

การวิเคราะห์และพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ MPPT คอนเวอร์เตอร์

PV System Analysis and Development Using MPPT Converter

สุรัชย์ นิภาวรรณ , อภิชาติ อเนกพิชัยสิทธิ์ , เอกพร ทองรักษา และ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล*
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 02-3271199,02-7373000 ต่อ 3518 โทรสาร 02-3267333,02-0267324, Email: kpsiriwa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV system) ด้วยการใช้วงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (dc) ที่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด ด้วยเทคนิคการรักษาระดับแรงดันขาออกของระบบ PV system ให้อยู่ในย่านแรงดันที่สามารถแปลงพลังงานได้ใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ โดยประยุกต์ใช้เทคนิควิธีไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับโปรแกรมสั่งการที่มีอัลกอริทึมการประมวลผลแบบเหมาะสม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์แทนเทคนิควิธีเดิมที่ใช้ไอซีแบบธรรมดา ซึ่งจะช่วยลดการแกว่งของสัญญาณให้น้อยลง ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นและสามารถปรับดีไซด์ไซเคิลของสัญญาณควบคุมให้มีความละเอียดได้ ซึ่งเป็นผลดีต่อการควบคุมการทำงานของระบบและยังสามารถปรับแก้เงื่อนไขการควบคุมระบบได้สะดวกขึ้น นอกจากนี้ยังได้พัฒนาประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์ด้วยการประยุกต์ใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีแกนแม่เหล็กแบบพาวเวอร์เทอรอยด์ทำให้สามารถลดความสูญเสียในวงจรแม่เหล็กและในขดลวดตัวเหนี่ยวนำให้น้อยลง ช่วยให้อายุการใช้งานของคอนเวอร์เตอร์มีศักยภาพดียิ่งขึ้น สามารถดึงพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดสอบพบว่าระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, จุดดึงกำลังงานสูงสุด, เซลล์สุริยะ, คอนเวอร์เตอร์

Keywords : PV System, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Solar Cell, Converter

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มาใช้งานในรูปแบบต่างๆกันอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มที่จะมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคตอันใกล้เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีสารตกค้างที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมและที่สำคัญคือเป็นแหล่งพลังงานอันมหาศาลที่ได้เปล่าและมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ

ประเทศไทยเราจัดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมจุดหนึ่งในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อการพัฒนาชนบทที่ห่างไกล ซึ่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายเข้าไปถึงได้ โดยในช่วงปี พ.ศ. 2547-2548 การไฟฟ้ามีโครงการจัดตั้ง

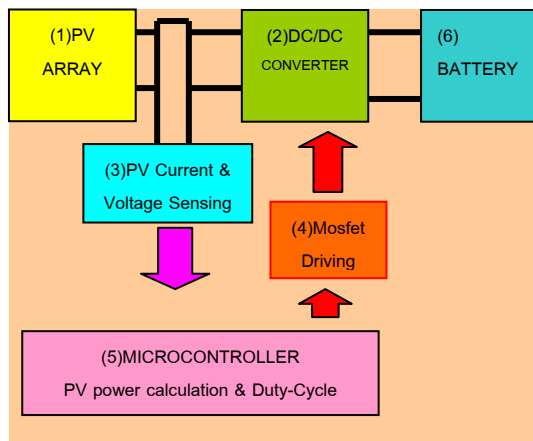
ระบบพีวี ที่เหมาะสมกับบ้านเรือนชนบทที่ห่างไกลในวงเงินงบประมาณ 3,700 ล้านบาท วัตถุประสงค์เพื่อให้แต่ละหลังคาเรือนมีไฟฟ้าใช้บ้านละ 2 ดวงและสามารถเข้าถึงระบบสารสนเทศได้ เช่น สามารถใช้โทรศัพท์ตามนโยบายของรัฐบาล

ในด้านเทคนิคการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานเป็นระบบพลังงานไฟฟ้า เพื่อกำเนิดไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้โหลดภาระหรืออัดประจุให้กับแบตเตอรี่ นั้นผู้ออกแบบและผู้ใช้งานจำเป็นต้องเข้าใจในข้อจำกัดของการเป็นแหล่งกำเนิดแบบ Current-Voltage Source คือแหล่งจ่ายที่มีค่ากระแสหรือแรงดันคงที่ตาม

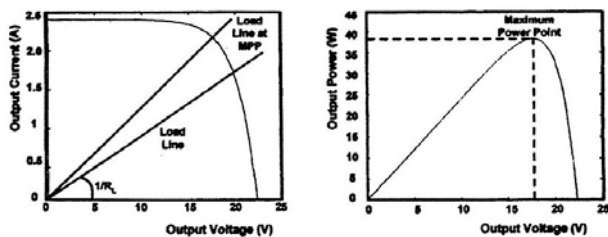
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันของรอยต่อ P-N ใน โซลาร์ ดังนั้นหากหาจุดที่เหมาะสมที่ต้องควบคุมกระแส และแรงดันให้ทำงานในพิกัด ที่ให้ผลคูณของกระแสและ แรงดันมีค่ามากที่สุด หรือเข้าใกล้จุด P max โดยชุด MPPT Converter ก็จะทำให้การแปลงพลังงาน แสงเป็น พลังงานไฟฟ้าได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบ โดยรวมที่ดีขึ้น คุ่มค่าในการลงทุนมากขึ้น

2. ทฤษฎีและหลักการ

ชุดดึงกำลังงานสูงสุด MPPT จะทำการเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุดแรงดันจ่ายโหลดคงที่ มาเป็นจุดจ่ายกำลัง สูงสุด โดยอาศัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ และการป้อนกลับ ค่า กระแสและแรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำไปประมวลผล ในการสร้าง สัญญาณควบคุมคอน เวอร์เตอร์ ให้มี Duty Cycle ที่สามารถรักษาระดับ แรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้จ่าย กำลังไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานของชุด MPPT Converter



รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์ แสงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. การออกแบบ

3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

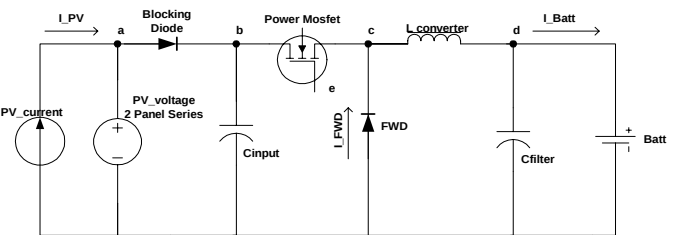
ออกแบบพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่

ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	110	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	34	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	3.23	แอมป์

3.2 วงจรDC/DC Converter

ใช้วงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง บัคคอน เวอร์เตอร์ (Buck Converter) แสดงดังวงจรในรูปที่ 3 ทำ หน้าที่ในการ

- รักษาระดับแรงดันเอาต์พุต ของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ให้อยู่ในย่านแรงดันที่สามารถแปลงพลังงาน ได้ใกล้เคียงกับจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ปรับระดับแรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เหมาะสมกับโหลด



รูปที่ 3 วงจรรักษากำลังสูงสุด MPPT Converter โดยใช้ หลักการของบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบบัคคอนเวอร์เตอร์ ดังสมการ

$$L \geq \frac{V_{om}(1-D_{cm})}{f_s |\Delta I_{Lm}|} \quad (1)$$

$$C_{filter} \geq \frac{D_{cm} I_{om}}{r_{fs} V_{om}} \quad (2)$$

$$C_{in} \geq \frac{(1-D_{cm}) I_{om} D_{cm}}{0.02 I_{pvm} R_{pvm} f_s} \quad (3)$$

$$R_{pvm} = \frac{V_{inm}}{I_{pvm}} \quad (4)$$

$$f_s = \frac{1}{T_s} : \text{switching frequency}$$
 ΔI_{Lm} : peak-to-peak ripple of the inductor current

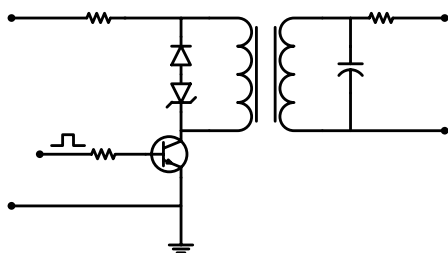
I_{om} : dc component of the output current at maximum output power

3.3 ชุดตรวจจับกระแสน้ำและแรงดัน

The diagram shows a Wheatstone bridge circuit. It consists of four resistors arranged in a diamond shape. The top-left resistor is labeled R_1 , the top-right resistor is labeled R_2 , the bottom-left resistor is labeled R_3 , and the bottom-right resistor is labeled R_4 . A variable resistor, represented by a rectangle with a diagonal arrow, is connected in parallel with R_4 . The bridge is powered by a DC voltage source V connected across the top and bottom nodes. The output voltage V_o is measured across the load resistor R_4 .

รูปที่ 4 วงจรชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน

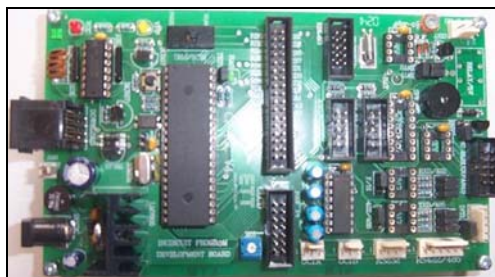
ใช้เป็นแบบ Pulse Transformer ซึ่งจะรับ สัญญาณขับเคลื่อนที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวแยกการรบกวนของภาคควบคุมและวงจรกำลัง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรของชุดขับมอเตอร์เฟต

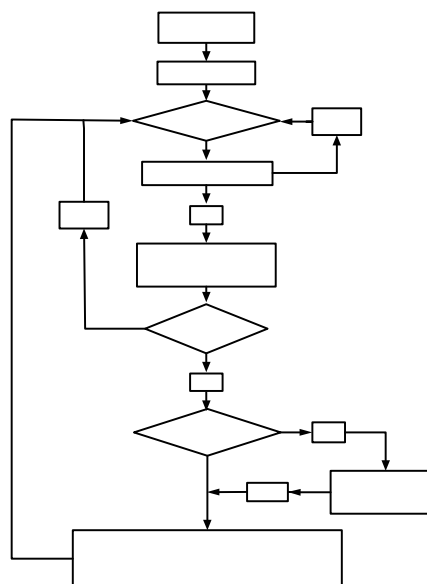
ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V4.0 ดังรูป
ที่ 6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 18F458
ในการประมวลผลและสร้างสัญญาณควบคุมคอนเวอร์เตอร์
พอร์ตที่ถูกนำมาใช้งานในโครงงานนี้มีดังนี้

- ADC/IO(CPU) พอร์ตที่ใช้สำหรับต่ออินพุตอนาลอก รับสัญญาณจากชุดเซ็นเซอร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล
- CLCD พอร์ตสำหรับต่อ จอ LCD เพื่อ แสดงผล
- KBI/IO พอร์ตสำหรับต่อ Keyboard สั่งการทำงาน
- PWM ส่งสัญญาณที่สร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปขับมอเตอร์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 6 ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V4.0

โดยมี Flow Chart การทำงานของโปรแกรมควบคุมดัง
รูปที่ 7



รูปที่ 7 flow chart การทำงานของโปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมเขียนด้วย ภาษา Pic Basic Pro. ที่มีอัลกอริทึมของการประมวลที่เหมาะสม ส่งผลให้ประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น

3.6 แบตเตอรี่

ออกแบบพิกัดของแบตเตอรี่ที่ 12 โวลต์ 70 Ah

4. การทดสอบและประเมินผล

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ คือ

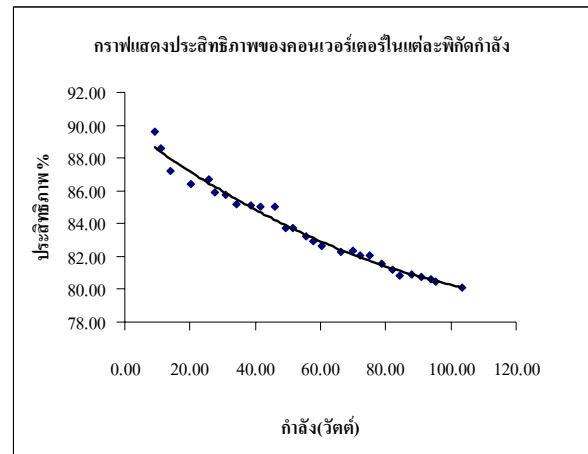
- ทำการคงที่ค่า Duty Cycle ของสัญญาณควบคุมคอนเวอร์เตอร์ไว้
 - กำลังที่ใช้ทดสอบ อยู่ในช่วง 10 ถึง 110 วัตต์ ที่กระแส 0.5-4 แอมป์ แรงดัน 20-30 โวลต์ ตามพิกัดของคอนเวอร์เตอร์ และ พิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้
 - ใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์เป็นโหลดของคอนเวอร์เตอร์
 - วัดกำลังไฟฟ้าต้านอินพุตและเอาท์พุต เพื่อนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ
- แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพคอนเวอร์เตอร์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์

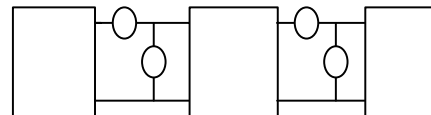
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่พิกัดกำลังต่างๆแสดงดังกราฟในรูปที่ 9



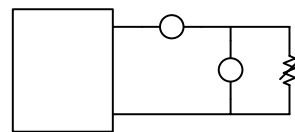
รูปที่ 9 กราฟแสดงประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่พิกัดกำลังต่างๆ

4.2 การทดสอบการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของ MPPT Converter

ทำการทดสอบเปรียบเทียบ กำลังไฟฟ้าที่ชุด MPPT Converter ดึงได้ แสดงดังรูปที่ 10 กับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้แสดงดังรูปที่ 11 ณ เวลา และสภาพแวดล้อมเดียวกัน



รูปที่ 10 วงจรทดสอบหากำลังไฟฟ้าที่ MPPT Converter ดึงได้



รูปที่ 11 วงจรทดสอบหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้

โดยมีเงื่อนไขการทดสอบคือ

- จัดมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมือนกันเพื่อให้การทดสอบมีความเท่าเทียมกันในด้านปริมาณรังสีที่ได้รับ

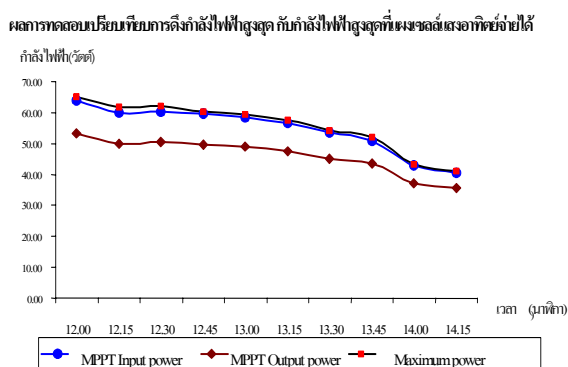
- ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันใช้ เครื่องมือวัดที่เหมือนกัน โดยก่อนทำการทดสอบ แบตเตอรี่จะถูกปล่อยประจุออกจนหมด



รูปที่ 12 การทดสอบการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ผลการทดสอบการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ MPPT Converter

ผลการทดสอบเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ MPPT Converter ดึงได้ กับ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้แสดงดังกราฟรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ MPPT Converter ดึงได้กับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้

จากกราฟจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตของชุดดึงกำลังงานสูงสุดที่รับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายได้ ณ เวลานั้นๆ เล็กน้อย แสดงให้

เห็นว่าชุด MPPT Converter สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ และค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของชุดดึงกำลังงานสูงสุดมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายได้ ณ เวลานั้นๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียในวงจรดึงกำลังสูงสุด

5. สรุปผลการดำเนินงาน

ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ ณ พิกัดกำลังที่ใกล้เคียงกับระบบที่ทำงานจริง 20 – 80 วัตต์ นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 80- 87 %

คอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยภายใต้พิกัดกำลังเอาต์พุตสูงสุด 100W ทำให้น่าเชื่อว่าจะทำงานได้ปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานจริงที่พิกัดกำลังเอาต์พุตสูงสุด

ชุด MPPT Converter สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพโดยรวมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากเกิดความสูญเสียในวงจรดึงกำลังสูงสุด ประกอบกับโหลดภาระเป็นแบตเตอรี่ เมื่อมีการประจุพลังงานเข้าไปจะทำให้ค่าความต้านทานภายในเปลี่ยนไป มีผลต่อการดึงกระแส คือ ไม่ว่าจะให้ระดับแรงดันมากกว่าพิกัดของแบตเตอรี่ก็ตาม การดึงกระแสก็จะขึ้นกับว่าแบตเตอรี่มีพลังงานสะสมอยู่มากน้อยเพียงใด ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดึงกำลังงานสูงสุดลดลง

การทำโครงการนี้ส่งเสริมให้เกิดการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคของระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เกิดความร่วมมือกันระหว่างสถาบันการศึกษา กับภาคอุตสาหกรรมในการนำความรู้จากประสบการณ์งานวิจัย ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ และทำให้นักศึกษามีความรู้ความสามารถตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม ในโครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปี 2546 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานและจัดสร้างชิ้นงาน ขอขอบคุณ บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด ที่ให้คำแนะนำ และเปิดโอกาสให้เข้าใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ และสุดท้ายขอขอบพระคุณ รศ.ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำที่ดีตลอดมา จนสามารถทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

Chihchiang Hua; "Chihning Shen Control of DC/DC converters for solar energy system with maximum power tracking" ,IECON 97 23rd International Conference

S. Suriyakanont, S. Potivejkul Department of Electrical Engineering, KMITL "Comparison of Maximum Power Transfer between Sunlight Solar Tracking and MPPT Converter" IPEC'2001, Nanyang University, Singapore, 15-17 May 2001

Sansak Deon, Siriwat Potivejkul, "Optimum PV panels setting analysis using numerical method technique" ,Department of Electrical Engineering, KMITL, Electrical Engineering Conference 2543, Agriculture University

สุรัชย์ นิภาวรรณ, อภิชาติ อเนกพิชญสิทธิ์ และ เอกพร ทองรักษา, "การวิเคราะห์และพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ MPPT คอนเวอร์เตอร์", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2546