



การพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม The Development of a Dual-Axis Solar Tracking System Using the Optimization Method

เดือนแรม แพ่งเกี้ยว^{1*} เอกรัฐ ชะอุมเอี้ยค¹ อาทิตย์ ทัดทาน¹ เอกชัย เอ็งเล้ง¹ และอลงกรณ์ จันทรธีราข¹

Received: May, 2018; Accepted: June, 2018

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเข้มของแสงอาทิตย์แบบ 4 จุด ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดถูกนำไปคำนวณหาทิศทางของดวงอาทิตย์ด้วยสมการหาค่าความเหมาะสม เพื่อประมวลผลสัญญาณควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตามเงื่อนไขด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) ทำให้ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่มีความเข้มแสงมากที่สุดได้อย่างแม่นยำและผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 21.5 โวลต์ โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเดิมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน จากผลการวิจัยพบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 4.28 % ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 44.04 % และค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 47.24 % เมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เคลื่อนที่ จากผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ นอกจากนั้นระบบติดตามดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อีกหลากหลาย

คำสำคัญ : ระบบติดตามดวงอาทิตย์; ประสิทธิภาพทางพลังงาน; เซลล์แสงอาทิตย์; วิธีการหาค่าที่เหมาะสม

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok

* Corresponding Author E - mail Address: duanraemp@gmail.com

Abstract

This paper presents the development of a dual-axis solar tracking system with four-point of light intensity comparison method. The maximum of light intensity is used to calculate direction of the sun with the optimization equation. The data of light intensity is processed to control the motor by the AVR microcontroller. Dual-axis solar tracking system will track the sun in highest light position precisely and produce the maximum power. In this research, a dual-axis solar tracking system applied with 5 watts 21.5 volt photovoltaic module, which compares the electrical energy values between a solar panel fixed installation modules and the proposed modules. As for the experiment results, it was found that the dual-axis solar tracking system increased the voltage by 4.28 %, the electric current increased by 44.04 % and electric power increased by 47.24 % compared with a solar panel fixed installation modules. The result showed that the developed dual-axis solar tracking system can increase efficiency of the electrical energy. Moreover, the developed tracking system can be applied to other devices as well.

Keywords: Solar Tracking System; Energy Efficiency; Photovoltaic Module; The Optimization Method

บทนำ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นระบบที่นำมาใช้สำหรับนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปความร้อนหรือการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีวิธีการที่แตกต่างกัน [1] อาทิ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Controlled Unit) เป็นระบบที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงสถานะของเหลวและการถ่ายเทมวลของเหลวเป็นแรงยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Module) ให้เคลื่อนที่ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบคือ ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องการการบำรุงรักษาน้อยเมื่อเทียบกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ระบบอื่น แต่ระบบดังกล่าวมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ ต่อมาจึงมีการพัฒนาวิธีการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor Controlled Unit) เป็นระบบที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์คำนวณตำแหน่งและใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบคือ มีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ระบบมีความยุ่งยากและการสร้างระบบมีค่าใช้จ่ายสูง และในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Electro Optically Controlled Unit) ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจจับรังสีหรือค่าความเข้มแสงที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสง เช่น โฟโตไดโอด (Photo Diode) โฟโตทรานซิสเตอร์หรือตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (Light Independent Resistor, LDR) เป็นต้น ข้อดีของวิธีการติดตามดวงอาทิตย์ของระบบนี้คือ มีความแม่นยำสูงและความแม่นยำของการติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสง ซึ่งนักวิจัยหลายท่าน

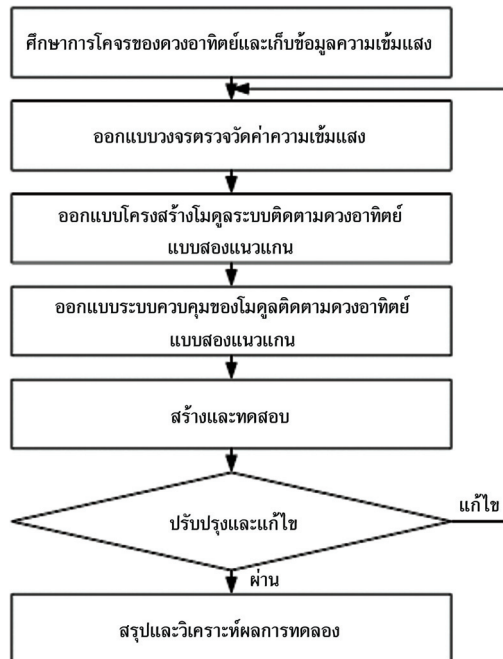
นำเสนอหลักการควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ดังกล่าวที่แตกต่างกัน เช่น การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการปรับมุมองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [2] - [3] การควบคุมทิศทางของระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [4] เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบติดตามดวงอาทิตย์อาจไม่จำเป็นต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา เนื่องจากการติดตามดวงอาทิตย์ในบางช่วงเวลาส่งผลดีต่อค่าพลังงานมากกว่า เช่น การนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมีสองชนิด คือ การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า (Photovoltaic) และการใช้ระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า (Concentrating Solar Power) เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นขนานที่ 6 - 10 องศาเหนือ แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นโลกเฉลี่ยประมาณ 4 - 5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งหากสามารถปรับพื้นที่รับแสงให้ติดตามแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาจะสามารถรับแสงได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.3 - 1.5 เท่า [5] - [6] การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นกำลังไฟฟ้านั้นยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ คือ ร้อยละ 5 - 17 เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ยังเป็นแบบดั้งเดิมคือ แบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์หรือการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว [7] ในการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีระบบติดตามการเคลื่อนที่เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถติดตามการเคลื่อนที่หรือการโคจรของดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำและสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกำลังไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [8] - [10] นักวิจัยหลายท่านจึงให้ความสนใจการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน อาทิ ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี และเอกชัย ดีศิริ [11] นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนโดยใช้หลักการบังเงาของฉากกัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า ผลตอบสนองทางเวลาของระบบอยู่ที่ 35 องศาต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.5 องศา ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากปริมาณแสง การวางตำแหน่งของโฟโตทรานซิสเตอร์ และความคลาดเคลื่อนของเฟืองทด จากนั้นมีการพัฒนากลไกเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ได้อัตโนมัติ โดยใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ชุดควบคุมการขับเคลื่อนทำงาน ผลการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าแผงที่วางคงที่ในแนวอนน้อยร้อยละ 13 [12] นอกจากนี้มีการนำเสนอการพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ โดย กรธรรม สฤทธิกุล และอภิญญา บุญประกอบ [13] ซึ่งใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยสมการเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเข้มเพื่อปรับตำแหน่งละเอียดยผลปรากฏว่าสามารถชี้ตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำและมีความผิดพลาดไม่เกิน 1 องศา ระบบดังกล่าวควบคุมการทำงานและสั่งงานด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ดังนั้น จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเปรียบเทียบความเข้มของแสงอาทิตย์แบบ 4 จุด ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดจะถูกนำไปคำนวณหาทิศทางของดวงอาทิตย์ด้วยสมการหาค่าความเหมาะสม เพื่อประมวลผลสัญญาณควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตามเงื่อนไขด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) ทำให้ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่มีความเข้มแสงมากที่สุดได้อย่างแม่นยำและผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การเก็บข้อมูลความเข้มแสงเพื่อออกแบบวงจรตรวจวัดค่าความเข้มแสง การออกแบบโครงสร้างโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน และการออกแบบระบบควบคุมโมดูลติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 1 และแสดงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วงจรตรวจจับค่าความเข้มแสง

การออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนใช้หลักการเปรียบเทียบค่าความเข้มของแสงอาทิตย์แบบ 4 จุด ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดถูกนำไปคำนวณหาทิศทางของดวงอาทิตย์ด้วยสมการทาค่าความเหมาะสม โดยประยุกต์ใช้ LDR สำหรับตรวจจับค่าความเข้มแสง ซึ่ง LDR ไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400 - 1,000 นาโนเมตร ค่าดังกล่าวครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตามนุษย์ (400 - 700 นาโนเมตร) หมายรวมถึง LDR ไวต่อแสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไส้หรือหลอดเรืองแสง เนื่องจากการนำเซ็นเซอร์ที่เป็นปริมาณทางฟิสิกส์เปลี่ยนเป็นความต้านทานมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์จำเป็นต้องแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และจากคุณสมบัติของ LDR เมื่อต่อเข้ากับตัวต้านทาน R_1 ในลักษณะวงจรแบ่งแรงดันดังรูปที่ 2 ซึ่งสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ด้วยสมการที่ (1) ดังนั้น เมื่อค่าความต้านทานของ LDR มีค่ามาก เนื่องจากมีแสงตกกระทบน้อยทำให้แรงดันที่ขา V_{out} มีค่าต่ำ และเมื่อค่าความต้านทานของ LDR มีค่าน้อย เนื่องจากมีแสงตกกระทบบวกทำให้แรงดันที่ขา V_{out} มีค่าสูง คุณสมบัติของตัวต้านทานแปรค่าตามแสงแสดงดังรูปที่ 3

$$V_{output} = \left(\frac{R_{LDR}}{R_1 + R_{LDR}} \right) \times V_s \quad (1)$$

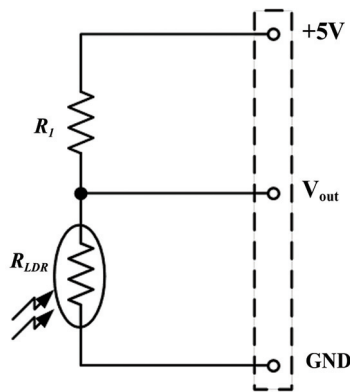
เมื่อ

V_{output} คือ ค่าแรงดันที่ขาเอาต์พุต (โวลต์)

R_{LDR} คือ ค่าความต้านทานของ LDR (โอห์ม)

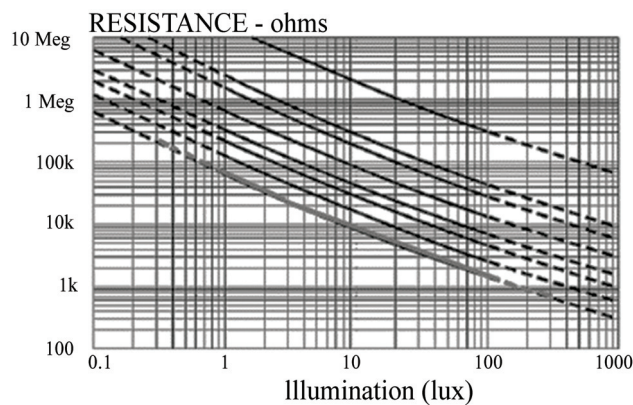
R_1 คือ ค่าความต้านทาน (โอห์ม)

V_s คือ ค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายมีค่าคงที่เท่ากับ 5 โวลต์



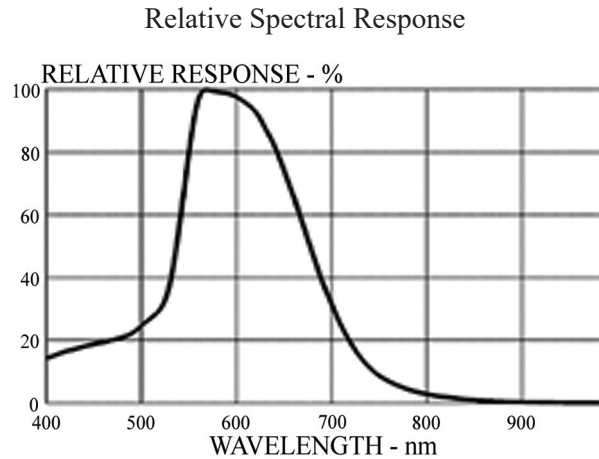
รูปที่ 2 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์

Resistance vs. Illumination



(ก) ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อความสว่าง

รูปที่ 3 กราฟคุณสมบัติของตัวต้านทานแปรค่าตามแสง [14]



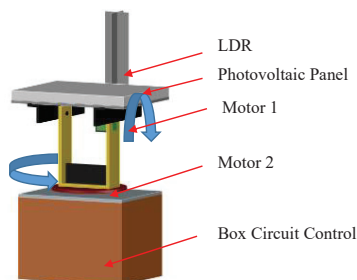
(ข) การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสง

รูปที่ 3 กราฟคุณสมบัติของตัวต้านทานแปรค่าตามแสง [14] (ต่อ)

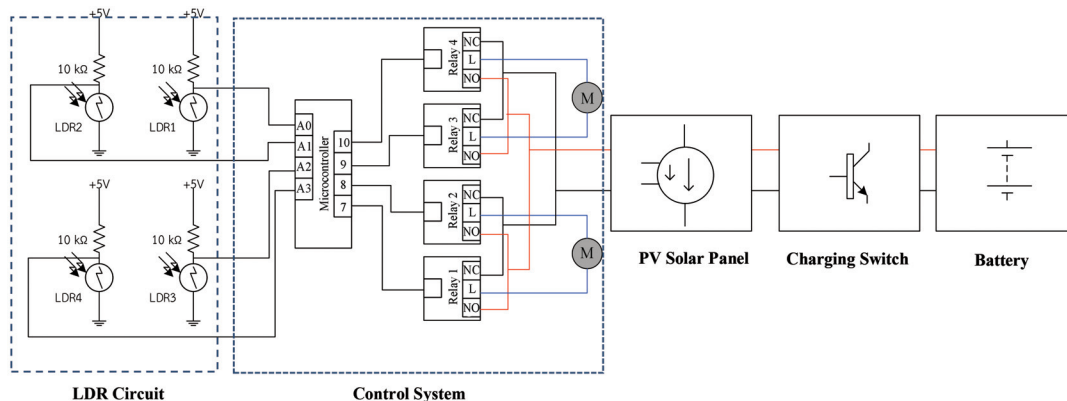
การออกแบบโครงสร้างโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน

การออกแบบโครงสร้างโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอน (Mono Crystalline Silicon Solar Cell) ขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ แรงดันพิกัด 21.5 โวลต์ กระแส 0.29 แอมแปร์ แสดงแบบจำลองสามมิติ (3-D model) ดังรูปที่ 4 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ LDR แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซอร์โวมอเตอร์ และวงจรควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ใช้ LDR ทั้งหมด 4 จุด สำหรับเป็นอินพุตรับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลอินพุตดังกล่าวถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วยสมการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของ LDR ทั้ง 4 จุด เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแนวแกน X และแนวแกน Y ค่าพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จเพื่อชาร์จพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่แสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 5

เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านต้นทุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนที่พัฒนาขึ้นพบว่า ต้นทุนด้านอุปกรณ์เพิ่มขึ้น 680 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลแบบเดิม เนื่องจากการเพิ่มอุปกรณ์ LDR เซอร์โวมอเตอร์ และวงจรควบคุมการทำงาน



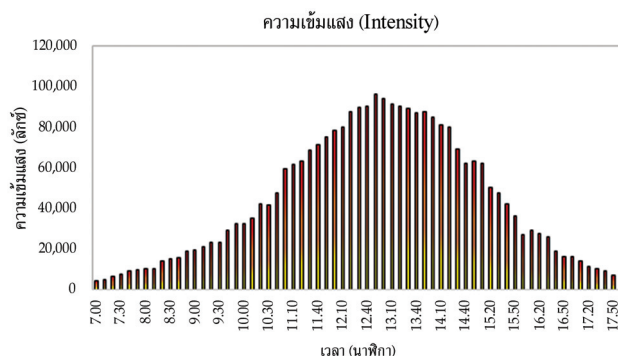
รูปที่ 4 โมดูลสามมิติ (3-D Model) ของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน

การออกแบบระบบควบคุมของโมดูลติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน

การตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ทำการตรวจวัด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชญ์โลก เก็บข้อมูลทั้งหมด 7 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 - 18.00 น. ซึ่งทำการตรวจวัด ทุก ๆ 10 นาที แสดงผลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงดังรูปที่ 6 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า ค่าความเข้มแสง สูงสุดมีค่าเท่ากับ 96,067 ลักซ์ ที่เวลา 12.50 น. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4,197 ลักซ์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 43,400 ลักซ์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้กำหนดค่าอินพุตสำหรับการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ แบบสองแนวแกนและเงื่อนไขการหยุดทำงานของระบบ



รูปที่ 6 การตรวจวัดความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลา

การออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์กำหนดอินพุตของระบบ คือ LDR1, LDR2, LDR3 และ LDR4 ซึ่งทำการส่งข้อมูลแบบดิจิทัลให้แก่ AVR Microcontroller จากนั้นระบบทำการประมวลผลตามเงื่อนไขค่าความเหมาะสมดังสมการที่ (2) - (5) และส่งข้อมูลเอาต์พุตเพื่อควบคุมมอเตอร์ เพื่อให้ระบบสามารถติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ให้ค่าพลังงานสูงสุด

$$V_{up} = \frac{(V_{LDR1} + V_{LDR2})}{2} \quad (2)$$

$$V_{down} = \frac{(V_{LDR3} + V_{LDR4})}{2} \quad (3)$$

$$V_{left} = \frac{(V_{LDR1} + V_{LDR3})}{2} \quad (4)$$

$$V_{right} = \frac{(V_{LDR2} + V_{LDR4})}{2} \quad (5)$$

จากสมการที่ (2) - (5) สามารถหาผลต่างสำหรับการควบคุมมอเตอร์ 1 และมอเตอร์ 2 ได้ดังสมการที่ (6) และ (7)

$$M_1 = V_{up} - V_{down} = \left(\frac{V_{LDR1} + V_{LDR2}}{2} \right) - \left(\frac{V_{LDR3} + V_{LDR4}}{2} \right) \quad (6)$$

$$M_2 = V_{left} - V_{right} = \left(\frac{V_{LDR1} + V_{LDR3}}{2} \right) - \left(\frac{V_{LDR2} + V_{LDR4}}{2} \right) \quad (7)$$

โดยที่

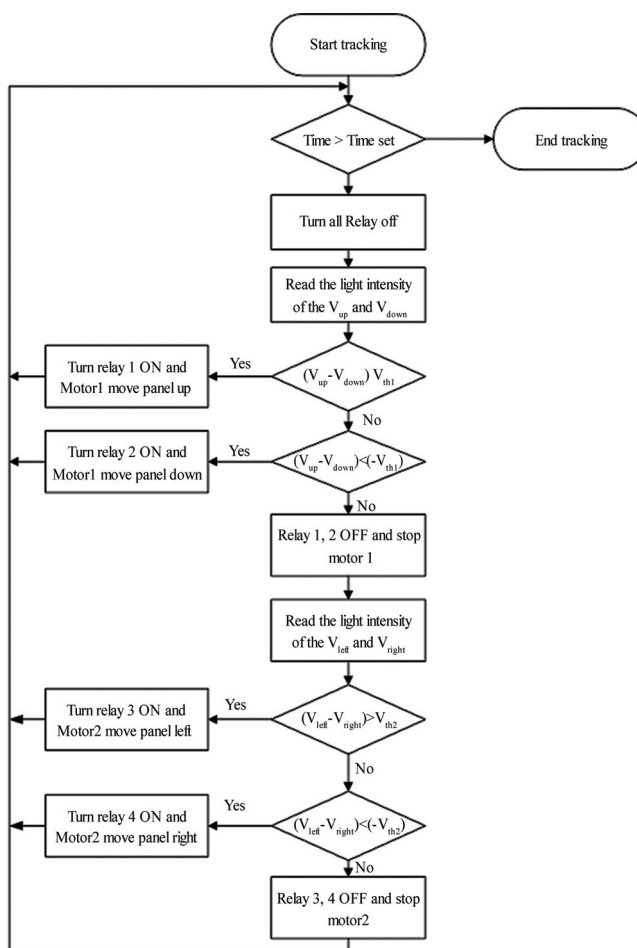
- V_{up} คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันสำหรับควบคุมมอเตอร์ 1 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
- V_{down} คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันสำหรับควบคุมมอเตอร์ 1 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- V_{left} คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันสำหรับควบคุมมอเตอร์ 2 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
- V_{right} คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันสำหรับควบคุมมอเตอร์ 2 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- V_{LDR1} คือ ค่าแรงดันของ LDR1
- V_{LDR2} คือ ค่าแรงดันของ LDR2
- V_{LDR3} คือ ค่าแรงดันของ LDR3
- V_{LDR4} คือ ค่าแรงดันของ LDR4

ผังงานระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนแสดงดังรูปที่ 7 และสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นระบบตรวจสอบเวลา โดยกำหนดเวลาที่ระบบทำงานต้องน้อยกว่าเวลา 18.00 น.
- ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าเริ่มต้นให้รีเลย์ทุกตัวอยู่ในสภาวะปิด
- ขั้นตอนที่ 3 ระบบรับค่าความเข้มแสงของ LDR_{up} และ LDR_{down} นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของ LDR_{up} และ LDR_{down} กับค่าที่กำหนด (V_{th1}) หากค่าความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด ระบบสั่งให้มอเตอร์ 1 ทำงานในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และหากมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด มอเตอร์ 1 ทำงานในทิศทางตรงข้าม และมอเตอร์ 1 หยุดการทำงานเมื่อไม่เกิดค่าความแตกต่างเกินกว่าค่าที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 ระบบรับค่าความเข้มแสงของ LDR_{left} และ LDR_{right} นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของ LDR_{left} และ LDR_{right} กับค่าที่กำหนด (V_{th2}) หากค่าความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดระบบสั่งให้มอเตอร์ 2 ทำงานในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และหากมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด มอเตอร์ 2 ทำงานในทิศทางตรงข้าม และมอเตอร์ 2 หยุดการทำงานเมื่อไม่เกิดค่าความแตกต่างเกินกว่าค่าที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 5 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำงานวนซ้ำทุกขั้นตอน และหยุดการทำงานของระบบเมื่อเวลาปัจจุบันมากกว่าค่าเวลาที่กำหนด



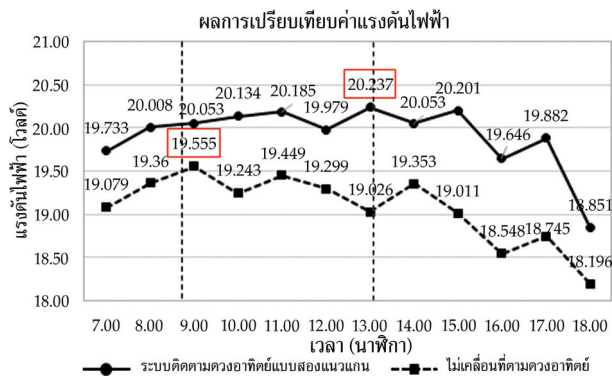
รูปที่ 7 ฟังก์ชันระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

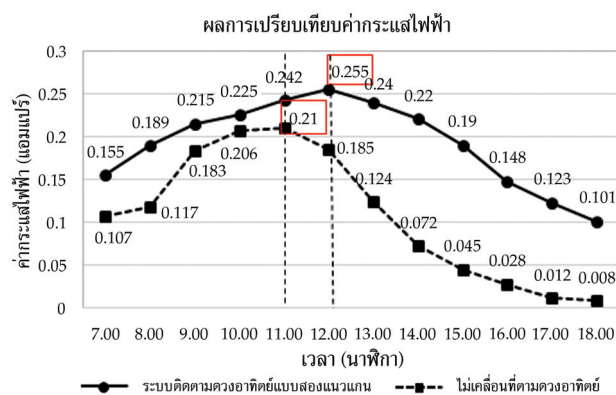
จากการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเข้มของแสงอาทิตย์แบบ 4 จุด ทำการประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 5 วัตต์ 21.5 โวลต์ แสดงโมดูลดังรูปที่ 8 โดยผลการเปรียบเทียบค่าพลังงาน ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานสะสม ตั้งแต่เวลา 07.00 - 18.00 น. ของโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดตามดวงอาทิตย์และโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนแสดงผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 โมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

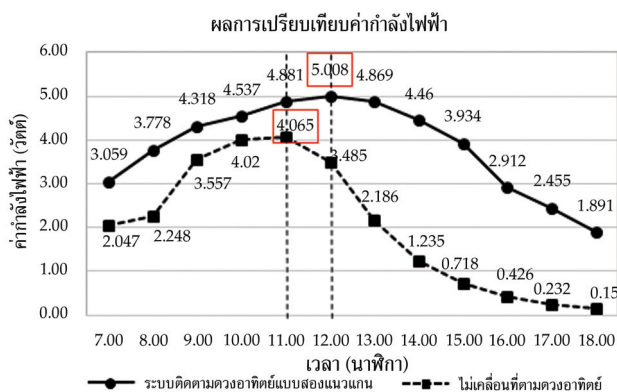


(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้า



(ข) ค่ากระแสไฟฟ้า

รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่าในแต่ละช่วงเวลาของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน



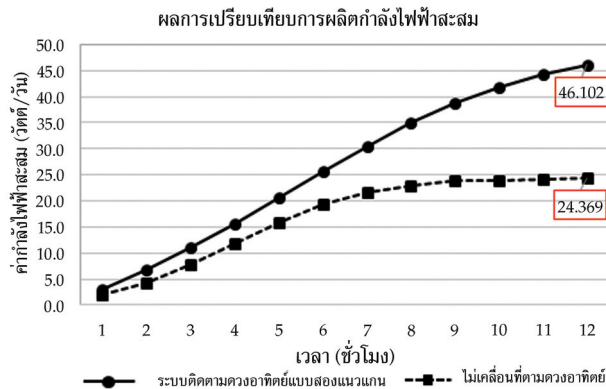
(ค) ค่ากำลังไฟฟ้า

รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่าในแต่ละช่วงเวลาของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน (ต่อ)

จากผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนดังรูปที่ 9 (ก) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 19.555 โวลต์ ที่ช่วงเวลา 09.00 น. และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนมีค่าเท่ากับ 20.237 โวลต์ ที่ช่วงเวลา 13.00 น. ผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนดังรูปที่ 9 (ข) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 0.21 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 11.00 น. และกระแสไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนมีค่าเท่ากับ 0.255 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 12.00 น. ค่ากระแสไฟฟ้าของโมดูลที่พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 - 14.00 น. กล่าวคือ มีช่วงเวลายาวนานกว่าโมดูลแบบไม่ติดตามดวงอาทิตย์ และจากผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนดังรูปที่ 9 (ค) พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 4.065 วัตต์ ที่ช่วงเวลา 11.00 น. และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนมีค่าเท่ากับ 5.008 วัตต์ ที่ช่วงเวลา 12.00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าของโมดูลที่พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 - 14.00 น. สอดคล้องกับค่าปริมาณความเข้มแสงและมีช่วงเวลายาวนานกว่าโมดูลแบบไม่ติดตามดวงอาทิตย์ เนื่องจากสามารถผลิตค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น

ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน ซึ่งประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอน ขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ แรงดันพิกัด 21.5 โวลต์ กระแส 0.29 แอมแปร์ แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานเฉลี่ยดังตารางที่ 1 ซึ่งโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน ขณะทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูงกว่า โมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนมีค่าเท่ากับ 19.889 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.193 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.850 วัตต์ และค่าแรงดัน

ไฟฟ้าเฉลี่ยของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 19.072 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.108 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.031 วัตต์ ซึ่งคิดเป็นค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.817 โวลต์ 0.085 แอมแปร์ และ 1.819 วัตต์ ตามลำดับ และคิดเป็นผลต่างจากค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 4.10 44.04 และ 47.24 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งค่าพลังงานสะสมตลอดทั้งวันซึ่งงานวิจัยนี้ทำการทดสอบ 11 ชั่วโมง พบว่าโมดูลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ถึง 21.733 วัตต์ คิดเป็นผลต่างได้ 47.14 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมของโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าระหว่างโมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ แรงดันพิกัด 21.5 โวลต์ กระแส 0.29 แอมแปร์

พารามิเตอร์ (หน่วย)	โมดูลแบบไม่เคลื่อนที่ ตามดวงอาทิตย์	โมดูลระบบติดตาม ดวงอาทิตย์ แบบสองแกน	ค่าความแตกต่าง
แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลต์)	19.072	19.889	0.817 (ผลต่าง 4.28 %)
กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (แอมแปร์)	0.108	0.193	0.085 (ผลต่าง 44.04 %)
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (วัตต์)	2.031	3.850	1.819 (ผลต่าง 47.24 %)
พลังงานไฟฟ้าสะสม (วัตต์/วัน)	24.369	46.102	21.733 (ผลต่าง 47.14 %)

สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเข้มของแสงอาทิตย์เพื่อนำไปคำนวณหาทิศทางของดวงอาทิตย์ด้วยสมการหาค่าความเหมาะสม และทำให้ระบบสามารถติดตาม

ดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่มีความเข้มแสงมากที่สุดได้อย่างแม่นยำและผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 5 วัตต์ 21.5 โวลต์ โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเดิมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกน จากผลการวิจัยพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เคลื่อนที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 19.072 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.108 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2.031 วัตต์ และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแนวแกนสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 19.889 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.193 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 3.850 วัตต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 4.28 % ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 44.04 % และค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 47.24 % เมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เคลื่อนที่ จากผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ นอกจากนั้นระบบติดตามดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อีกหลากหลาย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทางด้านวัสดุ อุปกรณ์การวิจัย พื้นที่ทำวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

References

- [1] P. Roth, A. Georgiev and H. Boudinov. (2004). Design and Construction of a System for Sun-tracking. **Renewable Energy**. Vol. 29, No. 3, pp. 393-402. DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00196-4
- [2] B. Khadidja, K. Dris, A. Boubeker and S. Noureddine. (2014). Optimisation of a Solar Tracker System for Photovoltaic Power Plants in Saharian region, Example of Ouargla. **Energy Procedia**. Vol. 50, pp. 610-618
- [3] Chow, L. S. and Abiera, M. (2013). Optimization of Solar Panel with Solar Tracking and Data Logging. **IEEE Student Conference on Research and Development (SCoReD)**. 16 -17 December 2013. Putrajaya, Malaysia. pp. 15-19. DOI: 10.1109/SCoReD.2013.7002532
- [4] C. Alexandru. (2013). Design and Optimization of a Monoaxial Tracking System for Photovoltaic Modules. **Journal of Solar Energy**. Vol. 2013, p. 6. DOI: 10.1155/2013/586302
- [5] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. (2015). **Solar Energy**. Annual Report 2015 Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Access (12 April 2018). Available (http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=774&filename=index)

- [6] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. (2014). **Solar System**. Summary of Solar Energy Systems by Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Access (12 April 2018). Available (<http://www.dede.go.th>)
- [7] Sadeque, F. and Ahsan, Md. Q. (2014). Design and Implementation of a Single-Axis Automatic Solar Tracking System. **GUB Journal of Science and Engineering**. Vol. 1, Issue 1, pp. 1-5
- [8] C. Alexandru. (2014). A Comparative Analysis Between the Tracking Solutions Implemented on a Photovoltaic String. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**. Vol. 6, Issue 5, pp. 1-17. DOI: 10.1063/1.4899078
- [9] I. Stamatescu, G. Stamatescu, N. Arghira, I. Făgărăan and S. S. Iliescu. (2014). Fuzzy Decision Support System for Solar Tracking Optimization. **12th International Conference on Development and Application Systems**. Suceava, Romania, May 15-17. pp. 16-20
- [10] J. Zhao and Z. Liand and T. Ai. (2015). Research on Optimization of Output Characteristics of Solar Power System Based on Novel Incremental Conductance Method. **8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)**. 12 May 2016. Hangzhou, China. pp. 138-142. DOI: 10.1109/ISCID.2015.230
- [11] P. Thanapat and D. Akekachai. (2007). **The Sun Tracking System Using a CPLD-based Position Sensor**. Access (12 April 2018). Available (<https://www.researchgate.net/publication/283291092>)
- [12] Somphop, P. (2015). Automation Control Solarcell. **Princess of Naradhiwats University Journal**. Vol. 7, No. 1, pp. 81-91
- [13] Korntham, S. and Apinya, B. (2013). The Development of A Low-cost Solar Tracking System for Renewable Energy Applications. **Bulletin of Applied Science**. Vol. 2, No. 2, pp. 90-99
- [14] Adafruit. (2018). **Photocells and Measuring Light**. Access (12 April 2018). Available (<https://learn.adafruit.com/photocells/measuring-light>)