

เครื่องมือวัดและบันทึกค่าเพื่อวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอาduino ไมโครคอนโทรลเลอร์

THE EXPERIMENTAL DATA LOGGER FOR SOLAR MODULE ANALYSIS WITH ARDUINO MICROCONTROLLER

เอกรัตน์ นภกานต์¹ บุญยัง ปลั่งกลาง²

¹สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

²สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

Akeratana Noppakant¹ Boonyang Plangklang²

¹Electrical Engineering Thonburi University

²Electrical Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: eg1322@gmail.com

Received: May 5, 2019

Revised: June 25, 2019

Accepted: June 28, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างชุดทดลองเครื่องมือวัดและบันทึกค่าสำหรับใช้วิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยอาduinoไมโครคอนโทรลเลอร์และรับส่งข้อมูลไร้สายผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ต IoT เพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งช่วยบันทึกค่าประสิทธิภาพจากการผลิตพลังงาน การออกแบบชุดทดลองเครื่องมือวัดและบันทึกค่า ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-WROOM-32 มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สาย โดยรับค่าจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความสว่างของแสง นำมาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูลนับเวลา และโมดูลบันทึกค่าแบบ Micro SD Card การทดสอบวัดประสิทธิภาพการทำงานและทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์แต่ละตัว พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.87 เปอร์เซ็นต์ ค่ากระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 4.96 เปอร์เซ็นต์ ค่าอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.05 เปอร์เซ็นต์ และค่าความสว่างมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.73 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์

Abstract

The research aims to design and build up the instrument and data logger for analyze a solar energy by using Arduino microcontroller and IOT internet technology to collect parameter data from solar cell panel which is record a performance data and from solar cell panel generated. The principle of this research was used Arduino microcontroller ESP-WROOM-32 with ability of data transfer by the internet by received data form voltage sensor, current sensor, temperature sensor and illumination sensor to process

the data via timer module and Micro SD Card recorder module. The performance test and the test of discrepancy sensors found that, the performance of each sensor work at normal condition measuring, the voltage sensor is average error at 0.87%, the current sensor is average error at 4.96%, the temperature sensor is average error at 0.05% and the illumination sensor is average error at 0.73%.

Keywords: Solar Cell, Microcontroller, Sensor.

บทนำ

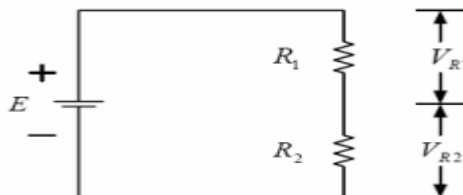
ปัจจุบันเราไม่สามารถปฏิเสธได้ว่า พลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันของเรามาก ทั้งในส่วนของภาครัฐและภาคเอกชน ต่างก็ได้มีการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงาน ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้ก็คือ พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่เราสามารถหาได้ง่าย และเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่ไม่มีวันหมด และในปัจจุบันตามบ้านเรือนต่างๆ ก็มีความนิยมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) เพื่อช่วยในการลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น แต่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แต่ละวันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ปริมาณความส่องสว่างของแสงแดด อุณหภูมิโดยรอบ ชนิด และขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการจดบันทึกข้อมูล เพื่อดูผลที่ได้รวมถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้น - ลดลงของพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโครงการนี้ก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้การจดบันทึกค่าที่ทำการตรวจวัด นั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถนำไปวิเคราะห์ผลต่อไปได้ จึงได้ทำการศึกษาและจัดทำเครื่องมือนับ และบันทึกค่าเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ด้วยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการแก้ไขปัญหาความผิดพลาด และลดเวลาการทำงานในการจดบันทึกของผู้ใช้งานได้ โดยสามารถทำการวัด สามารถวัด และบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Solar Module ได้สูงสุด 50 Vdc. 20 A. บันทึกค่าอุณหภูมิโดยรอบบริเวณ Solar Module, บันทึกค่าความสว่างบริเวณ Solar Module และแสดงผลผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตรัสาย

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 วงจรแบ่งแรงดัน[จิราภรณ์ จันแดง, 2551 และธวัชชัย จารุจิตร, ไวกงจน์ ศรีธัญ, 2549]

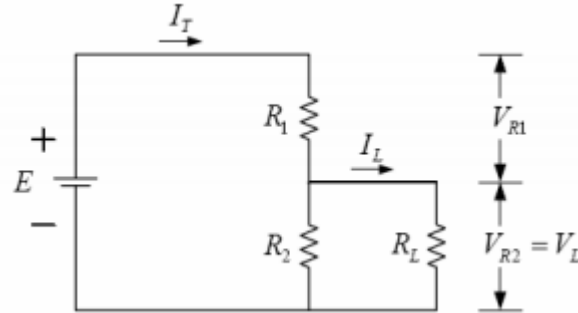
วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า ใช้หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม เพื่อแบ่งแรงดันให้กับวงจรไฟฟ้า ที่ต้องการใช้แรงดัน ในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะเห็นว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีการแบ่งแรงดันไปให้กับตัวต้านทานที่อยู่ภายในวงจร และแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแบ่งไปนี้จะมาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่อยู่ในวงจรสามารถแบ่งเป็นดังนี้

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด [มงคล พรหมเทศ, ณรงค์ชัย กล่อมสุนทร, 2546] คือวงจรที่มีการต่อแบบอนุกรม ซึ่งสามารถแบ่ง แรงดันไฟฟ้าได้หลายค่า จากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่ต่อในวงจรดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (มงคล พรหมเทศ และณรงค์ชัย กล่อมสุนทร, 2546)

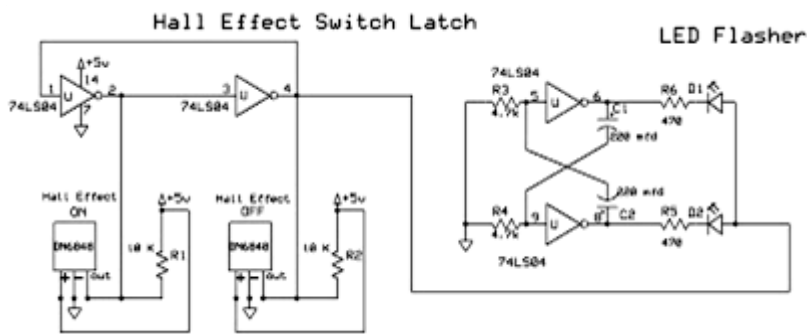
วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขณะมีโหลด [ไวพจน์ ศรีธัญ, 2549] จากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด จะเห็นว่าแรงดันจะถูกแบ่งออกได้หลายๆค่าขึ้นอยู่กับความต้านทานที่นำมาต่อในวงจร ที่ต้องการแบ่งแรงดันก็เพื่อให้มีขนาดของแรงดันเหมาะสมกับโหลด แต่เมื่อนำโหลดมาต่อในวงจรจะทำให้รูปแบบของวงจรเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลให้ค่าแรงดันที่โหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขณะมีโหลด (ไวพจน์ ศรีธัญ, 2549)

1.2 ทฤษฎี Hall Effect [Edwin Hall, 1879]

Hall Effect เป็นการผลิตแรงดันไฟฟ้า (แรงดัน Hall) ให้ตกคร่อมจากด้านหนึ่งของแผ่นตัวนำไฟฟ้าไปอีกด้านหนึ่ง แรงดันนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กถูกใส่ตั้งฉากกับผิวหน้าของตัวนำ และแรงดันกระแสตรงถูกป้อนให้กับตัวนำนั้น แม่เหล็กจะบังคับให้กระแสไฟฟ้าจากแรงดันกระแสตรงให้ไหลไปตามขอบของตัวนำ ค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์จะถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นกับผลคูณของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป มันเป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ทำตัวนำนั้นขึ้นมา เนื่องจากค่าของมันขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน และคุณสมบัติของพาหะของประจุที่ประกอบกันขึ้นเป็นกระแสไฟฟ้า ผลกระทบฮอลล์เกิดจากธรรมชาติของกระแสในตัวนำ กระแสเป็นการเคลื่อนที่ของพาหะของประจุ (Charge Carrier) ขนาดเล็กหลายๆ ตัว ซึ่งโดยปกติพาหะจะเป็นอิเล็กตรอน โฮล ไอออนหรือทั้งสามอย่าง เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ประจุเหล่านี้ต้องเจอกับแรงหนึ่งที่เรียกว่าแรงลอเรนซ์ เมื่อสนามแม่เหล็กดังกล่าวหายไป ประจุทั้งหลายจะเรียงตัวตามทิศทาง 'เส้นสายตา' ที่เกือบจะเป็นเส้นตรงระหว่างการชนกับสิ่งไม่บริสุทธิ์ โฟนอน ฯลฯ

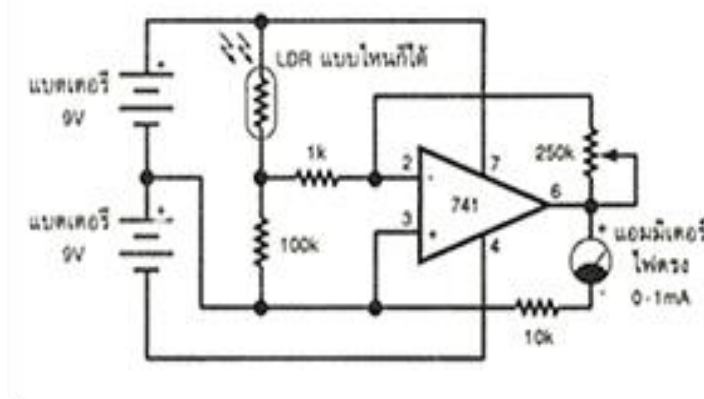


รูปที่ 3 วงจรภายในของ Hall Sensor (Edwin Hall. 1879)

1.3 ตัวต้านทานไวแสง [ธนาวุธ ไกรฤทธิสกุล, 2553]

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือการเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่างตั้งแต่ LDR (Light Dependent Resistor) โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photo Voltaic Cell) ซึ่งจะจ่ายแรงดันออกมาได้ก็ต่อเมื่อได้รับแสง โฟโตไดโอด (Photodiode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR - Light Activated Silicon Controlled Rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ประเภทนี้ที่มี

โครงสร้าง และลักษณะการทำงานง่ายที่สุดก็เห็นจะได้แก่ LDR เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อ พี - เอ็น เหมือนกันแบบอื่นๆ โครงสร้างตัว LDR ว่าที่จริงแล้วมีชื่อเรียกกันอีกหลายชื่อ อย่างเช่นโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (Photoconductive Cell) หรือตัวต้านทานไวแสง (LSR - Light Sensitive Resistor) ส่วนใหญ่จะทำได้ด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือไม่ก็แคดเมียมซีนิไนต์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ ที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา สมบัติทางแสงการทำงานของ LDR ก็ง่ายๆ เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็เลยถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่านการที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น ผลตอบสนองทางไฟฟ้าอัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่นแต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 เมกกะโอห์ม ขึ้นไป ในที่มีตีสันทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 เมกกะโอห์ม และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20 กิโลโอห์ม ลงไปอาจจะมีเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 โวลต์ และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 มิลลิวัตต์



รูปที่ 4 วงจรเครื่องวัดแสง (อนุวัช ไกรฤทธิสกุล, 2553)

1.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ [อดิศร เกื้อกุล, 2558]

เทอร์มิสเตอร์ เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำที่ใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แต่จะมีทั้งการเปลี่ยนแปลงแบบสัมพัทธ์ตรง และผกผัน มีอยู่ 2 แบบ คือ เอ็นทีซี และพีทีซี

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เทอร์มิสเตอร์ที่มีสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ (Negative Temperature Coefficient, NTC) เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่ความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานสูงมากเมื่อเทียบกับ RTD ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$ NTC มีความต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ แต่ที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ NTC จะมีความต้านทานลดลงเหลือเพียง 200Ω เท่านั้น ด้วยความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เทอร์มิสเตอร์แบบนี้จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ชัดเจน แต่เทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจึงจำกัดอยู่ในช่วงแคบๆ เป็นช่วงๆ ไปเช่น ช่วง $50 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $150 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

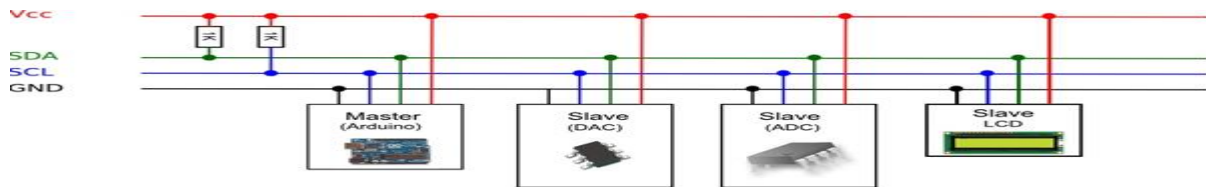
เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เทอร์มิสเตอร์ที่มีสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นบวก (Positive Temperature Coefficient, PTC) เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานของ PTC จะมีค่าต่ำที่อุณหภูมิต่ำ แต่จะเปลี่ยนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิถึงจุดๆ หนึ่ง PTC บางชนิดมีการเติมสารเจือปนลงไปเพื่อให้มีความเป็นเชิงเส้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบเรียบขึ้นได้ PTC ส่วนมากจะนำไปตัดต่อวงจรให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยหลักการที่ขณะที่กระแสปกติอุณหภูมิที่ PTC จะต่ำ แต่เมื่อกระแสสูงเกินกำหนดความต้านทานของ PTC จะสูงมากจนเปรียบเสมือนการตัดวงจรออกไป เมื่อ PTC จะเย็นลง และความต้านทานก็จะลดลงทำให้วงจรกลับมาต่ออีกครั้ง



รูปที่ 5 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC (อดิศร เกื้อกุล, 2558)

1.5 การติดต่อสื่อสารแบบ I²C

การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาโดย บริษัทฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สิ่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสาย ข้อมูล และสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรส หรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูล และการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว สายข้อมูลบนบัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock line)

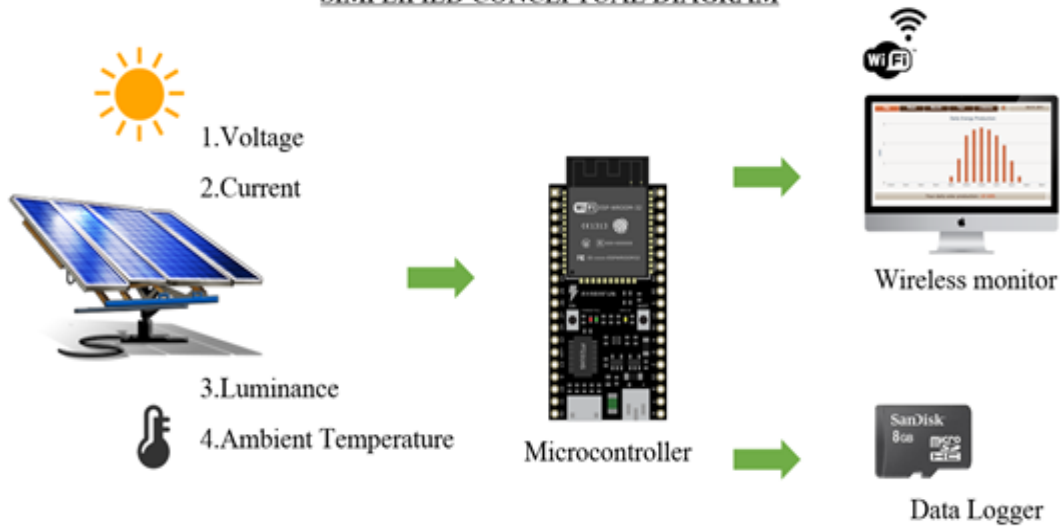
รูปที่ 6 การติดต่อสื่อสารแบบ I²C (Edwin Hall, 1879)

การดำเนินการ

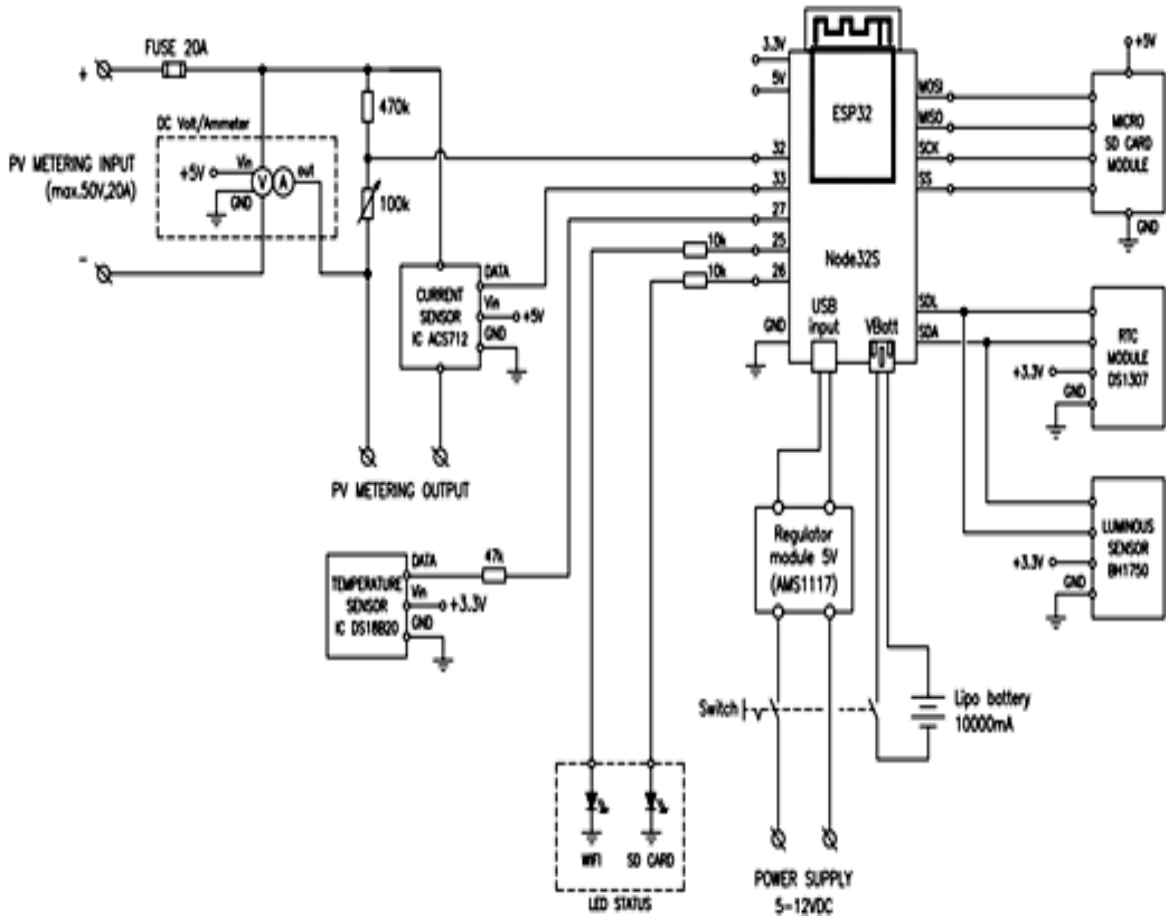
1 การออกแบบ

การออกแบบรูปแบบการทำงานของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่าด้วยแผนภาพอย่างง่าย (Simplified Conceptual Diagram) โดยประกอบด้วยส่วนหลักๆ ประกอบด้วยด้านอินพุทของข้อมูลได้แก่ส่วนที่ใช้เซ็นเซอร์โมดูลสำหรับการวัดค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้า ความสว่างของแสง อุณหภูมิ จากนั้นข้อมูลที่ได้รับมาถูกประมวลผลด้วยอาตูดูโน ไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นจึงนำค่าที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การแสดงผลผ่านอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายและอีกส่วนหนึ่งถูกนำมาเก็บบันทึกไว้ใน Micro SD Card โดยเชื่อมต่อกับโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล ดังแสดงตามรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงชิ้นงานที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับวงจรและเซ็นเซอร์

SIMPLIFIED CONCEPTUAL DIAGRAM

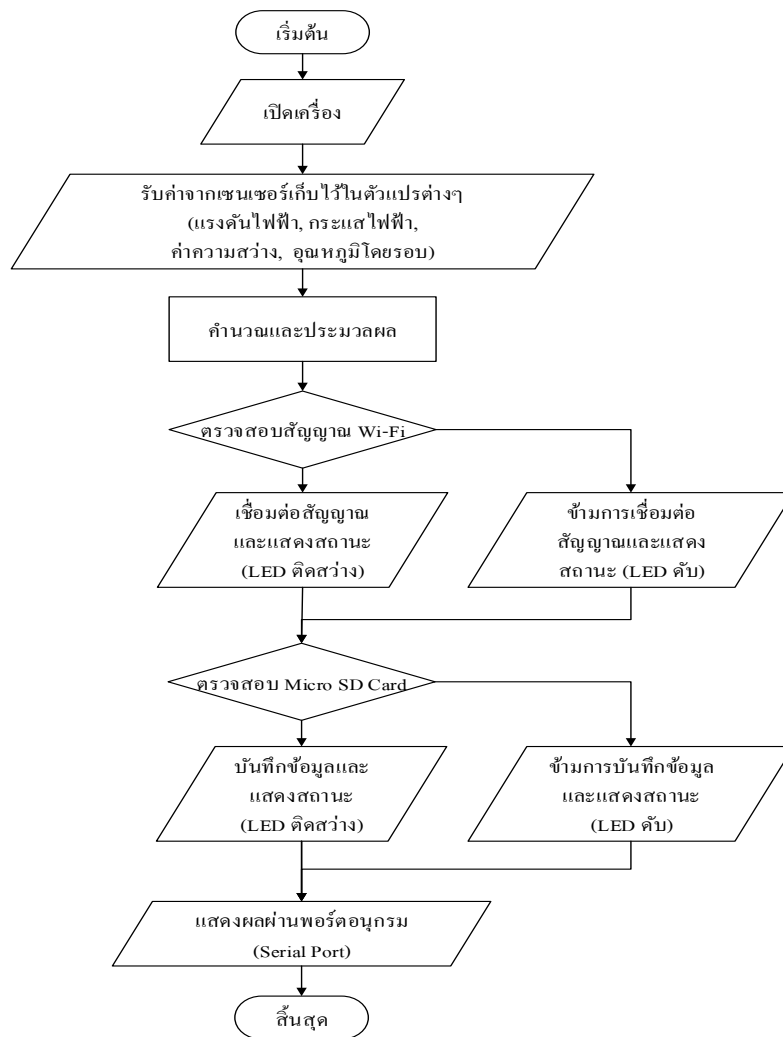


รูปที่ 7 การออกแบบวงจรเครื่องมือวัด และบันทึกค่า (เอกรัตน์ นภกานต์, 2562)

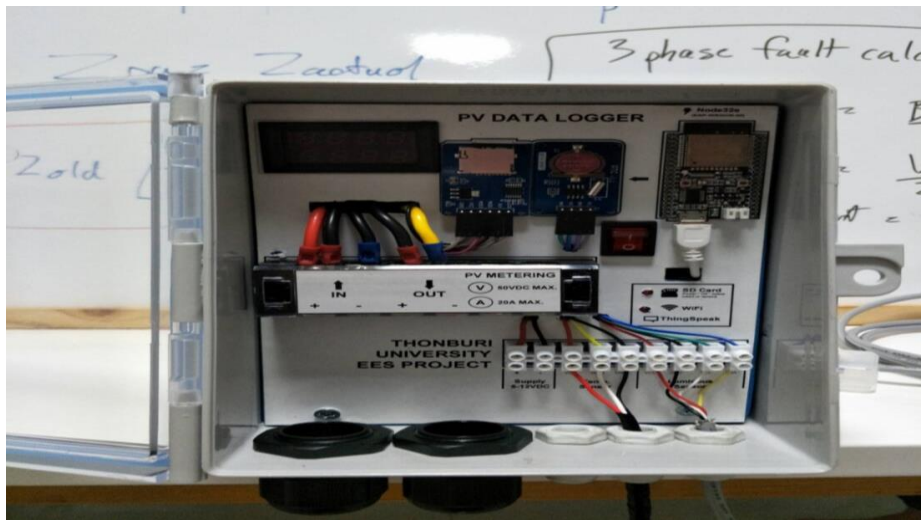


รูปที่ 8 การออกแบบวงจร (Circuit Diagram) (เอกรัตน์ นภกานต์, 2562)

การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องมือวัดเมื่อทำการเปิดเครื่องวัด โปรแกรมจะทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์ที่ได้กำหนดไว้ แล้วนำมาประมวลผล จากนั้นระบบจะทำงานตรวจสอบสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบไร้สายและความพร้อมของ Micro SD Card แล้วจึงนำค่าที่อ่านได้ไปบันทึกและแสดงผลต่อไปดังแสดงตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม (เอกรัตน์ นกานต์, 2562)



รูปที่ 10 การประกอบอุปกรณ์ และการเดินสาย (เอกรัตน์ นกานต์, 2562)

3.2 การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบได้ทำการใช้เครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานนำมาทำการทดสอบเทียบเคียงกับเครื่องมือวัดที่ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้น เพื่อหาข้อผิดพลาดและทำการสอบเทียบเพื่อเป็นข้อจำกัดทางความผิดพลาดของเครื่องมือโดยทำการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า และทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยใช้สูตรที่ 1 และแสดงผลตามตารางด้านล่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (\%Error)} = \left| \frac{\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าจริง}}{\text{ค่าจริง}} \right| \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดพื้นฐานด้านแรงดัน

ครั้งที่	ค่าแรงดันทดสอบ (VDC)				
	7	14	21	28	35
1	5.43 %	1.43 %	1.10 %	0.04 %	0.00 %
2	2.57 %	0.79 %	0.14 %	0.07 %	0.06 %
3	0.57 %	0.07 %	0.24 %	0.46 %	0.03 %
ค่าเฉลี่ยรวม	2.86 %	0.76 %	0.49 %	0.19%	0.03 %
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	0.87 %				

ตารางที่ 1 การดำเนินการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้า ทดสอบโดยการจ่ายแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่าโดยใช้ Switching Power Supply 24 VDC 150 W ประกอบกับบัค-บูส คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการปรับค่าแรงดันให้ได้ค่าตามที่ต้องการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า และทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพความแม่นยำและเที่ยงตรง ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากการประมวลผลของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่า ได้ผลการทดสอบในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดพื้นฐานด้านกระแส

ครั้งที่	ค่ากระแสทดสอบ (Amps)				
	0.8	1.6	2.4	3.2	4
1	13.75 %	17.50 %	0.42 %	4.37 %	3.25 %
2	2.50 %	9.38 %	3.33 %	1.25 %	1.75 %
3	7.50 %	3.12 %	2.50 %	1.56 %	2.25 %
ค่าเฉลี่ยรวม	7.92 %	10.00 %	2.08 %	2.40 %	2.42 %
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.96 %				

ตารางที่ 2 การดำเนินการทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า ทดสอบโดยการต่อตัวต้านทาน 100 W 6 Ω เข้าที่จุด Output ของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่า และใช้ Switching Power Supply 24 VDC 150 W ประกอบกับชุดบัค-บูส คอนเวอร์เตอร์ ในการปรับค่าที่ได้ค่ากระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า และทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อทดสอบหา

ประสิทธิภาพความแม่นยำและเที่ยงตรง ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากการประมวลผลของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่า ได้ผลการทดสอบในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สูตรที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงสมการที่

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดพื้นฐานด้านอุณหภูมิ

ครั้งที่	ค่าอุณหภูมิตดสอบ (°C)				
	30	40	50	60	70
1	0.00 %	0.05 %	0.20 %	0.02 %	0.03 %
2	0.03 %	0.08 %	0.00 %	0.02 %	0.03 %
3	0.03 %	0.05 %	0.20 %	0.00 %	0.04 %
ค่าเฉลี่ยรวม	0.02 %	0.06 %	0.13 %	0.01 %	0.03 %
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	0.05 %				

ตารางที่ 3 การทดสอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เทียบกับย่านวัดอุณหภูมิของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยการต้มน้ำเปล่าให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า แล้วจุ่มเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับสายโพรบวัดอุณหภูมิของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพความแม่นยำ และเที่ยงตรง ของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ออกมาจากการประมวลผลของเครื่องมือวัด และบันทึกค่า ได้ผลการทดสอบในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนและ สูตรที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงสมการที่ 1 ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดพื้นฐานด้านความสว่าง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดพื้นฐานด้านความสว่าง

ครั้งที่	ค่าความสว่างทดสอบ (Lux)				
	150	300	450	600	750
1	4.67 %	0.67 %	0.89 %	0.17 %	0.40 %
2	1.33 %	0.67 %	0.00 %	0.17 %	0.13 %
3	0.00 %	0.33 %	1.11 %	0.17 %	0.27 %
ค่าเฉลี่ยรวม	2.00 %	0.56 %	0.67 %	0.17 %	0.27 %
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	0.73 %				

ตารางที่ 4 การดำเนินการเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ทดสอบโดยการใช้ Lux meter วัดค่าความส่องสว่างตามค่าที่ต้องการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วเทียบกับค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดค่าความสว่าง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพความแม่นยำ และเที่ยงตรง (Accuracy & Precision) ของเซนเซอร์วัดค่าความสว่างที่ออกมาจากการประมวลผลของชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่า ได้ผลการทดสอบในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สูตรที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงสมการที่ 1

ผลการทดลองและอภิปราย

การดำเนินการทดสอบการวัดค่าจริงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการต่อชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่าเข้ากับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 900 วัตต์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 3 วัน จากนั้นสังเกตค่าที่แสดงผลผ่าน Internet เทียบกับดิจิตอลมิเตอร์ ทั้งหมด 3 วัน ได้ผลดังตารางที่ 5-7

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการวัดค่าจริงกับพลังงานแสงอาทิตย์ วันที่ 1

Time	Power (W)	Voltage (VDC)	Current (A)	Temperature (°C)	Luminous(Lux)
06.00	23.40	30.00	0.78	29.56	502.00
07.00	107.79	34.22	3.15	30.31	609.00
08.00	215.69	40.62	5.31	30.88	4193.00
09.00	149.07	40.84	3.65	31.19	54612.00
10.00	413.49	42.54	9.72	32.44	54612.00
11.00	552.46	41.79	13.22	31.62	54612.00
12.00	620.29	44.18	14.04	32.87	54612.00
13.00	715.23	45.76	15.63	33.02	54612.00
14.00	511.29	43.22	11.83	32.07	54612.00
15.00	394.05	40.54	9.72	31.25	54612.00
16.00	252.51	39.21	6.44	30.21	54612.00
17.00	80.68	31.03	2.60	30.00	2365.00
18.00	0.40	20.00	0.02	26.75	302.00

จากตารางที่ 5 เครื่องมือวัด และบันทึกค่าสามารถทำงานส่งค่าได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยที่แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 วัตต์ จะเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าเมื่อมีความสว่างมากกว่า 500 lux หรือประมาณ 6.00 น. อุณหภูมิโดยรอบประมาณ 29 - 30 °C และจะผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. โดยทั้งวันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 308.69 W

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการวัดค่าจริงกับพลังงานแสงอาทิตย์ วันที่ 2

Time	Power (W)	Voltage (VDC)	Current (A)	Temperature (°C)	Luminous (Lux)
06.00	55.07	25.03	2.20	30.02	702.00
07.00	114.31	30.24	3.78	31.31	909.00
08.00	138.27	33.56	4.12	30.88	20984.00
09.00	126.62	32.55	3.89	30.88	31178.00
10.00	361.62	40.54	8.92	32.44	54612.00
11.00	373.12	40.12	9.30	31.62	54612.00
12.00	716.68	43.62	16.43	32.67	54612.00
13.00	661.43	43.09	15.35	34.51	54612.00
14.00	614.45	43.21	14.22	33.09	54612.00

15.00	668.85	42.44	15.76	30.26	54612.00
16.00	266.21	36.77	7.24	30.26	54612.00
17.00	105.67	30.02	3.52	30.04	54612.00
18.00	26.15	23.99	1.09	29.26	1157.00

จากตารางที่ 6 เครื่องมือวัด และบันทึกค่าสามารถทำงานส่งค่าได้ตาม ที่ออกแบบไว้ โดยที่แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะเริ่มผลิตกำลังงานไฟฟ้าเมื่อค่าความสว่างมากกว่า 700 lux หรือประมาณ 6.00 น. อุณหภูมิโดยรอบประมาณ 29 - 30 °C และจะผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. โดยทั้งวันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 325.26 W

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการวัดค่าจริงกับพลังงานแสงอาทิตย์ วันที่ 3

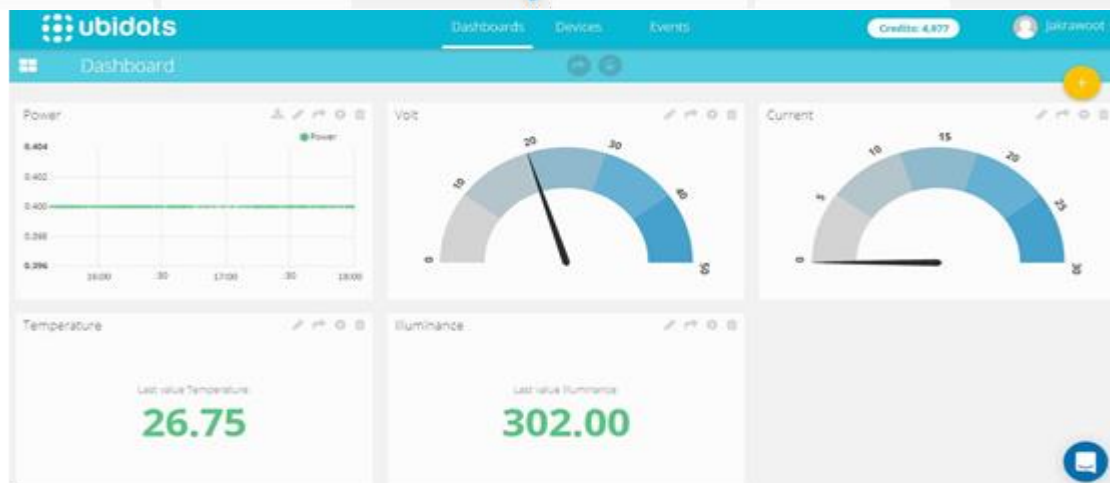
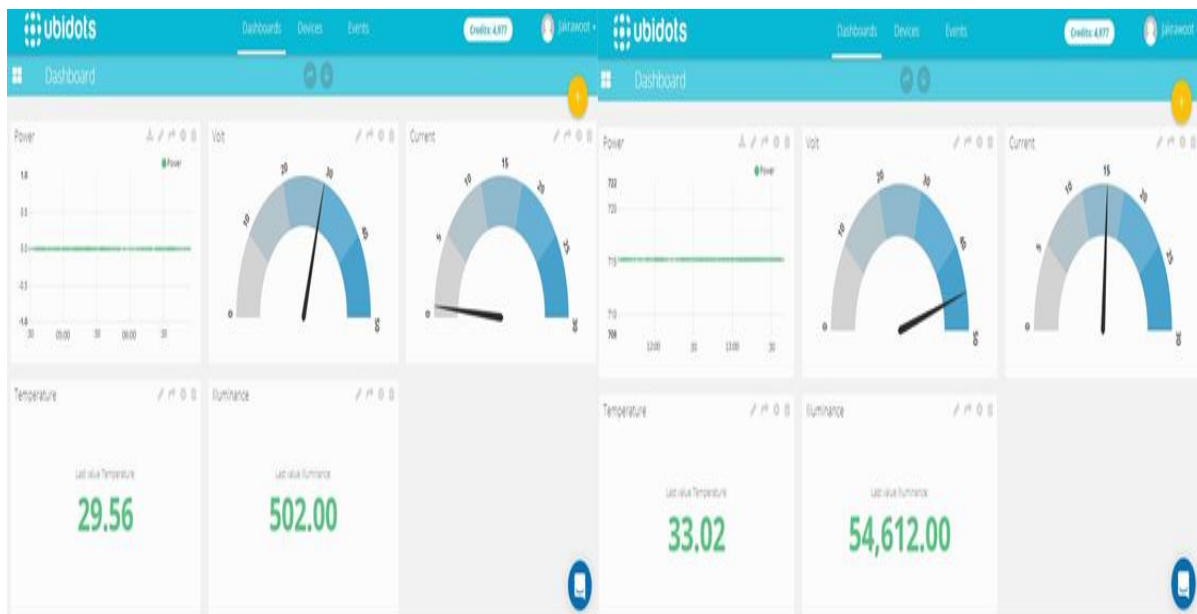
Time	Power (W)	Voltage (VDC)	Current (A)	Temperature (°C)	Luminous(Lux)
06.00	23.71	18.24	1.30	29.77	651.00
07.00	117.76	27.84	4.23	29.96	1113.00
08.00	250.54	32.75	7.65	30.21	30513.00
09.00	231.65	31.56	7.34	31.64	40213.00
10.00	215.79	33.56	6.43	32.97	54612.00
11.00	423.82	38.99	10.87	33.01	54612.00
12.00	546.61	43.21	12.65	32.43	54612.00
13.00	607.88	42.45	14.32	34.57	54612.00
14.00	601.79	35.63	16.89	34.01	54612.00
15.00	500.70	32.45	15.43	32.57	49521.00
16.00	308.74	30.15	10.24	31.45	54612.00
17.00	262.63	27.85	9.43	30.04	3011.00
18.00	42.24	20.02	2.11	29.26	703.00

จากตารางที่ 7 ชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่าสามารถทำงานส่งค่าได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยที่แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 วัตต์ จะเริ่มผลิตกำลังงานไฟฟ้าเมื่อมีความสว่างมากกว่า 600 lux หรือประมาณ 6.00 น. อุณหภูมิโดยรอบประมาณ 29 - 30 °C และจะผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. โดยทั้งวันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 317.99 W

การทดสอบการบันทึกค่าลงใน SD Card หลังจากที่ทำกรทดสอบค่าที่วัดได้ จึงทำการถอด SD Card ที่อยู่ในชุดทดลอง เครื่องมือวัด และบันทึกค่า มาเปิดดูในคอมพิวเตอร์ผ่าน Card reader adapter เพื่อดูประสิทธิภาพการบันทึกค่า ดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12

	A	B	C	D	E	F
1	human_readable_date	power	volt	current	temperature	illuminance
2	2017-10-10 08:51:17+07:00	24.4725	29.47497	0.83028	29.6875	54612
3	2017-10-10 08:51:14+07:00	19.82882	29.70696	0.66748	29.6875	54612
4	2017-10-10 08:51:09+07:00	20.41065	29.49939	0.6919	29.6875	54612
5	2017-10-10 08:51:05+07:00	21.70967	29.6337	0.7326	29.6875	54612
6	2017-10-10 08:51:01+07:00	20.65077	29.49939	0.70004	29.6875	54612
7	2017-10-10 08:50:57+07:00	23.23431	29.42613	0.78958	29.6875	54612
8	2017-10-10 08:50:50+07:00	21.78123	29.73138	0.7326	29.6875	54612
9	2017-10-10 08:50:42+07:00	24.44209	29.43834	0.83028	29.6875	54612
10	2017-10-10 08:50:38+07:00	23.06157	29.5116	0.78144	29.6875	54612
11	2017-10-10 08:50:35+07:00	24.50292	29.5116	0.83028	29.6875	54612
12	2017-10-10 08:50:31+07:00	22.09152	29.49939	0.74888	29.6875	54612
13	2017-10-10 08:50:27+07:00	22.15553	29.58486	0.74888	29.6875	54612
14	2017-10-10 08:50:24+07:00	19.70657	29.52381	0.66748	29.6875	54612
15	2017-10-10 08:50:21+07:00	21.53037	29.71917	0.72446	29.6875	54612
16	2017-10-10 08:50:17+07:00	20.29575	29.68254	0.68376	29.6875	54612
17	2017-10-10 08:50:13+07:00	21.76334	29.70696	0.7326	-127	54612
18	2017-10-10 08:50:08+07:00	20.62513	29.46276	0.70004	29.6875	54612
19	2017-10-10 08:50:02+07:00	22.94409	29.67033	0.7733	29.6875	54612
20	2017-10-10 08:49:58+07:00	20.26236	29.6337	0.68376	29.6875	54612
21	2017-10-10 08:49:56+07:00	23.71734	29.73138	0.79772	29.6875	54612
22	2017-10-10 08:49:52+07:00	20.74479	29.6337	0.70004	29.6875	54612
23	2017-10-10 08:49:48+07:00	23.41748	29.65812	0.78958	29.6875	54612
24	2017-10-10 08:49:45+07:00	22.52506	29.43834	0.76516	29.6875	54612
25	2017-10-10 08:49:42+07:00	20.77899	29.68254	0.70004	29.6875	54612
26	2017-10-10 08:49:39+07:00	22.58112	29.5116	0.76516	29.6875	54612

รูปที่ 11 ผลการทดสอบการบันทึกค่าลงใน SD Card



รูปที่ 12 ตัวอย่างผลการทดสอบแต่ละช่วงเวลา

จากการทดสอบวัดค่าจริงพบว่าชุดทดลองเครื่องมือวัด และบันทึกค่าสามารถทำงานส่งค่าได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยที่แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะเริ่มจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ความสว่างมากกว่า 500 lux หรือประมาณ 6.00 น. อุณหภูมิโดยรอบประมาณ 29 - 30 องศาเซลเซียส และจะผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. โดยทั้งวันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 900 W จะสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 398.26 W หรือ 45 % การทดสอบเปรียบเทียบกับค่าจริงจากเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ เทียบกับค่าที่ได้ออกมาจากการประมวลผลของโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซนเซอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้สามารถส่งค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง รวมทั้งยังสามารถวิเคราะห์ค่าผ่านทางหน้าจอบอร์ดคอมพิวเตอร์ หรือมือถือได้โดยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อเข้าดูค่าในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถดูค่าย้อนหลังได้จาก SD Card ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิราภรณ์ จันแดง. (2551). *วงจรไฟฟ้า 1*. กรุงเทพฯ ฯ : เอมพันธ์.
- [2] ธวัชชัย จารุจิตร, ไหวพจน์ ศรีธัญ. (2549). *วงจรรอนุกรม วงจรไฟฟ้า 1*. กรุงเทพฯ ฯ : ริงอักษร.
- [3] มงคล พรหมเทศ, ณรงค์ชัย กล่อมสุนทร. (2546). *ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ ฯ : เอมพันธ์.
- [4] ไหวพจน์ ศรีธัญ. (2549). *วงจรไฟฟ้ากระแสตรง*. กรุงเทพฯ ฯ : ริงอักษร.
- [5] Edwin Hall. (1879). On a New Action of the Magnet on Electric Currents. *American Journal of Mathematics* 2. Archived from the original on 2015-07-26. Retrieved 2008-02-28. [Online] Available. P 287 - 92.
- [6] ธนาวุธ ไกรฤทธิสกุล. (2553). LDR ตัวต้านทานไวแสง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://electronics.se-ed.com/contents/041s060/041s060_p07.asp (15 กันยายน 2560).
- [7] อติสร เกื้อกุล. (2558). เซนเซอร์อุณหภูมิ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://sensorss.jimdo.com/%http://sensorss.jimdo.com/%> (15 กันยายน 2560).