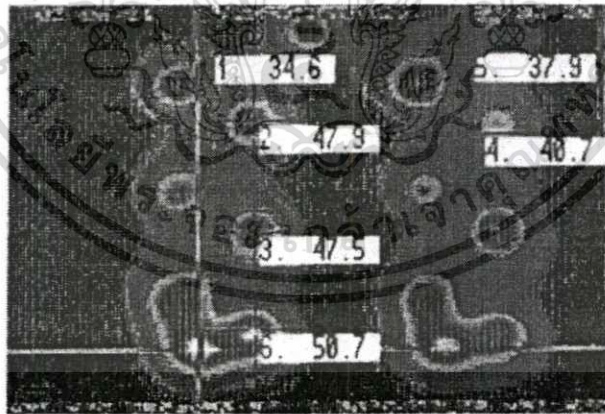
ลดลงอันเนื่องมาจากมีเซลล์ที่ถูกเงาบังทำให้ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ในขณะเดียวกันเซลล์ที่ถูกบังเงายังทำตัวเสมือนโหลดอีกด้วย

แต่เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการต่อใช้งานกับความต้านทานโหลดในสภาวะนี้จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกล่าวคือเมื่อกระแสไหลผ่านเซลล์ที่ถูกเงาบังเซลล์นั้นจะทำหน้าที่เสมือนความต้านทานโหลด เมื่อมีกระแสไหลผ่านเซลล์นั้นนานๆจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นบริเวณเซลล์ ซึ่งในสภาวะนี้เรียกว่า เกิดจุดความร้อน (Hot Spot) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ผลจากความร้อนอาจทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เสียหายได้ อีกทั้งในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกเงาบังยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าอีกด้วย นั่นคือจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงอีกด้วย ดังนั้นการมีเงาบังบนแผงบางส่วนจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าไม่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการต่อแบบอนุกรมหรือขนาน



If the terminals of the module are connected (module Isc), the power from the unshaded cells is dissipated across the shaded cell.

รูปที่ 2.13 ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการบังเงา

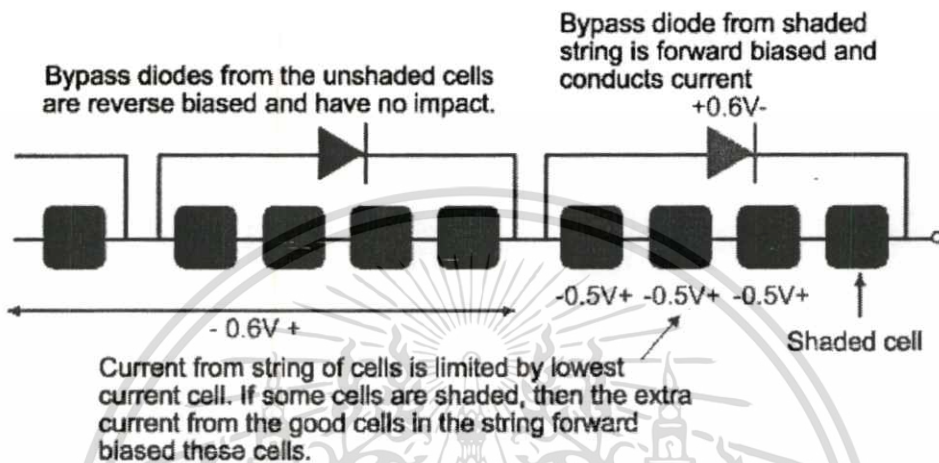


รูปที่ 2.14 แสดงอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเงาบัง

จากปัจจัยดังกล่าวมาข้างต้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับเซลล์แสงอาทิตย์ดังจะเห็นได้จากในมาตรฐานการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IEC61646 และ IEC61215) ได้มีการทดสอบในเรื่อง Hot Spot สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวที่จะเกิดขึ้นกับกรณีที่มีการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมหรือขนานกันหลายๆแผง จึงได้มีการนำบายพาสไดโอดมาต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดผลที่เกิดจาก Hot spot ซึ่งลักษณะการต่อบายพาสไดโอดจะนิยมใช้ประกอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักเพื่อหลีกเลี่ยงการบังเงาที่เกิดขึ้นทั้งแผง โดยลักษณะการต่อใช้งานจะเป็นการต่อสลับขั้วกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



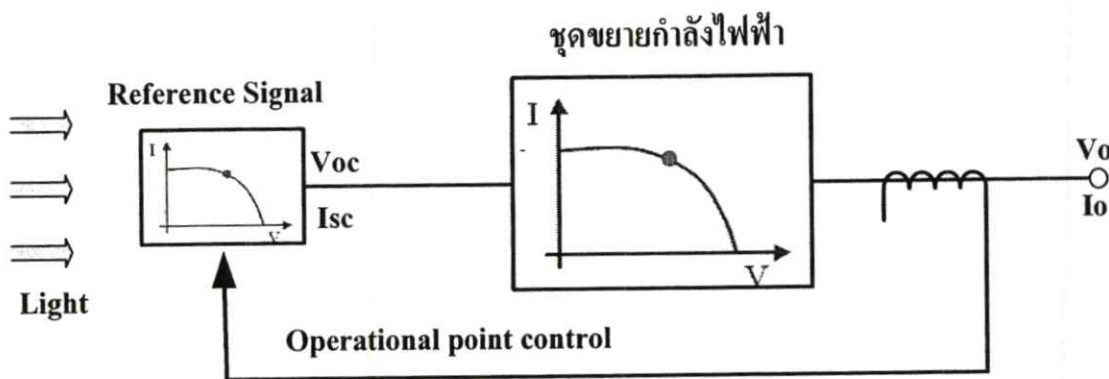
รูปที่ 2.15 ลักษณะการต่อบายพาสไดโอดกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 ตัวจำลองเซลล์อาทิตย์

2.4.1 หลักการทำงาน

จากทฤษฎีที่ผ่านมาพบว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตาม ดังนั้นในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานจึงต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวให้มากขึ้น จากผลกระทบดังกล่าวทำให้เกิดงานวิจัยเพื่อสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปอาศัยการขยายกำลังไฟฟ้าของสัญญาณขนาดเล็กของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยมีการควบคุมให้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

จากหลักการทำงานในรูปที่ 2.16 ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงแต่จะมีขนาดของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อนำไปใช้งาน

เมื่อพิจารณาหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.16 แล้ว พบว่ามีส่วนประกอบสำคัญอยู่สองส่วนด้วยกันคือ

- ชดชยายกำลังไฟฟ้า เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าให้ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นตามการออกแบบไว้ โดยส่วนมากนิยมใช้วงจรถอนเวอร์เตอร์หรือวงจรถยายกำลังไฟฟ้า

- ชุดสร้างสัญญาณอ้างอิง (Reference Signal) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับสร้างสัญญาณเลียนแบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแต่ละงานวิจัยจะมีเทคนิคการสร้างสัญญาณอ้างอิงที่แตกต่างกัน

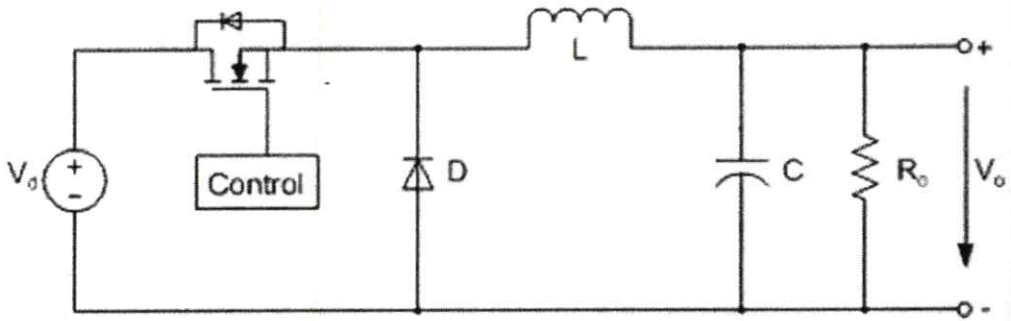
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแต่ละงานวิจัยจะมีลักษณะการนำวงจรไปใช้งานที่แตกต่างกันดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.4.2 ชดชยายกำลังไฟฟ้า

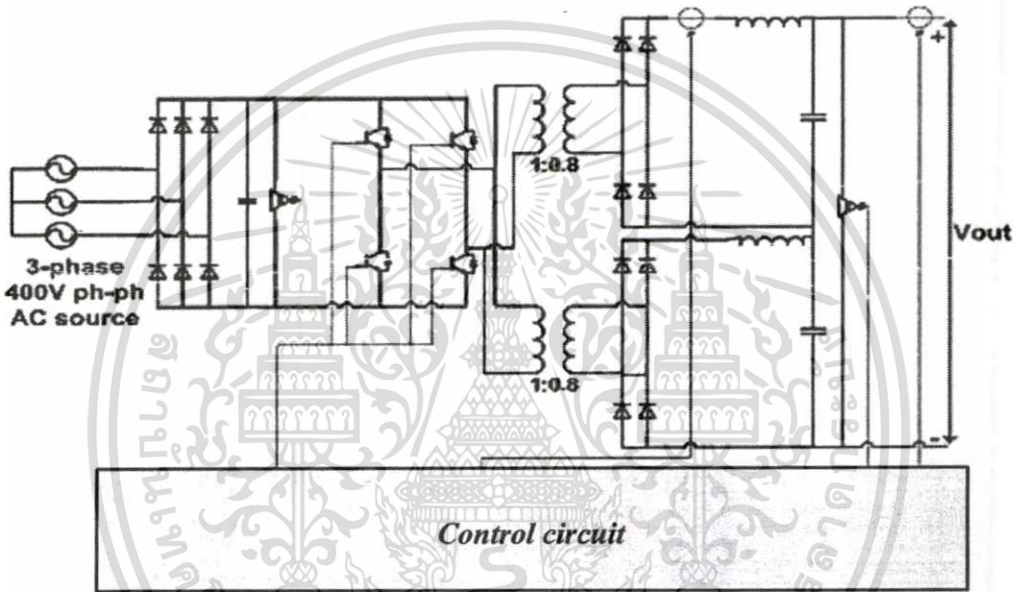
จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าชดชยายกำลังไฟฟ้ามีหน้าที่ขยายสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงให้มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น โดยทั่วไปการออกแบบชดชยายกำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปนิยมใช้วงจรถอนเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เป็นชดชยายกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะพบในงานวิจัยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตต่ำ

แต่ในงานวิจัยที่ต้องการกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สูงได้มีการนำวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีข้อดีคือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์สูงสุดจะมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้วงจรถอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้านออกได้สูง ซึ่งรูปแบบการนำไปใช้งานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้สร้างชุดขยายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.18 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้สร้างชุดขยายกำลังไฟฟ้า

2.4.3 ชุดสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

ใช้สำหรับสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงให้กับชุดขยายกำลังไฟฟ้าโดยสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจะเป็นสัญญาณที่มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวสามารถควบคุมจุดทำงานได้ด้วยการป้อนกลับจากเอาต์พุทของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จากการศึกษาตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเทคนิคการสร้างสัญญาณอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ในตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 เทคนิคดังนี้

2.4.3.1 เทคนิคการสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้สัญญาณอะนาลอก

เนื่องจากการวิจัยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ไม่มีการนำระบบดิจิทัลมาใช้ในการสั่งการหรือควบคุม ทำให้ในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงจำเป็นต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์จริงมาสร้างสัญญาณหรือมีการสร้างชุดวงจรอะนาลอกเพื่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วจึงนำไปขยายกำลังไฟฟ้าให้มีพิกัดที่สูงขึ้น จากเงื่อนไขดังกล่าวทำให้นิยมใช้เทคนิคนี้ในการสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำๆ โดยการสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยการใช้สัญญาณอนาล็อกนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 เทคนิค ดังนี้

2.4.3.1.1 การสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้การเปลี่ยนโพล

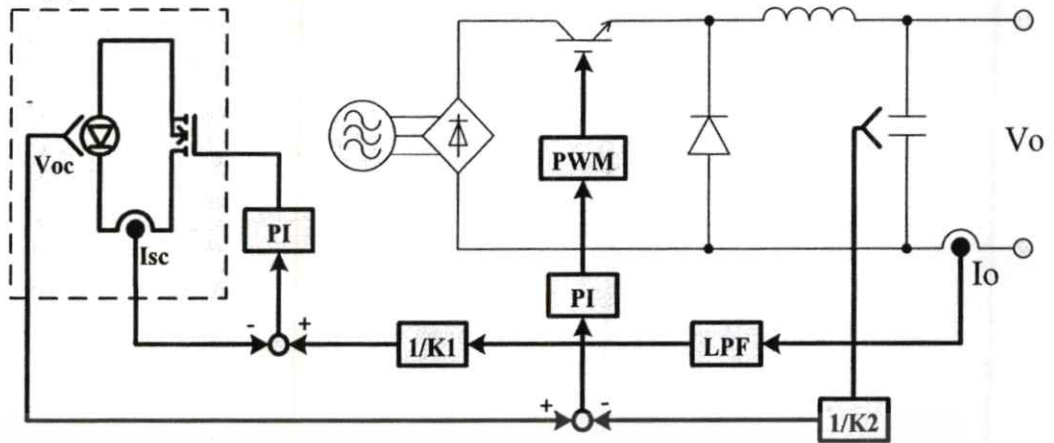
วิธีนี้เป็นการควบคุมอุปกรณ์เช่น มอสเฟตหรือทรานซิสเตอร์ มาใช้เป็นโพลให้กับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง จากนั้นจึงนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากสถานะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ไปขยายกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งเทคนิคนี้จะให้สัญญาณอ้างอิงใกล้เคียงกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มาก แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นโพลต้องมีการออกแบบในโหมดความต้านทานของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง จึงทำให้การออกแบบซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งไดอะแกรมการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19

จากรูปที่ 2.19 เป็นการนำมอสเฟตมาใช้แทน โพลดปรับค่าได้ โดยควบคุมให้มอสเฟตทำงานที่โหมดความต้านทาน โดยอาศัยการป้อนกลับจากกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (I_O) ของวงจรมอเตอร์และกระแสป้อนกลับจากจุดสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง (I_{sc}) ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจุดทำงานเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงจะถูกขยายสัญญาณด้วยวงจรมอเตอร์ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้า (K_1) ซึ่งใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ IGBT ของวงจรมอเตอร์ และอัตราขยายกระแสไฟฟ้า (K_2) ซึ่งเป็นกระแสที่จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4, 2.5 โดยการสร้างสัญญาณด้วยวิธีนี้จะมีจุดเด่นและจุดด้อยดังแสดงในตารางที่ 2.1

$$I_O = K_1 \cdot I_{sc} \quad (2.4)$$

$$V_O = K_2 \cdot V_{oc} \quad (2.5)$$

ชุดสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง



รูปที่ 2.19 แสดงหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยค่าที่ได้จากการวัดจริง

ตารางที่ 2.1 แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงด้วยเทคนิคการเปลี่ยนโหลด

จุดเด่น	จุดด้อย
<ol style="list-style-type: none"> ใช้ระบบควบคุมแบบพื้นฐานสามารถออกแบบและใช้งานได้ง่าย สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่นำมาใช้ การออกแบบวงจรไม่ซับซ้อนทำให้มีขนาดเล็ก ใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ เหมาะสำหรับสร้างตัวจำลองที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำๆ 	<ol style="list-style-type: none"> เนื่องจากการควบคุมแบบอนาล็อกทำให้การปรับแต่งสัญญาณควบคุมยุ่งยาก การใช้งานยุ่งยากเนื่องจากการปรับสถานะแวลลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์จริงอาจมีผลกระทบต่อสัญญาณที่เห็นได้

2.4.3.1.2 การสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้วงจรสมมูลอย่างง่าย

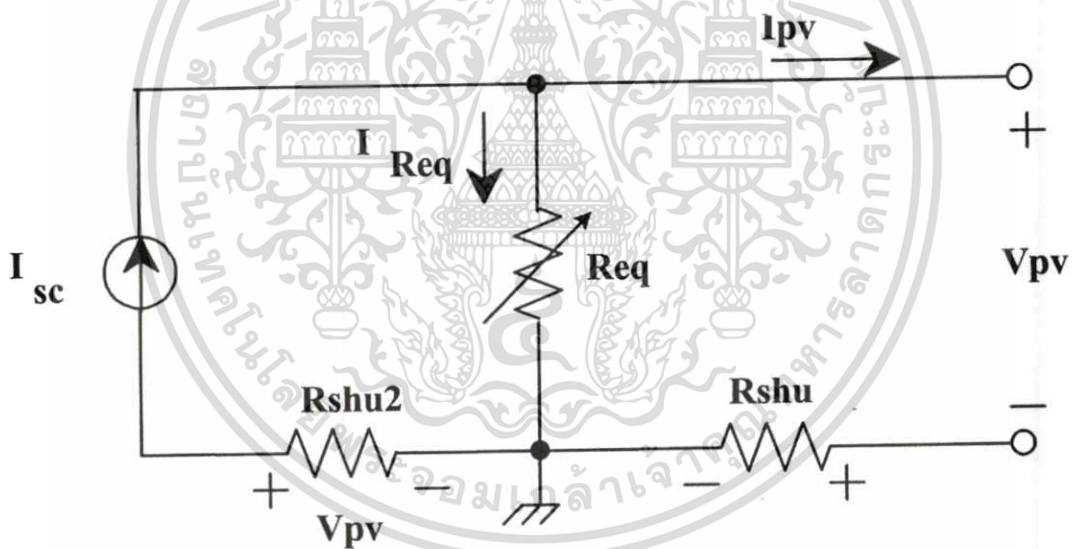
วิธีนี้จะอาศัยคุณสมบัติของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามความเข้มแสงสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าของชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะขึ้นกับการออกแบบค่าความต้านทาน R_{eq} ภายในวงจรตามสมการที่ 2.6 โดยเป็นกรณีที่มีการต่อสวิตช์อนุกรมกับความต้านทาน R_{eq} ควบคุมด้วย Duty cycle (D) เพื่อใช้สำหรับควบคุมการทำงานของความต้านทาน R_{eq} ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (I_{pv}) และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{pv}) ของตัวจำลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8 โดยหลักการทำงานของวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 2.20 เมื่อพิจารณาวิธีนี้จะพบว่า การกำหนดจุดทำงานเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์จริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะอาศัยคุณสมบัติที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก ซึ่งไม่ใช่การใช้สัญญาณที่ได้จากการวัดจริง ดังจะเห็นได้จากสัญญาณในรูปที่ 2.21 ซึ่งเทคนิคนี้จะมีจุดเด่นและจุดด้อยดังแสดงในตารางที่ 2.2

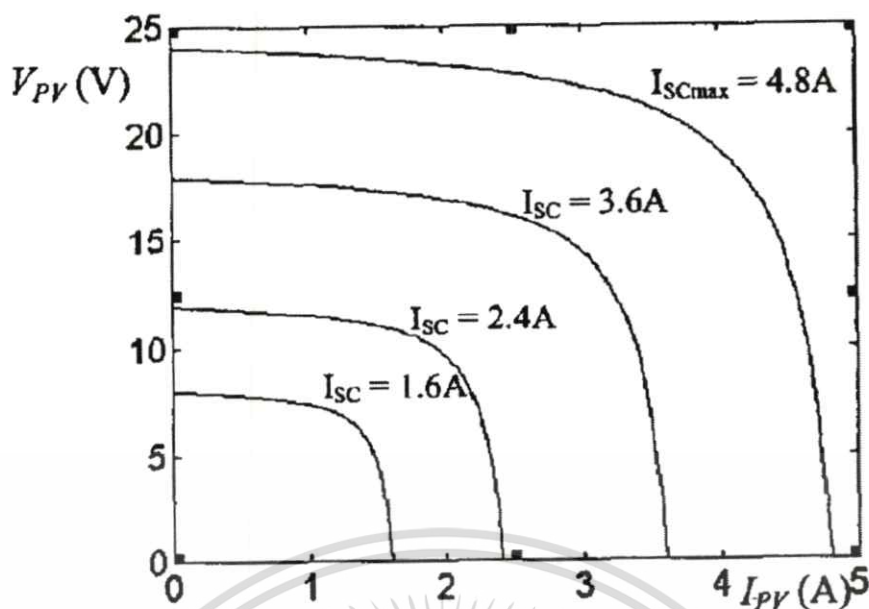
$$R_{eq} = \frac{R_{shu} R_{shu2}}{R_{shu} + R_{shu2}} \quad (2.6)$$

$$V_{PV} = I_{Req} \cdot R_{eq} \quad (2.7)$$

$$I_{Req} = I_{SC} - I_{PV} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.20 แสดงหลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยวงจรสมมูลอย่างง่าย



รูปที่ 2.21 แสดงหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยค่าที่ได้จากการวัดจริง

ตารางที่ 2.2 แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงด้วยเทคนิคการใช้วงจรสมมูลอย่างง่าย

จุดเด่น	จุดด้อย
1. วงจรไม่ซับซ้อน	1. การเลือกใช้อุปกรณ์มีผลต่อความถูกต้องของสัญญาณเอาต์พุตตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
2. ใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ	2. การปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่วงจรไม่สามารถควบคุมให้เกิดตามความเข้มแสงที่เหมาะสมได้
3. เหมาะสำหรับสร้างตัวจำลองที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำๆ	3. สัญญาณเอาต์พุตไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ได้จากแผงจริง

2.4.3.2 เทคนิคการสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้สัญญาณดิจิทัล

ในเทคนิคนี้จะไม่ใช่เซลล์แสงอาทิตย์จริงในการสร้างสัญญาณแต่จะใช้สัญญาณที่ผ่านการวัดจริงหรือสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานแล้วทำการบันทึกหรือจัดเก็บข้อมูลในชุดสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปขยายด้วยชุดขยายกำลังไฟฟ้า เนื่องจากเป็นระบบควบคุมแบบดิจิทัลที่สามารถควบคุมสภาวะได้ง่ายเมื่อนำไปใช้งานใน

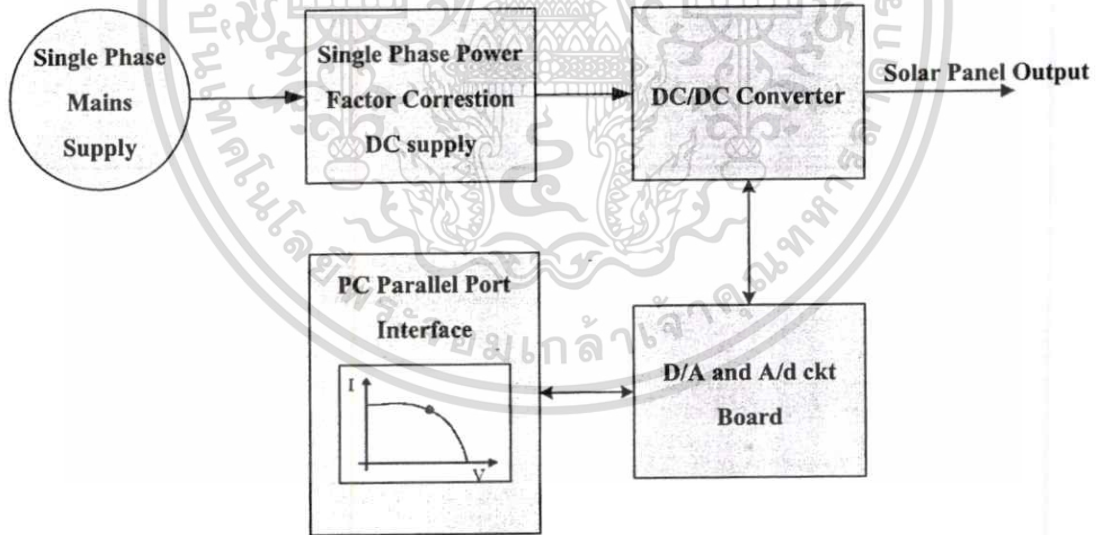
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคนี้เพื่อนำไปใช้งานในจริงเพิ่มมากขึ้น โดยการควบคุมแบบดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้ 2 เทคนิคตามอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างสัญญาณ ดังนี้

2.4.3.2.1 การสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในวิธีนี้จะอาศัยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่น โปรแกรมC++, โปรแกรม Visual C++ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปวิธีการนี้จะมีเพียงคุณลักษณะทางไฟฟ้าเอาท์พุทของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้นที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากเป็นการสร้างสัญญาณให้มีความไม่เป็นเชิงเส้นเท่านั้น ทำให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแผงจริงได้ ซึ่งการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบ่งได้เป็นสองวิธีหลักคือ

- วิธีสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้ค่าจุดบนกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานเพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นของสัญญาณอ้างอิง แล้วจึงใช้โปรแกรมในการคำนวณจุดทำงานตามสัญญาณที่ป้อนกลับจากชุดควบคุมการทำงาน ซึ่งวิธีนี้ต้องมีชุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับขยายกำลังไฟฟ้า ซึ่งหลักการการทำงานสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งวิธีนี้มีจุดเด่นและจุดด้อยดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.22 แสดงหลักการการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยค่าที่ได้จากกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้า

ตารางที่ 2.3 แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงโดยใช้ค่ากราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้า

จุดเด่น	จุดด้อย
1. การใช้งานง่ายเนื่องจากใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม	1. วงจรซับซ้อนต้องมีการออกแบบชุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอนเวอเตอร์
2. สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง	2. ใช้งบประมาณในการสร้างสูง
	3. ใช้อุปกรณ์ที่ได้จากการวัดที่สถานะมาตรฐานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะอุณหภูมิและความเข้มแสงได้

- การสร้างสัญญาณอ้างอิงโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์สร้างสัญญาณ เทคนิคนี้จะอาศัยการสร้างสัญญาณจากการจำลองสถานะแวดล้อม โดยสามารถใช้ได้สองวิธีด้วยกันคือ การสร้างสัญญาณจากแบบจำลองพารามิเตอร์ (Parameter model), การสร้างสัญญาณด้วยวิธีการคำนวณแบบ Interpolation model และการสร้างสัญญาณด้วยวิธีแบบจำลองความเสียหายเนื่องจากการแผ่รังสี (Radiation damage model) ดังแสดงหลักการการทำงานของวงจรในรูปที่ 2.23 ซึ่งทั้งสามวิธีเป็นหลักการคำนวณที่ซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม ซึ่งแต่ละวิธีจะมีสมการเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยการใช้แบบจำลองพารามิเตอร์จะอาศัยสมการดังนี้ในการสร้างสัญญาณ

$$I_{PH} = \alpha(1 + \beta T)\phi S \quad (2.9)$$

$$I_O = C_M S T^3 \exp\left(-\frac{E_{GO}}{kT}\right) \quad (2.10)$$

$$I = N_P I_{PH} - N_P I_O \left(\exp\left(B \left(\frac{V}{N_S} + \frac{I R_S}{N_P} \right) - 1 \right) \right) \quad (2.11)$$

$$V = N_S \left(B \ln \left[\frac{(N_P I_{PH} - I)}{N_P I_O} + 1 \right] - \frac{I R_S}{N_P} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อ I_{PH} คือค่ากระแสโฟโต้ (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T	คือค่าอุณหภูมิ (K)
α	คือค่า Temperature Coefficients ของกระแสไฟฟ้า (%/°C)
β	คือค่า Temperature Coefficients ของแรงดันไฟฟ้า (%/°C)
ϕ	คือค่าความเข้มแสง (W/m ²)
S	คือพื้นที่แผง (cm ²)
I ₀	คือค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอด
E _{GO}	คือค่าแถบควากว่างของพลังงาน (eV)
K	คือค่าคงที่ Boltzmann (J/K)
B	คือ Thermal voltage (V/K)
R _S	คือค่าความต้านทานอนุกรม (Ω)
N _S	คือจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมใน 1 แผง
N _P	คือจำนวนเซลล์ที่ต่อขนานใน 1 แผง

ในขณะที่แบบจำลองด้วย Interpolation จะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้แบบจำลองพารามิเตอร์ในการหาค่าได้ จึงได้มีการสร้างสมการเพื่อใช้ในการคำนวณค่าคงที่ C₁ และ C₂ ได้ดังนี้

$$C_1 = \left(I - \frac{I_{mp}}{I_{SC}} \right) \exp \left(\frac{-V_{mp}}{C_2 V_{OC}} \right) \quad (2.13)$$

$$C_2 = \frac{\left(\frac{V_{mp}}{V_{OC}} - I \right)}{\ln \left[\frac{I - \frac{I_{mp}}{I_{SC}}}{I_{SC}} \right]} \quad (2.14)$$

โดยผลที่เกิดในพารามิเตอร์ไดโอด D_I และ V_R จะเป็นผลที่เกิดในความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ดังแสดงได้ในสมการ

$$D_I = \alpha \phi (T - T_{REF}) + I_{SC} (\phi - 1) \quad (2.15)$$

$$V_R = V + \beta (T - T_{REF}) + R_S D_I \quad (2.16)$$

โดยวิธีนี้จะให้กระแสไฟฟ้าเอาท์พุทและแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = I_{SC} \left(1 - C_1 \left[\exp \left(\frac{V_R}{C_2 V_{OC}} \right) - 1 \right] \right) + D_I \quad (2.17)$$

$$V = C_2 V_{OC} \ln \left(\frac{\left[\frac{I - D_I}{I_{SC}} \right] + 1}{C_1} \right) - \beta(T - T_{REF}) - R_S D_I \quad (2.18)$$

เมื่อ	I_{SC}	คือค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)
	V_{OC}	คือค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V)
	T_{REF}	คือค่าอุณหภูมิอ้างอิง (K)
	ϕ	คือค่าความเข้มแสง (W/m^2)

ในกรณีที่มีการจำลองการใช้งานในอวกาศซึ่งมีการแผ่รังสีที่รุนแรงสามารถจำลองด้วยวิธีแบบจำลองความเสียหายเนื่องจากการแผ่รังสีได้ซึ่งจะมีการสร้างสมการเริ่มต้นจาก

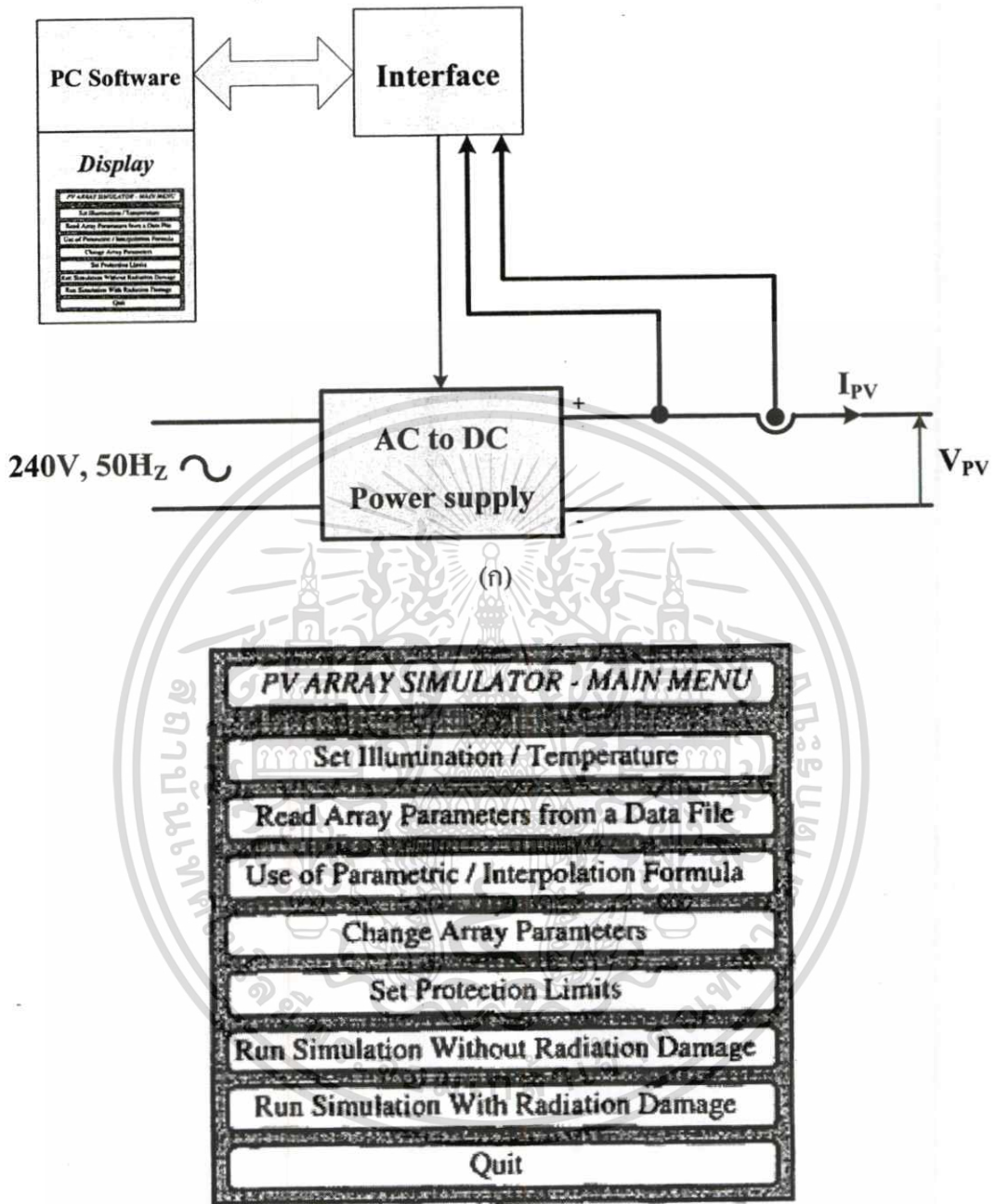
$$I_{SC\psi} = I_{SCO} - C_i \log \left[1 + \frac{\psi}{\psi_x} \right] \quad (2.19)$$

$$V_{OC} = V_{OCO} - C_v \log \left[1 + \left(\frac{\psi}{\psi_x} \right)^{0.8} \right] \quad (2.20)$$

เมื่อ	I_{SCO}	คือค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ค่าเริ่มต้น (mA/cm^2)
	$I_{SC\psi}$	คือค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่สัมผัสรังสี (mA/cm^2)
	C_i	คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดเซลล์
	C_v	คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดเซลล์
	ψ	คือค่าคลื่นรังสีที่ส่งผ่าน
	ψ_x	คือค่าคลื่นรังสีที่ส่งผ่านเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทั้งสามวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในการสร้างสัญญาณซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับทางอุดมคติมากและสามารถแสดงจุดเด่นและจุดด้อยได้ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.23 วิธีการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

(ก) หลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

(ข) Display ที่ใช้สำหรับรับข้อมูลเพื่อไปประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

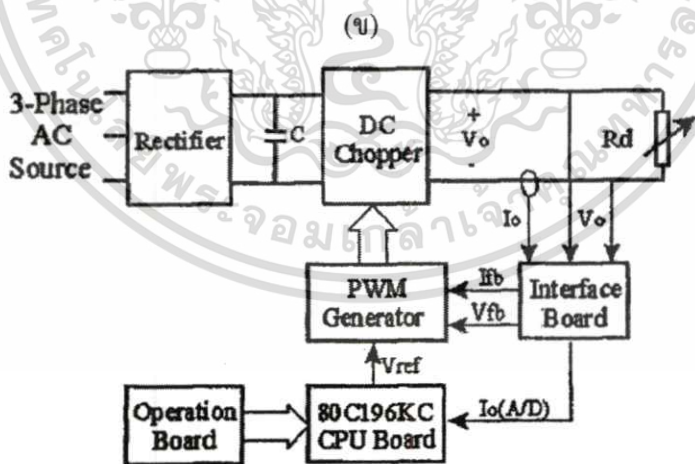
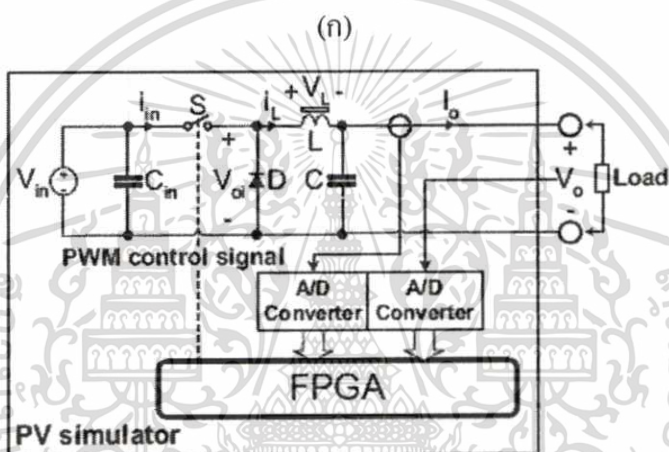
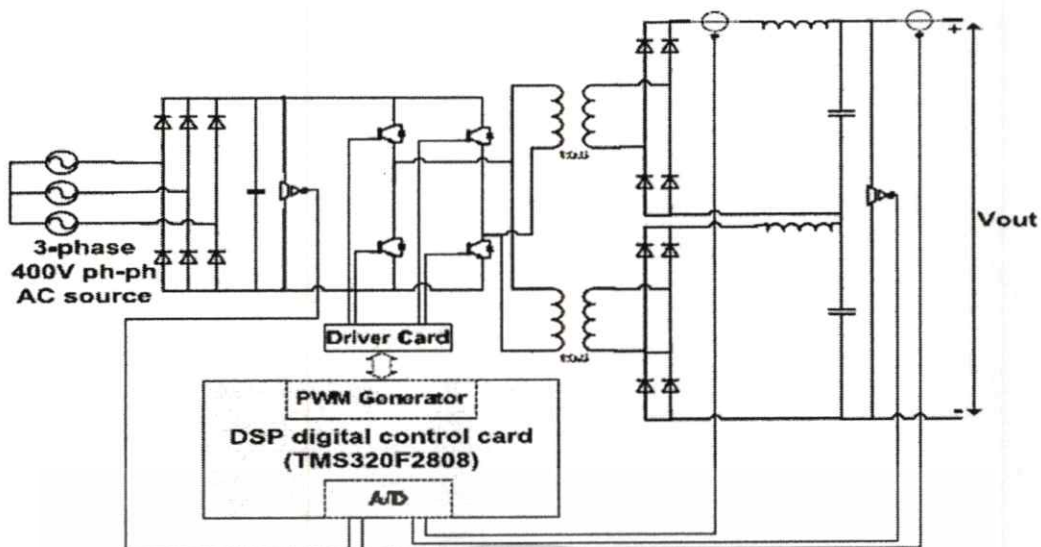
จุดเด่น	จุดด้อย
1. การใช้งานง่ายเนื่องจากใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม	1. วงจรซับซ้อนต้องมีการออกแบบชุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอนเวอเตอร์
2. สามารถกำหนดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ	2. ใช้งบประมาณในการสร้างสูง
3. สัญญาณเอาต์พุตให้ค่าใกล้เคียงกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าในทางอุดมคติ ซึ่งเกิดจากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ	3. ต้องใช้คุณสมบัติเฉพาะเช่น ค่า Energy band gap ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท ทำให้ใช้ยากในการหาข้อมูลในการออกแบบจริง

2.4.3.2.2 การสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

จากเทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการพัฒนาชุดคำสั่งให้มีความรวดเร็วในการประมวลผลสัญญาณและการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายของไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงได้มีการนำมาใช้เพื่อสร้างสัญญาณอ้างอิงให้กับตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้สร้างสัญญาณอ้างอิงได้จากข้อมูลการวัดแล้วจัดเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ จากการใช้งานที่ง่ายของไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงเป็นที่นิยมในการนำมาสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆ เช่นตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 100 kW เป็นต้น รูปที่ 2.24 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พบเห็นในงานวิจัยทั่วไปในปัจจุบัน

ในการสร้างสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่างๆจะมีการคำนวณจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันด้วยเหตุนี้จะส่งผลให้เกิดค่าความเบี่ยงเบนที่ต่างกันด้วย ซึ่งค่าเบี่ยงเบนจะส่งผลต่อความถูกต้องของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ นอกจากนี้ในการใช้งานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจมีสภาวะแวดล้อมหรือปัจจัยอื่นทำให้คุณภาพไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงหรือลดต่ำลงในตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ไม่สามารถจำลองสภาวะที่เกิดในแต่ละแผงได้ ซึ่งจุดเด่นและจุดด้อยสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงหลักการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงโดยใช้เทคนิคดิจิทัล
 (ก) การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSP รุ่น TMS320F2808
 (ข) การใช้ FPGA ในการสร้างสัญญาณอ้างอิง
 (ค) การใช้ CPU รุ่น 80C196KC สร้างสัญญาณอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงจุดเด่นและจุดด้อยในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ

จุดเด่น	จุดด้อย
1. สามารถกำหนดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ 2. ใช้งานง่าย สะดวก 3. สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง เหมาะสมกับการทดสอบระบบขนาดใหญ่	1. การออกแบบวงจรควบคุมซับซ้อน 2. คุณลักษณะทางไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการวัดจริง 3. ราคาสูงเมื่อเทียบกับวิธีอะนาล็อก เนื่องจากต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดเชื่อมต่อสัญญาณเพิ่มเติม

2.4.4 การเปรียบเทียบเทคนิคการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

จากเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีหลักการทำงานที่เหมือนกันแต่จะมีความแตกต่างในเทคนิคการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง เมื่อแต่ละงานวิจัยมีเทคนิคที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้ขอบเขตและเงื่อนไขการนำไปใช้งานจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

หัวข้อการเปรียบเทียบ	เทคนิคการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง	
	เทคนิคอะนาล็อก	เทคนิคดิจิทัล
1. การออกแบบระบบควบคุม	ง่าย เนื่องจากใช้หลักการควบคุมพื้นฐาน	ยาก เนื่องจากการออกแบบระบบต้องสอดคล้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้
2. ความสะดวกในการใช้งาน	ยุ่งยาก ในการควบคุมเวลาใช้งาน	ใช้งานง่าย เนื่องจากสามารถกำหนดจุดทำงานหรือตัวแปรด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือกำหนดค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคในการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

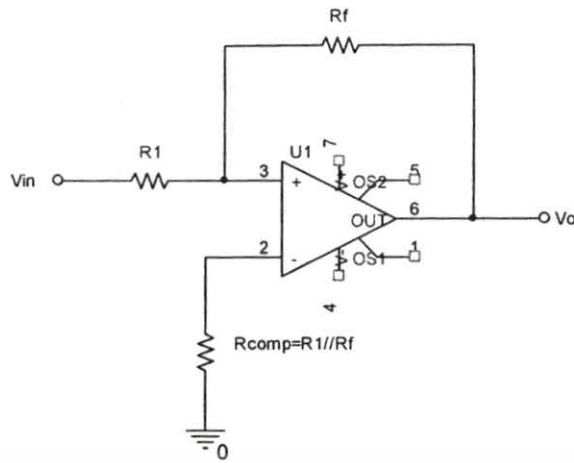
หัวข้อการเปรียบเทียบ	เทคนิคการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง	
	เทคนิคอะนาล็อก	เทคนิคดิจิทัล
3. ความถูกต้องของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ	ให้ความถูกต้องตามคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงจริง	มีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น
4. ลักษณะวงจรควบคุม	ขนาดเล็ก เนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย	ใหญ่ และซับซ้อน เนื่องจากต้องมีการสร้างชุดเชื่อมต่อกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์
5. ต้นทุนในการสร้าง	ต่ำ ใช้อุปกรณ์พื้นฐานที่มีขายทั่วไป	สูง เนื่องจากมีการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมหรือไม่โครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

2.5 ทฤษฎีวงจรออปแอมป์เบื้องต้น [11]

โดยทั่วไปในการสร้างวงจรขยายนิยมใช้วงจรขยายของออปแอมป์เนื่องจากเป็นวงจรที่สามารถใช้งานง่าย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวงจรขยายออปแอมป์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นหลัก ได้แก่ วงจรขยายแบบกลับเฟส วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส วงจรขยายแรงดันตามเป็นต้น

2.5.1 วงจรขยายแบบกลับเฟส

วงจรขยายแบบกลับเฟสแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แรงดันเอาต์พุต (V_o) คือแรงดันป้อนกลับจากอินพุตผ่าน R_f และ R_1 โดยที่ R_f คือตัวต้านทานป้อนกลับ สัญญาณอินพุต (V_{in}) จ่ายผ่าน R_1 เข้าทางอินพุตกลับและอินพุตไม่ล๊อปต่อลงจุดดิน



รูปที่ 2.25 วงจรขยายแบบกลับเฟส

ในการวิเคราะห์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับออปแอมป์ในอุดมคติ $V_d=0$ ที่จุด โหนด a มีศักดาเท่ากับจุดดิน ดังนั้น I_1 หาได้จากสมการ

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_{in}} \quad (2.21)$$

เนื่องจากกระแสอินพุทของออปแอมป์มีค่า $I=0$ ดังนั้น กระแส I_1 คือ กระแสที่ผ่าน R_1 และ R_f ทำให้แรงดันเอาต์พุท คือ

$$V_o = -I_1 R_f = -V_{in} \frac{R_f}{R_1} \quad (2.22)$$

อัตราขยายแรงดันของวงจรขยายแบบกลับเฟส คือ

$$A_{CL} = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (2.23)$$

ที่จุด โหนด a ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดัน โหนดได้ว่า

$$\frac{V_a + V_1}{R_1} + \frac{V_a + V_o}{R_f} = 0 \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

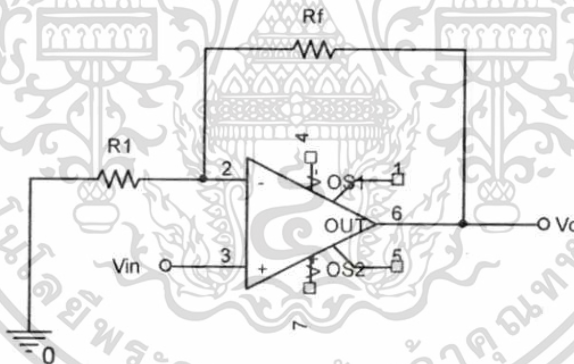
เมื่อ V_a คือ แรงดันที่จุด โหนด a แต่ที่ โหนด a คือศักดาจุดดิน ดังนั้น $V_a = 0$ ผลคือ

$$A_{CL} = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (2.25)$$

เครื่องหมายลบของสมการ A_{CL} หมายถึง เฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะกลับกันกับสัญญาณอินพุต 180 องศา จึงเรียกววงจรนี้ว่า วงจรขยายกลับเฟส ค่าความต้านทานอินพุตของวงจรนี้คือ R_1

2.5.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

การวิเคราะห์วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยต่อสัญญาณแรงดันอินพุต เข้าที่ขั้วอินพุตไม่กลับของออปแอมป์ และอินพุตกลับต่อ R_1 ลงจุดดิน และต่อ R_f เป็นตัวต้านทานป้อนกลับระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต สัญญาณที่ได้จะไม่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต จึงเรียกว่า วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส หรืออาจเรียกว่า วงจรป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback Circuit)



รูปที่ 2.26 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เนื่องจากจะมีสัญญาณป้อนกลับเข้าทางอินพุตกลับของออปแอมป์ ถ้าความแตกต่างถ้าความแตกต่างของแรงดันที่ขั้วอินพุตเป็นศูนย์ ($V_d = 0$) แรงดันที่จุด โหนด a จะเท่ากับ V_{in} นั่นคือ R_f และ R_1 เปรียบเหมือนวงจรแบ่งแรงดัน ผลคือ

$$V_{in} = \frac{V_o}{R_1 + R_f} \cdot R_1 \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือไม่มีกระแสไหลเข้าในขั้วอินพุทของออปแอมป์

$$\frac{V_O}{V_{in}} = \frac{R_I + R_f}{R_I} = 1 + \frac{R_f}{R_I} \quad (2.27)$$

สำหรับวงจรขยายไม่กลับเฟส มีอัตราขยายแรงดันคือ

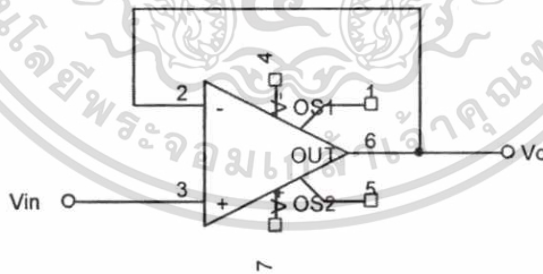
$$A_{CL} = \frac{V_O}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_I} \quad (2.28)$$

กระแสอินพุท หรือ $I_{in} = I_I$ คือ

$$I_I = \frac{V_{in}}{R_I} \quad (2.29)$$

2.5.3 วงจรขยายแรงดันตาม (Voltage Follower Amplifier)

วงจรขยายแรงดันตาม หมายถึง วงจรที่มีอัตราขยายแรงดันเป็น 1 มีชื่อเรียกว่า บัฟเฟอร์ หรือวงจรขยายอัตราเป็น 1 (Unity-Gain Amplifier) ลักษณะของวงจรขยายแรงดันตามแสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรขยายแรงดันตาม

เมื่อ V_{in} คือแรงดันด้านอินพุทต่อเข้าที่ขั้วอินพุทไม่กลับของออปแอมป์ และ V_O คือแรงดันด้านเอาต์พุทวงจรนี้รับสัญญาณป้อนกลับด้านลบกลับจากเอาต์พุททั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้แรงดันเอาต์พุทเท่ากับอินพุท

$$V_O = V_{in} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

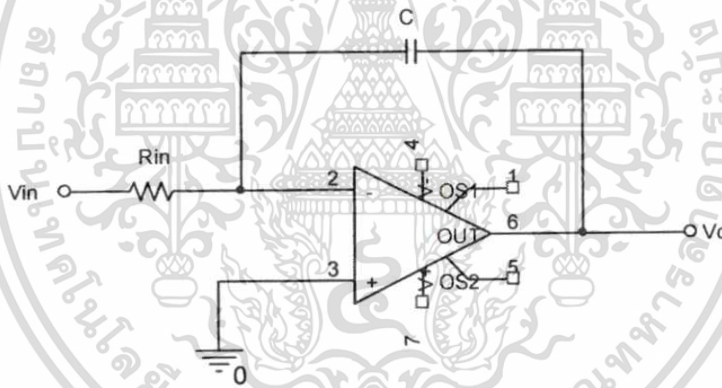
จากวงจรจะพบว่า $E_d = 0$ V ดังนั้น $V^+ = V^-$ สำหรับเฟสของสัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตจะร่วมเฟสกันเหมือนวงจรขยายไม่กลับเฟสที่มีอัตราขยายแรงดันเป็น 1 เมื่อ V_o เป็นบวกจะเกิดกระแส I_L ไหลออกจากออปแอมป์ผ่านโหลด R_L นั่นคือ

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} \quad (2.31)$$

และแสดงว่ากระแสเอาต์พุตเท่ากับกระแสโหลด ดังนั้น

$$I_o = I_L \quad (2.32)$$

2.5.4 วงจรอินทิเกรต (Integrator)



รูปที่ 2.28 วงจรอินทิเกรต

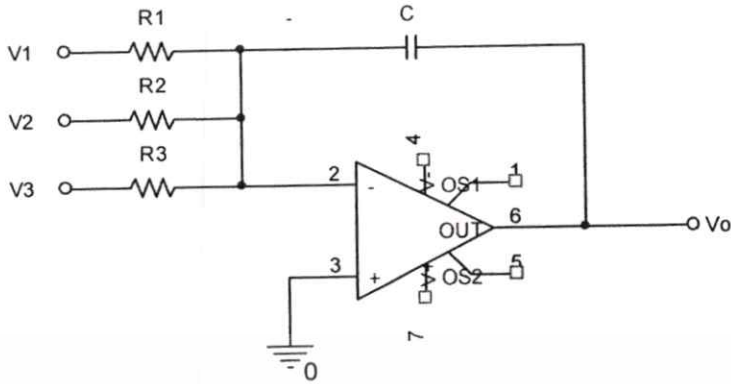
วงจรอินทิเกรตดังแสดงในรูปที่ 2.28 พบว่ากระแสไหลผ่านความต้านทานอินพุตจะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถหาแรงดันเอาต์พุตได้จากสมการ

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt + V_{out}(0) \quad (2.33)$$

เมื่อ V_{out} คือค่าของแรงดันเอาต์พุตที่เวลา $t=0$ ซึ่งขึ้นกับประจุแรกเริ่มที่คงค่าอยู่ในตัวเก็บประจุ ซึ่งส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าอินทิกรัลของแรงดันอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 วงจรอินทิเกรตรวมสัญญาณ (Summing Integrator)



รูปที่ 2.29 วงจรอินทิเกรตรวมสัญญาณ

ลักษณะวงจรอินทิเกรตรวมสัญญาณในรูปที่ 2.29 จะเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟสที่มีอินพุตหลายๆอินพุต โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรนี้เกิดจากผลรวมของการอินทิเกรตสัญญาณอินพุตแต่ละตัว ดังแสดงให้เห็นในสมการ

$$Y_{out} = - \left[\frac{1}{R_1 C} \int V_1 dt + \frac{1}{R_2 C} \int V_2 dt + \frac{1}{R_3 C} \int V_3 dt \right] \quad (2.34)$$

2.6 สรุป

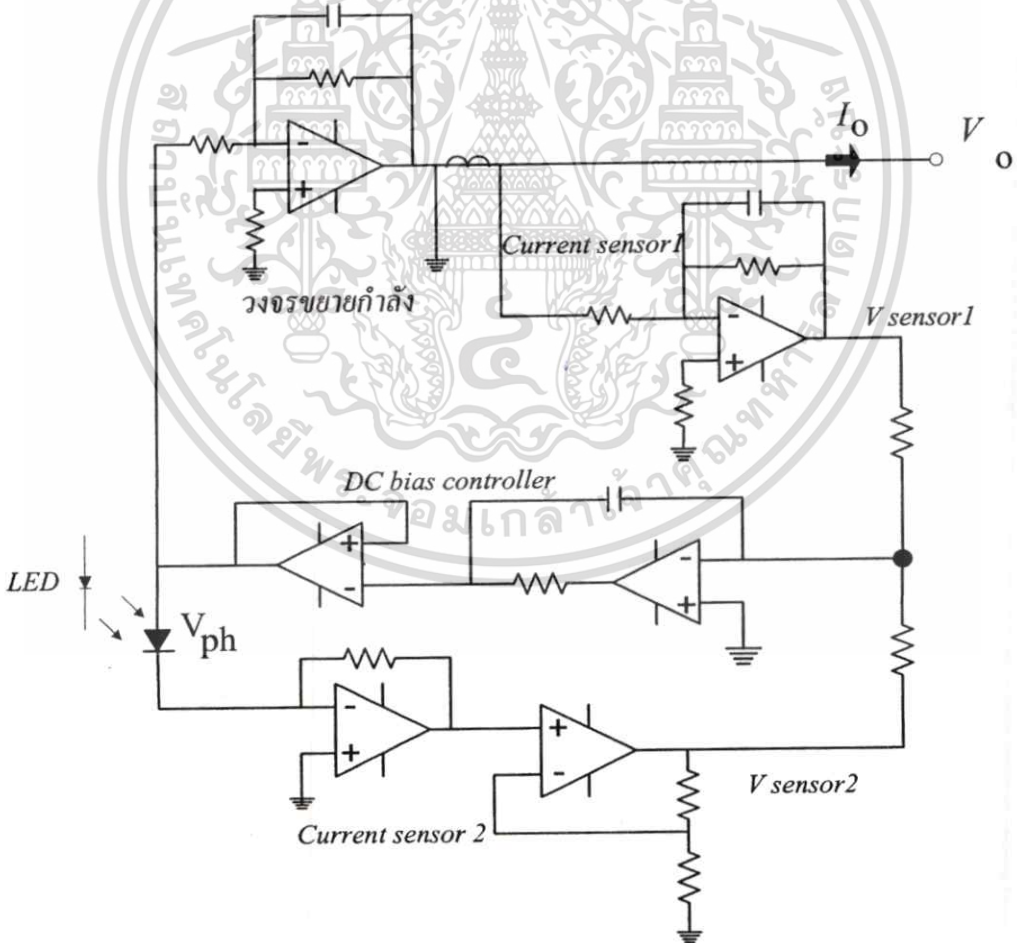
จากการศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ในบทนี้ พบว่าแนวโน้มที่เกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมรอบข้างเช่น ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือการเกิดการบังเงาบางส่วนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นผลให้คุณภาพไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุผลนี้จึงได้มีการวิจัยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่พบในงานวิจัยโดยทั่วไปจะอาศัยการขยายสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงขนาดเล็กให้มีสัญญาณเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการใช้งาน โดยมีวิธีการสร้างสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงด้วยกัน 2 วิธีคือการสร้างสัญญาณแบบอนุลอกและการสร้างสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งวิธีการทั้งสองจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางเปรียบเทียบ โดยแต่ละวิธีสามารถนำไปเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานวิจัยได้

บทที่ 3

การออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 บทนำ

จากการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในบทที่ผ่านมาพบว่าตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีสัญญาณเอาต์พุตที่มีอัตราขยายกระแสและแรงดันสอดคล้องกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยอัตราขยายกำลังไฟฟ้าที่ชุด DC power Amplifier เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีการควบคุมให้ทำงานสอดคล้องกับภาระโหลดของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ [14] ด้วยชุด DC bias controller ที่มีวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (current sensor 1) และวงจรตรวจจับทั้งกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (current sensor 2) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1

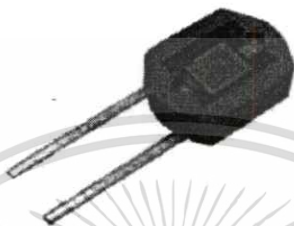


รูปที่ 3.1 แสดงวงจรตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

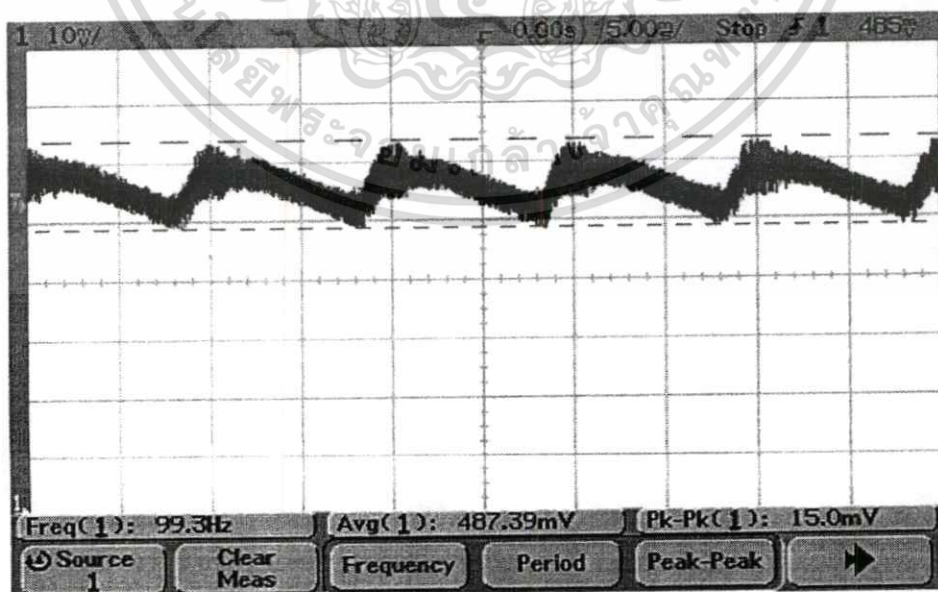
3.2 การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงขนาดเล็ก

ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอจะอาศัยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม จากเงื่อนไขดังกล่าวจึงได้เลือกใช้โฟโอดีไดโอด รุ่น BS520 ซึ่งมีโครงสร้างแบบพี-เอ็นเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน ในการสร้างวงจรเลือกใช้โหมด Photovoltaic ซึ่งลักษณะของโฟโอดีไดโอดแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของโฟโอดีไดโอดรุ่น BS520

ในการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เลือกใช้พิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่ 100 ไมโครแอมป์ ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร 485 มิลลิโวลต์ ในการออกแบบพิกัดกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตและพิกัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในการนำจากคุณสมบัติพบว่า จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเนื่องจากผลของตัวเก็บประจุ ที่แฝงมาในโครงสร้างของโฟโอดีไดโอดดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3

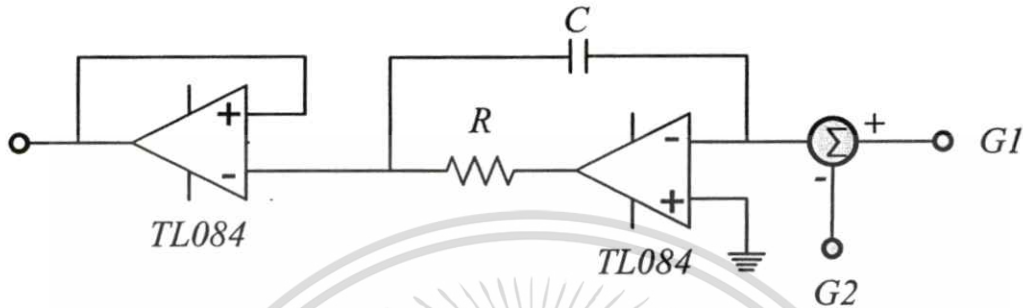


รูปที่ 3.3 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของโฟโอดีไดโอด รุ่น BS520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจร DC bias controller

วงจร DC bias controller เป็นวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อ่างอิง โดยอาศัยวงจร Integrate summing ที่มีอัตราขยายขึ้นกับอินพุตที่ขา inverting ของออปแอมป์ ที่เอาต์พุตของวงจรจะมีการต่อวงจรบัฟเฟอร์ไว้เพื่อป้องกัน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจร DC bias controller

ในการคำนวณหาอัตราขยายกระแสของวงจร DC bias controller สามารถแสดงให้เห็นได้จากสมการที่ 3.1

$$A_I = \frac{I_O}{I_{sc}} = \frac{G_2}{G_1} \quad (3.1)$$

เมื่อ	A_I	คือ อัตราขยายกระแสของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
	I_O	คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์อ่างอิง
	G_1	คือ อัตราขยายของวงจรตรวจจับกระแสเอาต์พุต
	G_2	คือ อัตราขยายของวงจรตรวจจับกระแสไฟได้

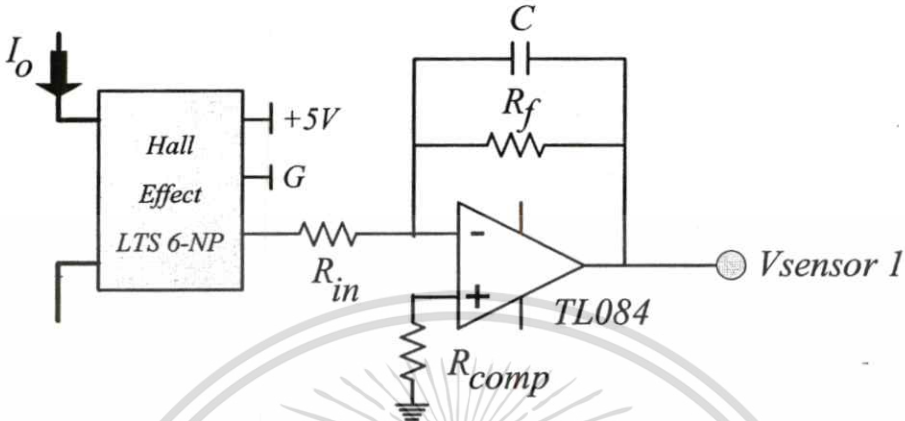
เงื่อนไขการออกแบบวงจร

- กำหนดให้สามารถจ่ายกระแสเอาต์พุตได้ที่ 1.16 แอมป์ ที่พิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ 100 ไมโครแอมป์

3.3.1 วงจรตรวจจับกระแสเอาต์พุต (Current sensor1)

ในการออกแบบวงจรตรวจจับกระแสเอาต์พุต ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้เลือกใช้การตรวจจับกระแสด้วยตัวตรวจจับแบบ Hall Effect รุ่น LTS 6-NP เพื่อแยกชุดควบคุมและชุดขยาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังออกจากกัน ลักษณะวงจรแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5 โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับมีการผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา เพื่อให้สัญญาณที่ตรวจจับเรียบ และเพื่อสำหรับปรับเพิ่มหรือลดอัตราขยายได้ตามที่ออกแบบไว้ในสมการที่ 3.2



รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับกระแสเอาต์พุต

$$G_I = \frac{V_{sense1}}{I_o}$$

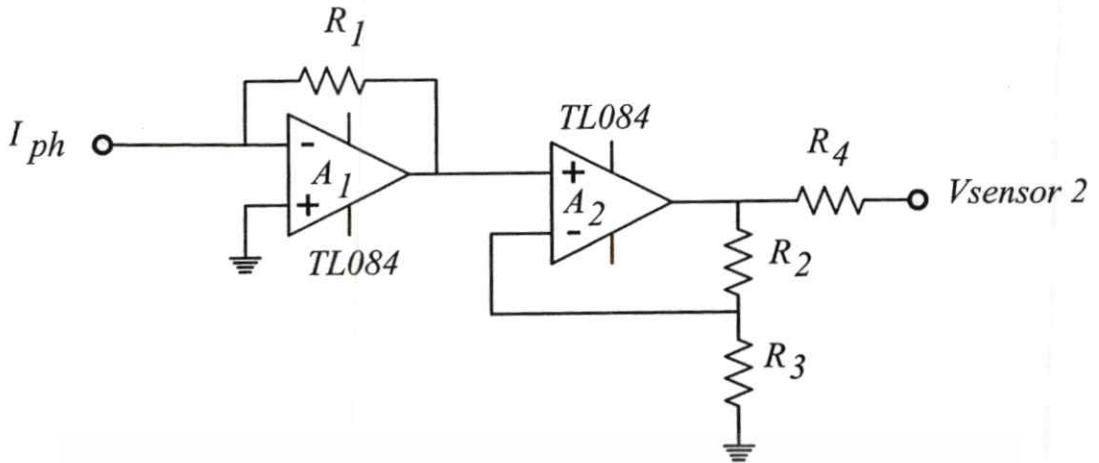
(3.2)

เมื่อ V_{sense1} คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรตรวจจับกระแสเอาต์พุต
เงื่อนไขการออกแบบวงจร

- ตัวตรวจจับกระแส LTS 6-NP สามารถตรวจจับไฟฟ้ากระแสตรงได้และมีค่าความละเอียดในการอ่านที่เหมาะสมกับการใช้งาน
- อัตราขยายแรงดันที่ออกแบบไว้ที่ 5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าอินพุต

3.3.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ (Current sensor2)

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับตรวจจับกระแสไฟฟ้าโพได้ของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยการตรวจจับจะอาศัยวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันดังนั้นการเลือกใช้ออปแอมป์เบอร์ TL084 เนื่องจากใช้กระแสไบอัสอินพุตต่ำ เมื่อได้สัญญาณแรงดันมาแล้วจะนำเข้าสู่วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปเป็นอินพุตให้กับชุด DC bias controller ต่อไป ลักษณะวงจรสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรตรวจจับกระแสโฟโต้

จากวงจรในรูปที่ 3.6 พบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเกิดจากผลคูณอัตราขยายระหว่างวงจร เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันกับวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส สามารถแสดงให้เห็นได้ในสมการที่ 3.3

$$G_2 = \frac{V_{sense2}}{I_{ph}} \quad (3.3)$$

เมื่อ V_{sense2} คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรตรวจจับกระแสโฟโต้

จากการออกแบบวงจรตรวจจับกระแสโฟโต้กำหนดให้เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ดังนั้นสามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรได้จาก

$$V_{sense2} = A_1 A_2 \quad (3.4)$$

เมื่อ A_1 คือ อัตราขยายของวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

A_2 คือ อัตราขยายของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

ซึ่งอัตราขยายแรงดัน A_1 และ A_2 สามารถคำนวณได้จากในบทที่ผ่านมา

3.4 วงจรขยายกำลัง

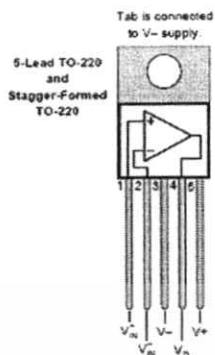
หลักการการทำงานของวงจรขยายกำลังคือการขยายคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง ดังนั้นการออกแบบจึงต้องใช้ออปแอมป์ที่อัตราขยายกระแสและแรงดันได้สูง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นใช้วงจรขยายกำลังที่ไม่ใช้ความถี่สวิทซ์ในการขยาย ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ไอซีขยายกำลัง (Power Amplifier) ของบริษัท Texas Instrument รุ่น OPA 544 ที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้สูงสุด 70 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 4 แอมแปร์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยตัวไอซีมีชุดวงจรป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัดที่ไอซีจะรับได้



(ก)



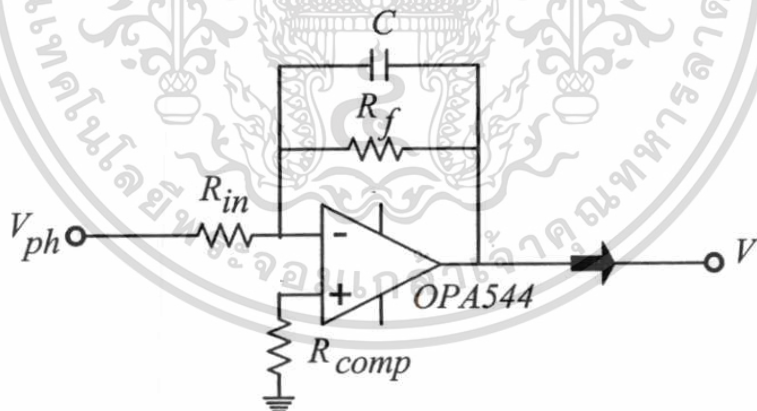
(ข)

รูปที่ 3.7 ลักษณะไอซี OPA544 ที่ใช้สำหรับวงจรขยายกำลังไฟฟ้า

(ก) รูปแบบตัวถังของ ไอซี

(ข) แสดงรายละเอียดขาที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อวงจร

ในการออกแบบวงจรขยายกำลังที่ใช้สัญญาณจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงพบว่า มีสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขยายกำลังไฟฟ้า

จากลักษณะสัญญาณแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีสัญญาณรบกวนทำให้สัญญาณที่ได้ไม่ราบเรียบ ดังนั้นจึงมีเงื่อนไขในการออกแบบวงจรดังนี้ เงื่อนไขการออกแบบวงจร

- วงจรต้องสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 1.16 โวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายแรงดัน

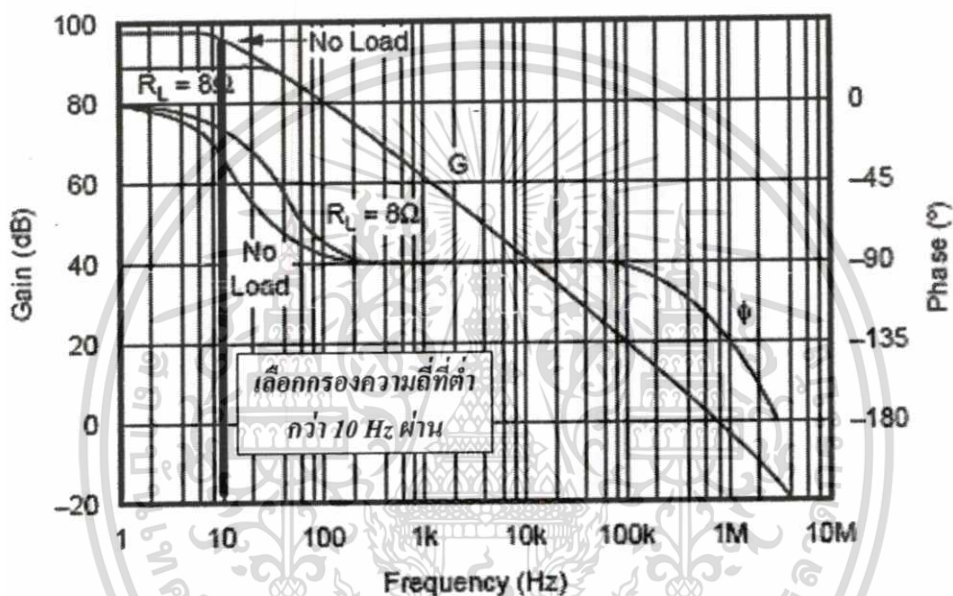
ได้จากสมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_V = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad (3.5)$$

-วงจรสามารถกรองความถี่ต่ำกว่า 10 Hz ผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งในการคำนวณอุปกรณ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6

$$f_o = -\frac{1}{2\pi R_f C} \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.9 การเลือกความถี่ในการกรองสัญญาณรบกวน

3.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยเนื้อหาที่กล่าวมานั้นเป็นการนำวงจรอนุกรมที่มีการคำนวณไม่ซับซ้อนง่ายต่อการออกแบบและใช้งานจริง ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองการทำงานในบทที่ผ่านแสดงให้เห็นว่าวงจรดังกล่าวที่ออกแบบไว้นั้นสามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมได้ แต่เนื่องจากการสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีการกรองสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรเพิ่มเติมในส่วนนี้

บทที่ 4

การศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1 เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การออกแบบและศึกษาการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเนื้อหาหลักในบทนี้ประกอบด้วย

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวถึงสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม และการนำสมการที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้สำหรับสร้างสัญญาณอ้างอิงในการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ และการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับ โปรแกรม OrCAD 9.1

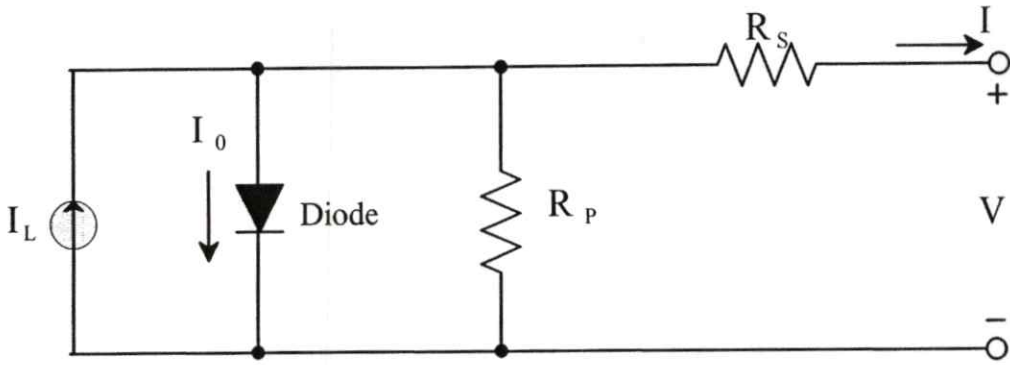
- การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวถึงผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และการนำแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อกันให้มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเทียบเท่ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

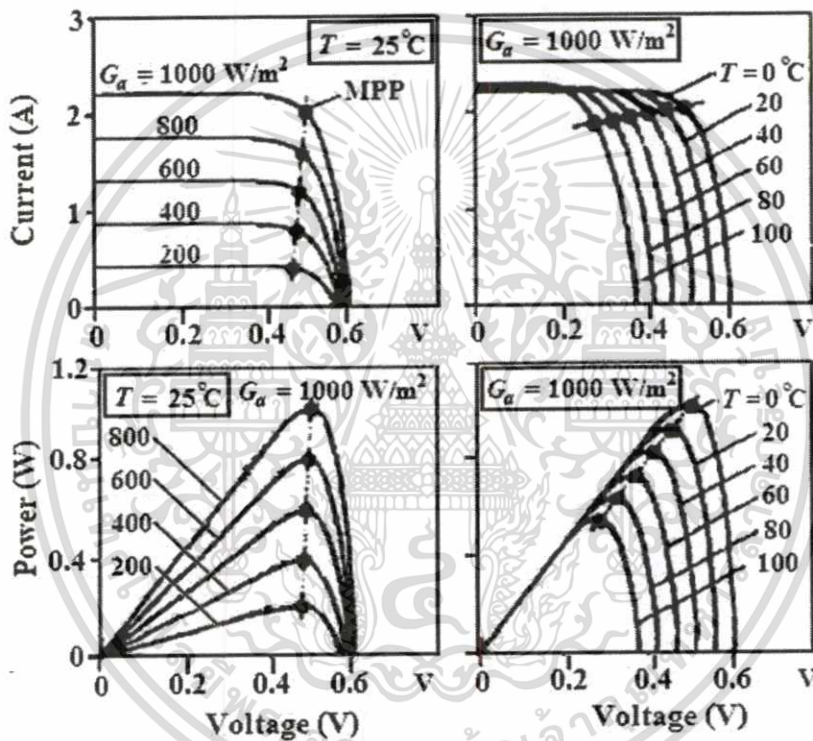
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งาน โดยทั่วไปจะผลิตจากสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จึงนิยมใช้วงจรสมมูลที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแส (I_{ph}) ที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงต่อชานานกับไดโอดและความต้านทานขนาน (R_p) ซึ่งความต้านทานอนุกรม (R_s) ต่อกับเอาต์พุตของวงจรสมมูล [12] ดังรูปที่ 4.1

จากวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.1 จะแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่มีการตอบสนองของกระแสลัดวงจรตามความเข้มแสง และแรงดันเปิดวงจรจะมีการตอบสนองตามอุณหภูมิ [12] ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และโดยทั่วไปความต้านทานขนาน (R_p) จะมีค่าสูงมากพอที่จะไม่นำมาพิจารณาผลที่เกิดขึ้นได้ ในขณะที่ความต้านทานอนุกรมจะมีค่าน้อยมากจึงมีผลกระทบต่อเอาต์พุตของวงจรสมมูล จากหลักการดังกล่าวสามารถเขียนวงจรสมมูลใหม่ได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



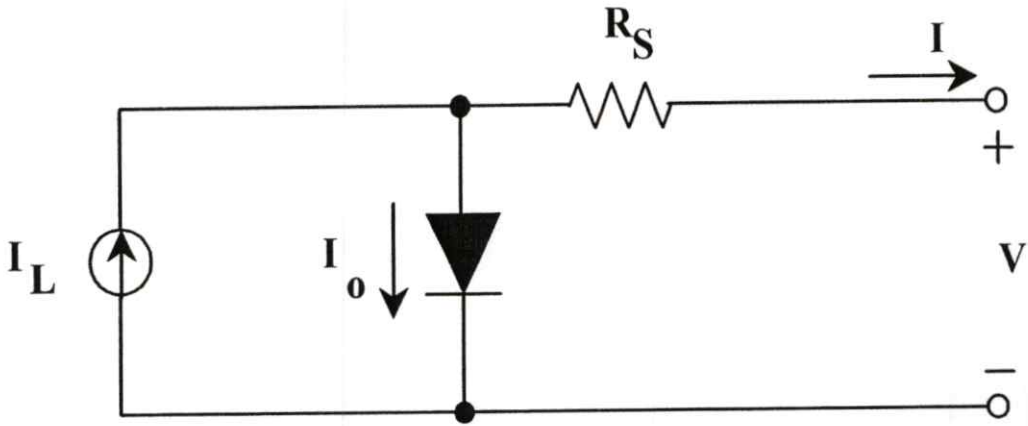
รูปที่ 4.1 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการวิเคราะห์ความต้านทานขนาน



รูปที่ 4.2 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ

ในปัจจุบันวงจรสมมูลรูปที่ 4.3 ได้มีการนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเช่น โปรแกรม MATLAB/SIMULINK, โปรแกรม OrCAD 9.1 เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้ในการศึกษาการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแบบจำลองระบบไฟฟ้าที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนประกอบได้ เพื่อให้การจำลองการทำงานใกล้เคียงกับการออกแบบจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



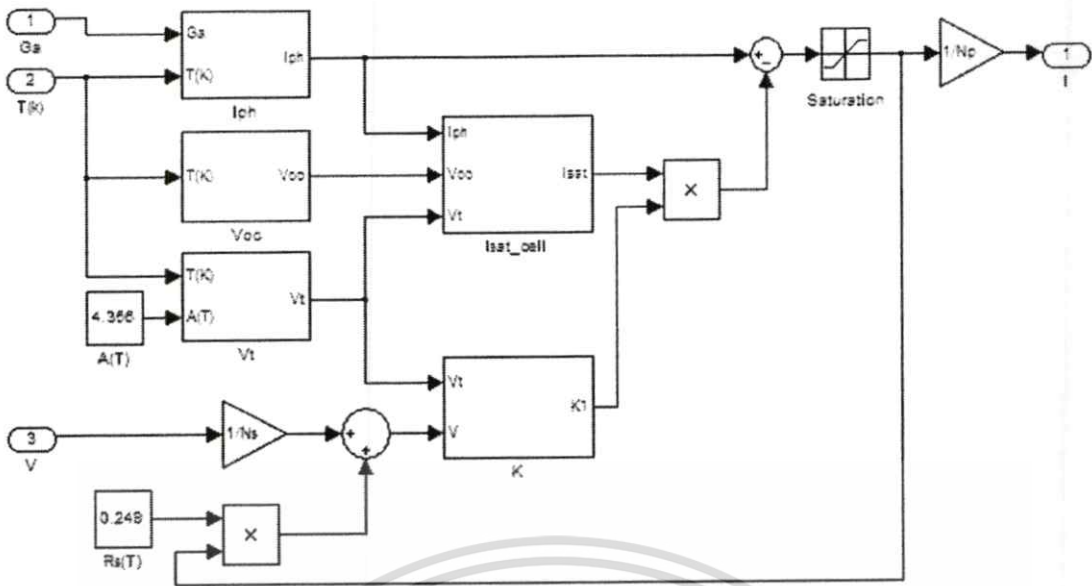
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย

4.2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK นั้น จะใช้บล็อกทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสถานะของสมการเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบบจำลองสามารถแสดงให้เห็น ได้ดังรูปที่ 4.4 เนื่องจากแบบจำลองอาศัยสมการคณิตศาสตร์จึงต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการประมวลผล โดยพารามิเตอร์จะได้จากข้อมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.1

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.1 ให้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว แบบจำลองยังไม่สามารถทำงานที่จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้หากต้องการให้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานที่จุดทำงานได้นั้นต้องมีการคำนวณค่า Ideality Factor (A) และค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังรูปที่ 4.5

ค่าที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนรูปที่ 4.5 จะใช้สำหรับป้อนให้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้กำหนดจุดทำงานที่ถูกต้องตามสมการของวงจรสมมูล โดยแบบจำลองสามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิได้ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.6

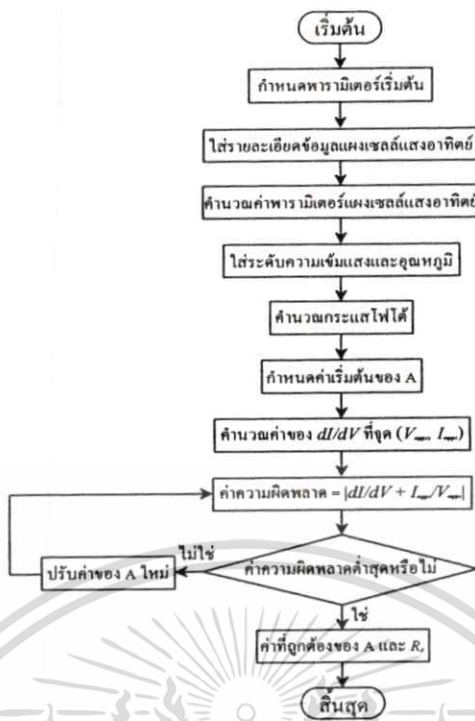


รูปที่ 4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK [13]

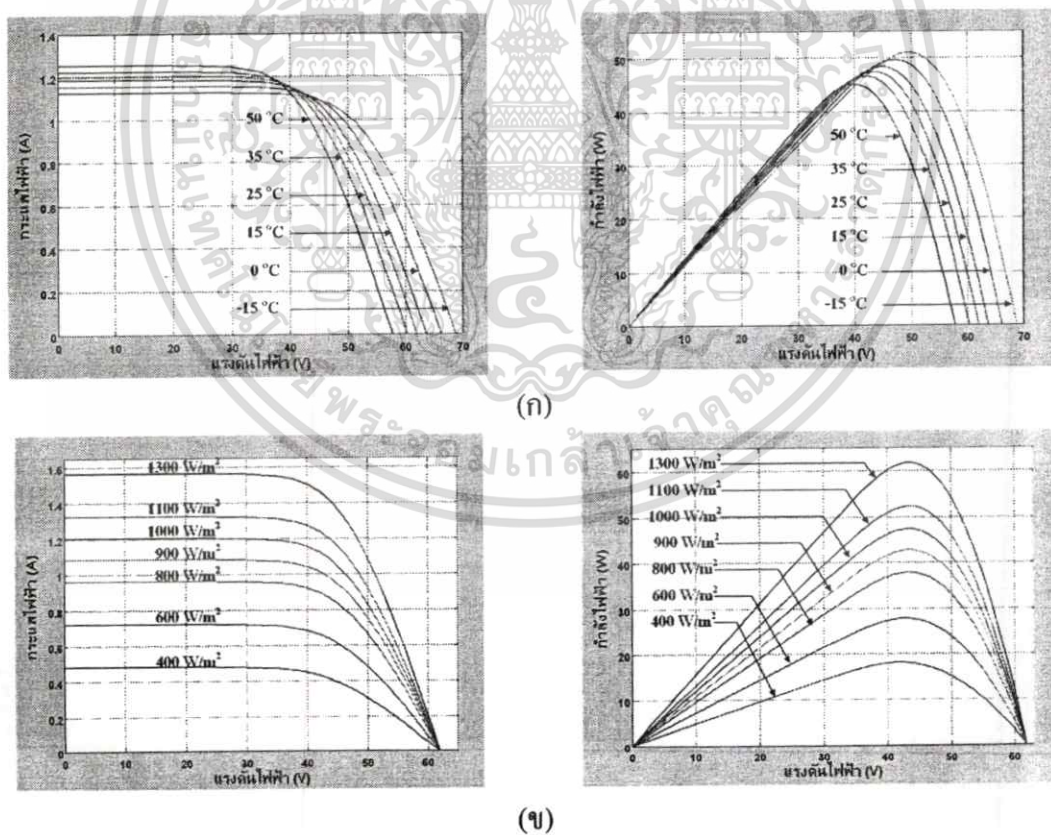
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

ข้อมูลเฉพาะภายใต้มาตรฐานการทดสอบ(STC)	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ
กำลังไฟฟ้าสูงสุด : $P_{mpps} = 47 \text{ W}$	กำลังไฟฟ้าที่สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ :
กระแสลัดวงจร : $I_{scs} = 1.203 \text{ A}$	$\Delta P_{mpp} = -0.19 \% / ^\circ\text{C}$
แรงดันเปิดวงจร : $V_{ocs} = 61.94 \text{ V}$	แรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ :
แรงดันที่ให้กำลังสูงสุด : $V_{mpps} = 41.18 \text{ V}$	$\Delta V_{mpp} = -153 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$
จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม : $N_s = 39$	แรงดันเปิดวงจรที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ :
จำนวนเซลล์ที่ต่อขนาน : $N_p = 1$	$\Delta V_{oc} = -170 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$
	กระแสลัดวงจรที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ :
	$\Delta I_{sc} = +1.6 \text{ mA} / ^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการคำนวณหาค่า Ideality Factor และ ความต้านทานอนุกรมของแบบจำลอง



รูปที่ 4.6 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

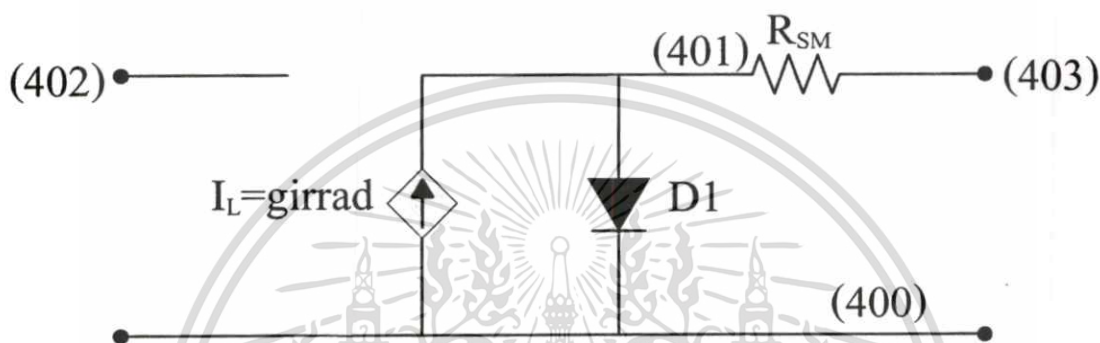
(ก) เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของแบบจำลอง

(ข) เมื่อเปลี่ยนความเข้มแสงของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD9.1

ในงานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1 ที่สร้างจากวงจรสมมูลในรูปที่ 4.3 ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ใช้สำหรับเป็นสัญญาณอ้างอิงให้แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ใช้สำหรับวิเคราะห์หาแนวโน้มและความถูกต้องในการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จากวงจรสมมูลที่แสดงในรูปที่ 4.3 สามารถเขียนวงจรสมมูลใหม่ในรูปแบบของโปรแกรม OrCAD 9.1 ได้ดังรูปที่ 4.7 เพื่อให้ง่ายต่อการสร้าง Library ที่ใช้งานจริง [14]



รูปที่ 4.7 วงจรสมมูลในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ G-device ของโปรแกรม OrCAD 9.1 แทนแหล่งจ่ายกระแส (I_{ph}) เพื่อให้ง่ายในการเขียนสมการความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและกระแส (I_{ph}) จากรูปที่ 4.7 สามารถเขียนสมการอธิบายความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$I = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{V + IR_S}{nV_T}} - 1 \right) \quad (4.1)$$

เมื่อ	I	คือกระแสเอาต์พุตของวงจรสมมูล มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
	I_{SC}	คือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
	I_0	คือกระแสไหลผ่านตัวไดโอด หน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
	V	คือแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	R_S	คือความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)
	V_T	คือ Thermal Voltage ของไดโอด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	n	คือ Ideality factor ของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ G-device สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$g_{irrad} = \frac{I_{SCM}}{1000} \times G \quad (4.2)$$

เมื่อ G คือค่าความเข้มแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ ซึ่งในแบบจำลองจะแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน เนื่องจากวงจรสมมูลในรูปที่ 4.3 เป็นวงจรสมมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์เพียง 1 เซลล์ ดังในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีการนำจำนวนของเซลล์ที่ต่ออนุกรมและขนานกันภายในแผงมาคำนวณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_M = N_P I \quad (4.3)$$

$$I_{SCM} = N_P I_{SC} \quad (4.4)$$

$$V_M = N_S V \quad (4.5)$$

$$V_{OCM} = N_S V_{OC} \quad (4.6)$$

$$R_{SM} = \frac{N_S}{N_P} R_S \quad (4.7)$$

เมื่อ	I_M	คือกระแสเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
	I_{SCM}	คือกระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
	V_M	คือแรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	V_{OCM}	คือแรงดันเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	V_{OC}	คือแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	N_S	คือจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	N_P	คือจำนวนเซลล์ที่ต่อขนานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	R_{SM}	คือความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (4.7) แทนในสมการที่ (4.1) จะได้ว่า

$$\frac{I_M}{N_P} = \frac{I_{SCM}}{N_P} - I_{OI} \left(e^{\frac{V_M + I_M N_P R_{SM}}{N_S N_P N_S nV_T}} - 1 \right) \quad (4.8)$$

$$I_M = I_{SCM} - N_P I_{OI} \left(e^{\frac{V_M + I_M R_{SM}}{nN_S V_T}} - 1 \right) \quad (4.9)$$

ในกรณีที่วงจรมูลเปิดวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่ากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอดทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณค่ากระแส I_O ได้จาก

$$I_O = \frac{I_{SC}}{\left(e^{\frac{V_{OC}}{nV_T}} - 1 \right)} \quad (4.10)$$

นำสมการที่ (4.4), (4.6) แทนค่าในสมการที่ (4.10) จะได้ว่า

$$I_O = \frac{I_{SCM}}{N_P \left(e^{\frac{V_{OCM}}{nV_T N_S}} - 1 \right)} \quad (4.11)$$

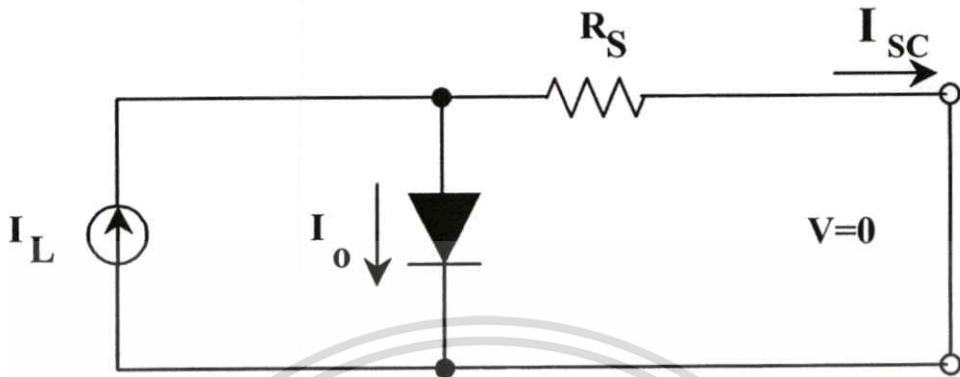
ในขณะที่แรงดันเปิดวงจรสามารถคำนวณได้จาก

$$V_{OC} = \frac{V_{OC}}{nV_T} = \frac{V_{OCM}}{N_S nV_T} \quad (4.12)$$

ซึ่งสมการที่ (4.11) เป็นสมการที่ใช้สร้างแบบจำลองซึ่งต้องมีค่า I_{SCM} และ V_{OCM} ที่ได้จากการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่วงจรสมมูลลัทธิวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.8 นั้น กระแสจะไหลผ่านความต้านทานอนุกรมเป็นส่วนมากทำให้กระแสที่ไหลผ่านไดโอดน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีลัทธิวงจร



รูปที่ 4.8 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะลัทธิวงจร

เมื่อนำสมการที่ (4.11) แทนในสมการที่ (4.9) จะแสดงความสัมพันธ์ของกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

$$I_M = I_{SCM} - I_{SCM} \left(\frac{V_M + I_M R_{SM}}{e^{nV_T N_S} - 1} - 1 \right) \quad (4.13)$$

เมื่อจัดรูปสมการแล้วจะได้

$$I_M = I_{SCM} \left(1 - e^{-\frac{V_M + I_M R_{SM} - V_{OCM}}{nV_T N_S}} \right) \quad (4.14)$$

เมื่อพิจารณาที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าความสัมพันธ์ของกระแสลัทธิวงจรและแรงดันเปิดวงจร ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีการเปลี่ยนแปลงดังสมการที่ (4.15)

$$P_{maxM} = FF_M V_{OCM} I_{SCM} = FF_{OM} (1 - r_{SM}) V_{OCM} I_{SCM} \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า Fill Factor (FF) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

$$FF_O = \frac{v_{OC} - \ln(v_{OC} + 0.72)}{1 + v_{OC}} \quad (4.16)$$

และค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (R_S) สามารถหาได้จาก

$$R_{SM} = \frac{V_{OCM}}{I_{SCM}} - \frac{P_{MAXM}}{FF_{OM} I_{SCM}^2} \quad (4.17)$$

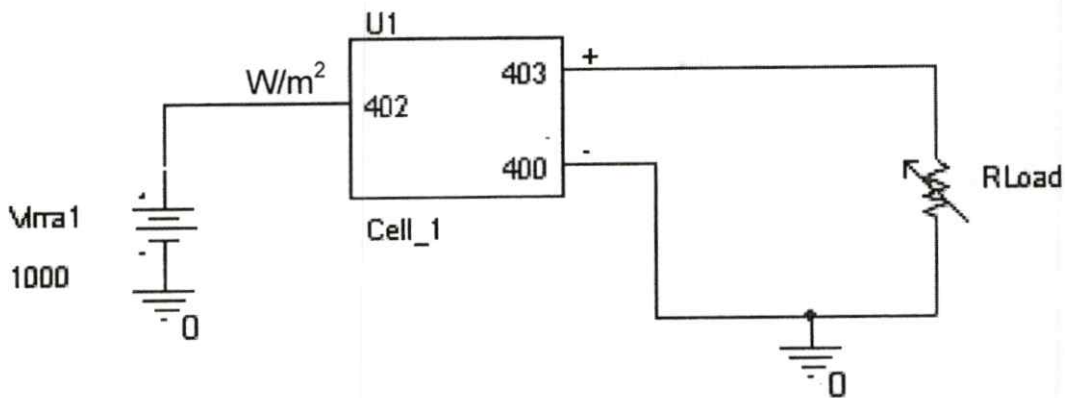
จากสมการที่ (4.2), (4.11), (4.12), (4.17) สามารถนำมาเขียน Library ในโปรแกรม OrCAD ได้ดังนี้

```
subckt module_1 400 403 402params: tr=25,iscm=6.73m, pmaxm=7.71m, vocm=1.71,
ns=1, np=1, nd=1
.girradm 400 401 value={{(iscm/1000*v(402))}}
d1 401 400 diode
.model diode d(io={{iscm/np*exp(vocm/(nd*ns*(8.66e-5*(tr+273))))-1}},n={{nd*ns}})
.func uvet() {8.61e-5*(tr+273)}
.func vocnorm() {vocm/(nd*ns*uvet)}
.func rsm() {vocm/(iscm)pmaxm*(1+vocnorm)/(iscm*2*(vocnorm+log((vocnorm)+0.72)))}
rs 401 403 {rsm()}
.ends module_1
```

ในโปรแกรม OrCAD สามารถสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้การจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.9 ซึ่งแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแส กล่าวคือ มีทั้งขั้วบวกและลบที่ใช้สำหรับกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดสอบการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.9 อาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (STC) ที่ความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 25 °C, Air Mass 1.5 ด้วยเครื่องทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า กลาส A ซึ่งแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1

เนื่องจากการจำลองการทำงานเป็นการจำลองด้วยแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวค่า ns, np, nd จึงกำหนดค่าให้เป็น 1 ในขณะที่ ค่า tr ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

OrCAD Capture - [Property Editor]

File Edit View Place Macro Accessories Options Window Help

D1N5406 U1:1

New... Apply Display... Delete Property Filter by: <All> Help

	Reference	Source Library	Source Package	TA	TR	Value
1	SCHEMATIC1: PAGE1: U1	F:\THESES\ORCAD SIM\MODELING PV USING PSPICE\LIBRARY\PV MODULE\LIB\MODULE ...	MODULE_1	25	25	Cell_1

(ก)

OrCAD Capture - [Property Editor]

File Edit View Place Macro Accessories Options Window Help

D1N5406 U1:1

New... Apply Display... Delete Property Filter by: <All> Help

	Reference	Source Library	Source Package	TA	TR	Value
1	SCHEMATIC1: PAGE1: U1	F:\THESES\ORCAD SIM\MODELING PV USING PSPICE\LIBRARY\PV MODULE\LIB\MODULE ...	MODULE_1	25	14	Cell_1

(ข)

รูปที่ 4.10 แสดงการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ค่าพารามิเตอร์ TR ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

(ก) แสดงค่า TR ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

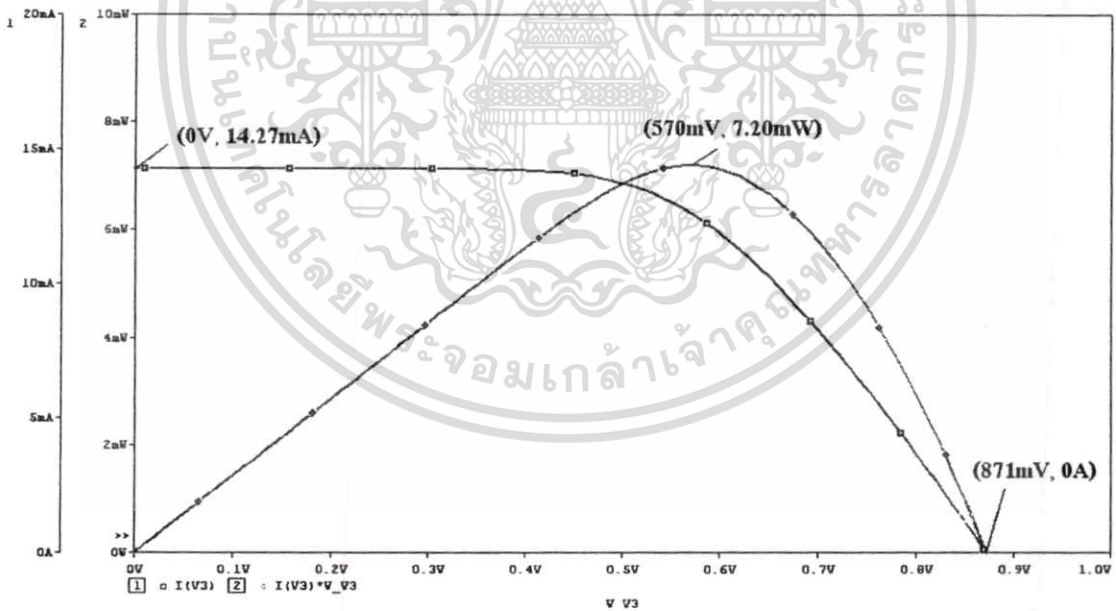
(ข) แสดงค่า TR ที่มีการปรับค่าอุณหภูมิที่ 14 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (STC)

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่ได้จากการวัดจริง
ขนาดเซลล์แสงอาทิตย์	1.69 cm ²
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V _{ocm})	0.87V
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I _{scm})	14.27mA
ค่า Fill Factor	0.59
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P _{max})	7.33mW

จากการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.9 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นผลการจำลองจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการนำคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์มาคำนวณในสมการ ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.11 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.69 cm² ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 25 °C, Air Mass 1.5

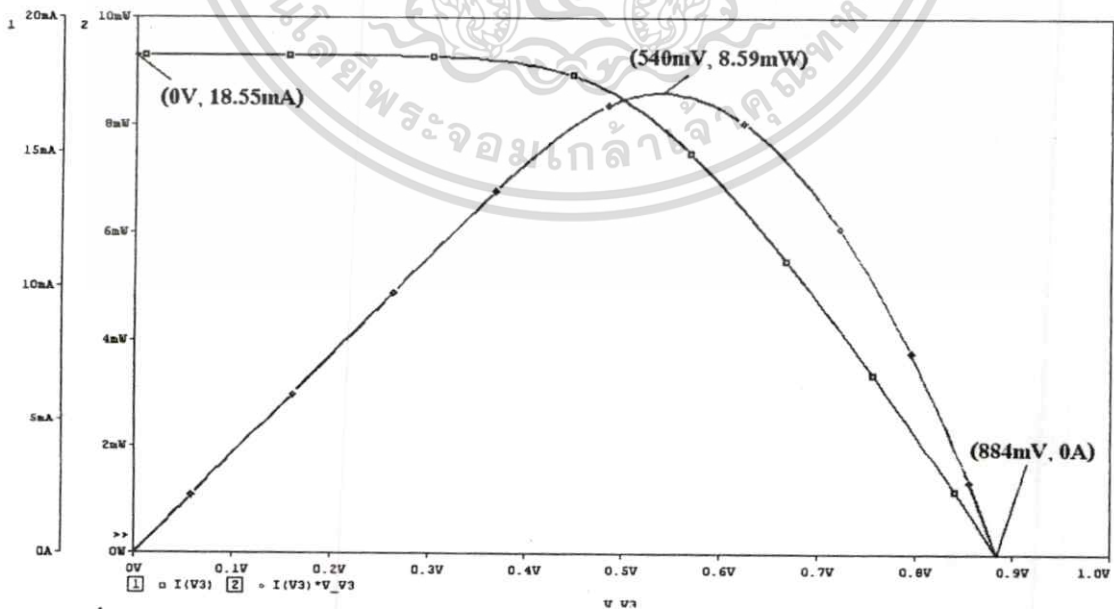
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (STC) กับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่ได้จากการวัดจริง	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	0.87 V	0.871 V	0.11
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	14.27mA	14.27mA	0
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	7.33mW	7.20mW	-1.77

เมื่อแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนความเข้มแสงที่ $V_{irradiance}$ เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1300 W/m^2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงดังแสดงในรูปที่ 4.12 และเมื่อลดค่าความเข้มแสงเป็น 700 W/m^2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าลดลงมาด้วย ดังแสดงให้เห็นรูปที่ 4.13

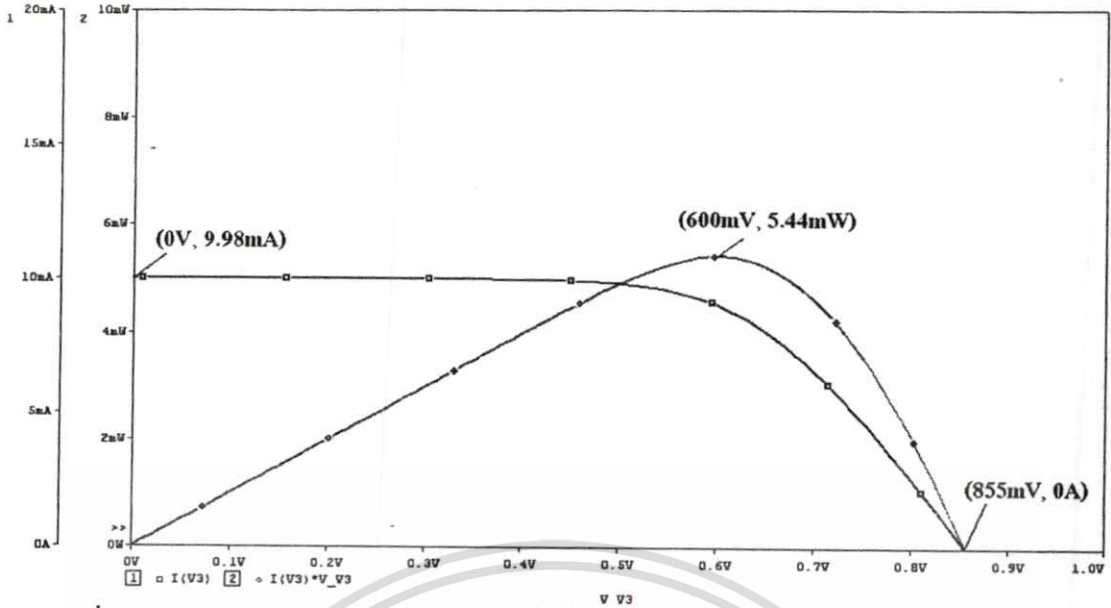
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่คงที่ความเข้มแสง ทำให้คุณลักษณะทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง โดยรูปที่ 4.14 จะเป็นสภาวะที่แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส พบว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของแบบจำลองเป็น 50 องศาเซลเซียส ทำให้แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรลดลง ดังรูปที่ 4.15 จากคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เพื่อกำหนดสัญญาณอ้างอิงให้กับการทำงานของตัวจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ได้



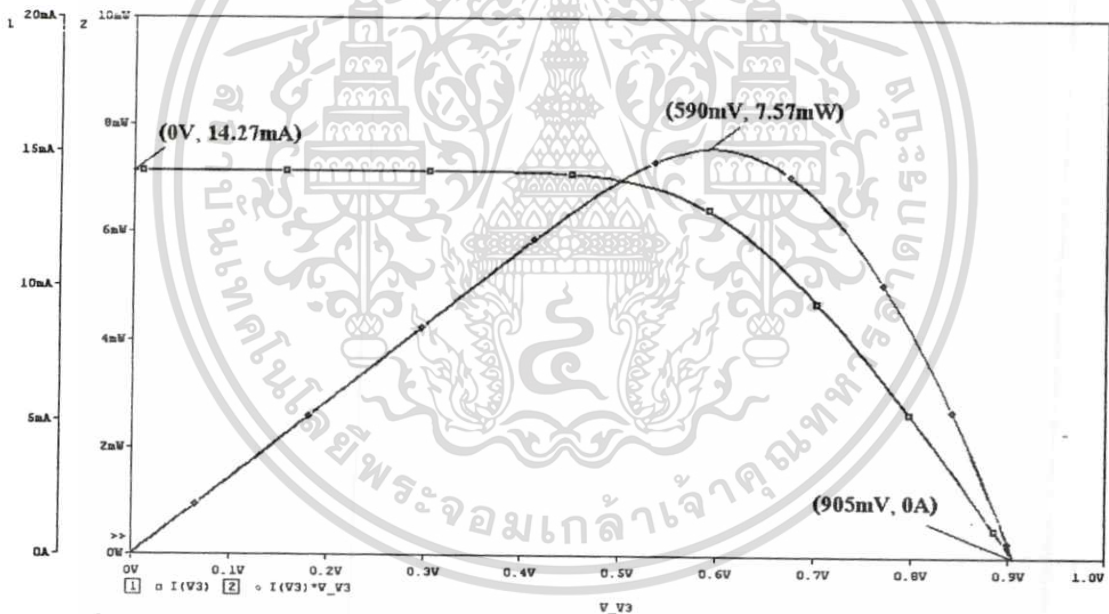
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง

1300 W/m^2 , อุณหภูมิ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

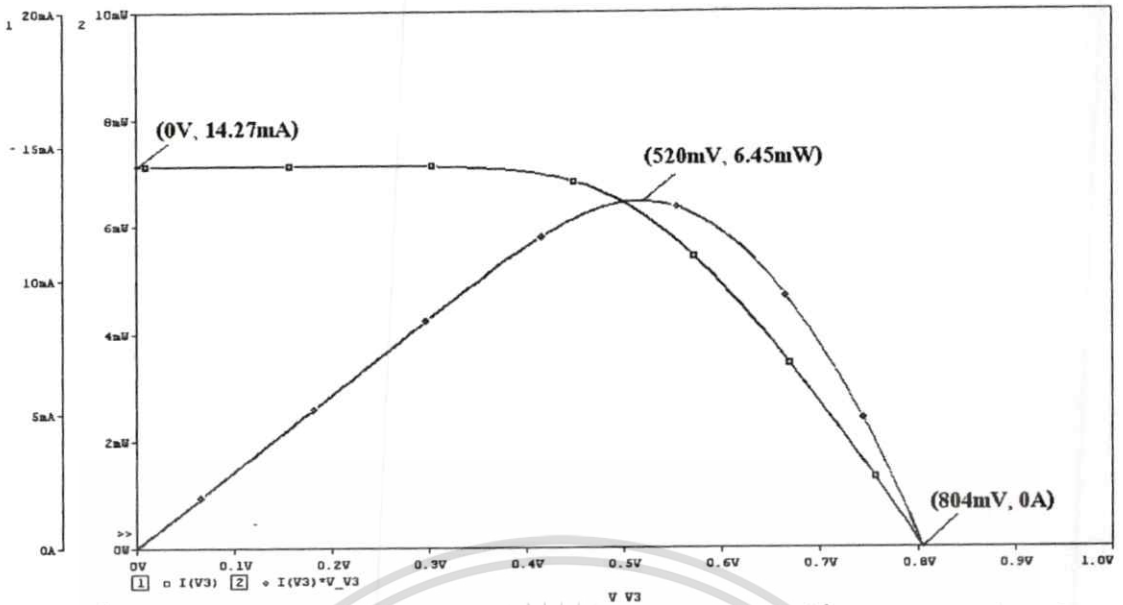


รูปที่ 4.13 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 700 W/m², อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.14 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 14 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



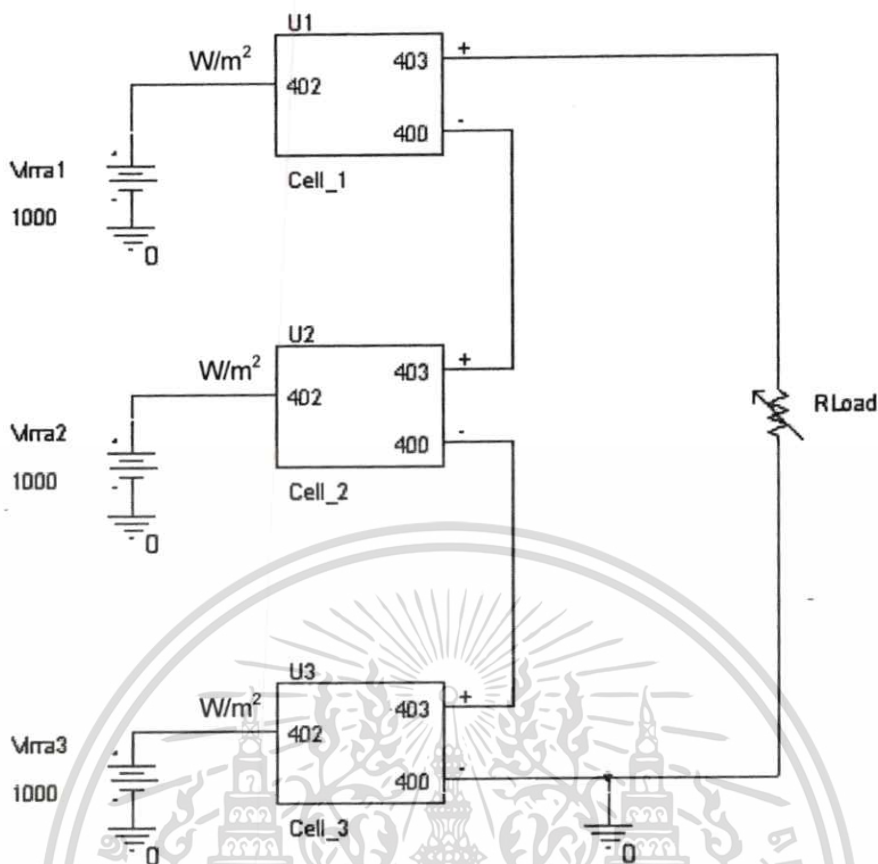
รูปที่ 4.15 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 50°C

4.2.3 การจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อใช้งานแบบอนุกรม

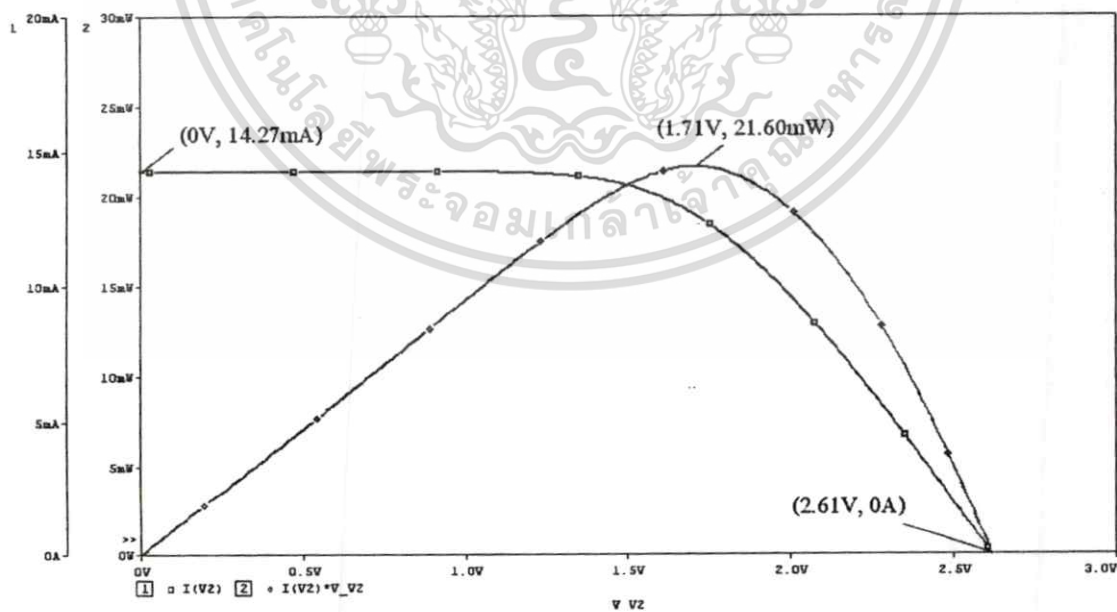
ในการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำแบบจำลองไปต่อใช้งานในแบบอนุกรมได้ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง เมื่อมีการต่ออนุกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 เซลล์ ดังรูปที่ 4.16 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ได้จากการต่ออนุกรมแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.16 จะมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่พิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีขนาดเท่ากับพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบเซลล์เดี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เมื่อทดสอบเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์ที่ 3 เป็น 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C ในรูปที่ 4.18 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าในรูปที่ 4.19 มีพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงเนื่องจากการลดความเข้มแสงทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเหลือเพียง 7.13 mA ในขณะที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรยังมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ (TR) เซลล์ที่ 3 เหลือเพียง 14°C ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.20 จะมีขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.64 V ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.16 แสดงการต่ออนุกรมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

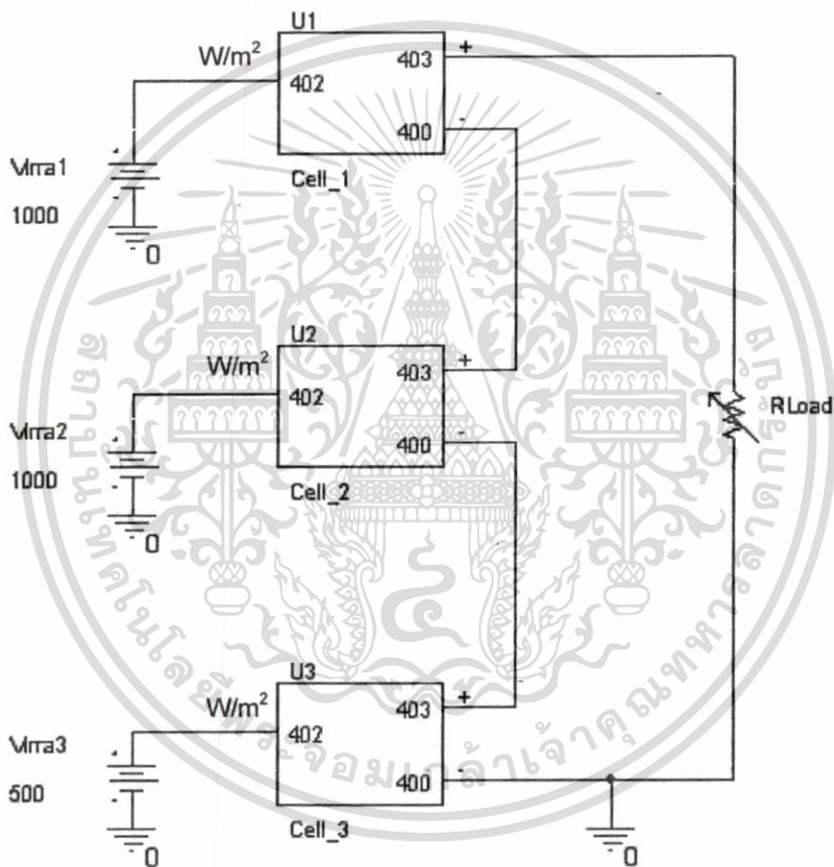


รูปที่ 4.17 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมจำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

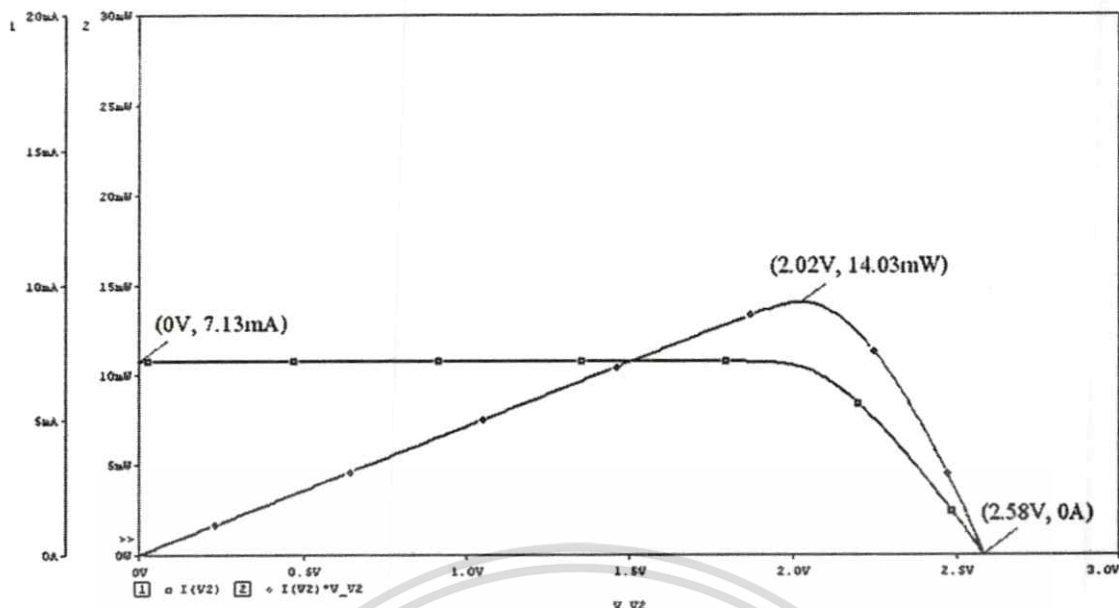
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานกับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่คำนวณจำนวน 3 เซลล์

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่ได้จากการวัดจริง 1 เซลล์	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง ต่ออนุกรมจำนวน 3 เซลล์
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	0.87 V	2.61 V
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	14.27 mA	14.27 mA
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	7.33 mW	21.60 mW

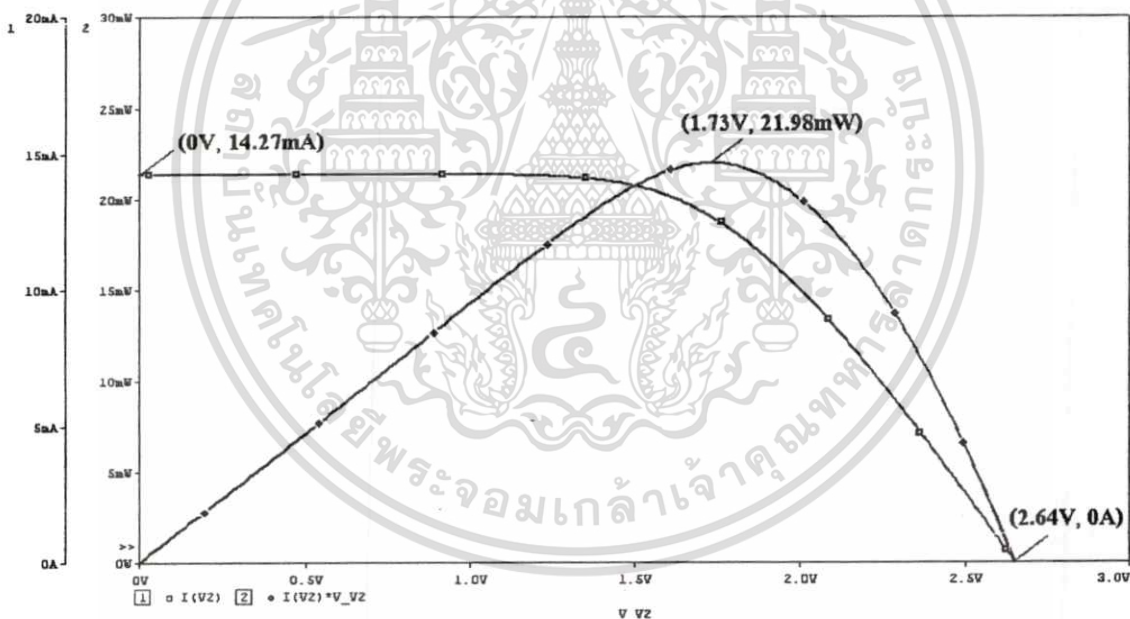


รูปที่ 4.18 แสดงการต่ออนุกรมของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงเซลล์ที่ 3 เป็น 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบอนุกรม เมื่อเปลี่ยนความเข้มแสงเซลล์ที่ 3 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.20 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบอนุกรม เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเซลล์ที่ 3 เป็นสภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ $14 \text{ }^\circ\text{C}$

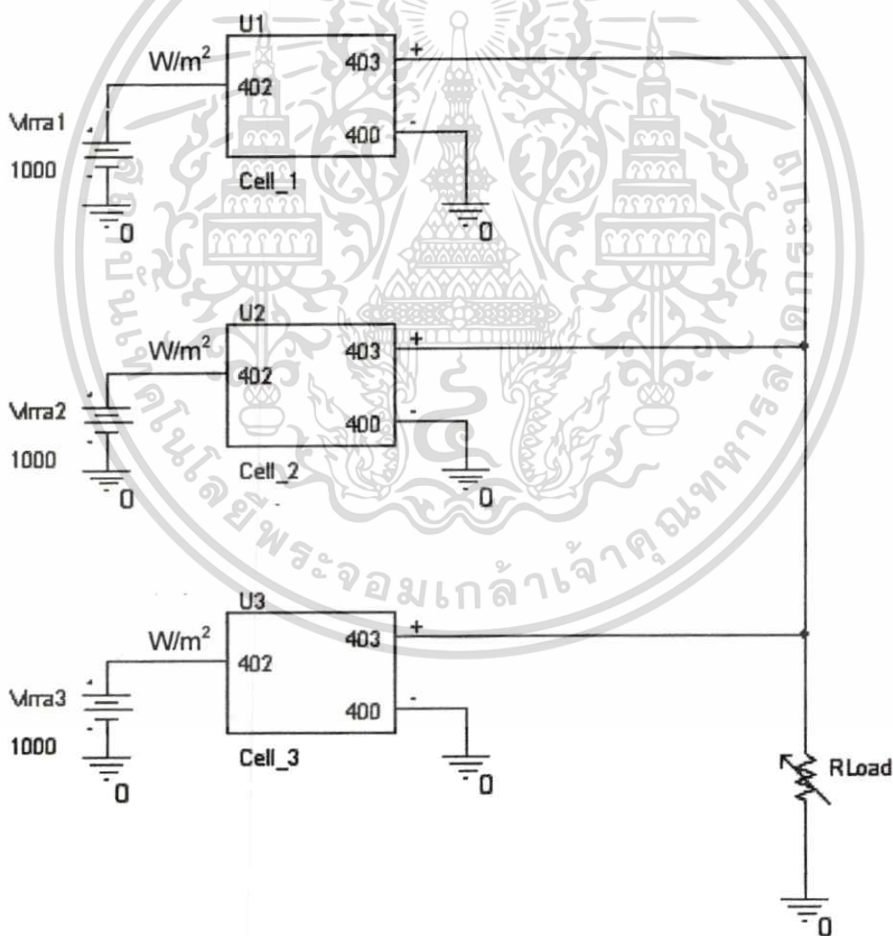
4.2.4 การจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อใช้งานแบบขนาน

ในกรณีที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำไปต่อใช้งานแบบขนานเซลล์ ดังรูปที่ 4.21 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่ต่อขนานในขณะที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีพิกัดเท่ากับเซลล์ๆเดียว ดังจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้จากรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อขนานเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 เซลล์ โดยตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากแบบจำลองเซลล์เดียวกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อแบบขนานจำนวน 3 เซลล์

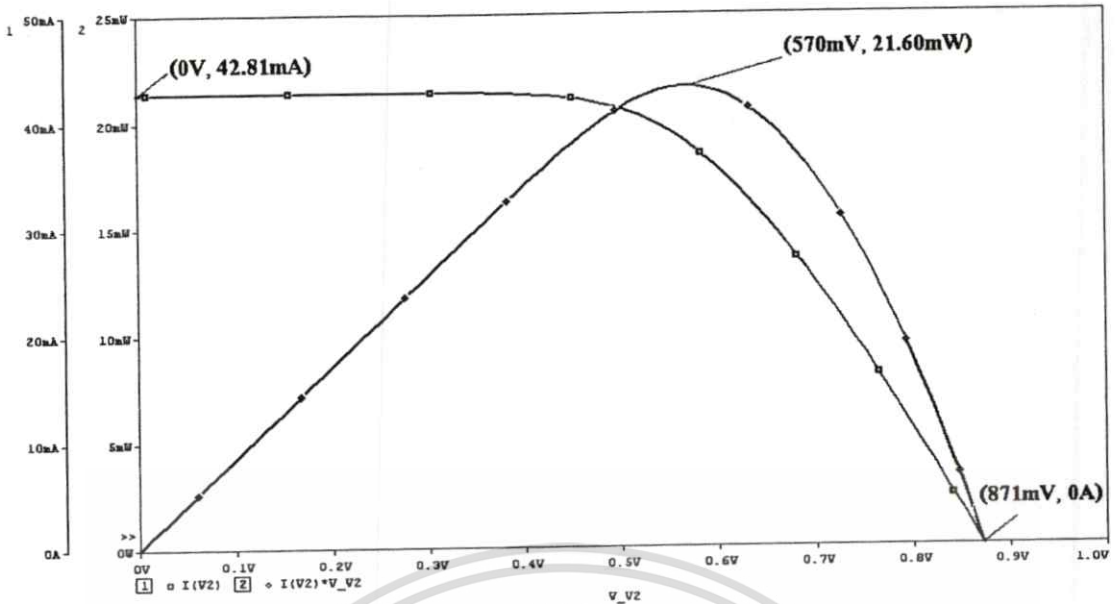
เมื่อทดสอบเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์ที่ 2 เป็น 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C ในรูปที่ 4.23 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าในรูปที่ 4.24 มีพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงเนื่องจากการลดความเข้มแสงทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเหลือเพียง 35.67 mA ในขณะที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรยังมีขนาดพิกัดเท่าเดิม

เมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ (TR) เซลล์ที่ 2 เหลือเพียง 14°C ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.25 จะมีขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 882.17 mV ในขณะที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.21 แสดงการต่อขนานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

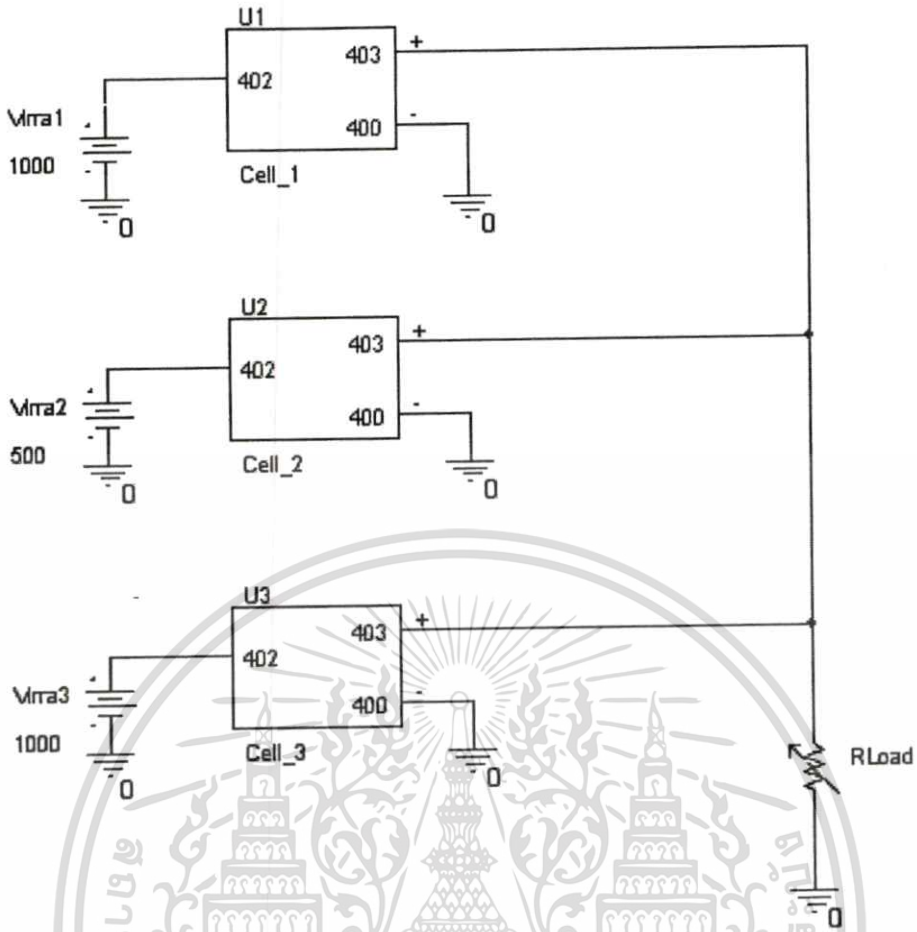


รูปที่ 4.22 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนาน จำนวน 3 เซลล์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

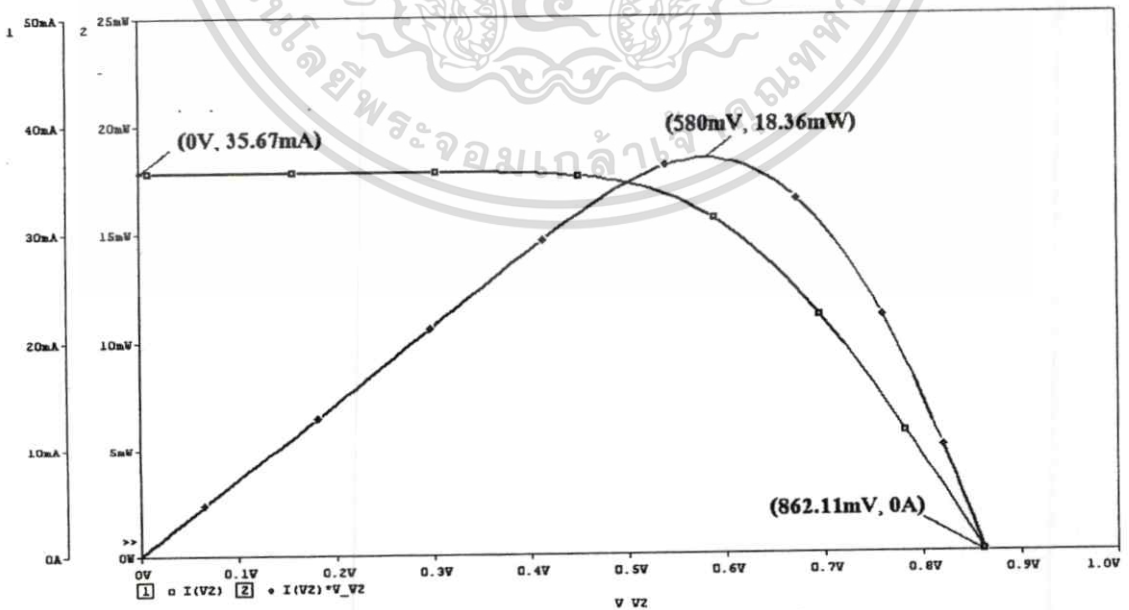
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานกับผลที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อขนานจำนวน 3 เซลล์

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่ได้จากการวัดจริง 1 เซลล์	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง ต่อขนานจำนวน 3 เซลล์
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	0.87 V	0.871V
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	14.27 mA	42.81 mA
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	7.33 mW	21.60 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

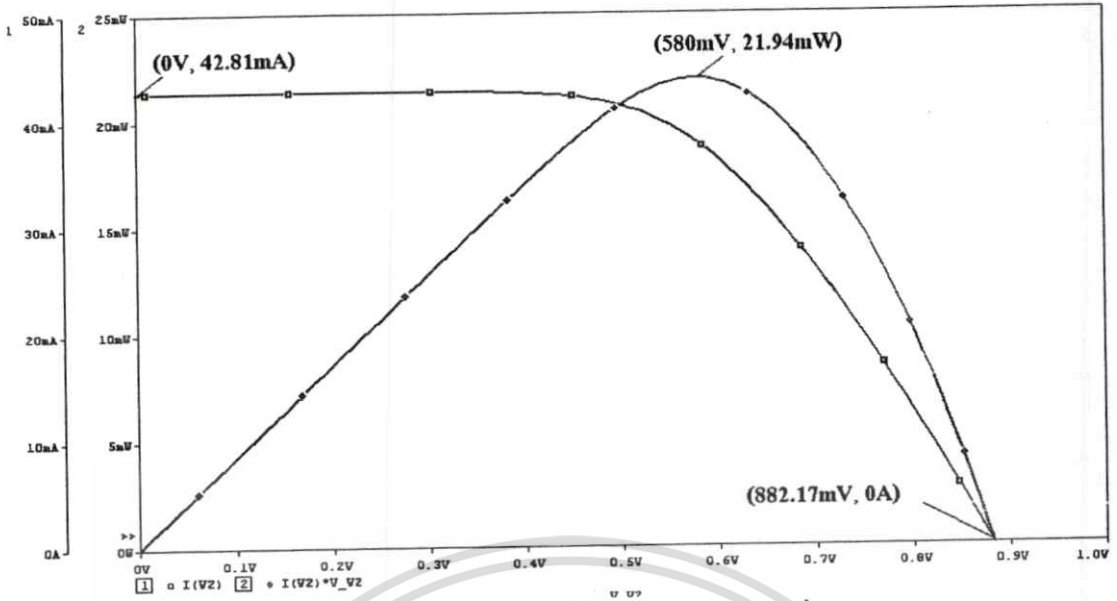


รูปที่ 4.23 แสดงการต่อขนานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 เซลล์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงเซลล์ที่ 2 เป็น 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 4.24 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนาน เมื่อเปลี่ยนความเข้มแสงเซลล์ที่ 2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อใช้งานแบบขนาน เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเซลล์ที่ 2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 14°C

4.2.5 การจำลองการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการจำลองเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 ของบริษัท บางกอก โซลาร์ จำกัด ซึ่งเป็นเซลล์แบบอะมอร์ฟิซิลิกอนที่มีการต่อเซลล์แบบอนุกรมจำนวน 39 เซลล์ โดยพิกัดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.6 จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.6 สามารถสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเทียบเท่าเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40

ข้อมูลเฉพาะทางไฟฟ้าของแผงรุ่น BS 40	
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	40 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	62.2 โวลต์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	1.16 แอมป์

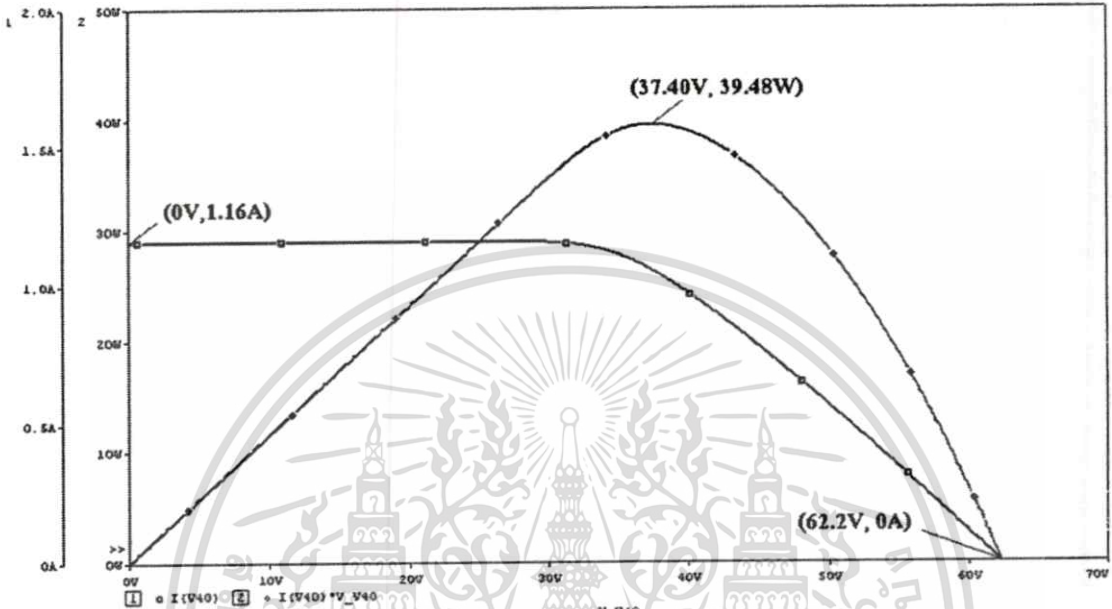
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40

ข้อมูลเฉพาะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	1.025 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	1.594 โวลต์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	1.16 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองการทำงานอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมกัน จำนวน 39 เซลล์ โดยกำหนดให้แบบจำลองมีค่าทางไฟฟ้าตามตารางที่ 4.7 สามารถแสดงให้เห็นได้ ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจากการจำลองการทำงานพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.26 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS 40 ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลอง

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่ได้จากการวัดจริง	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	62.2 โวลต์	62.2 โวลต์	0 %
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	1.16 แอมป์	1.16 แอมป์	0 %
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	40 วัตต์	39.48 วัตต์	-1.3 %

4.2.6 การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับ โปรแกรม OrCAD9.1

จากการนำโปรแกรมสำเร็จรูปที่แตกต่างกันกล่าวคือ โปรแกรม MATLAB/SIMULINK จะเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานเชิงสมการ ในขณะที่โปรแกรม OrCAD 9.1 จะเป็นโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองการทำงานเชิงวงจรทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์มีการใช้งานที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับ โปรแกรม OrCAD 9.1

หัวข้อการเปรียบเทียบ	การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	
	โปรแกรม MATLAB/SIMULINK	โปรแกรม OrCAD 9.1
1.สมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	1. ง่าย เนื่องจากเป็นสมการพื้นฐานของวงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานของโปรแกรม	1. ยาก เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนสมการให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ในโปรแกรม
2.การจำลองการทำงานในสถานะที่เปลี่ยนความเข้มแสง	2. ทำได้ เนื่องจากสามารถป้อนค่าความเข้มแสงได้โดยตรงจากภายนอก	2. ทำได้ เนื่องจากสามารถป้อนค่าความเข้มแสงได้โดยตรงจากภายนอก
3.การจำลองการทำงานในสถานะที่เปลี่ยนอุณหภูมิ	3. ทำได้ เนื่องจากสามารถป้อนค่าอุณหภูมิได้โดยตรงจากภายนอก ทำให้การจำลองการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงจุดของอุณหภูมิได้อย่างอิสระ	3.ทำไม่ได้ เนื่องจากแบบจำลองมีการกำหนดค่าอุณหภูมิ TR ภายในแบบจำลอง ทำให้การจำลองการทำงานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงจุดของอุณหภูมิได้อย่างอิสระ
4.การกำหนดค่าของพารามิเตอร์ที่จำเป็นของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนการจำลองการทำงาน	4. ใช้เวลานาน ในการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากต้องมีการหาค่า Ideality Factor กับ ค่าความต้านทานอนุกรม	4. ใช้เวลาน้อย เนื่องจากสามารถกำหนดพารามิเตอร์ให้กับแบบจำลองได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9(ต่อ) เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สร้างจาก

โปรแกรมMATLAB/SIMULINK กับโปรแกรม OrCAD 9.1

5.เวลาในการจำลองคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	5. ใช้เวลานาน เนื่องจากการใช้สมการในการสร้างสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องการค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ละเอียด	5. ใช้เวลาน้อย เนื่องจากระบบจำลองมีการแปลงสมการให้เป็นอุปกรณ์จริงจึงสามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้เลย ซึ่งสามารถหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าด้วยฟังก์ชัน DC Sweep ได้ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน
6.รูปแบบการนำไปใช้งานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	6. สามารถจำลองการทำงานได้เฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัวเป็นพารามิเตอร์เฉพาะที่ได้จากการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงเท่านั้น เช่น ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ	6. สามารถจำลองการทำงานได้ทั้งเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยวหรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นพารามิเตอร์พื้นฐานที่ได้จากการวัดจริงซึ่งสามารถวัดจากเซลล์หรือแผงได้โดยตรง

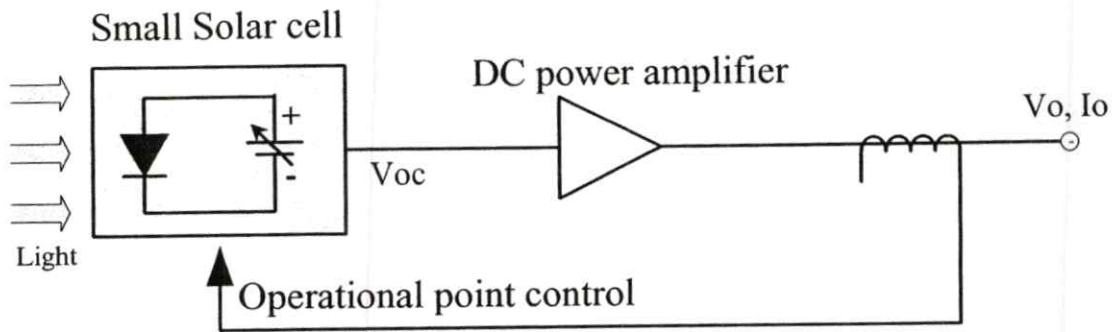
4.3 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.1 หลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 4.27 จะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (Small Solar cell) ที่ใช้สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรอ้างอิงให้กับชุดขยายกำลังไฟฟ้า (DC Power amplifier) โดยจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กจะอาศัยสัญญาณที่ป้อนกลับจากการตรวจจับกระแสเอาท์พุทของชุดขยายกำลังไฟฟ้า จากหลักการทำงานดังกล่าวสามารถนำมาสร้างแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวงจร เพื่อประโยชน์ในการนำไปออกแบบวงจรจริง

ในวิจัยนี้เลือกการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1 เนื่องจากระบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเลือกใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ให้เหมาะสมกับหลักการทำงานในรูปที่ 4.27 อีกทั้งการจำลองการทำงานมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากโปรแกรม OrCAD 9.1 มาใช้งาน

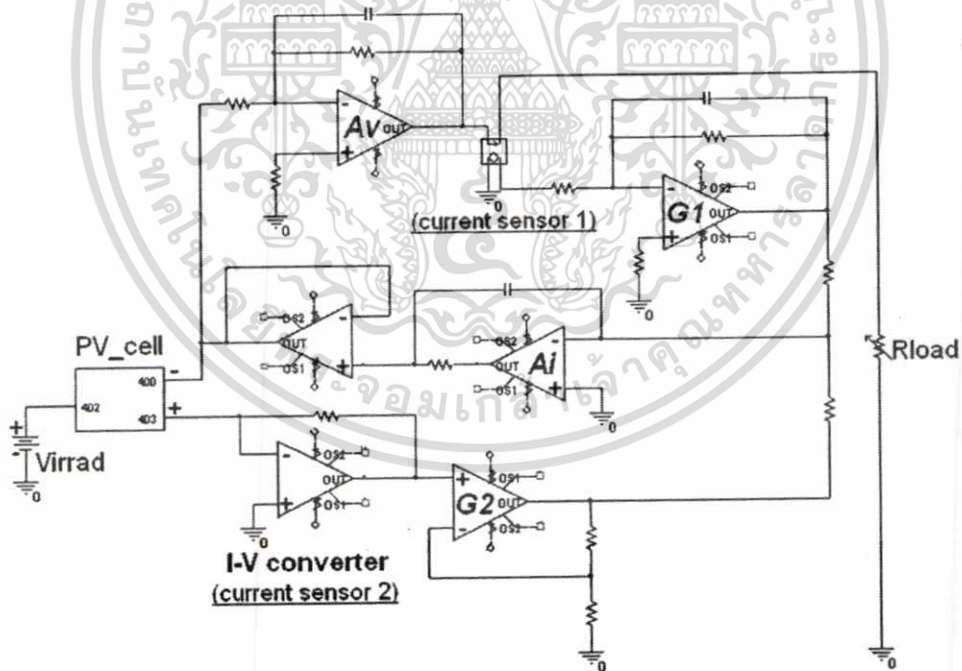
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงหลักการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.2 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์

ในการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ออกแบบให้ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 16 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 14.10 โวลต์ กระแสสูงสุด 1.13 แอมป์ มีแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่ 20.165 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ 1.201 แอมป์ โดยแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ [15] แสดงให้เห็นรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วย โปรแกรม

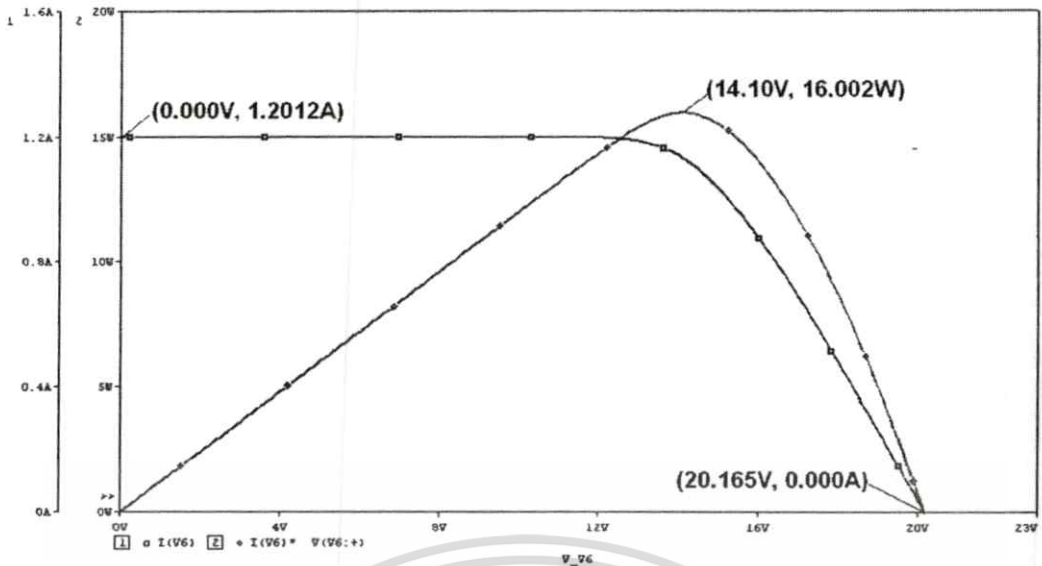
OrCAD 9.1

ซึ่งแบบจำลองในรูปที่ 4.28 สามารถสร้างคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สภาวะการทดสอบ

มาตรฐานซึ่งแบบจำลองให้พิกัดกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.29

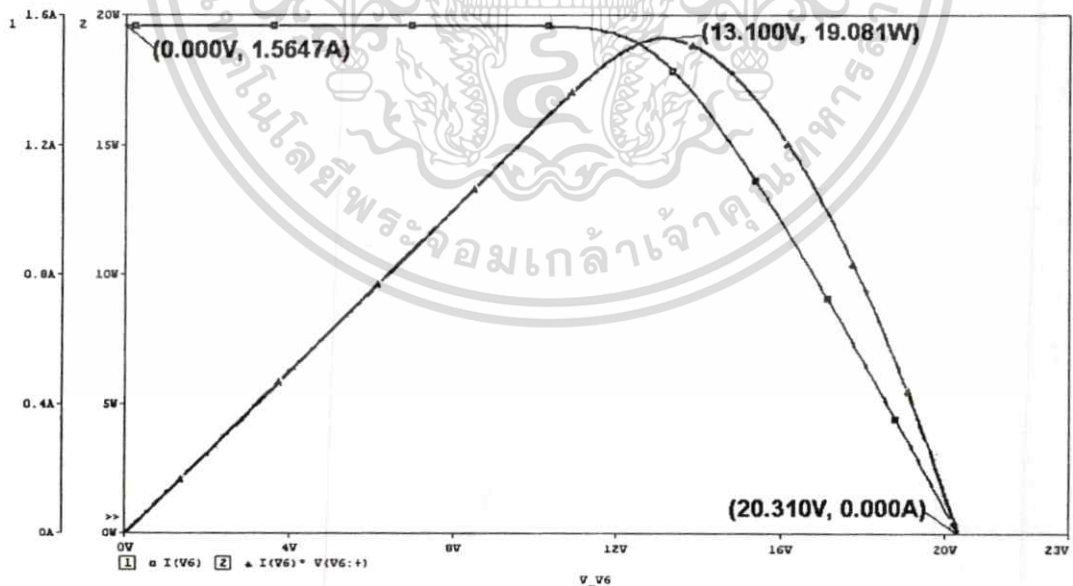
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



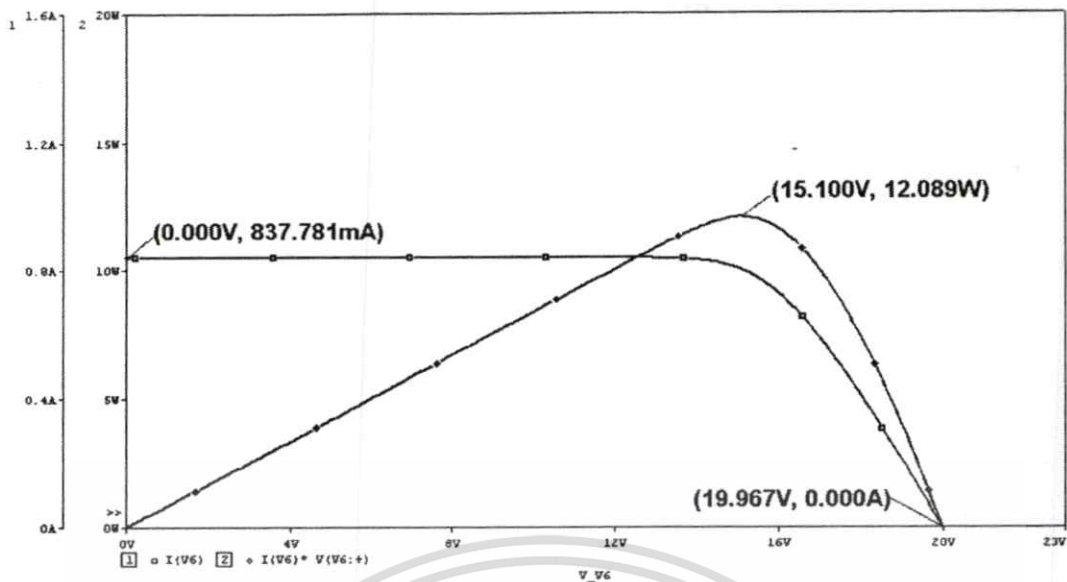
รูปที่ 4.29 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$, Air Mass 1.5)

เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.30 เป็น 1300 W/m^2 และในรูปที่ 4.31 เป็น 700 W/m^2 พบว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบบจำลองตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและมีค่าต่ำลงเมื่อปรับความเข้มแสงลดลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย



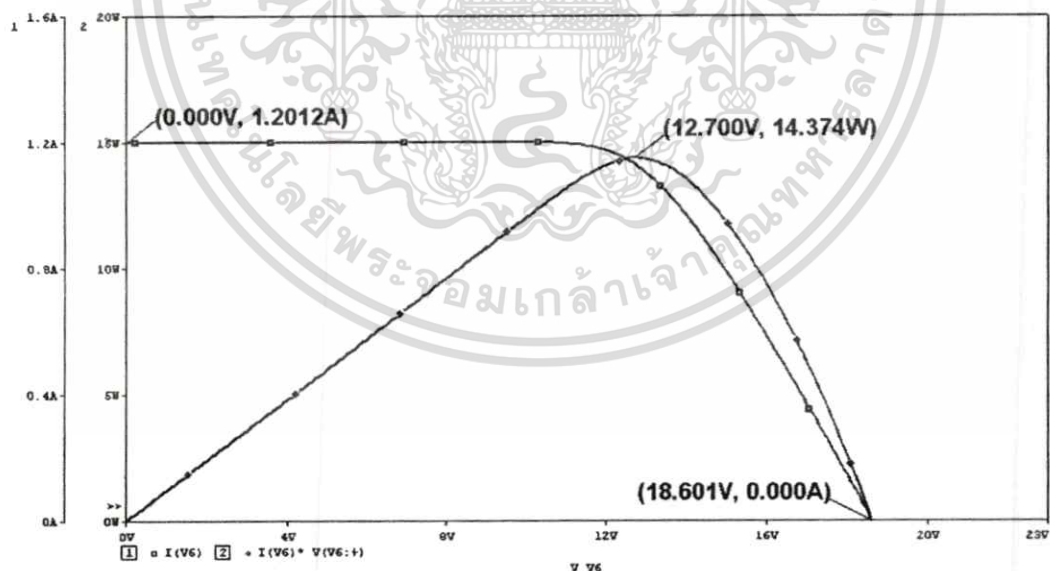
รูปที่ 4.30 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะความเข้มแสง 1300 W/m^2 , อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



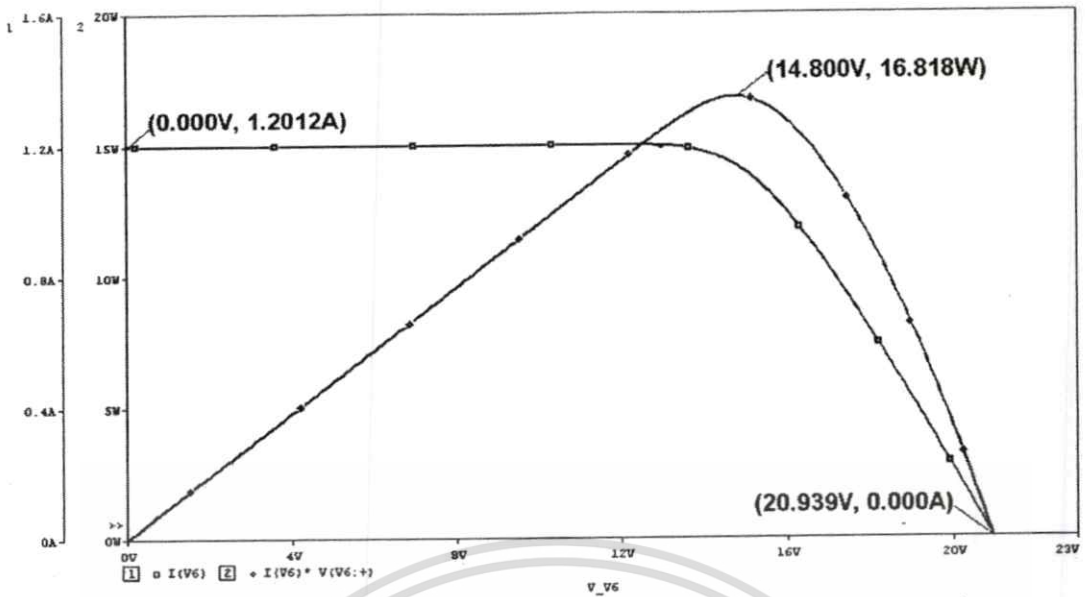
รูปที่ 4.31 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 700 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เมื่อปรับอุณหภูมิของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากการจำลองเป็นหมุ่ที่ 50°C ดังรูปที่ 4.32 และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงดังจะเห็นได้จากการจำลองที่อุณหภูมิ 14°C ในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.32 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 14°C

ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราขยายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ 16 วัตต์

ความเข้มแสง (W/m^2)	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)			อัตราขยาย A_1 (dB)
	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์		
1300	0.0087490	1.5647		45.05
1000	0.00673	1.2012		45.03
700	0.004711	0.8377		44.99

ตารางที่ 4.11 แสดงอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 16 วัตต์

อุณหภูมิ ($^\circ \text{C}$)	แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V)			อัตราขยายแรงดัน A_V
	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์		
50	1.5812	18.601		11.76
25	1.7138	20.165		11.76
14	1.7795	20.939		11.76

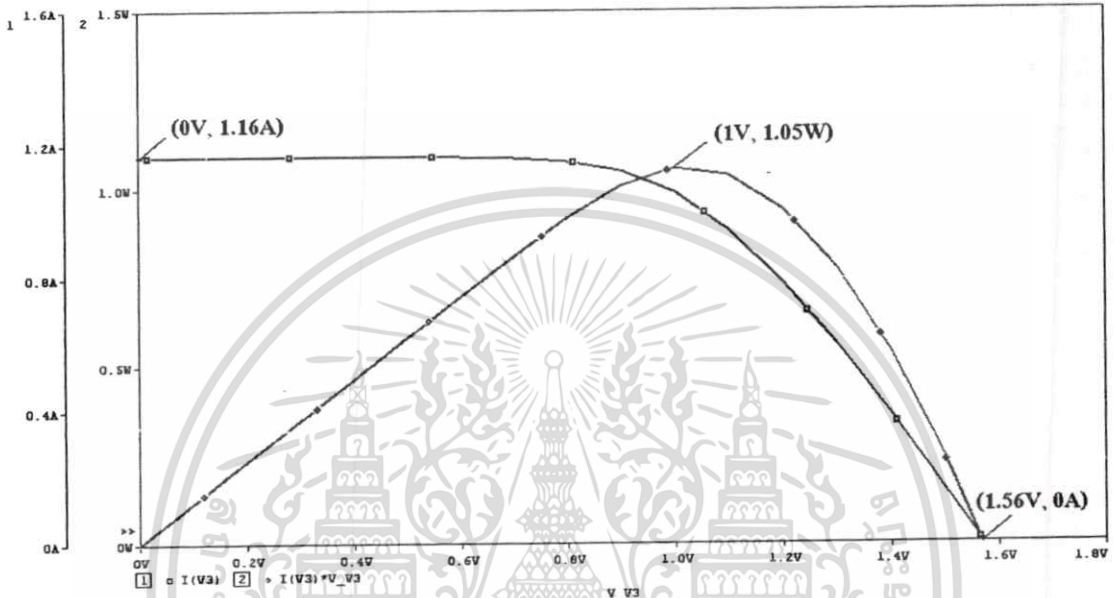
จากตารางที่ 4.10, 4.11 พบว่าตัวจำลองที่ได้ออกแบบไว้มีอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเข้มแสงหรืออุณหภูมิที่จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ทั้งนี้ยังคงมีขีดจำกัดเรื่องอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นชุดขยายกำลังไฟฟ้า (A_V) ซึ่งขีดจำกัดดังกล่าวส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

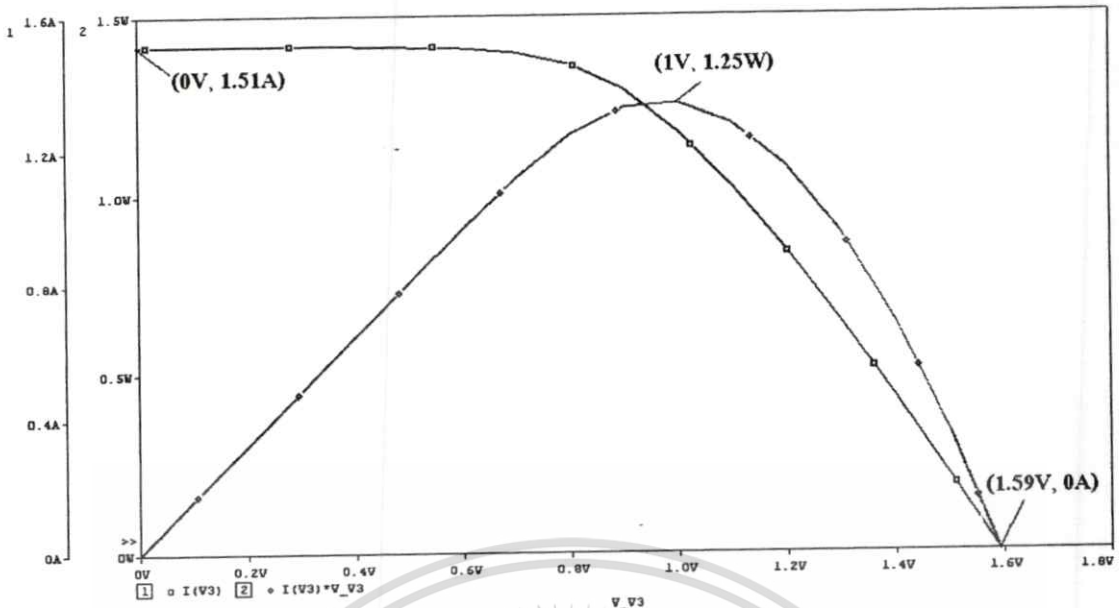
4.3.3 การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์

แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1.02 วัตต์ มีแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่ 1.56 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ 1.16 แอมป์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์รุ่น BS 40 โดยรูปที่ 4.34 แสดงลักษณะเอาท์พุทที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงได้จากการจำลอง

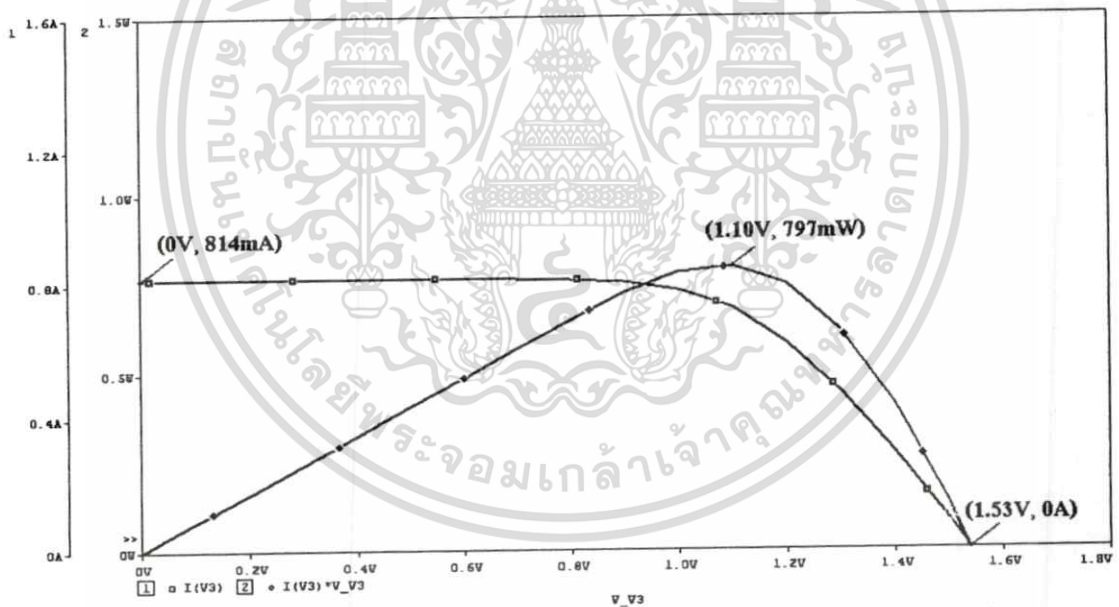


รูปที่ 4.34 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C , Air Mass 1.5)

เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น 1300 W/m^2 และ 700 W/m^2 พบว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบบจำลองตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 เพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและมีค่าต่ำลงเมื่อปรับความเข้มแสงลดลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย



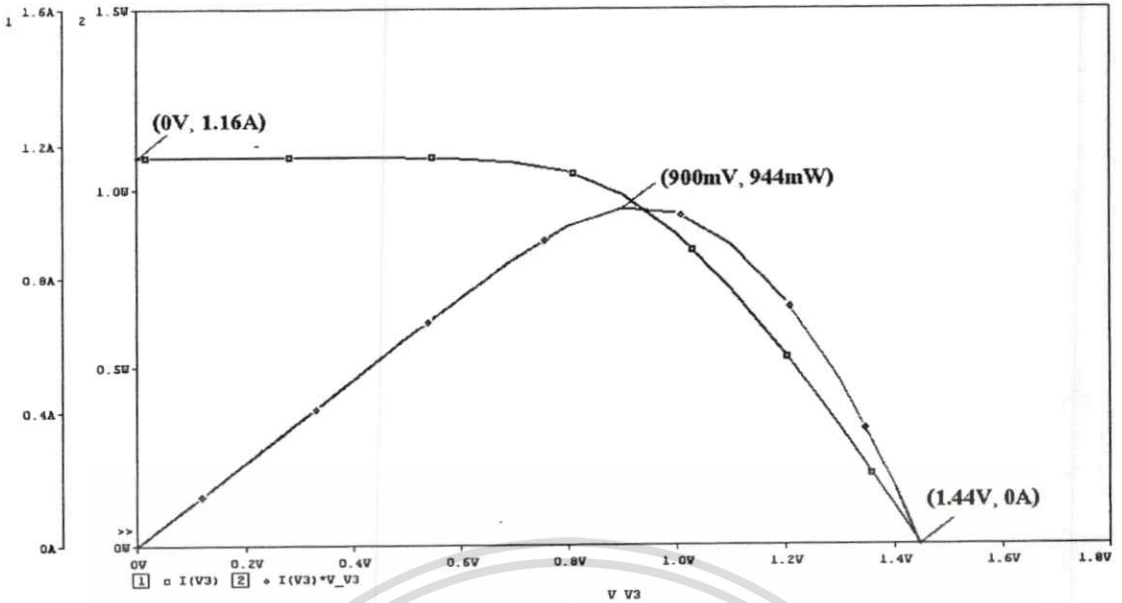
รูปที่ 4.35 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 1300 W/m², อุณหภูมิ 25 °C



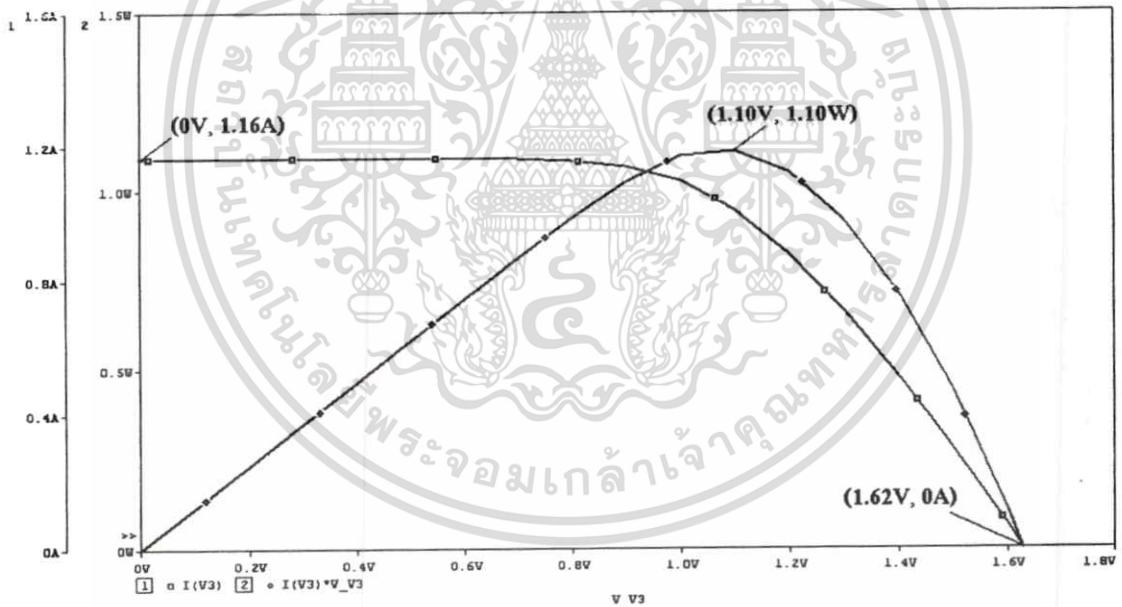
รูปที่ 4.36 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ ความเข้มแสง 700 W/m², อุณหภูมิ 25 °C

เมื่อปรับอุณหภูมิของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากการจำลองเป็นหภูมิที่ 50 °C ดังรูปที่ 4.37 และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงดังจะเห็นได้จากการจำลองที่อุณหภูมิ 14 °C ในรูปที่ 4.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ
ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 4.38 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.05 วัตต์ ที่สภาวะ
ความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 14°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงอัตราขยายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์

ความเข้มแสง (W/m ²)	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)		
	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	อัตราขยาย A _I (dB)
1300	18.55 mA	1.51 A	38.21
1000	14.27 mA	1.16 A	38.19
700	9.98 mA	0.81 A	38.16

ตารางที่ 4.13 แสดงอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.02 วัตต์

อุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V)		
	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	อัตราขยายแรงดัน A _V
50	804 mV	1.44V	1.79
25	871 mV	1.56 V	1.79
14	905 mV	1.62 V	1.79

จากตารางที่ 4.12, 4.13 พบว่าตัวจำลองที่ได้ออกแบบไว้มีอัตราขยายแรงดันและกระแสที่ค่อนข้างคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเข้มแสงหรืออุณหภูมิที่จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ทั้งนี้ยังคงมีขีดจำกัดเรื่องอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นชุดขยายกำลังไฟฟ้า (A_V) ซึ่งขีดจำกัดดังกล่าวส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

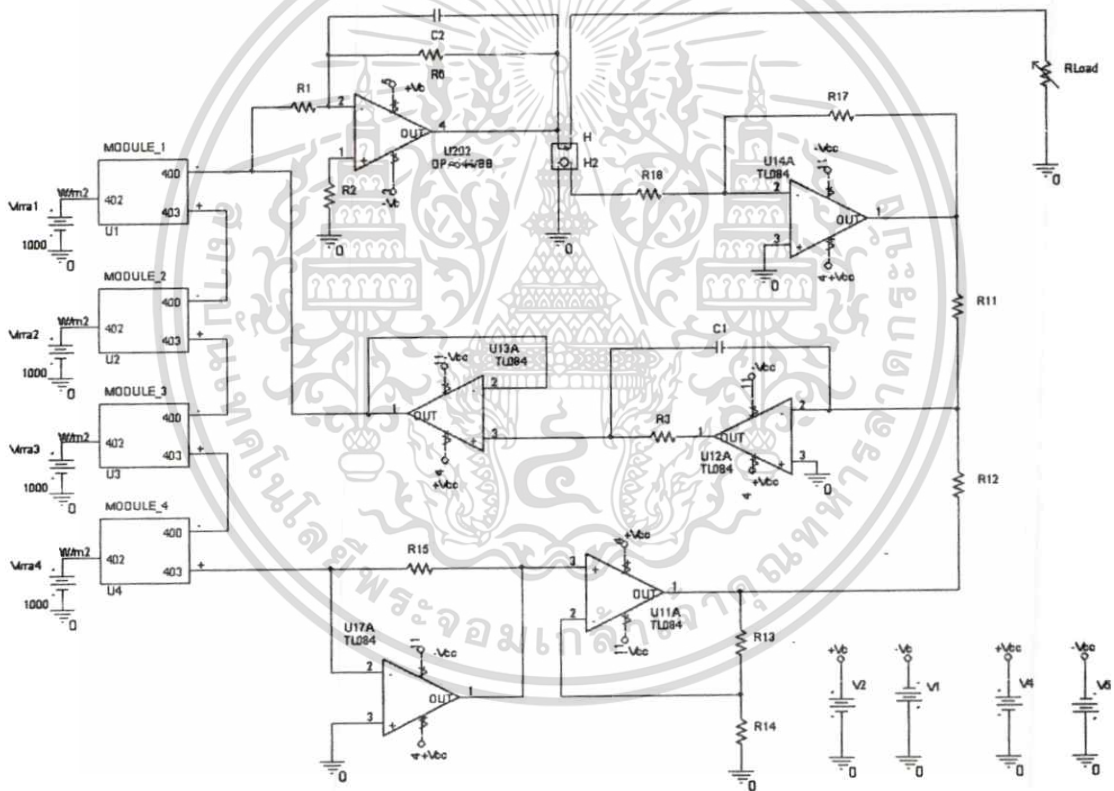
4.3.4 การนำแบบจำลองการทำงานตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้วิเคราะห์สภาวะการมีเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมโดยไม่มีบายพาสไดโอด

ในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ๆ บ่อยครั้งที่มีการศึกษาในเรื่องคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบจากสภาพแวดล้อมอื่นมาเกี่ยวข้องเช่น ความสามารถของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากรณีที่มีการบังเงา ผลกระทบดังกล่าวอาจส่งผลโดยตรงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้

ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการบังเงาของเซลล์แสงอาทิตย์จะอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 7.20 มิลลิวัตต์ ขนาดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร 0.871 โวลต์ และขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร 14.27 มิลลิแอมป์ เชื่อมต่อแบบอนุกรมจำนวน 4 เซลล์ เพื่อเป็นสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงให้แบบจำลองการทำงานตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 โดยแต่ละเซลล์เปรียบเสมือนการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมาต่อรวมกันโดยไม่มีบายพาสไดโอด ในการจำลองสภาวะการทำงาน โดยออกแบบให้ตัวจำลองเซลล์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์มีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ 2 แอมป์ และมีแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรที่ 24.41 โวลต์ ซึ่งตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ที่ 28.43 วัตต์ และมีคุณสมบัติขณะทางไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.35

ในการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการบังเงาบางส่วน ได้จำลองการทำงานโดยการปรับลดค่าความเข้มแสง (Virra) ของ Module_1 ในแบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์รูปที่ 4.39 เป็น 500 W/m^2 ซึ่งผลการจำลองการทำงานแสดงในรูปที่ 4.40 ซึ่งส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงจาก 2.01 แอมป์ เป็น 1 แอมป์ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีผลกระทบเพียงเล็กน้อย และทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงจาก 28.43 วัตต์ เป็น 18.87 วัตต์ โดยสภาวะดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจาก Module 1 มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยและจากโครงสร้างที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดการสูญเสียในระบบเมื่อเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

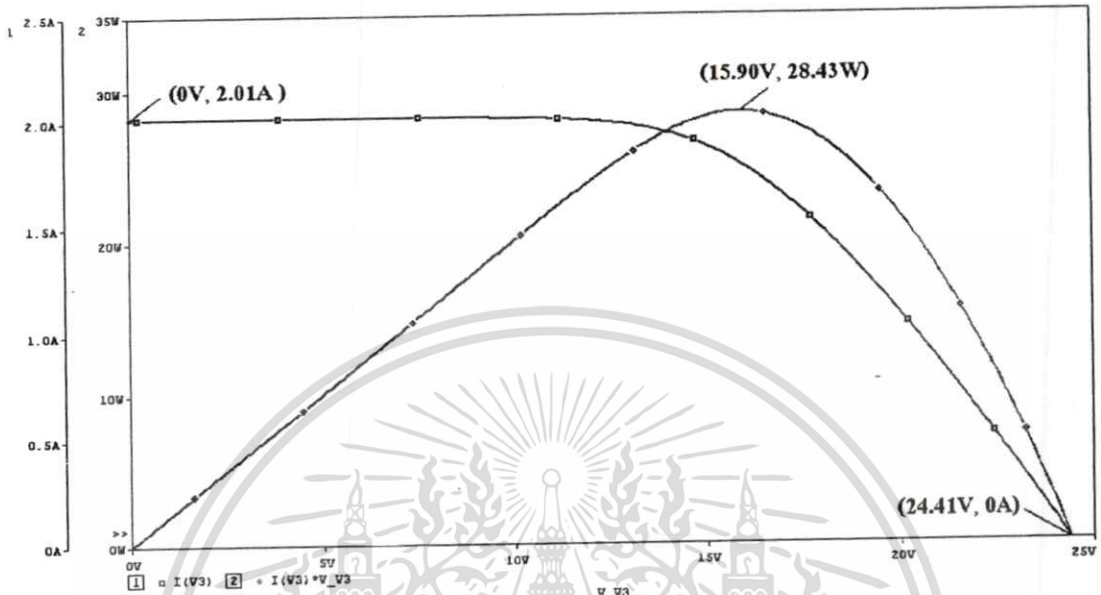


รูปที่ 4.39 แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการเกิดเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์

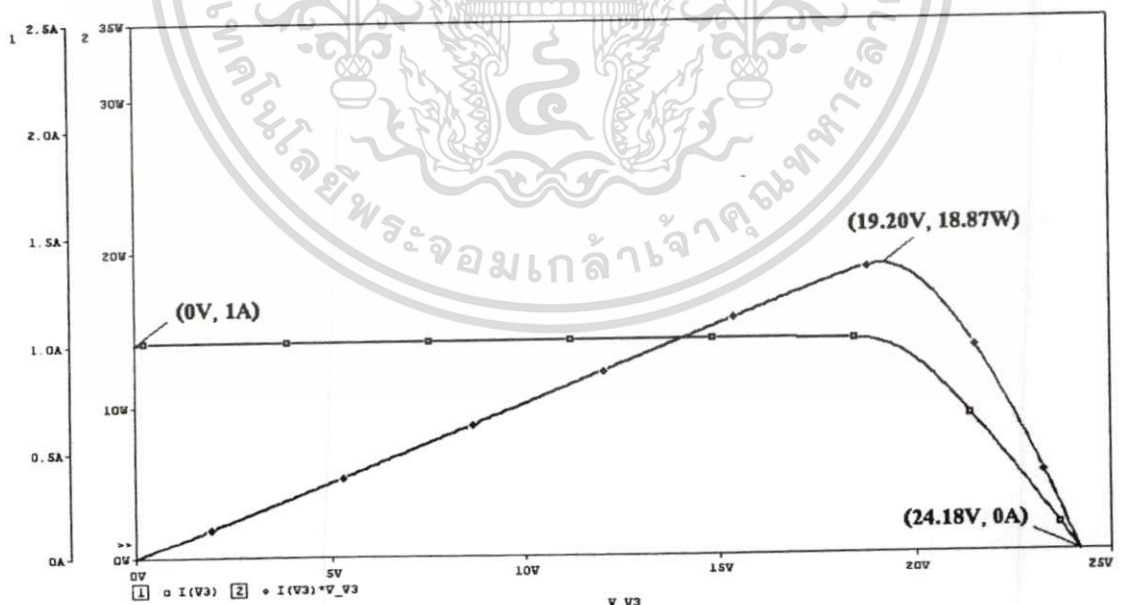
เมื่อมีการลดความเข้มแสง Module_1 และ Module_2 เป็น 500 W/m^2 ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีการปรับลดลงและส่งผลกระทบต่อตรงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งลดลงจาก 18.87 วัตต์ เป็น 17.75 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 ซึ่งผลกระทบจากเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อาจมีสถานะดังกล่าวเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าในเงื่อนไขที่มีเงาบังจึงเป็นผลกระทบโดยตรงที่บอกถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

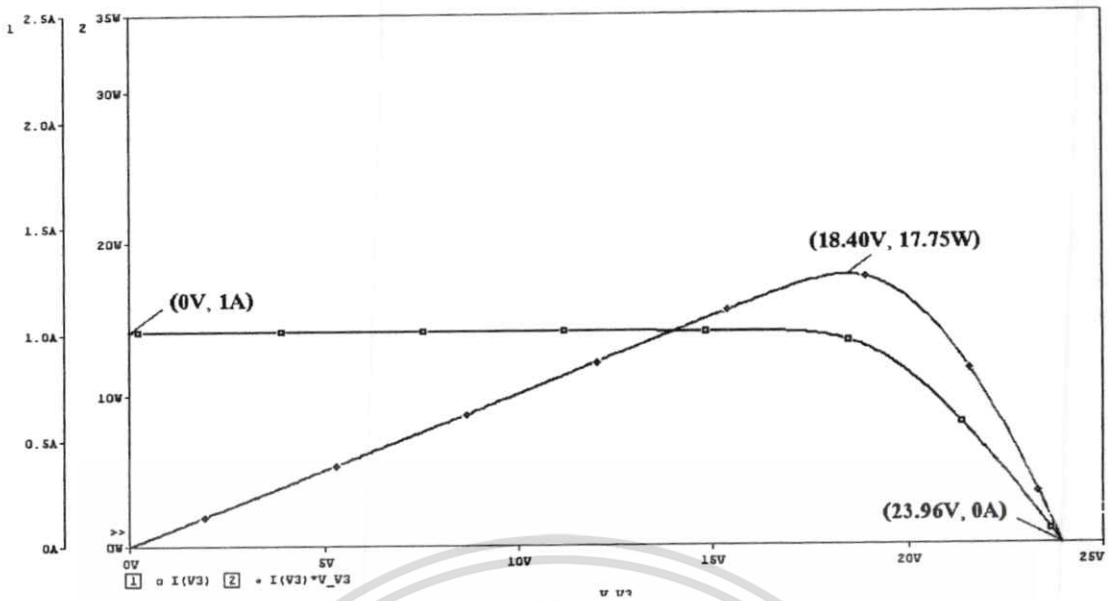


รูปที่ 4.40 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงจำนวน 4 เซลล์ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 4.41 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

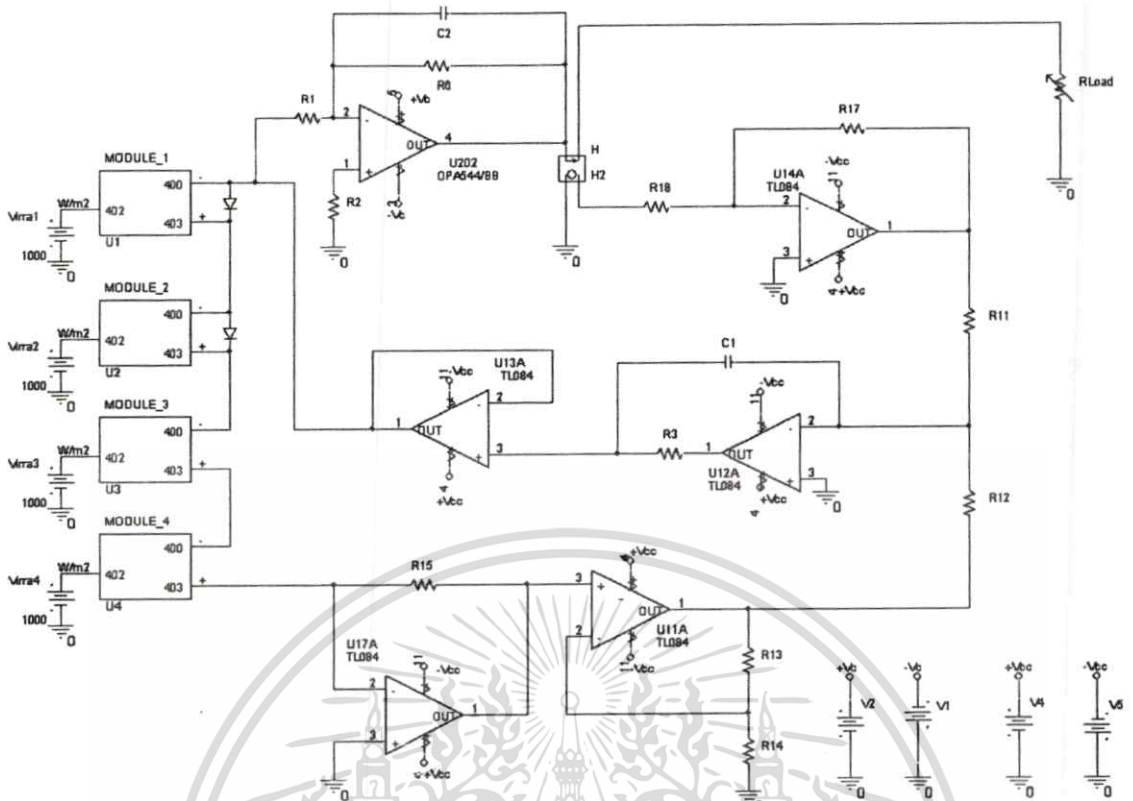


รูปที่ 4.42 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 และ Module_2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m^2 , อุณหภูมิ 25°C

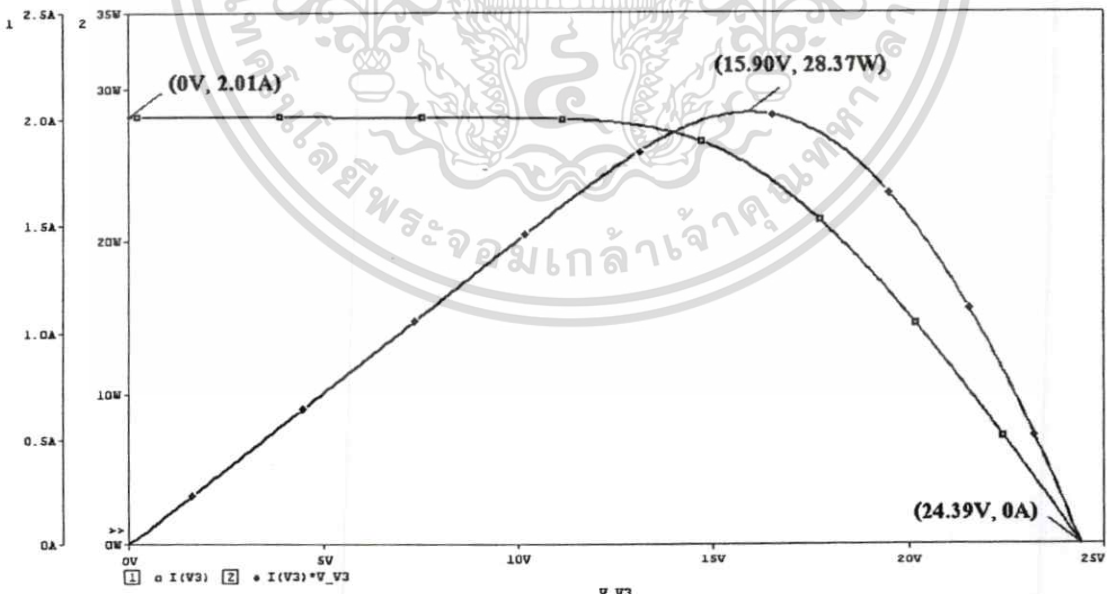
4.3.5 การนำแบบจำลองการทำงานตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้วิเคราะห์สภาวะการมีเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อบนอนุกรมโดยมีบายพาสไดโอด

ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนั้น โดยทั่วไปจะมีการต่อบายพาสไดโอด เพื่อวัตถุประสงค์ป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่เกิดเงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ในแผงเกิดความเสียหายจนไม่สามารถจ่ายพลังงานออกมาได้เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อมีการต่อบายพาสไดโอด โดยบายพาสไดโอดจะเชื่อมต่อสลับขั้วกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งบายพาสไดโอดอาจส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ในการจำลองการทำงานนี้ มีการต่อบายพาสไดโอดให้กับ Module_1 และ Module_2 ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.43 เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อบายพาสไดโอดเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีบายพาสไดโอดต่ออยู่ที่ขั้วบวกและลบของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีบายพาสไดโอดต่ออยู่ที่ขั้วบวกและขั้วลบของ Module_1 และ Module_2 พบว่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าในรูปที่ 4.44 ยังคงมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับรูปที่ 4.40 และมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 28.37 วัตต์

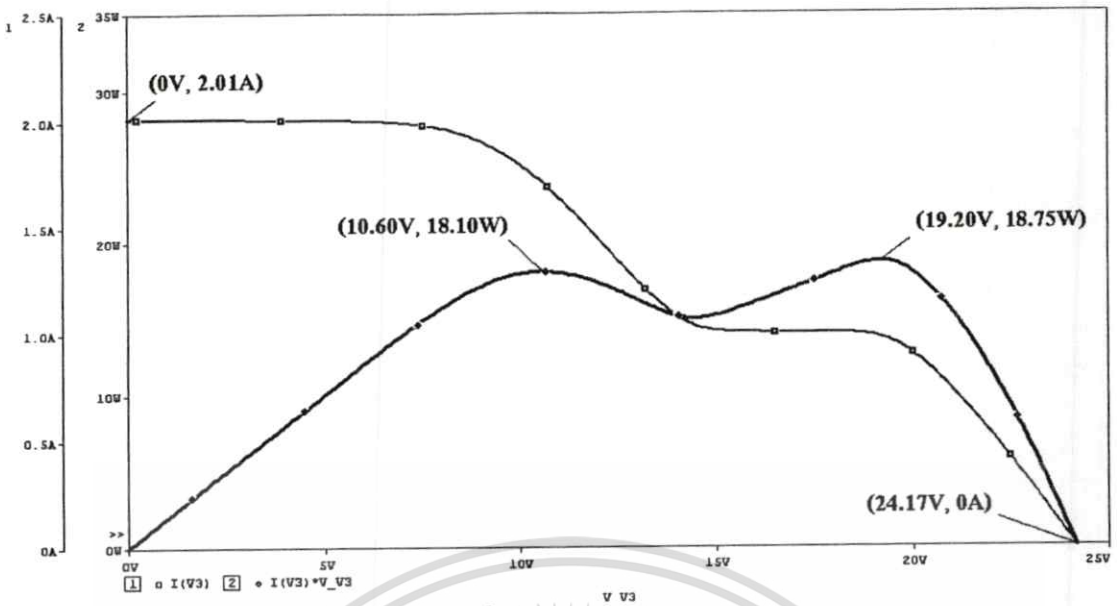


รูปที่ 4.43 แบบจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการเกิดเงาบังบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการต่อบายพาสไดโอดใน Module_1 และ Module_2

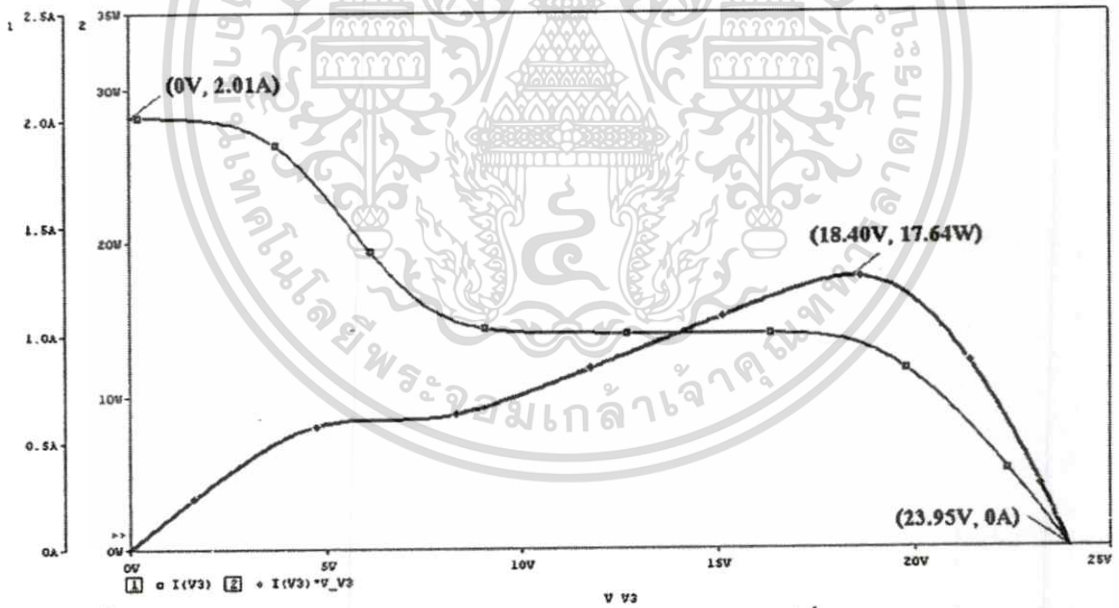


รูปที่ 4.44 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มี Module_1 และ Module_2 ต่อบายพาสไดโอด ที่สภาวะความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m², อุณหภูมิ 25 °C และมีการต่อบายพาสไดโอด



รูปที่ 4.46 ผลการจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลดความเข้มแสงของ Module_1 และ Module_2 เป็นสภาวะความเข้มแสง 500 W/m², อุณหภูมิ 25 °C และมีการต่อบายพาสไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุปผล

ในการจำลองการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าแบบจำลองสามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์จริงแบบจำลองสามารถเปลี่ยนความเข้มและอุณหภูมิได้ตามสภาวะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากผลการจำลองการทำงานมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทั้งนี้เกิดจากพารามิเตอร์ ND ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่จะต้องเลือกค่าให้ถูกต้องและเหมาะสม เมื่อมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงให้ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะนี้ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถขยายสัญญาณของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ในลักษณะนี้สามารถนำตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ก่อนการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน ทั้งนี้เห็นได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีเกิดมีเงาบังบนเซลล์ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป



บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้จากบทที่ผ่านมา โดยเนื้อหาหลักในบทนี้จะประกอบด้วย

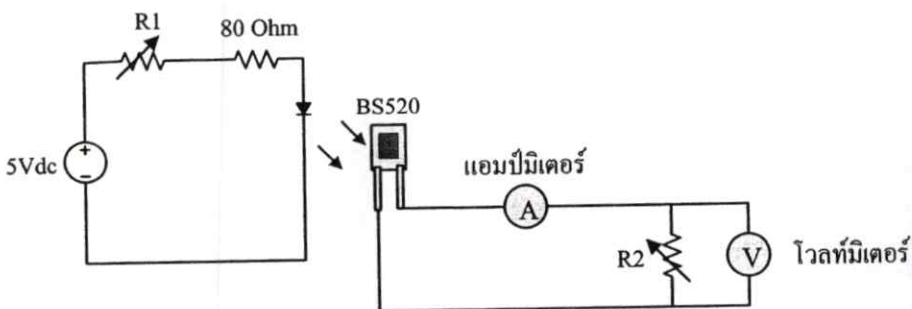
- การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอด ซึ่งจะแสดงถึงผลการทดสอบที่มีการเปลี่ยนภาวะโหลดในโหมดการทำงานแบบPhotovoltaicของโฟโอดีไดโอด, ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของโฟโอดีไดโอด, ผลของคุณลักษณะทางไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มแสง

- การทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะเปิดวงจร ซึ่งจะกล่าวถึงอัตราขยายกำลังของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบไว้, สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์กับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอด

5.2 การทดสอบโฟโอดีไดโอดในโหมดPhotovoltaic

จากการออกแบบในบทที่ผ่านมา ซึ่งเลือกใช้โฟโอดีไดโอดในการสร้างสัญญาณอ้างอิงแทนเซลล์แสงอาทิตย์ ในบทนี้จึงได้มีการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอดโดยกำหนดให้ทำงานในโหมดPhotovoltaic ดังวงจรการทดสอบในรูปที่ 5.1 ทั้งนี้เพื่อศึกษาว่าโฟโอดีไดโอดสามารถให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์จริงเมื่อมีการทำงานในสภาวะการจ่ายโหลด อีกทั้งเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่น่าเสนอ โดยมีกรทดสอบคั้งหัวข้อต่อไปนี้

- ทดสอบกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อเปลี่ยนความเข้มแสง
- ทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มแสง



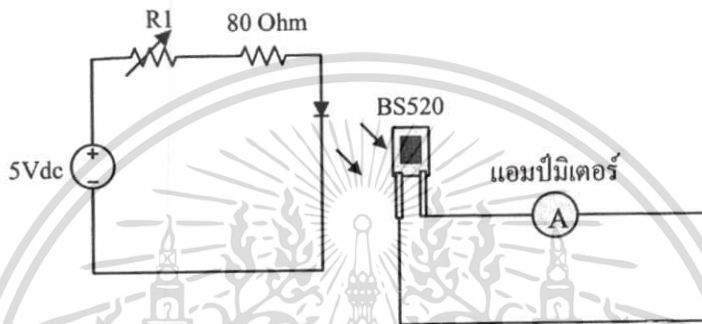
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโอดีไดโอดรุ่น BS520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

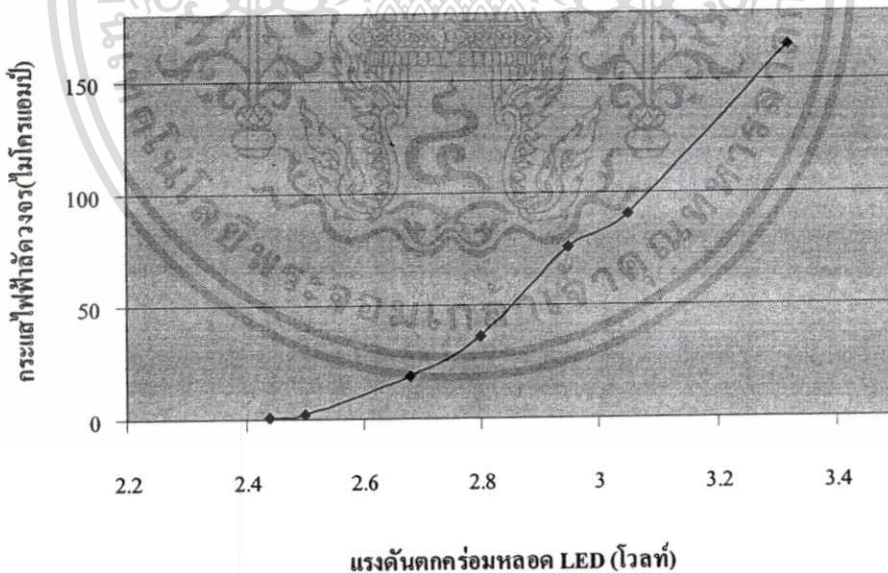
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การทดสอบกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อเปลี่ยนความเข้มแสง

จากวงจรรูปที่ 5.2 ทดสอบโฟโต้ไดโอด เมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มของหลอด LED จำนวน 9 หลอด โดยการปรับค่าความต้านทานของหลอด LED ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้หลอด LED แสงสีขาวเนื่องจากเป็นช่วงการตอบสนองของโฟโต้ไดโอด จากนั้นวัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากโฟโต้ไดโอด ซึ่งผลที่ได้จากการวัดค่าแรงดันตกคร่อมหลอดในช่วง 2.4-3.4 โวลต์พบว่าลักษณะการเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในที่นี้คือแรงดันตกคร่อมหลอด ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 แสดงวงจรการวัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มแสง



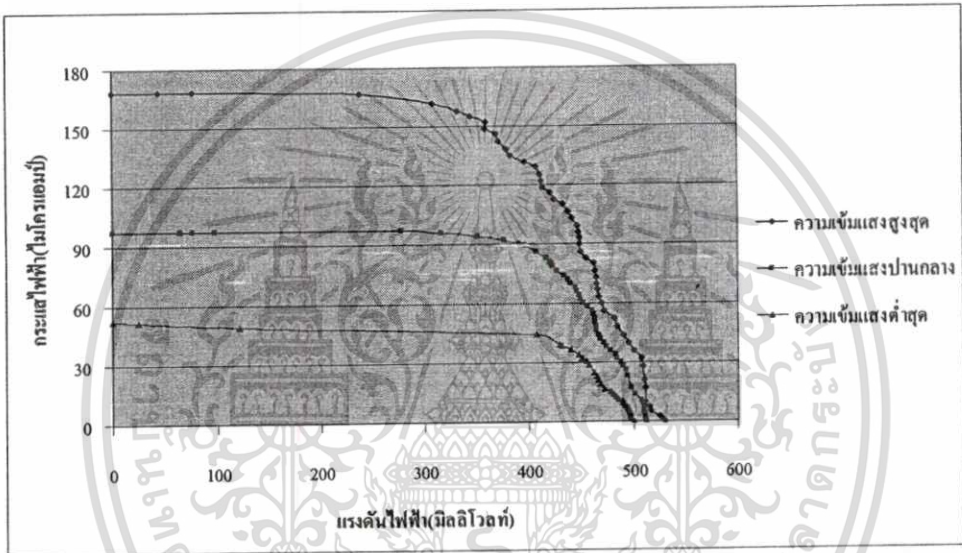
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันตกคร่อมหลอด LED

5.2.2 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนความเข้มแสง

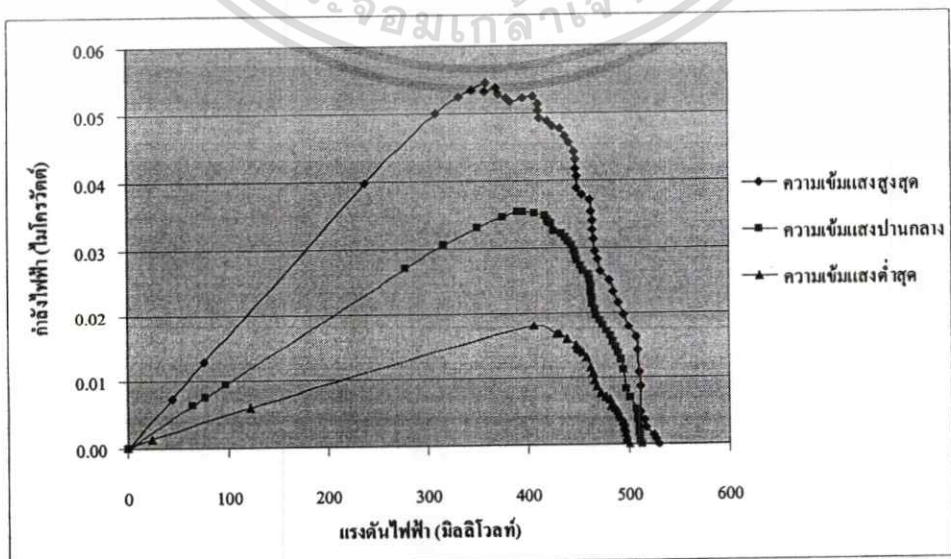
จากเนื้อหาในบทที่ผ่านมาพบว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานจ่ายภาระโหลด เซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นและจะมีพิกัดกระแสสูงสุดที่กระแสไฟฟ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัทธิวงจรค่าๆหนึ่ง อีกทั้งยังมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะเปิดวงจร ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงทดสอบเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโวลตาอิกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระโหลดและความเข้มแสง ดังแสดงให้เห็นวงจรในการทดสอบดังรูปที่ 5.1

ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบในรูปที่ 5.4 พบว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าลัทธิวงจรและในสภาวะที่ความเข้มแสงของหลอดสูงสุดโฟโวลตาอิกจะมีค่ากระแสไฟฟ้าลัทธิวงจรประมาณ 170 ไมโครแอมป์ จากคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในรูปที่ 5.4 สามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของโฟโวลตาอิกได้โดยแสดงให้เห็นรูปที่ 5.5



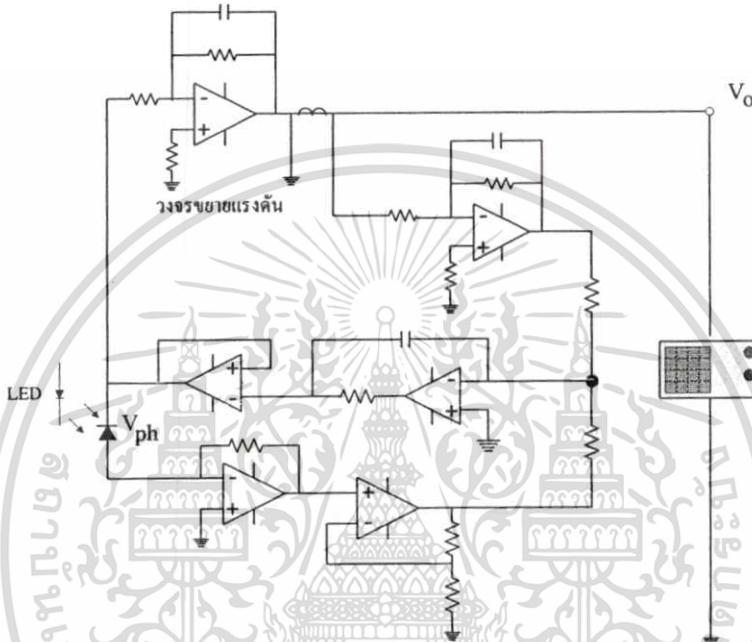
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของโฟโวลตาอิกในโหมด Photovoltaic



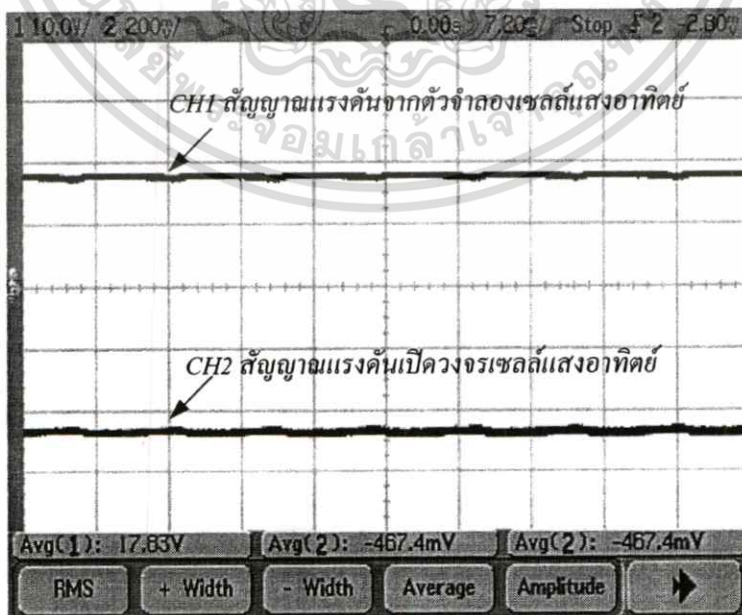
เอกสารรูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของโฟโวลตาอิกในโหมด Photovoltaic
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะเปิดวงจร

จากการออกแบบวงจรในบทที่ผ่านเลือกออกแบบให้ตัวจำลองมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ 20 โวลต์ โดยในการทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะเปิดวงจรมันเป็นการวัดสัญญาณแรงดันเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 5.6 เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะเปิดวงจร ดังแสดงให้เห็นรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ลักษณะการวัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5.7 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุป

จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมในบทที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าตัวจำลองสามารถที่จะขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถขยายแรงดันไฟฟ้าตามอัตราขยายที่กำหนด ในบทนี้แสดงให้เห็นว่าโฟโตรีโอดที่นำมาใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ จึงโดยสามารถแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่เปิดวงจรนั้น ตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาดต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์และมีลักษณะสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก โฟโตรีโอดมีขนาดเล็กมากจึงทำให้การตรวจจับสัญญาณไม่สามารถออกแบบอัตราขยายกระแสได้อย่างเหมาะสมทำให้การป้อนกลับในกรณีที่มิโหลดไม่สามารถควบคุมได้



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ผลจากสภาพแวดล้อมมีผลกระทบโดยตรงต่อการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยเพื่อสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้คุณลักษณะทางไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์จริงและสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ อีกทั้งง่ายต่อการปรับสภาพแวดล้อมในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันมีระบบควบคุมที่ใช้กับอยู่ 2 ระบบ คือ

- การควบคุมตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรดิจิทัล โดยได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุม แต่ระบบนี้ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องเรียนรู้การเขียนและใช้งานโปรแกรมและไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนั้นวิธีการควบคุมแบบนี้จึงยากที่จะนำมาใช้งานจริงได้

- การควบคุมตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยจำลองสภาวะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยวิธีนี้อาศัยระบบควบคุมแบบป้อนกลับจากเอาต์พุตเพื่อกำหนดจุดทำงานให้กับโหลดของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง จากหลักการดังกล่าวพบว่าต้องออกแบบระบบซับซ้อนเนื่องจากต้องกำหนดจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงให้ถูกต้อง โดยสัญญาณที่ได้มานั้นต้องนำไปสร้างสัญญาณเพื่อขับสวิทช์ให้ทำงานในตำแหน่งนั้น

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการควบคุมตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วงจรอะนาล็อกอย่างง่ายในการกำหนดจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยจุดทำงานที่ได้ไม่มีการป้อนกลับเพื่อจ่ายให้กับโหลดของเซลล์แสงอาทิตย์ลดภาระการออกแบบที่ซับซ้อนลงได้ ซึ่งตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงได้ ทำให้สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะที่เซลล์มีการบังเงาบางส่วนได้

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการศึกษาตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม OrCAD 9.1 และนำผลที่ได้ไปสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถแยกสรุปผลการวิจัยออกเป็นสองส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 การศึกษาการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม OrCAD 9.1

- เนื่องจากเอาท์พุทต้องมีสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้นจึงได้มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบบจำลองต้องสามารถทำงานได้ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากแบบจำลองเป็นการสร้างจากสมการของวงจรสมมูลอย่างง่ายซึ่งไม่นำเอาลักษณะโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำมาออกแบบทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

- การจำลองการทำงานของตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแบบจำลองให้อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ ในการควบคุมจุดทำงานของแบบจำลองสามารถให้อัตราขยายกระแสที่ถูกต้องมีขีดจำกัดของกระแสที่กระแสไฟฟ้าวัดวงจรเท่านั้น และแบบจำลองสามารถแสดงเอาท์พุทแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ แต่เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นค่าทางคณิตศาสตร์ จึงไม่มีผลที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงด้วย

6.1.2 การออกแบบและสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

- จากผลการทดลองพบว่าโฟโต้ไดโอดรุ่น BS520 สามารถใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงได้แต่เนื่องจากในการสร้างตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สัญญาณที่ได้จากไดโอดมีขนาดเล็กมากทำให้ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่องจึงส่งผลกระทบต่ออัตราขยายกระแสไฟฟ้า

- ในการเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรขยายกำลังต้องออกแบบที่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้สูง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. จากการจำลองพบว่าตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ เนื่องจากตัวจำลองสามารถแสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แล้วยังสามารถแสดงลักษณะการเกิดบังเงาบนเซลล์ได้อีกด้วย

2. ในการสร้างวงจรขยายกระแสไฟฟ้าควรมีการคำนวณเรื่องสัญญาณรบกวนและผลจากขนาดของสัญญาณเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่มีขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลต่อการออกแบบตัวจำลองเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.dede.go.th
- [2] Guillermo Martin-Segura, Joaquim Lopez-Mestre, Miquel Teixido-Casas, Antoni Sudria-Andreu, "Development of a Photovoltaic Array Emulator System based on a Full -Bridge Structure" 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, 9-11 October 2007.
- [3] Isao Takahashi, Takashi Sakurai, Itaru Andoh, "Development of a Simple Photovoltaic System for Interconnection of Utility Power System" Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Volume 1, 8-11 Jan 1996, Page(s):88 – 93.
- [4] Shrikrishna Shankar, Cham Yew Thean, Au Wing Kong, "A Novel PC Based Solar Electric Panel Simulator" PEDS 2003, Volume 2, 17-20 Nov 2003, Page(s):848 – 852.
- [5] Kame Khouzam, Keith Hoffman, "Real-Time Simulation of Photovoltaic Modules" Solar Energy, Volume 56, No.6, Page(s) 521 – 526, 1996.
- [6] ยงยุทธ สวัสดิ์สวิญญ์, ชุตินา อิงภากรณ์, "พลังงานแสงอาทิตย์", สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- [7] www.meteonorm.com
- [8] แสนศักดิ์ ดีอ่อน, "การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคระเบียบวิธีเชิงตัวเลข", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [9] <http://pvc-drom.pveducation.org>
- [10] ผศ. นภัทร วัจนเทพินทร์, "การประมวลผลสัญญาณด้วยออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี", บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2550
- [11] เอก เอื้อตระการวิวัฒน์, วิศิษฐ์ ชูรักษ์, วิจิตร กิณเรศ, "แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, 2549, หน้า18-23.
- [12] เอก เอื้อตระการวิวัฒน์, วิศิษฐ์ ชูรักษ์, วิจิตร กิณเรศ, "การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Luis Castaner, Santiago Silvestre, "MODELING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS Using PSpice", John Wiley & Sons, 2002.
- [14] Hiroshi Nagayoshi "I-V curve simulation by multi-module simulator using I-V magnifier circuit", Solar Energy Material & Solar cells, Volume 82, 2004, Page 159-167.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 23 ฉบับที่ 3

กันยายน 2549

1. ข้อมูลสมมูลของการสกัดน้ำมันงาโดยใช้เทอร์มอลเอกเซนเป็นตัวทำละลาย
รีนฤดี เณญจางคประเสริฐ 1
2. การกำจัดสีย้อมฟาสบอลูในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซนชั้น
สุอาสินี เนมิตตคทพงศ์ อาทิตย์ เนมิตตคทพงศ์ 7
3. การศึกษาพื้นที่ไวแสงประสิทธิผลของซิลิคอนโฟโตไดโอดชนิด p-i-n แบบพลาแนร์
คงศักดิ์ อิมอุไร สมเกียรติ สุขเกษ 13
4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ถูกต้อง
เอก เอื้อตระการวิวัฒน์ วิมลชัย ชูรักษา วิจิตร ภินทรศ 18
5. วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสแบบปรับค่าด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ไอทีเอแบบหลาย
เอาต์พุต
สดดี จินตนาปัญญา กอบชัย เตชะหาญ 24
6. การพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟน. โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
จตุพร ธรรมเจริญ สมชาติ จีรวินาการ 30
7. การทำนายค่าความสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ
นุรติศรา สุทธิสินทอง มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ 36
8. อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดแคสเคดแหล่งจ่ายที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสมมูลโดยใช้เทคนิคการกำจัด
ฮาร์มอนิกที่เหมาะสม
สิทธิพร เจียรนนทสิริวิทย์ วิจิตร ภินทรศ 42
9. การศึกษาเชิงตัวเลขของผลของการปรับแต่งพื้นเพืองตรงโดยวิธีเชื่อมหน้าพื้นที่ต่อการล่อลื่นแบบ
อิลาสโตไฮโดรไดนามิกส์
อานันท์พล แสนคำ มนต์ศักดิ์ ทิมสาร 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ENGINEERING JOURNAL

Volume 23 Number 3

September 2006

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | Equilibrium Data of Sesame Oil Extraction by Normal Hexane Solvent
<i>R. Benjangkprasert</i> | 1 |
| 2. | Removal of Fast Blue B Dye in Synthetic Wastewater by Ozonation
<i>S. Neramittagapong and A. Neramittagapong</i> | 7 |
| 3. | Study on Effective Active Area of Planar p-i-n Silicon Photodiode
<i>K. Almurai and S. Supadech</i> | 13 |
| 4. | A Mathematical Model of PV Cells for Accurate PV Source Model
<i>A. Euertakarnwiwat W. Choorak and V. Kinnares</i> | 18 |
| 5. | An Electronic Tunable Multiphase Sinusoidal Oscillator Using Multiple Outputs Operational Transconductance Amplifier
<i>S. Jintanapanya and K. Dejhan</i> | 24 |
| 6. | Long-Term Peak Load Forecasting for MEA System Using Artificial Neural Networks
<i>J. Thamjaroen and S. Jiriwibhakorn</i> | 30 |
| 7. | Prediction of Distribution Transformers Losses Using Back-Propagation Neural Networks
<i>N. Suttisinthong and M. Leelajindakrairek</i> | 36 |
| 8. | A Balance Source Power Transfer Cascade Multilevel Inverter Based on an Optimized Stepped-Waveform Harmonic Elimination Technique
<i>S. Jearranuntapisut and V. Kinnares</i> | 42 |
| 9. | A Numerical Study on the Effect of Spur Gear Tooth Shaving On Elastohydrodynamic Lubrication
<i>A. Sankam and M. Pimsam</i> | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง

A Mathematical Model of PV Cells for Accurate PV Source Model

เอก เอื้อตระการวิวัฒน์ วิศิษฐ์ ชูรัมย์ วิจิตร กิจเบศร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับการเลียนแบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการเลียนแบบการทำงานของระบบที่ใช้แหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีคุณสมบัติของแรงดันและกระแสขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์จริง ในบทความนี้ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ของโรงงานผู้ผลิต สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการไม่เป็นเชิงเส้น ผลการจำลองแสดงให้เห็นจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และรวมถึงการเปรียบเทียบผลจากการจำลองกับผลที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานผู้ผลิต ที่ภาวะการทำงานจุดต่างๆ

Abstract

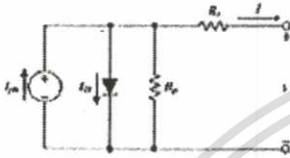
This paper describes a mathematical model of Photovoltaic (PV) cells for accurate PV source simulation. The objective is to study electrical characteristics of nonlinear PV model applied to a simulation system using PV as a power source. Voltage and current characteristics of the proposed PV source depend on insolation and temperature level variations similar to realistic PV cells. In this paper, the simulation using MATLAB/SIMULINK is given based on manufacture data. The mathematical model of voltage and current characteristics is derived from nonlinear equations. Simulation results show maximum power point. In addition, a comparison between simulation and testing results from manufacturer under various operating conditions is given.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการวิจัยระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก อุปสรรคอย่างหนึ่งในงานวิจัยทางด้านนี้คือไม่มีแบบจำลอง

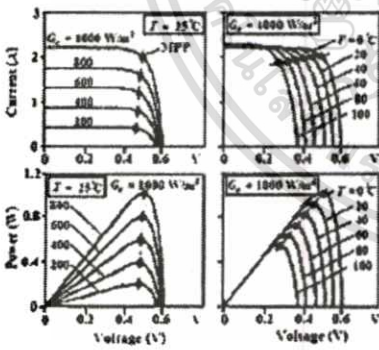
คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ถูกต้องซึ่งมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นและใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ [1]

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำ เหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โดยโครงสร้าง วัสดุสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเป็น รอยต่อ พี-เอ็น (p-n junction) เหมือนไดโอด ดังนั้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึง สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่าย กระแสขนานกับไดโอดดังรูปที่ 1 เป็นที่รู้จักกันว่าแผงเซลล์ แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไม่ป้อนเชิงเส้น



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

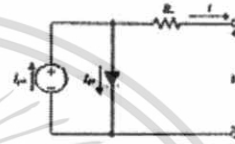
เพราะแรงดันและกระแสที่หุ่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสง และอุณหภูมิ [3], [4] ดังที่แสดงในรูปที่ 2 เป็นผลการ ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน (STC) [5] ที่ ระดับความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 25°C และที่ ระดับความเข้มแสงและที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 2 คุณลักษณะเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากแผ่นแสดงคุณสมบัติของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในตารางที่ 1 จะนำมาออกแบบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดย เลือกพิจารณาวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นวงจรสมมูลอย่างง่ายที่ประกอบด้วยไดโอด 1 ตัวที่มีความต้านทานอนุกรมเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่า ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานค่าความต้านทานขนาน (R_s) จะมีค่าสูงมากพอที่ไม่นำมาพิจารณาผลที่เกิดขึ้น แต่ค่า ความต้านทานอนุกรม (R_t) จะมีผลและบทบาทที่สำคัญต่อ คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบลักษณะ โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ [2]



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย

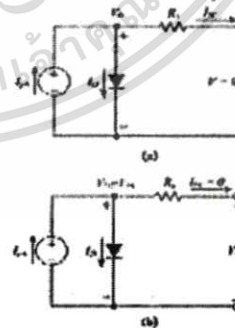
จากวงจรสมมูลในรูปที่ 3 กระแสต้านเอาต์พุตของเซลล์ แสงอาทิตย์จะเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันของ เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\frac{V+IR_t}{V_t}} - 1 \right] \quad (1)$$

เมื่อ I_{ph} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้

V_t คือ Thermal Voltage

I_{sat} คือ ค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอด



รูปที่ 4 (a) วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะดีควงจร (b) วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะเปิดวงจร

ในสภาวะลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ (Short circuit condition) ในรูปที่ 4 (a) สามารถเขียนความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 2

$$I_{ph} = I_D + I_{sc} \quad (2)$$

กระแสไหลผ่านไดโอดน้อยมากจนไม่มีผลต่อการคำนวณที่สภาวะลัดวงจรได้แต่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับความเข้มแสง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 3

$$I_{ph}(G_o, T) = I_{sc} \frac{G_o}{G_{stc}} [1 + \Delta I_{sc}(T - T_s)] \quad (3)$$

เมื่อ G_o คือ ค่าของความเข้มแสง

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Kelvin)

I_{sc} คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC)

G_{stc} คือ ค่าความเข้มแสงมาตรฐาน (1000 W/m^2)

ΔI_{sc} คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

T_s คือ ค่าอุณหภูมิมาตรฐาน (298 K)

ในสภาวะเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ (Open circuit condition) จากวงจรสมมูลในรูปที่ 4 (b) สามารถคำนวณแรงดันเปิดวงจรได้ดังสมการที่ 4

$$V_{oc}(T) = V_{oc} + \Delta V_{oc}(T - T_s) \quad (4)$$

เมื่อ V_{oc} คือค่าแรงดันเปิดวงจรที่ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน และ ΔV_{oc} คือค่าแรงดันเปิดวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ และจากวงจรสมมูลสามารถหาค่ากระแสไหลผ่านไดโอดได้ดังนี้

$$I_{ph}(G_o, T) = I_D(G_o, T) \quad (5)$$

ซึ่งสมการกระแสของไดโอดสามารถหาได้จาก

$$I_D(G_o, T) = I_{sat}(G_o, T) \times \left[e^{\frac{V_{oc}}{V_t}} - 1 \right] \quad (6)$$

เมื่อแรงดันที่ชั่วหาได้จาก $V_t(T) = \frac{AkT}{q}$

A คือ ค่า Ideality Factor

I_{sat} คือ ค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอดที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ

q คือ ขนาดประจุมีค่า 1.602×10^{-19} ลูกอมบ์

k คือ ค่าคงที่ Boltzman มีค่า $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

แทนสมการที่ (5) และ (6) เพื่อหาค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอดได้จาก

$$I_{sat}(G_o, T) = \frac{I_{ph}(G_o, T)}{e^{\left(\frac{V_{oc}(T)}{V_t(T)}\right)} - 1} \quad (7)$$

พิจารณาจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดันในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{mpp} = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\frac{V_{mpp} + IR_s}{V_t}} - 1 \right] \quad (8)$$

นำสมการที่ (7) แทนลงในสมการที่ (8) จะได้สมการกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนี้

$$I_{mpp} = I_{ph} - \left[\frac{e^{\left(\frac{V_{mpp} + IR_s}{V_t}\right)} - 1}{e^{\left(\frac{V_{oc}}{V_t}\right)} - 1} \right] I_{ph} \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรม (R_s) และ Thermal Voltage (V_t) ได้ดังนี้

$$R_s = \frac{V_t \ln \left[\left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{ph}} \right) e^{\left(\frac{V_{oc}}{V_t}\right)} + \frac{I_{mpp}}{I_{ph}} \right] - V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (10)$$

เมื่อ Thermal Voltage (V_t) เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่า Ideality factor (A) ผิดจากอุณหภูมิที่มีต่อค่า Ideality factor ของไดโอดและค่าความต้านทานอนุกรม พิจารณาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะหาได้จาก

$$\frac{dP}{dV} = 0 \text{ เมื่อ } P = VI \text{ สามารถเขียนสมการได้ใหม่ดังนี้} \quad (11)$$

$$\frac{dI}{dV} + \frac{I}{V} = 0$$

เมื่อนำสมการที่ (1) แทนค่าในสมการที่ (11)

$$\frac{dI}{dV} = -I_{sat} \left\{ e^{\frac{V - IR_s}{V_t}} \left[\frac{1}{V_t} + \left(\frac{R_s}{V_t} \right) \frac{dI}{dV} \right] \right\}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \frac{dI}{dV} \Big|_{V=V_{mpp}} = - \frac{I_{sat} e^{\frac{V_{mpp} - IR_s}{V_t}}}{1 + \frac{I_{sat} R_s}{V_t} e^{\frac{V_{mpp} - IR_s}{V_t}}} \quad (12)$$

สมการที่ (12) เป็นการคำนวณค่า $\frac{dl}{dV}$ ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยนำไปเปรียบเทียบกับ $\frac{I_{mpp}}{V_{mpp}}$ ซึ่งคุณลักษณะเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลึที่สุดนั้นสามารถหาได้จากค่า Ideality factor (A) และ ค่าความต้านทานอนุกรมในแบบจำลอง โดยค่าของ Ideality factor (A) และค่าความต้านทานอนุกรมประมาณได้จากค่าสมบูรณที่ต่ำสุดของสมการ $\left(\frac{dl}{dV}\right)_{V=V_{mpp}} + \frac{I_{mpp}}{V_{mpp}}$ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการประมาณค่า Ideality factor (A) และค่าความต้านทานอนุกรมได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองในการกำหนดค่าที่ถูกต้องของ Ideality factor (A) และค่าความต้านทานอนุกรม

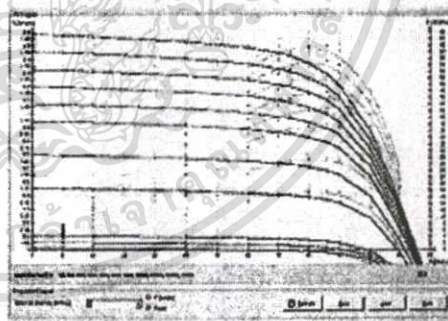
3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในบทความนี้ได้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

รุ่น BS 40 ของบริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด เนื่องจากมีข้อมูลในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานที่ผ่านการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐาน (ความเข้มแสง 1000 W/m², อุณหภูมิ 25°C, AM 1.5) ด้วยเครื่องทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (I-V Tester) ดังรูปที่ 6 เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทผู้ผลิตซึ่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูลเฉพาะภายใต้มาตรฐานการทดสอบ (STC)	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ
กำลังไฟฟ้าสูงสุด: $P_{mpp} = 47 \text{ W}$	กำลังไฟฟ้าที่สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ: $\Delta P_{mpp} = -0.19 \% / ^\circ\text{C}$
กระแสลัดวงจร: $I_{sc} = 1.203 \text{ A}$	แรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ: $\Delta V_{oc} = -153 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$
แรงดันเปิดวงจร: $V_{oc} = 61.94 \text{ V}$	แรงดันเปิดวงจรที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ: $\Delta V_{oc} = -170 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$
แรงดันที่ I _g กำลังสูงสุด: $V_{mp} = 41.18 \text{ V}$	กระแสลัดวงจรที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ: $\Delta I_{sc} = +1.6 \text{ mA} / ^\circ\text{C}$
จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม: $N_s = 39$	
จำนวนเซลล์ที่ต่อขนาน: $N_p = 1$	

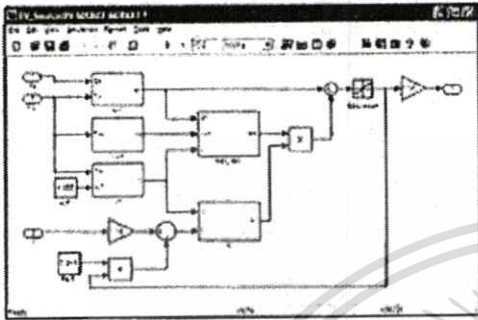


รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการทดสอบสภาวะมาตรฐานจากโรงงาน

ในบทความนี้ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการไม่เป็นเชิงเส้น รูปที่ 7 แสดงแบบจำลองทาง

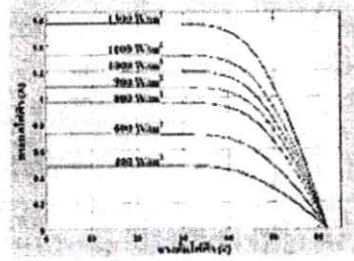
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างมาจากสมการที่ (1, 3, 4, 7) ซึ่งเป็นสมการที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

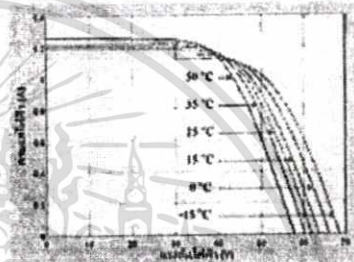


รูปที่ 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

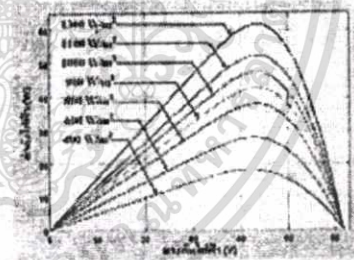
แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นตามค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ ที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 8, 9, 10 และ 11 เมื่อพิจารณาที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแบบจำลอง พบว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 นั้นเกิดจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณที่แตกต่างกัน ระหว่างเครื่อง I-V Tester กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเครื่อง I-V Tester อาศัยข้อมูลที่ได้อจากการทดสอบที่สภาวะมาตรฐานมากคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่แบบจำลองจะใช้วิธีการปรับค่า Ideality factor (A) เพื่อสร้างคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ Ideality factor (A) ในรูปที่ 5 ให้ความละเอียดเพิ่มมากขึ้น (เทคนิคมากกว่า 4 ตำแหน่ง) สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของแบบจำลองได้ เมื่อพิจารณาสมการที่ 11 พบว่าที่ความเข้มแสงระดับต่างๆจะมีความชัน หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นผลการจำลองในตารางที่ 2 ที่ความเข้มแสงต่างๆ จึงเกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าที่ความเข้มแสงสูงๆดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2 ความเข้มแสง 400 W/m² มีความคลาดเคลื่อน 0.244 %



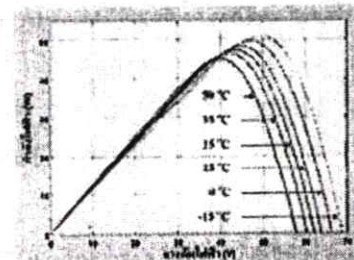
รูปที่ 8 กราฟ I-V จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 25°C คงที่ เปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



รูปที่ 9 กราฟ I-V จากแบบจำลองที่ความเข้มแสง 1000 W/m² เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 10 กราฟ P-V จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 25°C คงที่ เปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



รูปที่ 11 กราฟ P-V จากแบบจำลองที่ความเข้มแสง 1000 W/m² เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายเอก เอื้อตระการวิวัฒน์
 วัน เดือน ปีเกิด 8 กรกฎาคม 2519
 ที่อยู่ ต. นาดาล่วง อ. เมือง จ. ตรัง

ประวัติการศึกษา

2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] เอก เอื้อตระการวิวัฒน์, วิศิษฐ์ ชูรักษ์, วิจิตร กิณเรศ, วีระ ชันยาภิรักษ์, “การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549
- [2] เอก เอื้อตระการวิวัฒน์, วิศิษฐ์ ชูรักษ์, วิจิตร กิณเรศ, “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่23, ฉบับที่ 3, หน้า 18-23, 2549