

การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรประจุแบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุรวมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่

Maximum Power Point Tracking Control of Battery Charging Circuit for Photovoltaic Modules based on Current Control Combination with Constant Voltage Control

มนทล นาวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์ 0-2954-7300 ต่อ 585

Monthon Nawong

Electrical Engineering Department, Dhurakij Pundit University
110/1-4 Prachachuen, Laksi, Bangkok 10210, Tel : 02-9547-300 Ext: 585
e-mail: monthon.naw@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 20W, 17.6V, 1.14A จำนวนสองแผงต่อแบบอนุกรม แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพื้นที่ 12V, 7.2Ah และวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุรวมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ วิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ช่วงเวลาดังกล่าวทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด วงจรควบคุมเปลี่ยนเป็นชนิดการควบคุมแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ทำให้กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงศูนย์ ผลการทดลองทำให้ได้วิธีการประจุแบตเตอรี่โดยใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

คำหลัก วิธีการประจุแบตเตอรี่ บัคคอนเวอร์เตอร์ การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด

Abstract

This paper presents the battery charging method for photovoltaic modules. The system consists of two PV modules in series connected and each module has a 20W, 17.6V and 1.14A. The PV modules are connected with a 12V, 7.2Ah lead-acid battery and buck converter that controls with microcontroller. This battery charging circuit based on maximum power point tracking controls the charging current and voltage to be constant value. The current mode control charging method can obtain maximum power of PV modules. During charging time, battery voltage has increased its' level until it reaches the rated value. The charging continues at the constant voltage level until the current reduces to zero. Study and doing experiment could obtain the battery charging method based on PV maximum power with changing solar irradiance. This method can also control battery charging voltage.

Keywords: battery charging method, buck converter, maximum power point tracking.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากฟอสซิลกำลังเริ่มหมดไปนอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานจากฟอสซิลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากฟอสซิล เช่น พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ต้องใช้สิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV cell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีค่าต่ำมาก ดังนั้นเมื่อต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นจึงนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อแบบอนุกรมเพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นหรือแบบขนานเพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module or PV panel) การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) [1] ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานโดยตรง เช่นนำมาใช้งานกับโหลดกระแสตรงและการประจุแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์เป็นต้น และระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้า (PV grid connected system) [2-3] คือการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในรูปของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังคืออินเวอร์เตอร์ (inverter)[4] เพื่อเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้า

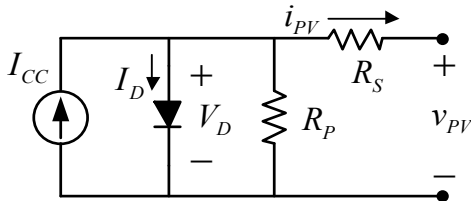
ในการประจุแบตเตอรี่ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต้องใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังคือวงจรดีซีดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC converter) [5-7] ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมคือความเข้มแสง (solar

irradiance) และอุณหภูมิ (temperature) วิธีการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือการควบคุมการทำงานของวงจรดีซีดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้มีการทำงานตามรูปแบบที่กำหนด เช่นแบบการควบคุมกระแสไฟฟ้า และแบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้า [8-9] แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) [10-13] ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีวิธีการทำงานคือการนำแรงดันไฟฟ้า (v_{pv}) และกระแสไฟฟ้า (i_{pv}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรวจสอบการทำงานและนำไปควบคุมสัญญาณขับสวิตช์ในวงจรดีซีดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด แต่เมื่อนำวิธีดังกล่าวมาประจุแบตเตอรี่เพื่อต้องมีกรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (v_b) และกระแสไฟฟ้า (i_b) ของแบตเตอรี่ด้วย [14-15] ทำวงจรที่ซับซ้อนขึ้น โดยต้องใช้เซนเซอร์ในการตรวจสอบการทำงานทั้งทางด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทางด้านแบตเตอรี่

ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำเสนอการประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีวิธีการควบคุมประจุแบตเตอรี่แบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุและแบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ วิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถลดอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานโดยใช้เพียงทางด้านแบตเตอรี่เท่านั้น การทำงานในช่วงเริ่มต้นของการประจุแบตเตอรี่เป็นแบบวิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุโดยการควบคุม i_b ให้ทำงานที่ค่าสูงสุด (Current Maximum Power Point Tracking: CMPPT) ในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในขณะมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง และการทำงานในช่วงต่อไปเป็นแบบวิธีการควบคุม v_b ให้คงที่ (Constant Voltage: CV) วิธีดังกล่าวทำให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าที่เต็มอยู่ตลอดเวลา และลดการคายประจุไฟฟ้าในตัวเองก่อนการนำไปใช้งาน

2. หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจาก v_{PV} และ i_{PV} มีค่าไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยได้แก่อุณหภูมิ (T) และความเข้มแสง (G) ซึ่งสามารถนำเสนอโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 1 [16]



รูปที่ 1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ v_{PV} และ i_{PV} เป็นไปตามดังสมการ (1) ดังนี้

$$i_{PV} = I_{CC} - I_S \left(e^{\frac{q(v_{PV} + R_S i_{PV})}{m k T}} - 1 \right) - \frac{v_{PV} + R_S i_{PV}}{R_p} \quad (1)$$

เมื่อ i_{PV} คือกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A),
 v_{PV} คือแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V),
 I_S คือกระแสไฟฟ้าอิ่มตัวของไดโอด (A),
 I_{CC} คือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (A),
 k คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (1.381×10^{-23} J/K),
 q คือค่าประจุอิเล็กตรอน (1.602×10^{-19} C),
 R_S คือความต้านทานอนุกรม (Ω),
 R_p คือความต้านทานขนาน (Ω),
 m คือ Ideality factor ของไดโอด ($1 < m < 2$)

ความเข้มแสงที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรเป็นไปตามสมการ (2) และ (3) ดังนี้

$$I_{CC}(G) = I_{CC}(G_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} \quad (2)$$

$$I_{SC}(G) = I_{SC}(G_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} \quad (3)$$

อุณหภูมิที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรดังสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$I_{SC}(T) = I_{SC}(T_{ref}) + \alpha(T - T_{ref}) \quad (4)$$

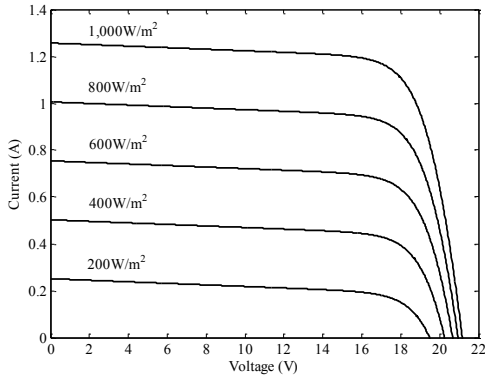
$$V_{OC}(T) = V_{OC}(T_{ref}) + \beta(T - T_{ref}) \quad (5)$$

เมื่อ I_{SC} คือกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A),
 V_{OC} คือแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V),
 G คือค่าความเข้มแสง (W/m^2),
 G_{ref} คือค่าความเข้มแสงอ้างอิงที่ ($1kW/m^2$),
 T คืออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$),
 T_{ref} คืออุณหภูมิอ้างอิงที่ ($25^{\circ}C$),
 α คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้า ($A/^{\circ}C$)
 β คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้า ($V/^{\circ}C$)

จากสมการที่ (1-5) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีค่าไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในงานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงเท่านั้น โดยค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปตามตารางที่ 1 ผลการจำลองการทำงานทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง v_{PV} และ i_{PV} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิคงที่ ($25^{\circ}C$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงตั้งแต่ $200 W/m^2$ ถึง $1,000 W/m^2$ ดังรูปที่ 2

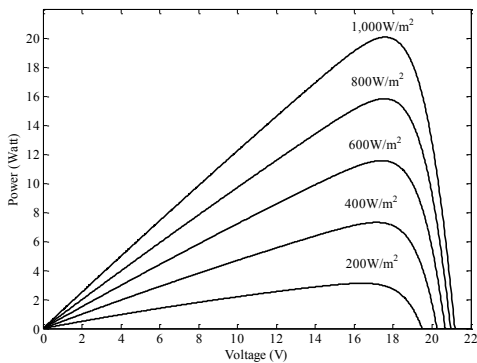
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20W ทดสอบที่ค่าความเข้มแสง ($1kW/m^2$) และอุณหภูมิ ($25^{\circ}C$)

พารามิเตอร์	พิกัด
กำลังไฟฟ้า	20W
แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{mp})	17.6V
กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp})	1.14A
แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V_{OC})	21.6V
กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (I_{SC})	1.31A

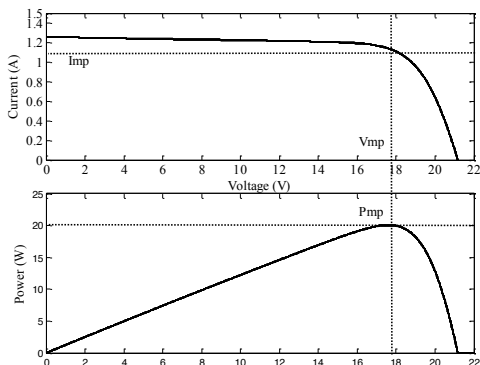


รูปที่ 2 กราฟการทำงานของ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงตั้งแต่ 200 W/m^2 ถึง $1,000 \text{ W/m}^2$ ดังรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาเฉพาะความเข้มแสงคงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า (V_{mp}) และกระแสไฟฟ้า (I_{mp}) และกำลังไฟฟ้า (P_{mp}) ที่จุดสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 4



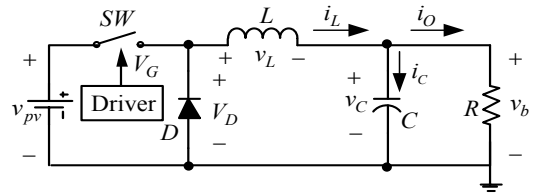
รูปที่ 3 กราฟการทำงานของ P-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง



รูปที่ 4 จุดแรงดันไฟฟ้า (V_{mp}) และกระแสไฟฟ้า (I_{mp}) ที่จุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (P_{mp})

3. วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและสามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ วงจรประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ (SW) ไดโอด (D) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ดังวงจรในรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ v_{pv} มีค่า 20V ถึง 40V และแรงดันไฟฟ้าทางดำนออก v_b มีค่า 14.4V กระแสไฟฟ้าทางดำนออก i_b มีค่า 1A ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ f_s มีค่า 20 kHz การออกแบบการทำงานของวงจรในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง ดังนั้นค่าตัวดีไซเคิล (D) เป็นไปตามสมการ (6) ดังนี้

$$D = \frac{v_b}{v_{pv}} = \frac{i_{pv}}{i_b} \quad (6)$$

กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของตัวเหนี่ยวนำ (Δi_L) มีค่าเท่ากับ 0.5 A ดังนั้นค่าของตัวเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้ตามสมการ (7) ดังนี้

$$L = \frac{(v_{pv(\max)} - v_b)}{\Delta i_L} D T_s$$

$$= \frac{(40\text{V} - 14.4\text{V})}{0.5\text{A}} (0.36)(50\mu\text{s}) = 922\mu\text{H} \quad (7)$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่าของตัวเหนี่ยวนำ $L = 922\mu\text{H}$ กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางดำนออกมีค่าไม่เกิน 1% ดังนั้นการคำนวณตัวเก็บประจุตามสมการที่ (8)

$$C = \frac{(1 - D_{\min})T_s^2}{8L(\Delta v_b/v_b)} \quad (8)$$

$$= \frac{(1 - 0.36)(50\mu s)^2}{8(922\mu H)(0.01)} = 21.69\mu F$$

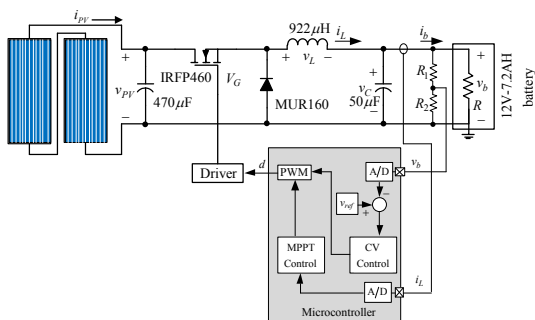
ดังนั้นเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ $C = 50\mu F$ และค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

พารามิเตอร์	พิกัด
แรงดันไฟฟ้าทางดำนเข้า (v_{pv})	20V - 40V
แรงดันไฟฟ้าทางดำนออก (v_b)	14.4V
ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ (f_s)	20 kHz
ตัวเหนี่ยวนำ (L)	922 μ H
ตัวเก็บประจุ (C)	50 μ F

4. วิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุร่วมกับ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่

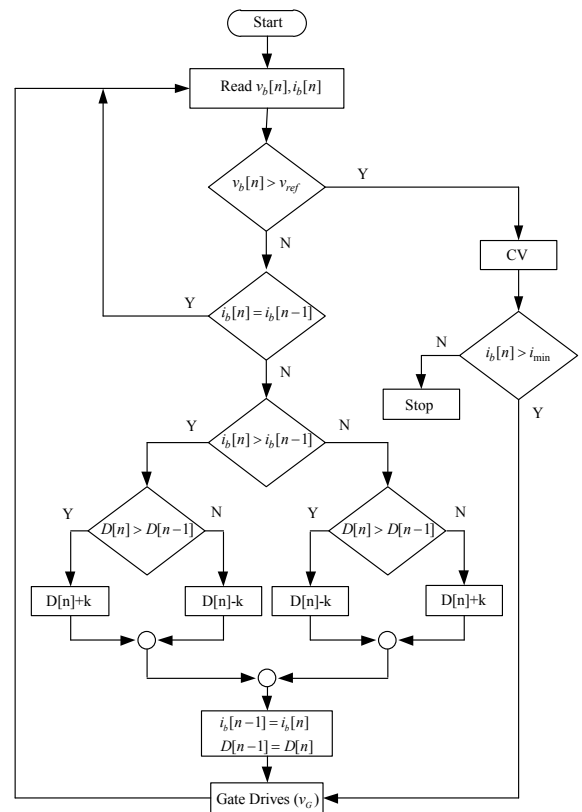
วงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ลดระดับและควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปใช้งาน และแบตเตอรี่ซึ่งมีหน้าที่สะสมพลังงานที่ได้ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ตามรูปแบบที่นำเสนอใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการกำหนด

เงื่อนไขการทำงาน โดยแบ่งการทำงานออกเป็น การควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุของแบตเตอรี่ให้มีค่าสูงสุดเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ตำแหน่งดังกล่าวทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด (MPP) และการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่ (CV) โดยมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 7 เริ่มต้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าของแรงดันไฟฟ้า $v_b[n]$ และกระแสไฟฟ้า $i_b[n]$ ของแบตเตอรี่ เพื่อทำการกำหนดเงื่อนไขและควบคุมค่า D ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นนำค่าของ $v_b[n]$ มาเปรียบเทียบกับค่าของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (V_{ref}) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 20 ของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานของแบตเตอรี่คือ 14.4V ถ้าค่าของ $v_b[n]$ มีค่าน้อยกว่า V_{ref} การทำงานเข้าสู่การประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าสูงสุด ตามเงื่อนไขของการทำงานในรูปที่ 8 โดยทำการเปรียบเทียบค่าของ $i_b[n]$ กับค่าของ $i_b[n-1]$ ถ้ามีค่าเท่ากันให้กลับไปรับค่าเริ่มต้นใหม่ แต่ถ้ามีค่าไม่เท่ากันกำหนดให้มีเงื่อนไขของการทำงานดังนี้

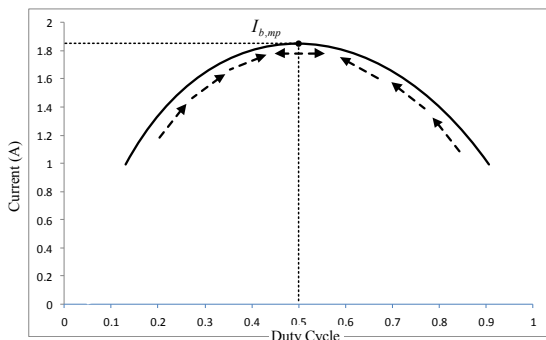


รูปที่ 7 แผนผังการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่

1. ถ้าค่าของ $i_b[n]$ มีค่ามากกว่าค่า $i_b[n-1]$ ให้ตรวจสอบค่าของ $D[n]$ ว่ามีค่ามากกว่าค่า $D[n-1]$ หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าก็กำหนดให้เพิ่มค่าของ $D[n]$ โดยการบวกกับค่า k ถ้ามีค่าน้อยกว่าก็กำหนดให้ลดค่าของ $D[n]$ โดยการลบกับค่า k

2. ถ้าค่าของ $i_b[n]$ มีค่าน้อยกว่าค่า $i_b[n-1]$ ให้ตรวจสอบค่าของ $D[n]$ ว่ามีค่ามากกว่าค่า $D[n-1]$ หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าก็กำหนดให้ลดค่าของ $D[n]$ ถ้ามีค่าน้อยกว่าก็กำหนดให้บวกค่าของ $D[n]$ กับค่าของ k หลังจากนั้นทำการเก็บค่าของ $i_b[n]$ และค่าของ $D[n]$ เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าในรอบต่อไป

วิธีควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำให้ v_b มีค่าเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าของ v_b มีค่ามากกว่า V_{ref} การทำงานเข้าสู่วิธีการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV) ด้วยการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา วิธีควบคุมดังกล่าวนี้ทำให้ i_b มีค่าลดลงจนกระทั่ง i_b มีค่าน้อยกว่าค่าของ i_{min} ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 1 ของกระแสไฟฟ้าพิกัดแบตเตอรี่ การประจุแบตเตอรี่หยุดการทำงาน



รูปที่ 8 เงื่อนไขการทำงานของวิธีควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด

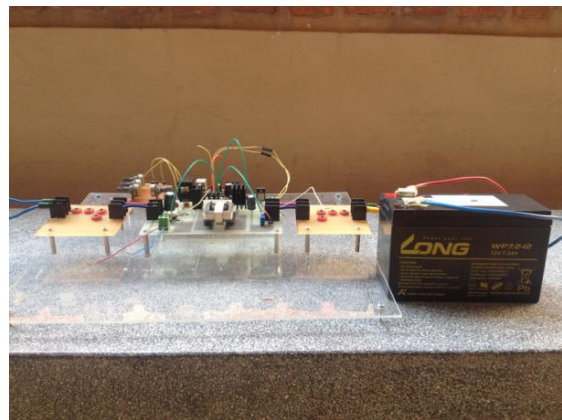
5. ผลการทดลองการทำงาน

การทดสอบการทำงานของการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุรวมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 20W จำนวนสองแผงต่อแบบอนุกรมกันซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 34V และกระแสไฟฟ้า 1.14A ดังรูปที่ 9 ก) มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 และวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F10101 ของบริษัทไมโครชิพในการควบคุมการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH จำนวนหนึ่งลูกดังรูปที่ 9 ข)



ก)

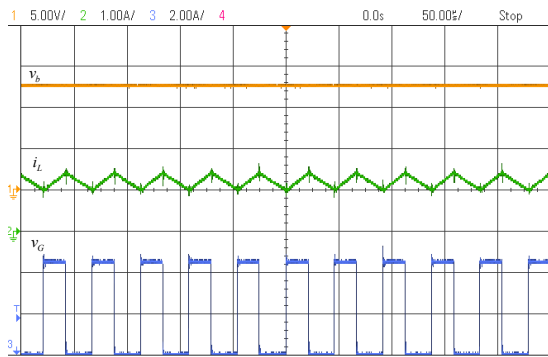


ข)

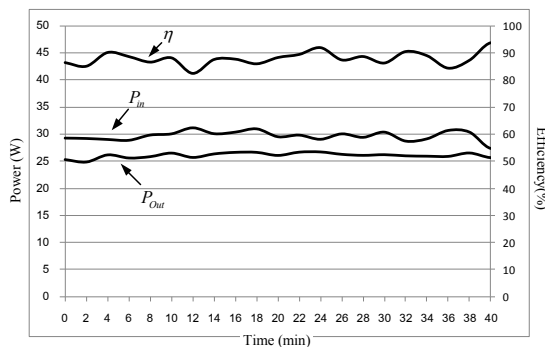
รูปที่ 9 อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข) วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์และแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด

5.1 ผลการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อทดสอบการทำงานที่ค่าของ D มีค่าคงที่ สัญญาณที่ใช้ในการขับเคลื่อนของมอสเฟส กระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง มีการทำงานเป็นไปตามรูปที่ 10 เมื่อพิจารณากำลังงานไฟฟ้าด้านเข้า (P_{in}) และกำลังงานไฟฟ้าด้านออก (P_{out}) ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ มีประสิทธิภาพ (η) การทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 88.34 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 11

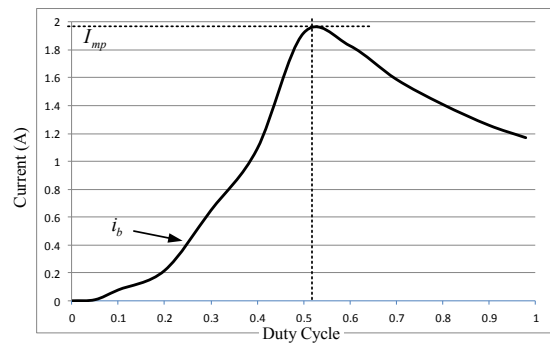


รูปที่ 10 ผลการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (CH1) แสดง V_b (2V/div), (CH 2) แสดง i_L (1A/div), (CH 3) แสดง V_G (2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)

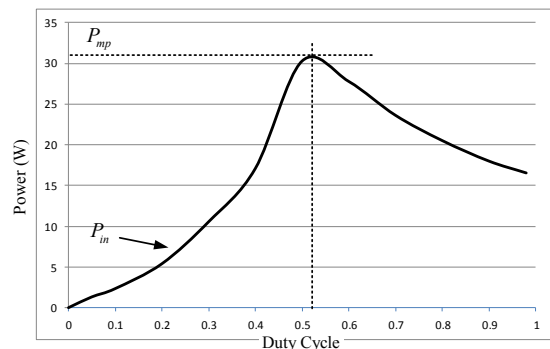


รูปที่ 11 ผลการทำงานของกำลังงานไฟฟ้าต้านเข้า (P_{in}) กำลังงานไฟฟ้าต้านออก (P_{out}) และประสิทธิภาพ (η) ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อนำมาประยุกต์โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการปรับค่าของ D ให้มีค่าจาก 0 ถึง 1 ส่งผลทำให้ค่าของ i_b มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 A ที่ค่า D เท่ากับ 0 จนถึงค่าของกระแสไฟฟ้าที่จุดสูงสุด I_{mp} เท่ากับ 1.92 A ที่ค่า D ประมาณ 0.52 และมีค่าลดลงจนถึงค่าของ I_{sc} เท่ากับ 1.14 A ที่ค่า D เท่ากับ 1 ดังรูปที่ 12 ก) และจากผลการปรับค่า D ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำให้กำลังไฟฟ้าต้านเข้า P_{in} คือกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 12 ข) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จุด P_{mp} มีค่า 30.2 W ที่ค่า D เท่ากับ 0.52 ที่จุด I_{mp}



ก)

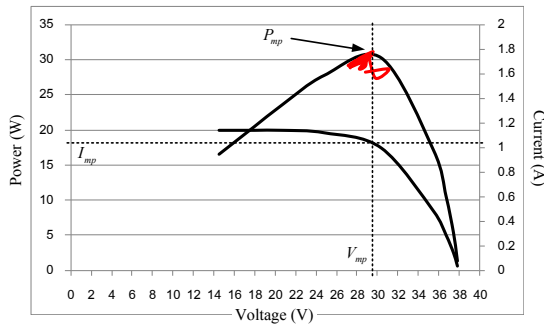


ข)

รูปที่ 12 ผลการปรับค่าตัวใช้เซลล์ ก) กระแสไฟฟ้า (i_b)
ข) กำลังไฟฟ้าต้านเข้า (P_{in})

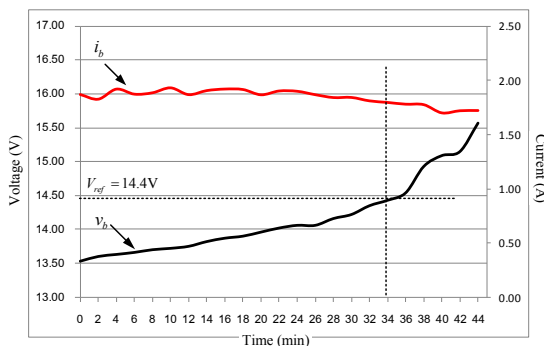
5.2 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุ

ผลการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับค่า D ตามรูปที่ 12 เมื่อควบคุมค่าของ i_b ให้ทำงานที่จุดสูงสุดตลอดเวลา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมค่า D ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานตามรูปแบบที่นำเสนอ และทำการทดสอบการทำงานที่ระดับของความเข้มแสงค่อนข้างคงที่ ส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 45 นาที เมื่อพิจารณาผลการทำงานทางด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์การควบคุมการทำงานดังกล่าวทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จุดสูงสุดมีค่าเฉลี่ย 28.53V กระแสไฟฟ้าที่จุดสูงสุดมีค่าเฉลี่ย 1.04A และกำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดมีค่าเฉลี่ย 29.58W ซึ่งมีผลการทำงานใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดสีแดง) เมื่อเทียบกับผลการทำงานของกราฟ I-V Curve และ P-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลการทำงานของกราฟ I-V Curve , P-V Curve และจุดทำงานที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อพิจารณาผลการทำงานทางด้านของการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 14 ผลของ i_b มีค่าระหว่าง 1.7A – 1.9A และมีค่าเฉลี่ย 1.85A ซึ่งทำให้ v_b มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13.5V ถึง 15.5V ใช้เวลา 34 นาทีค่าของ v_b ที่เพิ่มขึ้นนี้อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ประจุเกินได้ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุร่วมด้วย

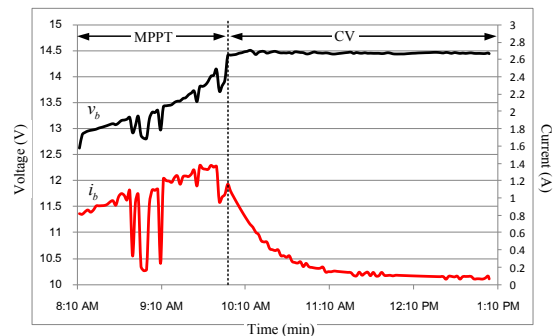


รูปที่ 14 ผลการทำงานของกระแสไฟฟ้า (i_b) และแรงดันไฟฟ้า (v_b) ของแบตเตอรี่

5.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุร่วมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่

เมื่อทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุร่วมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ที่ระดับของความเข้มแสงมีค่าเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบคือ 08.10AM – 01.00PM ได้ผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 15 ซึ่งการทำงานเริ่มต้นจากการควบคุมค่า i_b ให้ทำงานที่จุดสูงสุดตลอดเวลาเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ช่วงเวลาที่ใช้ในการประจุด้วยวิธีนี้คือ

08.10AM – 10.00AM มีผลทำให้ i_b มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงระหว่าง 0.2A – 1.4A และมีค่าเฉลี่ย 1A โดยในช่วงเวลาของการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุ ถ้าค่าเฉลี่ยของ i_b มีค่าสูงวงจรใช้เวลาประจุน้อยลงหรือถ้าค่าเฉลี่ยของ i_b มีค่าต่ำวงจรใช้เวลาประจุนานขึ้น ในช่วงเวลาดังกล่าวมีผลทำให้ v_b มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 12.6V ถึง 14.4V การทำงานของการประจุแบตเตอรี่เปลี่ยนไปเป็นการประจุแบตเตอรี่แบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ ในช่วงเวลา 10.00AM – 1.00PM ช่วงเวลาดังกล่าวแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่มีค่าคงที่ตลอดไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่มีค่าลดลงจนกระทั่ง i_b มีค่าน้อยกว่าค่าของ i_{min} การประจุแบตเตอรี่หยุดการทำงาน



รูปที่ 15 ผลการทำงานของกระแสไฟฟ้า (i_b) และแรงดันไฟฟ้า (v_b) ของแบตเตอรี่

6. สรุป

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าประจุร่วมกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ พบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของการประจุเป็นแบบควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าขณะประจุแบตเตอรี่ให้มีค่าสูงสุด ทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุด้วยพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าเฉลี่ยของ i_b มีผลต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ คือถ้ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของ i_b มีค่าสูงวงจรใช้เวลาประจุน้อยลงและถ้ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของ i_b มีค่าต่ำวงจรใช้เวลาประจุนานขึ้น สำหรับในช่วงเวลาของการควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า

คงที่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และทำให้แบตเตอรี่มีการประจุเต็มตลอดเวลาเพื่อป้องกันการคายประจุในตัวเอง (Self-Discharge) ก่อนนำแบตเตอรี่ไปใช้งานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Diary R. Sulaiman, Hilmi F. Amin, and Ismail K. Said. 2010. Design of high efficiency DC-DC converter for photovoltaic solar home applications. *Journal of Energy & Power Engineering*, Vol. 4 issue 11, Nov 2010: 43-51.
- [2] A.F. Cupertino, J.T. de Resende, H.A. Pereira and S.I. Seleme Junior. 2012. A grid-connected photovoltaic system with a maximum power point tracker using passivity-based control applied in a boost converter. 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), Nov, 5-7, 2012: 1-8.
- [3] M. H. Albadia, R. S. Al Abria, M. I. Masouda, K. H. Al Saidib, A. S. Al Busaidic, A. Al Lawatid, K. Al Ajmid and I. Al Farsie. 2014. Design of a 50 kW solar PV rooftop system. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Vol. 3, No. 4, October 2014: 401-409.
- [4] R.W. Erickson and D. Maksimovic. 2005. *Fundamentals of power electronics*. Kluwer Academic Publishers. University of Colorado, USA.
- [5] Geoffrey R. Walker. 2004. Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.19, No.4, July, 2004: 1130-1139.
- [6] Jaouad Tanouti, Mohammed Setti, Abdelhak Aziz and El Mamoun Aziz. 2012. Design and implementation of a digitally controlled photovoltaic system using series connected buck converters. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2012: 456 - 464.
- [7] Syafrudin Masri, Norizah Mohamad, Muhammad Hafeez and Mohamed Hariri. 2012. Design and development of DC-DC buck converter for photovoltaic application. *IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, July. 3-5, 2012: 1-5.
- [8] S. Armstrong, M.E. Glavin and W.G. Hurley. 2008. Comparison of battery charging algorithms for stand alone photovoltaic systems. *IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC 2008*: 1469-1475.
- [9] S. Abinaya, A. Sivaranjani and S. Suja. 2011. Methods of battery charging with buck converter using soft-switching techniques. *Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits*, Vol. 1, special issue, December 2011.
- [10] Eftichios Koutroulis and Kostas Kalaitzakis. 2001. Development of a microcontroller-based photovoltaic maximum power point tracking control system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.16, No.1, January, 2001: 46-54.
- [11] de Assis Sobreira, P, Villalva, M.G, Barbosa, P.G, Braga, H.A.C, Gazoli, J.R., Ruppert, E, Ferreira, A.A. 2011. Comparative analysis of current and voltage-controlled photovoltaic maximum power point tracking. *Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*, 11-15 September. 2011: 858-863.
- [12] Sang-Keun Ji, Du-Hee Jang and Sung-Soo Hong. 2012. Analog control algorithm for maximum power trackers employed in photovoltaic applications. *Journal of Power Electronics*, Vol.12, No.3, May, 2012: 503-508.
- [13] Mohamed M. Algazar, Hamdy AL-monier, Hamdy Abd EL-halim, Mohamed Ezzat El Kotb Salem. 2012. Maximum power point tracking

- using fuzzy logic control. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.39, issue 1, July 2012: 21–28.
- [14] Ahmad H. El Khateb, Nasrudin Abd Rahim and Jeyraj Selvaraj. 2013. Cuk-buck converter for standalone photovoltaic system. Journal of Clean Energy Technologies, Vol.1, No.1, January 2013: 69-74.
- [15] Her-Terng Yau, Qin-Cheng Liang and Chin-Tsung Hsie. 2012. Maximum power point tracking and optimal Li-ion battery charging control for photovoltaic charging system. Computers & Mathematics with Applications Vol.64, issue 5, September 2012: 822–832.
- [16] A.Chatterjee, A.Keyhani, and D.Kapoor. 2011. Identification of photovoltaic source models. IEEE Trans. Energy Convers, Vol.26, No.3, September 2011: 883-889.