

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาลักษณะไดนามิกของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้ภาวะมีแสงและไม่มีแสง
หน่วยกิต	42
ผู้เขียน	นายอนนท์ นำอิน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ธีรยุทธ เจนวิทยา ดร.กฤษณพงศ์ กิรติกร
หลักสูตร	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
สายวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบันใช้กับวงจรและระบบที่มีการสวิตซ์ จึงจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์พลวัตหรือไดนามิกอิมพีแดนซ์ของเซลล์ พารามิเตอร์นี้เปลี่ยนตามจุดทำงาน การหาพารามิเตอร์ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน IEC 60904-9 คือ ความสอดคล้องของสเปกตรัมแสง ความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสง และความไม่เสถียรของความเข้มแสง แหล่งกำเนิดแสงเพื่อทดสอบจึงมีราคาแพง และใช้อุปกรณ์ราคาสูง เช่น อิมพีแดนซ์สเปกโตรสโคปที่ผ่านมารวิเคราะห์พารามิเตอร์ใช้รูปแบบวงจรสมมูลไดนามิกโดยเทคนิค 1-พอร์ต สัญญาณขาเข้าและขาออกเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่พอร์ตเดียวกัน ใช้หาไดนามิกอิมพีแดนซ์

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ มีความคิดริเริ่มใหม่ สองประการคือ ประการที่หนึ่ง การออกแบบ สร้าง และทดสอบแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมแบบใหม่ราคาถูกลง ด้วยการพัลส์แรงดันสูงให้ไดโอดเปล่งแสง ได้ความเข้มสูงกว่าที่เคยมี ประการที่สอง การวิเคราะห์รูปแบบวงจรสมมูลไดนามิกใช้เทคนิค 2 – พอร์ต (2- port analysis) หาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันตกคร่อมโหลดต่อกระแสแสง งานวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ลักษณะ คือ (ก) การพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมไดโอดเปล่งแสง 5 แบบที่พัลส์ด้วยแรงดันสูง ให้ความเข้มแสงสูงและสเปกตรัมเดี่ยว (ข) การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่มีราคาถูกลงด้วยไดโอดเปล่งแสง ผสมกับหลอดทังสเตนฮาโลเจน อีก 2 แบบ ทำให้ได้สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง ได้ทดสอบโซล่าเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยวภายใต้แสงอาทิตย์เทียม 7 แบบ (ค) การวิเคราะห์ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ของเซลล์ โดยป้อนแสงสีต่างๆ ที่ความเข้มถูกมอดูเลตด้วยคลื่นกระแสสลับแบบมีคาบ รูปแบบคลื่นและความถี่ต่างๆ

การศึกษานี้ สร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสงสีเดียว คือ สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน และสีขาว และสีผสม (แดง – เขียว – นํ้าเงิน) ที่ให้ความเข้มสูง โดยการพัลส์แรงดันสูงที่ป้อนเข้าแผงไดโอดเปล่งแสง ได้ค่าความเข้มแสงระดับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงอยู่ในชั้นคุณภาพ Class B และความไม่เสถียรความเข้มแสงอยู่ในชั้นคุณภาพ Class B แต่ไดโอดเปล่งแสงให้สเปกตรัมเดี่ยวต่างไปจากสเปกตรัมต่อเนื่องของแหล่งกำเนิดแสงทั่วไป จึงไม่สามารถกำหนดชั้นคุณภาพของสเปกตรัมได้ แหล่งกำเนิดแสงที่พัฒนาขึ้นถูกนำไปใช้ทดสอบพารามิเตอร์ของเซลล์ เมื่อปรับแก้ค่าผลทดสอบนอกสภาวะมาตรฐานสู่สภาวะมาตรฐานด้วยวิธีการตาม มาตรฐาน IEC 60891 ค่าพารามิเตอร์และความต้านทานไดนามิกภายในภายใต้แสงอาทิตย์เทียมสีแดงและสีนํ้าเงิน เทียบกับผลทดสอบในสภาวะมาตรฐานด้วยแสงอาทิตย์เทียม Class AAA มีความสอดคล้องกัน

นอกจากนั้นได้สร้างแหล่งกำเนิดแสงใช้หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน อย่างเดียว และแบบผสมหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสงสีนํ้าเงิน วัตต์ลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์นอกสภาวะมาตรฐาน การเพิ่มระดับแรงดันสูงให้กับทั้งหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนและการพัลส์แผงไดโอดเปล่งแสง เป็นแนวทางใหม่ ทำให้ได้ความเข้มแสงสูงกว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ เมื่อปรับแก้ความสัมพันธ์กระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดนอกสภาวะทดสอบมาตรฐานและสู่สภาวะมาตรฐาน ลักษณะกระแส – แรงดัน รวมทั้งพารามิเตอร์ของเซลล์ที่วัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมสองชนิดนี้ มีค่าสอดคล้องกับการวัดด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม Class AAA

ในการหาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ ปรับแรงดันไบอัสเซลล์และความถี่ของสัญญาณมอดูเลตระหว่าง 10 Hz-10 kHz วัดทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟาสต์ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มเพื่อกำหนดอิมพีแดนซ์ของทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ และคาปาซิแตนซ์ของเซลล์ ผลการศึกษาเมื่อมอดูเลตด้วยรูปคลื่นและสเปกตรัมที่ต่างไป ความสัมพันธ์ระหว่างทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์คาปาซิแตนซ์ กับความถี่ เหมือนกัน เมื่อเทียบความสัมพันธ์ระหว่างคาปาซิแตนซ์ – ความถี่ที่วิเคราะห์จากทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ กับจากเทคนิคอิมพีแดนซ์สเปกโตรสโกปีในภาวะสว่างพบว่า ความสัมพันธ์เหมือนกัน

การพล็อต “มอดู – ซอดก็ พล็อต” แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของคาปาซิแตนซ์ยกกำลังสองกับค่าแรงดัน ($1/C^2$ vs V) แสดงให้เห็นว่าสโลปของกราฟแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรงดันต่ำสโลปมีค่าต่ำและคงที่ แสดงให้เห็นอิทธิพลของดิฟฟิวชันคาปาซิแตนซ์ และในช่วงแรงดันสูงสโลปมีค่าล้นมาก เกิดจากผลของทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์ในรอยต่อแบบเปลี่ยนกระหนั้น

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์/ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนซ์/โฟโตโวลตาอิก/แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม

Dissertation Title	Study of Dynamic Characteristic of Solar Cells under Illumination and Dark Conditions
Dissertation Credits	42
Candidate	Mr. Anon Namin
Dissertation Advisors	Dr. Dhirayut Chenvidhya Dr. Krissnapong Kirtikara
Program	Doctor of Philosophy
Field of Study	Energy Technology
Department	Energy Technology
Faculty	School of Energy, Environment, and Materials
B.E.	2555

Abstract

Solar cells are normally connected with switching circuits and systems, their dynamic parameters are required in solar cell system design. Characteristics of these dynamic parameters depend on operating frequencies and voltages. Determination of parameters employ solar simulators whose light quality is specified by the IEC 60904-9 Standard. There are three specifications on light characteristics, namely, spectral quality, uniformity and stability of light intensity. These requirements entail high cost solar simulators. Moreover, expensive analytical equipment such as impedance spectroscopy is needed. Current techniques in analyzing parameters are based on a 1-port analysis of a dynamic or AC equivalent circuit of solar cells. In the 1-port analysis the input signal is the load current and the output signal the load voltage at the same port are used to determine dynamic impedance of solar cells.

Two original works could be claimed in the research work of the thesis. First, the designs, construction and characterization of low cost solar simulators using high luminosity LEDs under pulse operation. High intensity has been achieved while LEDs are not destroyed. Secondly, the analysis of solar cell dynamic equivalent circuits based on a 2-port analysis to yield a transfer impedance. The transfer impedance is the ratio of the load voltage at the output port to the photocurrent at the input port. Three techniques on solar cell testing are undertaken in the thesis. First, development of LED solar simulators with pulse operation yielding simulators having high intensity and line spectra. Secondly, development of low cost simulators using tungsten-halogen

lamps in conjunction with LEDs to obtain continuous spectra. Testing of an X-Si solar cell is done under these simulators. Thirdly, a transfer impedance determination of the solar cell under incident light of various colors. Light amplitude is modulated with periodic waves of different waveforms and frequencies. The cell is under different biased voltages.

Construction and testing of 5 LED based solar simulators are done, i.e. red, green, blue, white and combined red-green-blue. Under pulse operation, intensity up to $1,000 \text{ W/m}^2$ is achieved. Light uniformity and light stability, as specified by the IEC 60904-9, of Class B are attained. Spectral quality class cannot be made due to line spectral nature of LED. These simulators are used to determine solar cell parameters of the cell, at non Standard Test Condition- STC. Corrections to the STC are made according to the IEC 60891. It is found that solar cell parameters obtained from the red and blue LED simulators are in good agreement with results obtained from a Class A simulator.

Simulators are also constructed from tungsten-halogen lamps and combined tungsten-halogen lamps and blue LEDs. Elevated voltage operation of lamps and LEDs under pulse operation provide a new avenue to obtain high intensity, never before achieved. Testing of the solar cell is also made under these simulators, and corrections are made. Again, results from the simulators and a Class AAA simulator are in good agreement.

In a transfer impedance measurement, we vary cell bias voltages and modulating frequencies between 10 Hz and 10 kHz. The transfer impedance is determined through a Fast Fourier Transform technique of measured load voltage and photo-current. Under different waveforms and spectra of incident light, relationship between amplitude of the transfer impedance and capacitance of cell with frequencies are similar. Transfer impedance analysis and measurement using an impedance spectroscopy also yield a relationship between capacitance of cell with frequencies of the same nature.

A Mott-Schottky Plot, showing the relationship between the reciprocal of the square of capacitance and the voltage across a cell, shows two-slope regions. At low voltage, the slope is small and constant, indicating dominance of diffusion capacitance. At high voltage, the slope is negative and of large magnitude, due to dominance of transition capacitance of an abrupt junction across the cell.

Keywords : Intensity Modulation/Photovoltaic/Solar Cell/Solar Simulator/ /Transfer Impedance