

การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สำหรับกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด พรหมพัทธ์ บุญรักษา¹, ธีระพงษ์ บุญรักษา²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email: promphak.dawan@gmail.com¹, terapong.boon@rmutr.ac.th²

Received: May 5, 2021

Revised: Jul 15, 2021

Accepted: Aug 24, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสำหรับกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ขนาด 36 V กำลัง 260 W ผ่านชุดติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยผลการทดลอง สรุปได้ว่า ในสภาวะปกติของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่ไม่ได้ใช้วงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลิตรกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 49.5 W แต่เมื่อได้มีการติดตั้งวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 137.7 W จะเห็นได้ว่าเมื่อมีวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มมากกว่าถึง 88.2 W หรือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2.78 เท่า ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรที่ถูกพัฒนาทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างกัน ไม่ว่าจะเมฆของเมฆหรือไม่ก็ตาม ยังคงสามารถทำงานได้ดี

คำสำคัญ : มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน, ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์, การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

Optimization of Brushless DC Motor for Solar Water Turbine with Maximum Power Point Tracking Circuit

Promphak Boonraksa¹, Terapong Boonraksa²

¹School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

²School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Email: promphak.dawan@gmail.com¹, terapong.boon@rmutr.ac.th²

Received: May 5, 2021

Revised: Jul 15, 2021

Accepted: Aug 24, 2021

Abstract

This article explores the optimization of brushless DC motors for solar-powered water turbines. By application, an inverter circuit is a device used to track the maximum power of a solar cell. The experiment was performed on a single solar panel of 36 V with a power of 260 W through the solar power tracking and connected to a brushless DC motor. The results of the experiment concluded that in normal conditions of the water turbine, the solar cell power without the maximum power tracking circuit produced an average of 49.5 W, but when the maximum power tracking circuit was installed, the average power was 137.7 W. It can be seen that when installing the maximum power tracking circuit, the power output is 88.2 W or 2.78 times more efficient. This is achieved by tracking the maximum power using the developed circuit to achieve higher efficiency. The maximum power can also be tracked over the period during which the solar cells are able to generate electricity at different solar intensities, with or without cloud shadows, can still work well.

Keywords : BLDC motor, Solar efficiency, MPPT

บทนำ

ในปัจจุบัน น้ำถือว่ามีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ เมื่อมีการใช้น้ำในรูปแบบต่าง ๆ จึงส่งผลให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งน้ำเสีย คือ น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติ ก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ อีกส่วนหนึ่ง คือ น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) คือ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือนและอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ [1]

ระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการคิดค้นขึ้นอย่างแพร่หลาย แต่ประสิทธิภาพของระบบยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากปัญหาหลักคือการเลือกใช้อุปกรณ์กระแสตรงเป็นแหล่งต้นกำลัง ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงมีประสิทธิภาพที่ต่ำ 40-60 % [2-4]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่หรือปรับค่าได้ หรือเพื่อให้ได้ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าคงที่หรือปรับค่าได้ [5] และถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน [6-7]

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียโดยการใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่

เหมาะสมหลายอย่าง เช่น ประสิทธิภาพสูงถึง 80-95 % อายุการใช้งานยาวนาน การสูญเสียในมอเตอร์มีค่าน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง ใช้พลังงานน้อยกว่าแต่ได้กำลังที่มากกว่า ดังนั้น การเปลี่ยนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีก 10-20 % [8] และออกแบบอินเวอร์เตอร์ให้มีฟังก์ชันการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมด้วยเพื่อให้ระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูง คู่มาต่อการลงทุนและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก [9-10]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

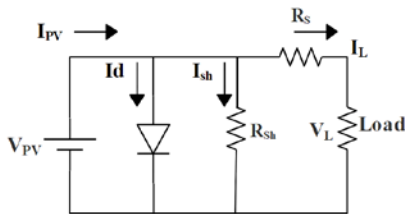
1. ออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อนำเทคนิคการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ V-Constant จากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ BLDC ที่มีประสิทธิภาพสูง บำรุงรักษาง่าย และมีอายุการใช้งานยาวนาน

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรม

1. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หากที่พลังงานที่สะสมในโฟตอนมีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนจะเกิดการเคลื่อนที่และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าสู่วงจรภายนอก รูปที่ 1 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [11] วงจรสมมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดย R_s คือ

ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ R_{Sh} คือ ความต้านทานขนาน



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

สามารถหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (1)

$$I_{pv} = I_L - I_d [\exp(\frac{V_{pv}}{V_T}) - 1] \quad (1)$$

และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (2)

$$V_{pv} = V_T \ln[\frac{I_L - I_{pv}}{I_d} + 1] \quad (2)$$

ตัวแปรต่าง ๆ ในสมการสำหรับคำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้ [12]

I_{pv} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสง (แอมป์)

I_d คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)

I_L คือ กระแสเอาต์พุต (แอมป์)

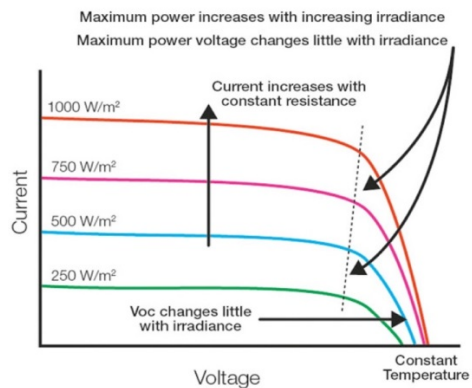
V_{pv} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)

V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$

K_B คือ ค่าคงที่ของโบลท์มาน

สามารถจำลองคุณสมบัติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้โดยมีระดับแสงแดดและอุณหภูมิของ

แผงเซลล์ที่แตกต่างกันเพื่อสร้างเส้นโค้งลักษณะ I-V และ P-V ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 คุณลักษณะกระแสและแรงดันของระบบ PV ที่ความเข้มแสงในระดับต่าง ๆ [12]

ในส่วนของโหลด (Load) ที่ใช้กับแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ อาจเป็นโหลดแบบไดนามิกหรือแบบคงที่ก็ได้ โหลดแบบไดนามิกนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปในทุกช่วงการทำงาน ในขณะที่โหลดแบบคงที่มีลักษณะคงที่ตลอดช่วงการทำงาน และโหลดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นโหลดตัวต้านทานซึ่งมีลักษณะคงที่และเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงการทำงาน หากเส้นโหลดตัดกับเส้นโค้งของกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงว่าโหลดกับแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมกัน 100% แต่ด้วยตัวแปรบางอย่างการควบคุมได้ เช่นปริมาณความเข้มแสง (Solar Irradiant) หรืออุณหภูมิแผงเซลล์ (Temperature Module) การใช้งานโหลดที่ไม่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะออกแบบให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดในทุกสภาวะการทำงาน [12]

2. มอเตอร์ไฟฟ้า

การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก

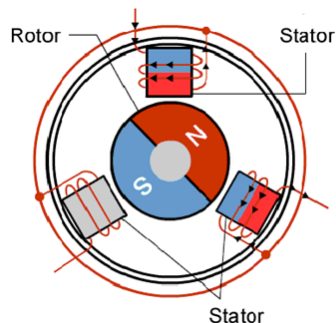
กระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์ชนิดลาก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บ่ม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจจะพบในนาฬิกาไฟฟ้า [13] มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสุบจัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่น ๆ

อุปกรณ์เช่นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะเรียกว่า Actuator และ Transducer ตามลำดับ คำว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้น ต้องใช้สร้างแรงเชิงเส้น (Linear force) หรือแรงบิด (Torque) หรือเรียกอีกอย่างว่า หมุน (Rotary) เท่านั้น [5], [14]

2.1 มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน Brushless DC electric motor (BLDC)

บางส่วนของปัญหาของมอเตอร์กระแสตรง ที่ใช้แปรงจะถูกตัดทิ้งไปในมอเตอร์แบบ BLDC ซึ่งแทนที่สวิตช์หมุน หรือตัวสลับเปลี่ยนแบบกลไก ไปเป็นแบบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกที่จะ Synchronise กับตำแหน่งของโรเตอร์ มอเตอร์แบบ BLDC มักจะมีประสิทธิภาพประมาณ 85-90% และสูงได้ถึง 96.5%

ในขณะที่มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้แปรงถ่าน มักจะมีประสิทธิภาพเพียง 75-80% เท่านั้น [15] ส่วนประกอบหลัก ๆ ของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทำงานของมอเตอร์ BLDC [15]

3. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องผกผัน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่หรือปรับค่าได้ หรือเพื่อให้ได้ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าคงที่หรือปรับค่าได้ โดยใช้หลักการปรับค่าแรงดันไฟตรงด้านอินพุต หรือใช้หลักการควบคุมเทคนิคการสวิตช์ภายในตัวอินเวอร์เตอร์ เช่น ใช้เทคนิคแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) เป็นต้น [5] โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาการเชื่อมโยงด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ จึงแบ่งออกได้ 3 รูปแบบคือ

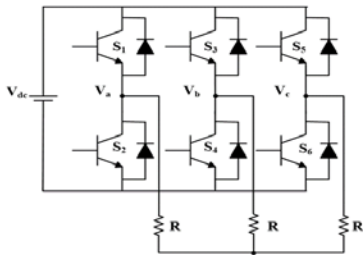
1) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนด้วยแรงดัน คือ Voltage – Fed Inverter : VFI หรือ Voltage Source Inverter: VSI

2) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนด้วยกระแส คือ Current – Fed Inverter : CFI หรือ Current Source Inverter : CSI

3) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ คือ Variable DC Linked Inverter

3.1 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบขับเคลื่อน

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ประกอบไปด้วยสวิทช์ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 6 ตัว คือ สวิทช์ S_1 และ S_4 ต่ออยู่กับเอาต์พุตเฟสที่ 1 (L_1) สวิทช์ S_3 และ S_6 ต่อกับเอาต์พุตของเฟสที่ 2 (L_2) และสวิทช์ S_5 และ S_2 ต่อกับเอาต์พุตเฟสที่ 3 (L_3) โหลดทางไฟฟ้าชนิด 3 เฟส จะต่อด้านเอาต์พุตที่ขั้ว L_1 , L_2 และ L_3 ดังแสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ต่อโหลดแบบสตาร์

การใช้ประโยชน์ของสวิทช์ในอินเวอร์เตอร์สามเฟส จะคล้ายกับในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว สมมติว่า

$$SUR = \frac{(VA)_{3-phase}}{qV_T V_T} = \frac{\sqrt{3}V_{LL1} I_{o,max}}{6V_T I_T} \quad (6)$$

$$SUR = \frac{\sqrt{3}V_{LL1} I_{o,max}}{6V_{o,max} \sqrt{2} I_{o,max}} = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{V_{LL1}}{V_{d,max}} \quad (7)$$

สำหรับการสวิทช์ซึ่งแบบพีดับเบิ้ลยูเอ็มที่ทำงานในย่านมอดูเลชั่นเชิงเส้น

$$MSUR = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{V_{LL1}}{V_{d,max}} = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{8} \cdot m_a = 0.125 m_a \quad \clubsuit(9)$$

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดของอินเวอร์เตอร์สามเฟส ของการสวิทช์แบบพีดับเบิ้ลยูเอ็ม จะเท่ากับ 0.125 ที่ $1 a = m$ แต่จะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่ง

กระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่มีกระแส $I_{o,max}$ ที่โหลดสูงสุด ซึ่งสวิทช์แต่ละตัวจะมีพิกัดสูงสุดดังนี้

$$V_T = V_{d,max} \quad (3)$$

$$I_T = \sqrt{2} I_{o,max} \quad (4)$$

โดยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏด้านออกของอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ

$$(VA)_{3-phase} = \sqrt{3} V_{LL1} I_{o,max} \quad (5)$$

ในอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะมีสวิทช์กับไอโอดอย่างน้อย 6 ตัว อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์หาได้จากค่ารากของกำลังเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อพิกัดของสวิทช์ซึ่งอยู่ในรูปผลคูณแรงดันไฟฟ้ายอดและกระแสไฟฟ้ายอด

จะคล้ายกับในค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว [5, 16]

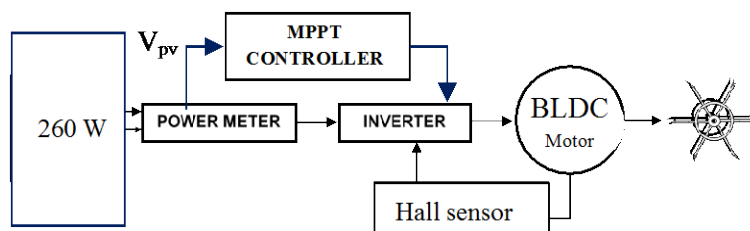
4. วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A Fixed Percentage of the Opencircuit Voltage)

วิธีนี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจรโดยกำหนดให้แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมีค่าประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันขณะเปิดวงจรแต่เนื่องจากแรงดันขณะเปิดวงจรไม่คงที่ในแต่ละเวลาดังนั้นการทำงานของวิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยตัดโหลดออกเพื่อวัดขนาดแรงดันขณะ

เปิดวงจรเพื่อนำไปหาแรงดันที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด [17]

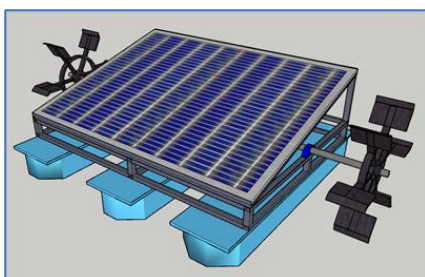
ระเบียบวิธีวิจัย

1. การออกแบบระบบกังหันน้ำพลังแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบกังหันน้ำพลังแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบภาพรวมของชุดกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

เริ่มตั้งแต่ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดมอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ โครงติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพลา ใบพัด และ ท่อนลอย รูปที่ 6 แสดงชุดกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม SketchUp



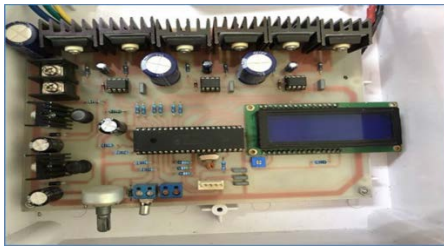
รูปที่ 6 ชุดกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม SketchUp

ขั้นตอนการทำงานของระบบกังหันน้ำพลังแสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยแบ่งรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด ผลึกเดี่ยว โดยมีขนาดพิกัดกำลังสูงสุด 260 W จำนวน 1

แผง แรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 36 V และ กระแสสูงสุดไม่เกิน 8 A มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 36 V 500 W และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับมอเตอร์นี้

2. การออกแบบชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การออกแบบสร้างชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน จะเป็นการนำวงจรต่างๆ มาประกอบ รวมเข้าด้วยกัน จะประกอบไปด้วยวงจรต่าง ๆ เช่น วงจรกำลัง วงจรไฟเลี้ยง วงจรควบคุมการทำงาน วงจรตรวจจับสัญญาณ วงจรเก็บผลและแสดงผล เป็นต้น [5] แต่ละวงจรจะมีหน้าที่และการทำงานที่แตกต่างกัน เมื่อนำวงจรแต่ละวงจรมาประกอบเข้าด้วยกัน จะทำให้ชุดควบคุมนี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้นเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่จะส่งกำลังไปที่ใบพัดเพื่อใช้ในการตักน้ำให้เกิดการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ BLDC

3. ขั้นตอนการทำงานการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์

ในขั้นตอนการทำงานการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์มี 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง กำหนดค่าต่าง ๆ ของ Controller

RB0 รับค่า V_{sensor}

RB1 รับค่า Forward/Reward

RD1 รับค่าจาก Hall sensor เพื่อคำนวณ

สัญญาณ RPM

RB3 รับค่า Hall sensor A

RB4 รับค่า Hall sensor B

RB5 รับค่า Hall sensor C

RB7 รับค่า Voltage Sensor

ขั้นตอนที่สอง เมื่อ RB1 รับสัญญาณ Start จะทำให้ RB0 ทำการรับค่า V_{ref} และ RB7 รับค่า V_{sensor} แล้วทำการเปรียบเทียบ V_{ref} กับ V_{sensor}

ขั้นตอนที่สาม

ถ้า V_{ref} เท่ากับ V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเท่าเดิม และทำการสั่งให้ตัววงจรทำงาน

ถ้า V_{ref} มากกว่า V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเป็นลบ และสั่งให้ตัววงจรทำงานในโหมดบัก

ถ้า V_{ref} น้อยกว่า V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเป็นบวก และทำการสั่งให้ตัววงจรทำงานในโหมดบูท

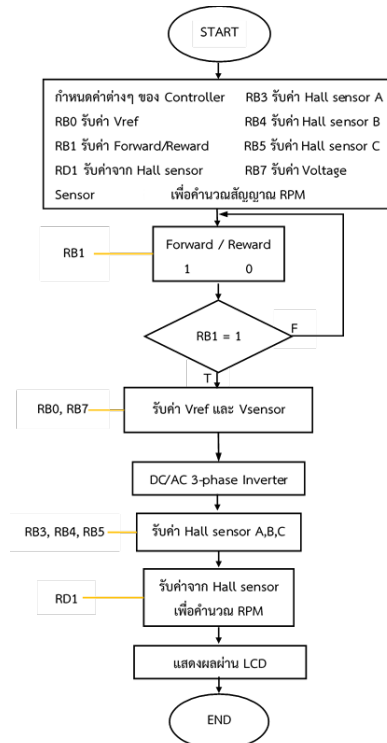
ขั้นตอนที่สี่ วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสทำงาน และ RD1 รับค่าจาก Hall sensor เพื่อคำนวณค่า RPM

ขั้นตอนที่ห้า แสดงค่า V_{in} , V_{ref} , %Duty Cycle และ RPM ผ่านจอแสดงผล LCD

ขั้นตอนที่หก

จบการทำงาน

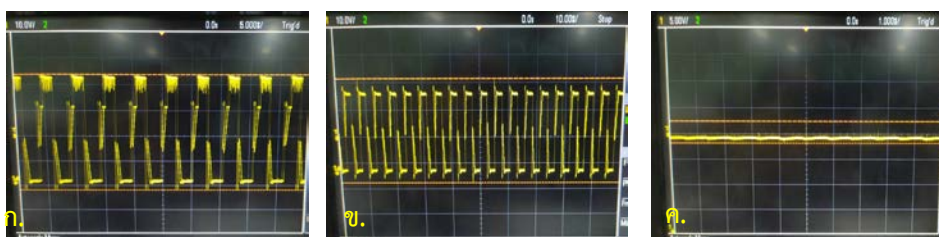
แผนภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ BLDC แสดงดังรูปที่ 8



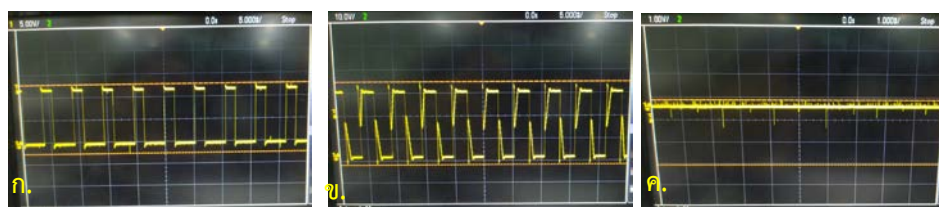
รูปที่ 8 แผนภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ BLDC

4.สัญญาณที่ออกจากตัวมอสเฟสด้าน High และ Low ของวงจรอินเวอร์เตอร์

เมื่อทำการสร้างวงจรของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีฟังก์ชันการติดตามกำลังไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ออกจากตัวมอสเฟสด้าน High ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ได้สัญญาณไฟฟ้าที่แสดงดังรูปที่ 9 และสัญญาณมอสเฟสด้าน Low ของวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงดัง รูปที่ 10



รูปที่ 9 ก. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาเกต เมื่อเทียบกับกราวด์ ข. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาซอส เมื่อเทียบกับกราวด์ ค. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาเดรน เมื่อเทียบกับกราวด์



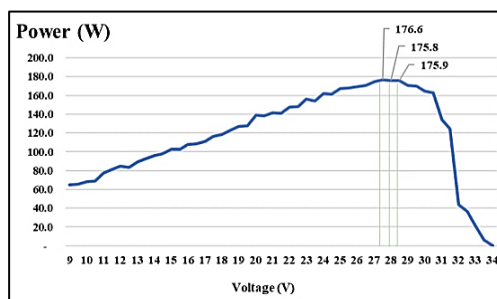
รูปที่ 10 ก. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาเกต เมื่อเทียบกับกราวด์ ข. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาซอส เมื่อเทียบกับกราวด์ ค. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาเดรน เมื่อเทียบกับกราวด์

ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

1. การหาช่วงกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิควิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A Fixed Percentage of the Open-circuit Voltage) โดยการทดลองขั้นตอนแรกเป็นการหาค่าแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) สูงสุด ผลการทดลองวัดค่าจากการปรับ V_{ref} ที่ค่าต่าง ๆ แสดงผลผ่านวัตต์มิเตอร์และจอ LCD จากวงจรควบคุมมอเตอร์ BLDC ที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อทำการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยมีมอเตอร์เป็นโหลด (ภายในวันที่ 14 ก.พ. 2564) แสดงดังรูปที่ 11



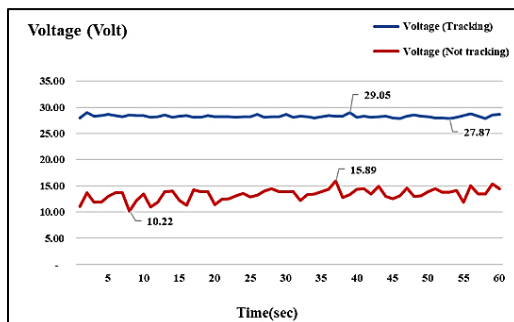
รูปที่ 11 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบแรงดันตามการปรับ V_{ref} ณ ช่วงเวลา 13:00 น. (ภายในวันที่ 14 ก.พ. 2564)

จากแผนภูมิเชิงเส้นนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อทำการปรับค่า V_{ref} ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมากที่สุดในช่วงระดับแรงดันประมาณ 27-28 V ตามสภาพอากาศและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อได้ค่า V_{ref} ที่ทำให้ในช่วงการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนั้น จะทำการวัดค่าเก็บผลโดยใช้ช่วง V_{ref} ที่ 28 V เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าที่ได้กับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

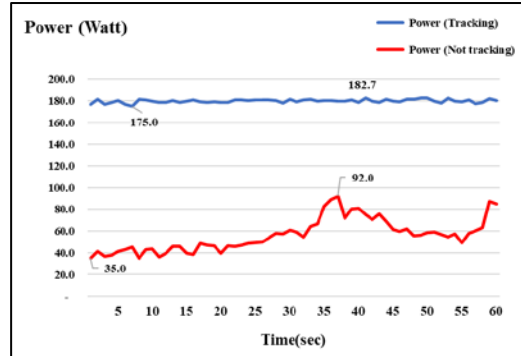
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแรงดันขาเข้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการเพิ่มการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด และไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บผลค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากทั้ง 2 กรณี โดย กรณีที่ไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ผู้วิจัยจะทำการ drive มอเตอร์ โดยใส่เพียงแค่ code ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เท่านั้นไม่มีฟังก์ชันการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด และกรณีที่ 2 เป็นการเพิ่มการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือมีการนำเอาฟังก์ชัน V-Constant ในระบบกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์



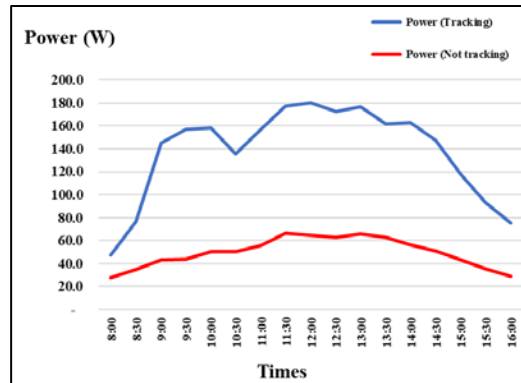
รูปที่ 12 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นระดับแรงดันจากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้า เมื่อทำการปรับ V_{ref} ไปที่ 28 V ค่าแรงดันขาเข้าจะนิ่งกว่าวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เสถียรมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 13 นั้นเอง



รูปที่ 13 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จากผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการติดตามและไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ทำการทดสอบเวลา 8:00-16:00 น. จากสภาพอากาศจริงนั้น ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าในเวลา 1 วัน

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการตั้งติตวงจรถิตตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ จะเพิ่มขึ้น และได้ RPM ที่สูงกว่าวงจรที่ไม่ได้ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้มอเตอร์ BLDC ที่ใช้สำหรับระบบกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งวงจรติดตาม

กำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วนั้น มีประสิทธิภาพในการดึงกำลังไฟฟ้ามาใช้งานเพิ่มสูงขึ้น

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเลือกใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดลองต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ขนาด 36 V กำลัง 260 W ผ่านชุดติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยผลการทดลอง สรุปได้ว่า ในสภาวะปกติของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่ไม่ได้ใช้วงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 49.5 W แต่เมื่อได้มีการติดตั้งวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 137.7 W จะเห็นได้ว่าเมื่อมีวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าถึง 88.2 W หรือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2.78 เท่า ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรที่ถูกพัฒนาทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเงาของเมฆหรือไม่มีก็ตาม ยังคงสามารถทำงานได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยสนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] Ministry of Energy. (2015). Renewable and alternative energy. Renewable and Alternative Energy Development Plan 2015 - 2036, 2015 (Vol.1), Page 1.
- [2] Serm Janjai. (2017). *Solar Radiation*. (2). Nakhon Pathom: Petchkasem Printing Group Company Limited.
- [3] Promphak Boonraksa. (2019). The Power Output Forecasting on Photovoltaic Systems using the Particle Swarm Optimization - Artificial Neural Network Method. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018). *Thailand Alternative Energy Situation 2018*. Vol. 16 (No.16), Page 27. Bangkok: Ministry of Energy.
- [5] Weerachet khunngern and Wuttipol Tarateraset. (2014). *Power Electronics* (3). Bangkok: v-j-printing-limited-partnership.
- [6] Teywin Nilsakorn. (2014). Improving drive system efficiency for brushless DC electric motors. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

- [7] Taywin nilsakron. Promphak Dawan. (2016). A Study of the Effect of BLDC Motor Operation and ASD Adjusted by Various Position of Hall Effect Sensors. *Wichcha journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, Vol. 35 (No.), pp. 79 – 91.
- [8] Promphak Boonraksa, and Terapong Boonraksa, “Comparison of Performance Cuk, SEPIC converters and PSO Algorithm for MPPT on Solar Panel,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 76-85.
- [9] Promphak Boonraksa, Tanakorn Thongpan, Monthicha Datraweeroj Sutanee Aimarom and Terapong Boonraksa, “A Study of Cuk Converter for Maximum Power Point Tracker on 80 W Mono-Crystalline Solar Panel,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 86-96.
- [10] Maximum power point tracking. (2017). Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems, 35–87. <https://doi.org/10.1201/b14303-2>
- [11] Promphak Boonraksa, Channarong Salakham, Satawat Phumpakwan, “Performance of Maximum Power Point Tracking Using SEPIC Converter,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 97-108.
- [12] Dawan, P., Worransuttikul, K., Kittisontirak, S., Sriprapha, K., and Titiroongruang, W. (2018). Performance of the Temperature Model in Forecasting the Power Output of Photovoltaic Systems. *International Electrical Engineering Congress*, Vol 1, pp. 209- 211.
- [13] Yousry Atia, (2014). Photovoltaic maximum power point tracking using sepic converter. *ERJ. Engineering Research Journal*, Vol 32(4), pp. 437-445. doi:10.21608/erjm.2009.69528
- [14] Tawin Nilsakhon. (2014). Efficiency improvement on brushless DC motor drive systems. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut’s institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [15] Yi-Hwa Liu, Shyh-Ching Huang, Jia-Wei Huang and Wen-Cheng Liang.(2012). A Particle Swarm Optimization-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 27, Issue: 4.

- [16] Poom Konghuayrob. (2013). A study on multiple step size incremental conductance technique and fuzzy logic control for MPPT in flyback PV inverter. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [17] Kritapas Phinsantia. (2014). Design Technique of brushless DC motor control with Sensorless Back EMF Zero Crossing Detection. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.