

การติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้พัลส์วิดท์มอดูเลชัน ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

The Maximum Power Point Tracking from Solar Cell Panel using Pulse Width Modulation Controlled
by Microcontroller

ประภรณ์ชัย พลรัตนศักดิ์¹ และ ชัยพร อัดโตดดร²

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น¹

199/19 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000¹

E-mail: chaiporn2517@gmail.com¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้พัลส์วิดท์มอดูเลชันที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยส่วนประกอบหลักจะประกอบไปด้วยวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ วงจรชั้บเกต และวงจรวัดระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้มีขนาด 12 โวลต์ 120 วัตต์ โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้ ที่วงจรอัดประจุแบตเตอรี่จะมีชุดวงจรเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่เพื่อส่งค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ในการประมวลผลเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และให้กำเนิดสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ด้วยวิธีเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าไปควบคุมการทำงานของวงจรอัดประจุต่อไป เมื่อทำการทดลองโดยเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟาระหว่างวงจรที่มีชุดวงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดกับวงจรที่ไม่มีชุดวงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลที่ได้คือวงจรที่มีชุดวงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.24 วัตต์ ส่วนวงจรที่ไม่มีชุด

วงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเพียง 19.36 วัตต์ เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 48.01 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานในด้านต่างๆ ที่ใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โคมไฟนอกอาคาร พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

Abstract

This article presents the design and construction of a circuit to the maximum power point tracking from a solar panel using a pulse width modulation controlled by microcontroller. The main components will consist of buck-boost converter circuits, gate drives and voltage measurement circuit. The solar panel used is 12 volts 120 watts. The working principle is as follows: at the battery charging circuit, there is a circuit set to measure the voltage and current in order to send the voltage and current to the

microcontroller. The microcontroller is responsible for processing to find the maximum power of the solar panel and generate the Pulse Width Modulation (PWM) signal by incremental conductance method to control the charging circuit. When conducting an experiment by comparing the power value between the circuit which has the maximum power tracking circuit set and the circuit that does not have the maximum power tracking circuit, the result is the circuit with the maximum power tracking circuit set have the average electricity is 37.24 watts, while the circuit without the maximum power tracking circuit set have the average power is only 19.36 watts, which can be seen that the maximum power from the solar cell can increase the efficiency to 48.01 percent and can be applied to use in various fields which uses energy sources from solar panels such as solar water pumps, outdoor solar lights etc.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้นกลับลดน้อยลง จึงทำให้หลายฝ่ายตระหนักถึงการนำพลังงานทดแทนต่าง ๆ จากธรรมชาติเพื่อมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม รวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย โดยที่พลังงานเหล่านี้ยังคงอยู่ ไม่ได้สูญหายไปดังพลังงานอื่น ๆ

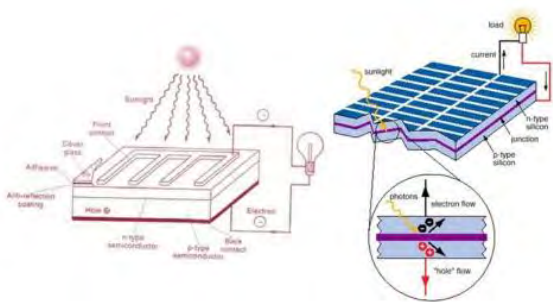
ตัวอย่างเช่น พลังงานที่เกิดจากน้ำมัน ดังนั้น จึงได้มีการคิดนำพลังงานข้างต้นมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าแทนพลังงานน้ำมันที่กำลังจะหมดไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ตระหนักถึงความสำคัญในจุดนี้ จึงผลักดันให้มีการคิดค้นและสร้างสิ่งนี้ขึ้นมา โดยจะใช้ประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติที่ได้กล่าวถึงข้างต้นมาแล้ว คือ พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้า นั่นเอง และเนื่องผลกระทบจากการที่แหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีน้อยลง ก็อาจจะทำให้ค่าไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสามารถหาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ เข้ามาแทนที่ได้ก็จะสามารถแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาได้ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงและอุณหภูมิ เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดในแต่ละวัน จากปัญหาที่ว่าพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์นั้น จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงและอุณหภูมิ ซึ่งในแต่ละวัน แต่ละช่วงเวลา ความเข้มของแสงและอุณหภูมิก็มจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยการชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ทำได้ไม่เต็มที่ ดังนั้น จึงต้องมีชุดควบคุมการชาร์จอยู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ ซึ่งก็คือ ระบบการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) นั่นเอง และระเบียบวิธีติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีหลายวิธี เช่น วิธีรบกวนและสังเกต (Perturb and Observe) [1] วิธีเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า (Incremental conductance) วิธีเศษส่วนของแรงดันไฟฟ้าขณะวงจรมเปิด (Fractional open-circuit) วิธีไล่ระดับกระแสไฟฟ้า (Current sweep) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural networks) วิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) และวิธีอื่น ๆ อีก [2], [3] แต่ระเบียบวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

คือ วิธีเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า [4], [5] เนื่องจากวิธีการดังกล่าวจะใช้ตัววัดระดับแรงดันไฟฟ้า 1 ตัว และตัววัดปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 ตัว ในการส่งค่าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีความซับซ้อนปานกลางด้วย

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า(อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้

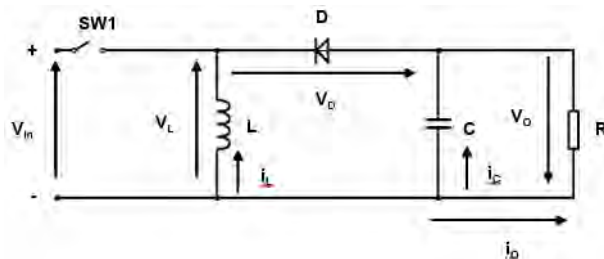


รูปที่ 1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

จากรูปที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยซิลิกอนบางๆ 2 ชั้นประกบกัน ชั้นหนึ่งจะมีฟอสฟอรัสจำนวนหนึ่งเจือปน เรียกว่า n-type (ขั้วลบ) และอีกชั้นหนึ่งจะมีโบรอนเจือปน เรียกว่า p-type (ขั้วบวก) เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนในชั้น n มีมากกว่าในชั้น p และมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ p-n junction ถ้ามีการต่อวงจรภายนอกอิเล็กตรอนจะไหลจากด้าน

n-type ผ่าน Load ไปยังด้าน p-type เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน Load เกิดขึ้น

2.2 หลักการทำงานของ Buck-Boost Converter

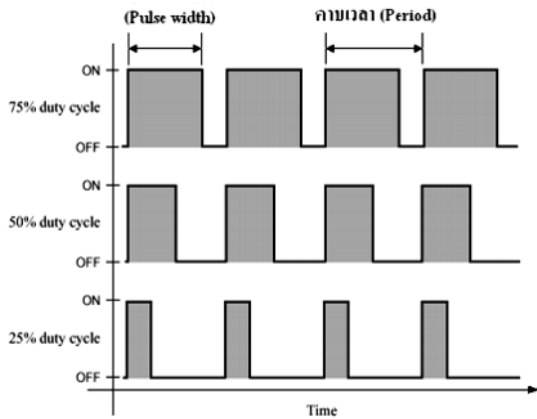


รูปที่ 2 วงจร Buck-Boost Converter [6]

หลักการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อที่จะให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออก มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามที่ต้องการ โดยจะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ได้โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด และการทำงานของสวิตช์ต้องอยู่ในสภาวะอยู่ตัว

2.3 Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในงานควบคุมต่าง ๆ ซึ่งหลักการทำงานของวิธีนี้ คือ กระแสที่ป้อนเข้าวงจรขับเคลื่อนจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์ที่สร้างขึ้น โดยถ้าพัลส์แคบกระแสก็จะมีค่าต่ำ แต่ถ้าพัลส์กว้างกระแสก็จะมีค่าสูง ในรูปที่ 3 แสดงช่องสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ของคาบเวลา



รูปที่ 3 สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ต่างๆ [7]

สมการคำนวณดีวตีไซเคิล คือ

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

D คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตีไซเคิล

T_{on} คือ ช่วงเวลาในสถานะ High

T คือ ค่าคาบเวลา

2.4 หลักการของการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

โดยทั่วไปเราจะสามารถรับกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียง 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ในขณะนั้น ดังนั้น เทคนิคการติดตามหาค่ากำลังสูงสุดจะใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีวิธีการหลากหลายวิธี ดังนี้

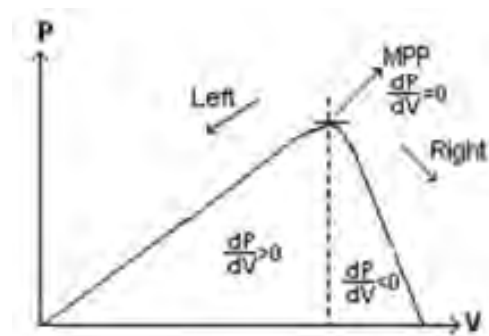
1. Perturb and Observe (hill climbing method)
2. Incremental Conductance method
3. Fractional short circuit current
4. Fractional open circuit voltage
5. Neural networks
6. Fuzzy logic

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวิธีการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีการ	ความเร็ว	ความซับซ้อน	ปรับแบบคาบเวลา	เซนเซอร์ที่ใช้
Perturb and Observe	ปรับได้	ต่ำ	ไม่ได้	แรงดัน, กระแส
Incremental Conductance method	ปรับได้	ปานกลาง	ไม่ได้	แรงดัน, กระแส
Fractional open circuit voltage	ปานกลาง	ต่ำ	ได้	แรงดัน
Fractional Short circuit current	ปานกลาง	ปานกลาง	ได้	กระแส
Neural networks	สูง	สูง	ได้	ปรับเปลี่ยนได้
Fuzzy logic	สูง	สูง	ได้	ปรับเปลี่ยนได้

2.5 Incremental Conductance MPPT

วิธีเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า อาร์เรย์แรงดันไฟฟ้าเทอร์มินัลจะถูกปรับตามแรงดันไฟฟ้า MPP จะขึ้นอยู่กับค่าการเพิ่มและความนำไฟฟ้าทันทีของโมดูล PV



รูปที่ 4 แนวคิดพื้นฐานของวิธีการเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เส้นโค้ง P-V [8]

รูปที่ 4 แสดงความชันของอาร์เรย์ P-V เส้นโค้งพลังงานเป็นศูนย์ที่ MPP เพิ่มขึ้นบนด้านซ้ายของ

MPP และลดลงทางด้านขวา ด้านข้างของ MPP สมการพื้นฐานของวิธีนี้มีรายละเอียดดังนี้

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad \text{At MPP}$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad \text{Left of MPP}$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad \text{Right of MPP}$$

ตำแหน่งที่ I และ V เป็นกระแสเอาต์พุต อาร์เรย์ P-V และแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ ด้านซ้ายมือของสมการแทนค่าเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าของ P-V โมดูลและด้านขวาแทนค่าความนำไฟฟ้าทันที เมื่ออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงในความนำไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากับผลลบความนำไฟฟ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานที่จุดไฟสูงสุด

2.6 Incremental Conductance MPPT Algorithm

วิธีนี้ใช้ข้อสันนิษฐานของอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงในความนำไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากับผลลบความนำไฟฟ้าทันที

$$\text{จาก } P = VI$$

การใช้กฎลูกโซ่สำหรับการหาอนุพันธ์ของสมการ

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \left[\frac{\partial (VI)}{\partial V} \right]$$

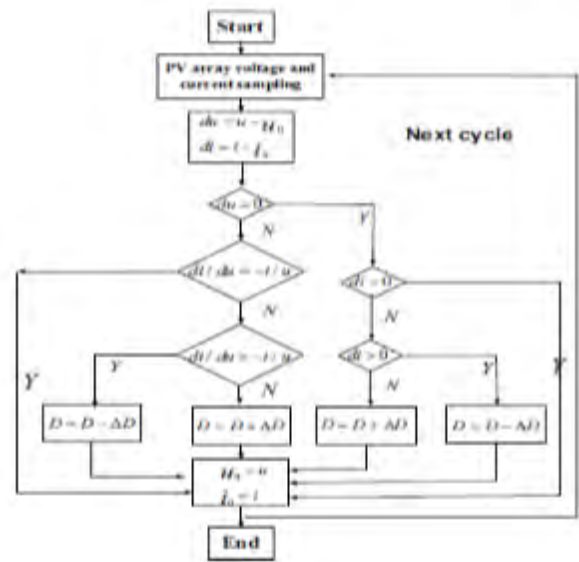
$$\text{ที่ MPP จะได้ } \frac{\partial P}{\partial V} = 0$$

สมการข้างต้นสามารถเขียนได้ในเทอมของอาร์เรย์แรงดันไฟฟ้า V และอาร์เรย์กระแส I เป็น

$$\frac{\partial I}{\partial V} = -I/V$$

MPPT ปรับสัญญาณควบคุม PWM ของสัญญาณบูสต์ dc to dc จนกว่าเงื่อนไข: $(\partial I / \partial V) + (I / V) = 0$ เป็นที่น่าพอใจ

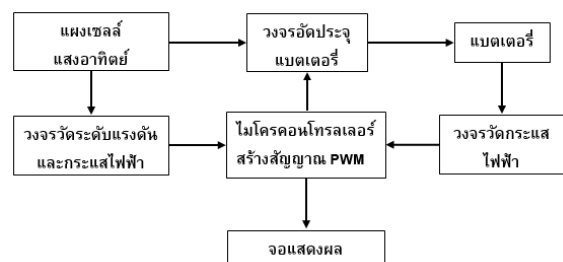
ในวิธีนี้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลอยู่ที่สูงกว่า 98% ของค่าความนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น แผนภูมิของความนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น MPPT แสดงดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 5 วิธี Incremental Conductance MPPT [8]

3. การออกแบบและสร้างการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



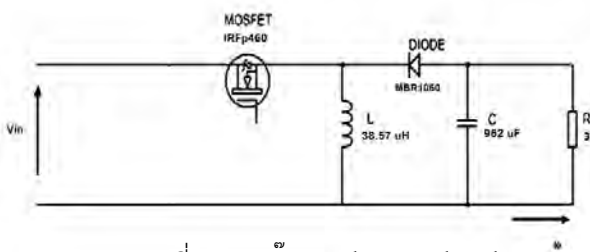
รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากรูปที่ 6 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบบที่แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกมาทางเอาต์พุต เพื่อเป็นอินพุตเข้าที่วงจรอัตราเร็ว โดยที่เอาต์พุตของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์จะมีวงจรวัดระดับแรงดันและกระแสเพื่อวัดแรงดันและกระแสเก็บค่าไว้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรวัดประจุก็จะทำหน้าที่ในการลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อทำการชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่ขั้วของแบตเตอรี่ก็จะมีวงจรวัดกระแสไฟฟ้าส่งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้มาประมวลผลเพื่อใช้ในการควบคุมความกว้างของสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ไปควบคุมการทำงานของวงจรวัดประจุ ในการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์อาทิตย์ ทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.2 วงจรวัดประจุ

3.2.1 วงจรบั๊ก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 7 วงจรบั๊ก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

การเลือกสวิตช์

เพาเวอร์มอสเฟตที่เลือกใช้ คือ IRFP 460 โดยผู้ออกแบบคำนึงจากกราฟพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยสูงสุด (Maximum Self Operating Area) และความถี่ที่สวิตช์ทำงานคือที่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ (Audio Frequency) ในที่นี้เลือกใช้ 31.50 กิโลเฮิร์ตซ์

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำจะคำนวณโดยหาค่าตัวเหนี่ยวนำเล็กสุดของวงจรบั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์

เตอร์ โดยเริ่มจากสมมติให้การสูญเสียในวงจรเป็นศูนย์ กำลังจากแหล่งจ่ายจะเท่ากับแรงดันโหลด

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (1)$$

จากสมการจะเห็นว่าตัวเหนี่ยวนำเล็กสุดจะขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร 3 ตัว คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตี ค่าความต้านทานโหลด และค่าความถี่สวิตชิง โดยจะหาค่าความถี่ไม่ต่ำกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ในที่นี้เลือกความถี่ 31.50 กิโลเฮิร์ตซ์ จึงนำค่าความถี่นี้มาคำนวณและค่าความต้านทานเนื่องจากตอนทดสอบใช้โหลดเป็นหลอดไฟมีค่าความต้านทาน 3 โอห์ม เนื่องจากในสมการของค่าดีวตีจะตรงกันข้ามเพราะว่าต้องถูกลบออกจาก 1 จึงเลือกดีวตีเท่ากับ 0.1 ดังนั้น แทนค่าในสมการจะได้

$$L_{\min} = \frac{(1-0.1)^2 \times 3\Omega}{2 \times 31.5\text{kHz}}$$

$$L_{\min} = 38.57\mu\text{H}$$

การออกแบบตัวเก็บประจุ

สามารถคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุจากค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกจากยอดถึงยอดซึ่งหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ดังนี้

$$C = \frac{D}{Rf(\Delta V_o/V_o)} \quad (2)$$

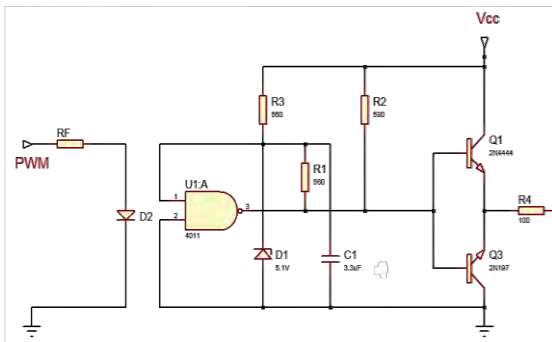
กำหนดให้อัตราระลอกคลื่นเท่ากับ 1% ความต้านทานโหลดเท่ากับ 3 โอห์ม ความถี่ 31.50 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตีแปรผันตรงกับค่าตัวเก็บประจุ จึงต้องออกแบบเผื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตีเป็นค่ามากที่สุดที่ยอมรับได้คือ 0.9 นำค่าเหล่านี้แทนในสมการจะได้

$$C = \frac{0.9}{3 \times 31500 \times 0.01} = 952 \mu\text{F}$$

การเลือกไดโอด

ในงานวิจัยนี้จะใช้ไดโอดแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.7 - 0.95 โวลต์ แต่สาเหตุที่เลือกใช้เพราะว่าไดโอดนี้สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 60 โวลต์ และทนกระแสได้สูงสุด 10 แอมแปร์ สามารถใช้ในงานที่ต้องการกำลังต่ำจนถึงปานกลางได้ คือจ่ายเอาต์พุตตั้งแต่ 12 โวลต์ขึ้นไป และอีกสาเหตุหนึ่งคือ Switching Power Supply จะทำงานในช่วงความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป การนำเอาไดโอดชนิด Fast Recovery มาใช้จะช่วยลดช่วงเวลา Reverse Recovery ลงไปได้และข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยลดแรงดันกระชากที่เกิดจากกริปเปิดของแรงดันเอาต์พุต และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 150 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้เบอร์ MBR1060

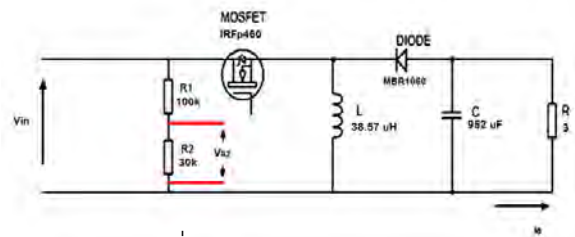
3.2.2 วงจรขั้วเกต



รูปที่ 8 วงจรขั้วเกต

จากรูปที่ 8 สัญญาณ Pulse Width Modulation จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่ตัวต้านทาน R5 เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรขั้วเกตให้ ON - OFF ตามสัญญาณ Pulse Width Modulation เอาต์พุตของวงจร (V_o) ต่อเข้ากับขา Gate ของ มอสเฟต ในวงจรบั๊ก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

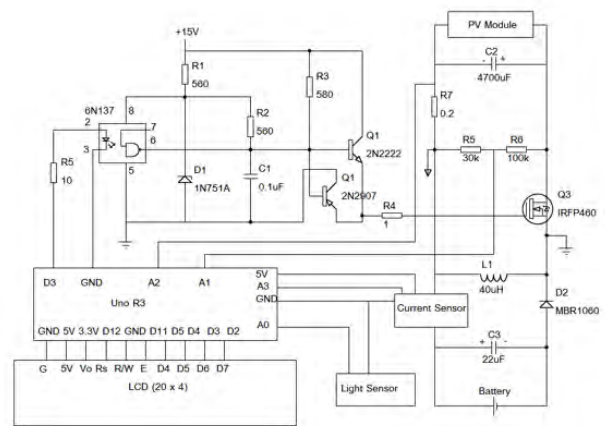
3.2.3 วงจรวัดระดับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 9 วงจรวัดระดับแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากที่ขา Analog In ของ Arduino Uno R3 นั้นสามารถรับค่าแรงดันได้สูงสุดที่ 5 โวลต์เท่านั้น แต่แรงดันเอาต์พุตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสูงได้ถึง 21.7 โวลต์ จึงต้องใช้วงจรแบ่งระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเข้าสู่ขา Analog In ของ Arduino Uno R3 โดยการใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.3 วงจรควบคุมการทำงาน



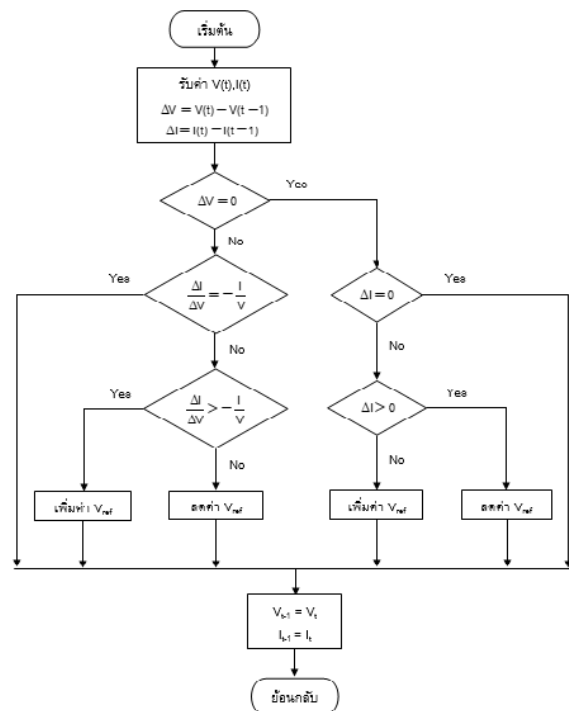
รูปที่ 10 วงจรควบคุมการทำงานการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 10 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) มีขนาด 12 โวลต์ 120 วัตต์ ส่วนขนาดของแบตเตอรี่คือ 12 โวลต์ 65 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยที่แหล่งพลังงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากหม้อแปลงที่ต่ออยู่กับเต้ารับของสำนักงาน ที่เอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดกระแสและ

ระดับแรงดันไฟฟ้า ส่วนที่แบตเตอรี่ก็จะมีอุปกรณ์ตรวจจ็บกระแสคอยตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า ส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวประมวลผลและควบคุมการเก็บประจุของวงจรอัดประจุ โดยสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation ออกที่ขา 3 ของบอร์ด Arduino Uno R3 เป็นอินพุตให้กับตัวต้านทาน R5 ของวงจรขับเกต เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดของ MOSFET ในวงจรบั๊ก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์และแสดงผลของระดับแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสของแบตเตอรี่ ที่จอ LCD นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับความเข้มแสงต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย ซึ่งระดับความเข้มแสงจะแสดงผลที่จอ LCD เช่นกัน

3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

การติดตามในการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นวิธีในการหลากหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Incremental Conductance method จึงเน้นทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการดังกล่าว โดยวิธีการดังกล่าวนี้จะใช้ตัววัดระดับแรงดันไฟฟ้า 1 ตัว และตัววัดปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 ตัว ในการส่งค่าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีแผนภาพโปรแกรมควบคุมการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 11 โปรแกรมควบคุมการทำงานการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดลองสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง Pulse Width Modulation (PWM)

%Duty Cycle	แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม (โวลต์)
10	0.49
20	1.00
30	1.50
40	2.01
50	2.51
60	3.02
70	3.52
80	4.03
90	4.52

จากการทดลองสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) พบว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 นั้นสามารถปล่อยสัญญาณได้จริง และพบว่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า %Duty Cycle โดยระดับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันตรงกับ %Duty Cycle

4.2 การทดลองวงจรขับเกด

ตารางที่ 3 บันทึกผลการทดลองการขับเกด

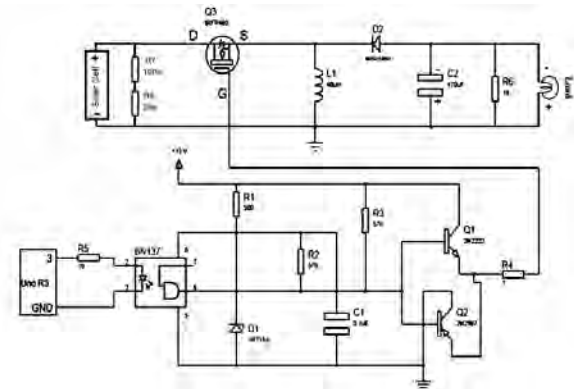
%Duty Cycle	แรงดันเอาต์พุตวงจรขับเกด (โวลต์)
10	8.88
20	8.80
30	8.68
40	8.45
50	5.55
60	4.14
70	3.29
80	2.41
90	1.56

จากการทดลองวงจรขับเกดพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขับเกดนั้นจะแปรผกผันกับค่า %Duty Cycle โดยที่เมื่อทำการเพิ่ม %Duty Cycle แรงดันเอาต์พุตก็จะลดลง

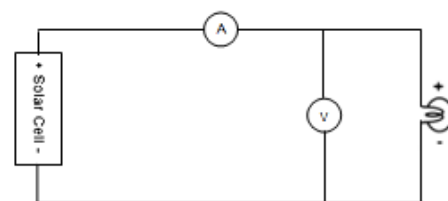
4.3 การทดลองวงจรรวม

4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 12 และ รูปที่ 13



รูปที่ 12 วงจรการทดลองรวมแบบมีชูด MPPT



รูปที่ 13 วงจรการทดลองแบบไม่มีชูด MPPT

4.3.1.2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4 โดยเริ่มตั้งแต่วเวลา 14.00 นาฬิกา และสังเกตสถานะของหลอดไฟ

4.3.1.3 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4

4.3.1.4 ทำซ้ำทุก ๆ 5 นาที จนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา

4.3.1.5 เขียนกราฟเปรียบเทียบเทียบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของทั้งสองการทดลอง โดยให้แกนนอนเป็นแกนเวลาส่วนแกนตั้งเป็นแกนของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า

เวลา	V_M (V)	I_M (A)	P_M (W)	V_L (V)	I_L (A)	P_L (W)
14.00	14.34	4.46	63.95	12.58	4.02	50.57
14.05	15.35	4.66	71.53	12.20	3.95	48.19
14.10	15.38	4.52	69.51	11.70	3.82	44.69
14.15	14.85	4.02	59.69	12.85	3.81	48.95
14.20	14.4	3.95	56.88	12.39	4.07	50.42
14.25	14.34	3.85	55.20	11.00	3.78	41.58
14.30	11.76	2.95	34.69	6.88	3.08	21.19
14.35	14.19	3.85	54.63	10.20	3.52	35.90
14.40	13.85	3.61	49.99	10.80	3.73	40.28
14.45	14.64	3.67	53.72	11.73	3.81	44.69
14.50	14.25	3.67	52.29	9.45	3.38	31.94
14.55	13.17	3.93	51.75	9.98	3.53	35.22
15.00	14.28	3.61	51.55	9.14	3.36	30.71
15.05	15.17	3.33	50.51	8.65	3.20	27.68
15.10	15.60	2.61	40.71	8.03	3.14	25.21
15.15	14.45	3.14	45.37	8.14	3.09	25.15
15.20	14.05	3.06	42.99	7.50	2.94	22.05
15.25	13.81	3.11	42.94	6.58	2.80	18.42
15.30	14.51	2.90	42.07	5.11	2.14	10.93
15.35	14.36	2.40	34.46	3.66	1.98	7.24
15.40	13.87	1.58	21.91	2.11	1.45	3.06
15.45	17.07	2.14	36.52	4.25	2.14	9.09
15.50	15.45	2.22	34.29	4.69	2.26	10.60
15.55	15.32	2.29	35.08	4.34	2.15	9.33
16.00	13.34	2.08	27.74	2.53	1.60	4.04
16.05	15.02	1.85	27.78	1.86	1.34	2.49
16.10	15.02	1.85	27.78	3.30	1.80	5.94
16.15	16.05	1.24	19.90	1.56	1.20	1.87
16.20	14.32	0.98	14.03	1.01	0.97	0.97
16.25	15.47	0.87	13.45	0.83	0.84	0.69
16.30	14.00	1.03	14.42	1.20	1.10	1.32
16.35	13.16	1.24	16.32	1.35	1.11	1.49
16.40	15.01	1.00	15.01	1.17	1.03	1.20
16.45	14.53	0.82	11.91	0.87	0.86	0.74
16.50	14.92	1.00	14.92	1.19	1.04	1.23
16.55	14.79	0.87	12.86	0.92	0.87	0.80
17.00	16.13	0.58	9.35	0.80	0.80	0.64
เฉลี่ย	14.60	2.56	37.24	6.01	2.42	19.36

V_M = แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของวงจรที่มีชุด MPPT (โวลต์)

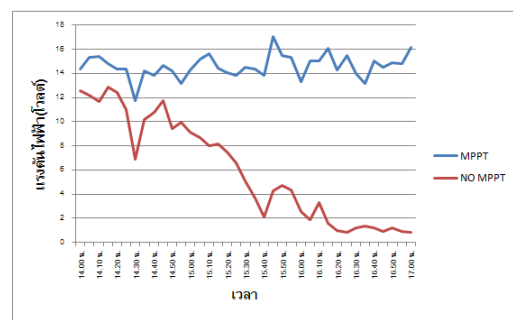
I_M = กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของวงจรที่มีชุด MPPT (แอมแปร์)

P_M = กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของวงจรที่มีชุด MPPT (วัตต์)

V_L = แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดไฟของวงจรที่ไม่มีชุด MPPT (โวลต์)

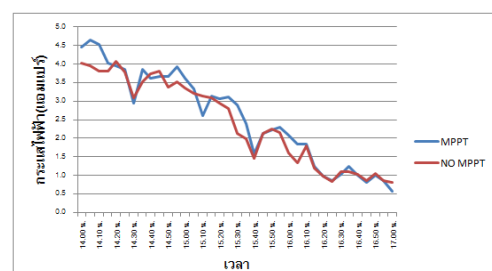
I_L = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟของวงจรที่มีชุด MPPT (แอมแปร์)

P_L = กำลังไฟฟ้าไฟฟ้าของวงจรที่มีชุด MPPT (วัตต์)



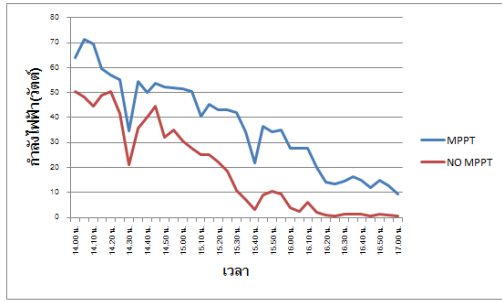
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า ระหว่างการมีและไม่มีชุดควบคุม MPPT

จากรูปที่ 14 แรงดันไฟฟ้าของวงจรที่มี MPPT นั้นค่อนข้างอยู่ในระดับเดียวกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.60 โวลต์ ส่วนในกรณีของวงจรที่ไม่มีชุด MPPT จะลดลงเรื่อย ๆ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.01 โวลต์



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า ระหว่างการมีและไม่มีชุดควบคุม MPPT

จากรูปที่ 15 แสดงกระแสไฟฟ้าของทั้งวงจรที่มีชุด MPPT กับวงจรที่ไม่มีชุด MPPT มีค่าใกล้เคียงกันมากซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.56 แอมแปร์และ 2.42 แอมแปร์ ตามลำดับ



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างกรณีและไม่มีชุดควบคุม MPPT

จากรูปที่ 16 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรที่มีชุด MPPT จะมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรที่ไม่มีชุด MPPT ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของทั้งสองวงจรอยู่ที่ 37.24 และ 19.36 ตามลำดับ

5. บทสรุป

จากผลการทดลองวงจรรวม จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป แสงน้อยลงทำให้กำลังไฟฟ้าน้อยลงตามไปด้วย โดยที่กระแสไฟฟ้าของทั้งสองวงจรมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากหลอดไฟจะพยายามดึงกระแสสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงอย่างมาก กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงน้อยลงเช่นกัน แต่ในส่วนของวงจรที่ต่อผ่านชุดวงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) นั้น ชุดวงจร MPPT จะทำการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้แรงดันไฟฟ้ายังคงระดับไว้อยู่ เมื่อสังเกตไปที่หลอดไฟของทั้งสองวงจร จะพบว่าหลังจากช่วงเวลา 16.00

นาฬิกา หลอดไฟฟ้าของวงจรที่ไม่มี MPPT นั้นไม่สว่างแล้ว แต่ในส่วนนของหลอดไฟของวงจร MPPT ยังคงมีความสว่างอยู่ จากกราฟกำลังไฟฟ้าเห็นได้ชัดว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรที่ต่อชุด MPPT มีค่าที่มากกว่าวงจรที่ไม่มี MPPT โดยประสิทธิภาพการทำงานระหว่างทั้งสองวงจรสามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$\eta = \left| \frac{P_M - P_L}{P_M} \right| \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ $\eta =$

ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)

P_M = กำลังไฟฟ้าของวงจรที่มีชุด MPPT (วัตต์)

P_L = กำลังไฟฟ้าของวงจรที่ไม่มีชุด MPPT (วัตต์)

แทนค่าลงในสมการที่ 3

$$\eta = \left| \frac{37.24 - 19.36}{37.24} \right| \times 100\%$$

$$\eta = 48.01\%$$

ดังนั้น สรุปได้ว่าวงจรที่มีชุด MPPT นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวงจรที่ไม่มีชุด MPPT อยู่ 48.01 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤษดิษฐ์ กมลพัฒนะ. การพัฒนาระบบติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระเบียบวิธีรบกวนและสังเกตที่ถูกรับแต่ง. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2559.

- [2] Mohamed Azab. A New Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems. World Academy of Science, Engineering and Technology 44, 2008.
- [3] Andres Tobon and Committee. Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Panels by Using Improved Pattern Search Methods. Energies 2017.
- [4] Osaretin C.A. and Edeko F.O.. Design and implementation of a solar charge controller with variable Output. Journal of Electrical and Electronic Engineering Vol.12, NO 2, ISSN 1118-5058; November 2015.
- [5] Khalid Khleel Mohamed and Amina Edrees Kanaan. A High Efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays. Al-Rafidain Engineering Vol.17 No.6 Dec. 2009.
- [6] Sarah Adil Mohammed and Emad Talib Hashim. Designing a Maximum Power Point Tracking System for a Monocrystalline Silicon Solar Module Using the Arduino Microcontroller and Synchronous Buck Converter. FME Transactions VOL. 47, No 3, 2019.
- [7] M.A. Laguado-Serrano and Committee. Performance comparison between PWM and MPPT charge Controllers. Scientia et Technica Ano XXIV, Vol.24, ISSN 0122-1701; 2019.
- [8] M.Lokanadham. Incremental Conductance Based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Photovoltaic System. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 2, 2012, pp.1420-1424.