



## บทความวิชาการ

### ชุดวัดและแสดงผลกำลังไฟฟ้าสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน

#### The Electric Power Measurement and Monitoring for Energy Conservation

ทวิ ว่องชัยกิจ<sup>1</sup> และ ชัยยพล ชงชัยสุริยต์กุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม มหาวชิราวุธวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถนนพินุลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 0-8125-96464 E-mail: tawiwongtunyakid@gmail.com

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถนนพินุลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 0-8952-13300 E-mail: srp@kmutnb.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดวัดและแสดงผลกำลังไฟฟ้า สำหรับใช้ในงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน โดยออกแบบและพัฒนาจากวงจรรวมเออดีไอ 7755 ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า แล้วส่งผลที่ได้ไปประมวลผลด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 และมีการแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ซึ่งผลที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายระบบบัสแบบ USB-RS-232/485 จากผลการทดลองพบว่าชุดวัดกำลังไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี และสามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พลังงานได้

**คำสำคัญ:** ชุดวัดกำลังไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ อนุรักษ์พลังงาน

#### Abstract

This paper presents the electric power measurement and monitoring for energy conservation which is designed and developed from the integrate circuit (IC) ADE-7755, and the measuring results will be sent to microcontroller PIC-16F877 which can be displayed on LCD and connected to personal computer via RS-232/485 networks. The results show that power meter can be applied for electrical energy audit of

electrical equipments which can be developed for energy conservation.

**Keywords:** electrical power meter, microcontroller, energy conservation.

#### 1. คำนำ

ปัจจุบันนี้การใช้พลังงาน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ รัฐบาลจึงได้ออกพระราชบัญญัติส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ขึ้น เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานมากให้ถือว่าเป็นอาคารและโรงงานควบคุมที่จะต้องจัดทำเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงาน ทางกระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบต่างๆ ขึ้น เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้มากที่สุด ด้วยการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องสร้างมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก เมื่อมีการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดเวลาผ่านระบบเครือข่ายก็จะก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน [1]

การตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าต้องอาศัยเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลตลอดเวลา ดังนั้นผลงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบชุดวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัลด้วยชุดวงจรถ่ายเออดีไอ 7755 ทำหน้าที่ใน

การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแล้วส่งผลไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 แสดงผลผ่านหน้าจอผลึกเหลว LCD แล้วนำข้อมูลส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยบทความนี้จะนำเสนอทฤษฎีคำนวณกำลังไฟฟ้าเชิงตัวเลข การออกแบบและผลการทดสอบชุดวัดกำลังไฟฟ้า

## 2. ทฤษฎีคำนวณกำลังไฟฟ้าเชิงตัวเลข [2]

สัญญาณไฟฟ้าที่จะนำมาคำนวณกำลังงานไฟฟ้าจะได้อาจจากการนำค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Voltage,  $v_t$ ) และค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Current,  $i_t$ ) มาผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter, ADC) จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหา กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power,  $p_t$ ) ตามความสัมพันธ์ดังสมการ (1)

$$p_t = (v_t)(i_t) \quad (1)$$

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่จะทำการวัดค่าเป็นสัญญาณชานูซอซที่มีค่าถี่  $\omega$  และมีค่าของแรงดันและกระแสเป็น  $V_p$  และ  $I_p$  ตามลำดับ และให้สัญญาณกระแสไฟฟ้ามุมมวฏภาคตามหลังแรงดัน  $\theta$  เกิดเป็นสัญญาณกระแส  $I_p \sin(\omega t - \theta)$  เขียนแสดงความสัมพันธ์ทางกำลังไฟฟ้าได้ดังสมการ (2)

$$P_t = \{V_p \sin(\omega t - \theta_v)\} \{I_p \sin(\omega t - \theta_i)\}$$

ให้  $\theta = \theta_v - \theta_i$

$$= \frac{V_p I_p}{2} \cos \theta - \frac{V_p I_p}{2} \cos(2\omega t - \theta) \quad (2)$$

ค่าสูงสุดของแรงดัน  $V_p$  และกระแส  $I_p$  จะถูกแปลงเป็นค่าประสิทธิภาพผล (Root Mean Square, RMS) ด้วยปัจจัย (Crest Factor) และสำหรับสัญญาณชานูซอซจะมีค่า

ประกอบยอดเป็น  $\sqrt{2}$  ของค่าประกอบยอด ดังนั้นจะเขียนสมการ (2) ได้ใหม่เป็น

$$P_t = \frac{v_p}{\sqrt{2}} \frac{i_p}{\sqrt{2}} \cos \theta - \left( \frac{v_p}{\sqrt{2}} \frac{i_p}{\sqrt{2}} \right) \cos(2\omega t - \theta) \\ = V_{rms} I_{rms} \cos \theta - V_{rms} I_{rms} \cos(2\omega t - \theta) \quad (3)$$

ดังนั้นถ้านำสัญญาณ  $P_t$  ในสมการ (3) ไปกรองด้วยวงจรความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter, LPF) ที่มีความถี่ตัด (cut-off frequency) ประมาณ  $2\omega - \theta$  จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$P_t' = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad (4)$$

ผลของกำลังไฟฟ้าในสมการ (4) จะสมนัยกับนิยามกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ (instantaneous real power)

สำหรับสัญญาณที่ไม่รูปร่างชานูซอซ จะสามารถวิเคราะห์ โดยการแปลงรูปสัญญาณแรงดันและกระแสด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series) จะได้ว่า

$$v_t = V_o + \sqrt{2} \sum_h \{V_{rms,h} \sin(h\omega t + \alpha h)\}$$

$$\text{และ } i_t = I_o + \sqrt{2} \sum_h \{I_{rms,h} \sin(h\omega t + \alpha h)\} \quad (5)$$

เมื่อ  $V_o, I_o$  เป็นแรงดันและกระแสเฉลี่ย ตามลำดับ

$V_{rms,h}, I_{rms,h}$  เป็นแรงดันและกระแสประสิทธิภาพของฮาร์โมนิกลำดับที่  $h$  ตามลำดับ

$\alpha h, \beta h$  เป็นค่ามุมมวฏภาคแรงดันและกระแสของฮาร์โมนิกลำดับที่  $h$  ตามลำดับ

เมื่อนำคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าตามสมการ (1) แล้วผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter, BPF) จะจำแนกผลลัพธ์ของการคำนวณได้เป็น

$$P_t = \sum_h \{V_{rms} I_{rms} \cos(\alpha h - \beta h)\} \quad (6)$$

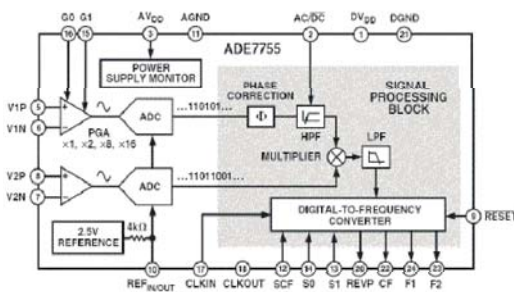
ผลของกำลังไฟฟ้าในสมการ (6) จะสมนัยกับนิยามของกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ (Instantaneous Real Power) เช่นเดียวกับสมการ (4)

### 3. การออกแบบ

ผลงานวิจัยนี้การออกแบบชุดวัดกำลังไฟฟ้าในส่วนของชุดวัดพลังงานไฟฟ้า ใช้วงจรสำเร็จรูปของบริษัท Analog Devices เบอร์ วงจรรวมเอเดอี 7755 รับสัญญาณกระแส  $V_1$  และ สัญญาณแรงดัน  $V_2$  เพื่อประมวลผลเป็นสัญญาณพัลส์แล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 คำนวณแสดงผลผลึกเหลว LCD และบนหน้าจอกอมพิวเตอร์

#### 3.1 วงจรสำเร็จรูปเบอร์ ADE7755 [3]

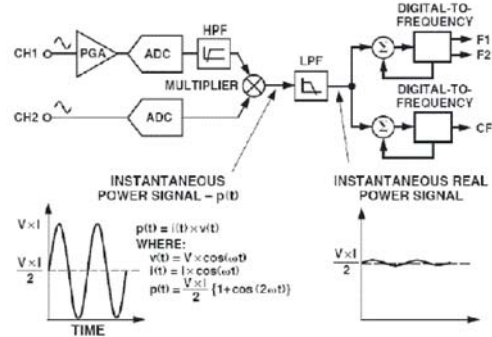
ใช้ IC ADE 7755 ทำหน้าที่ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะสำหรับแผนผังวงจร IC ADE 7755 แสดงดังรูปภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวงจร IC ADE 7755

การทำงานของ IC ADE 7755 รับสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 1 และ 2 จะถูกแปลงมาเป็นดิจิทัล ในวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADCs) 2 ชุด เป็นสัญญาณกระแสและแรงดัน จะมาคูณกัน ในรูปสัญญาณดิจิทัล การคูณกันจะทำให้ได้สัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและทำการแยกสัญญาณของกำลังไฟฟ้าจริงออกจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะได้โดยการกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ค่าที่สัญญาณไฟฟ้าจริงจะถูกแปลงเป็นความถี่โดยวงจร

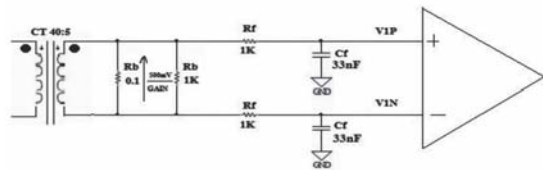
แปลงค่าตรรกะเป็นความถี่ (digital-to-frequency Converter) เป็นผังการทำงานแปลงกำลังไฟฟ้าจริงเป็นดิจิทัล แสดงดังรูปภาพที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผังการทำงานแปลงกำลังไฟฟ้าจริงเป็นดิจิทัล

#### 3.1.1 สัญญาณกระแส (Current Signal)

สัญญาณกระแสเป็นสัญญาณในรูปแรงดันโดยต่อเข้าสู่วงจรรวมเอเดอี 7755 ที่ช่องสัญญาณ  $V_1$  (Channel 1) แรงดันอินพุต  $V_{IP}$  จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับ  $V_{IN}$  สำหรับแรงดัน  $V_{IP}$  ซึ่งได้ออกแบบกำหนดให้แรงดันไฟฟ้า  $V_{IP}$  เป็นแรงดันปรับค่าได้ตามการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าตามโหลด ค่าที่วัดอ้างอิงแรงดัน  $V_{IP}$  สูงสุด 500 มิลลิโวลต์ (ตามกระแสจริงที่ 40 แอมป์แปร์) กำหนดแรงดันไฟฟ้า  $V_{IP}$  เป็นแรงดันปรับค่าจากการคำนวณที่ขนาดของหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ขนาด 40:5 โดยต่อคร่อมความต้านขนาด 0.1 โอห์มที่ขั้วของหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) แสดงรูปที่ 3.3

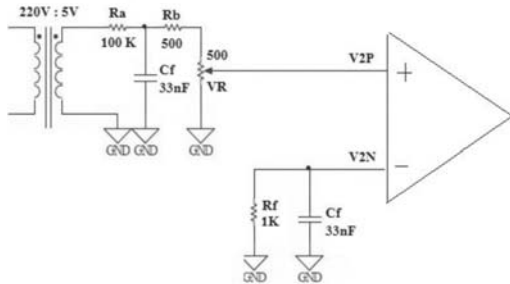


รูปที่ 3.3 สัญญาณแรงดันช่อง  $V_1$  (Channel 1)

#### 3.1.2 สัญญาณแรงดัน (Voltage Signal)

สัญญาณแรงดันซึ่งต่อเข้าทางด้านแรงดันอินพุต  $V_{2P}$  จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับ  $V_{2N}$  สำหรับแรงดัน  $V_{2P}$  ซึ่งได้ออกแบบกำหนดให้แรงดันไฟฟ้า  $V_{2P}$  แรงดันปรับตาม

แหล่งจ่ายเป็นชนิดหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer) ขนาดแรงดันไฟฟ้า 220VAC แปลงลงเหลือ 5 VAC ใช้หลักการ Voltage Divider ตาม  $R_a, R_b$  และ VR สามารถปรับค่าได้ 0 ถึง 500 มิลลิโวลต์ แสดงรูปที่ 3.4

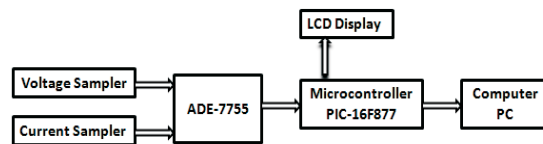


รูปที่ 3.4 สัญญาณแรงดันช่อง  $V_2$  (Channel 2)

### 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ของบริษัท Microchip Technology เบอร์ 16F877 ซึ่งทำการออกแบบแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถอ่านค่าจากวงจรสำเร็จรูป เอเดอี 7755 ออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ที่ขา FCF สามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก RTC ด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นหรือเรียกว่า I2C ส่วนแสดงผลเป็นจอผลึกเหลว (LCD) ชนิด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด ซึ่งออกแบบไว้ใช้เป็นการเชื่อมต่อ แบบ 8 บิตโดยทั้งขาควบคุมและขาข้อมูลจะต่อกับพอร์ตสำหรับการพัฒนาโปรแกรมจะใช้ภาษาซี เพราะสามารถพัฒนางานที่มีความซับซ้อนและมีรูปแบบเป็นผังงานที่ง่ายกว่า ในการแปลงผลค่ากำลังเป็นสัญญาณพัลส์ โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตัวนับหมายเลข 0 (counter 0) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำการควบคุมให้ตัวนับทำงานและรับสัญญาณกระตุ้นจากขา  $F_{OUT}$  ของ วงจรรวมเอเดอี 7755 ซึ่งทำการนับที่ขอบขาลงของพัลส์ อาศัยการขัดจังหวะของตัวนับพัลส์ซึ่งจะนำค่าความกว้างของคาบเวลา ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบวัดแรงดันโวลตจริง 220 V (แรงดัน  $V_{2P}$  อ้างอิงกับบน วงจรรวมเอเดอี 7755 ที่ 200 มิลลิโวลต์) และ ที่ กระแสสูงสุดอยู่ที่ 40 แอมป์แปร์ (แรงดัน  $V_{1P}$  อ้างอิงกับบน

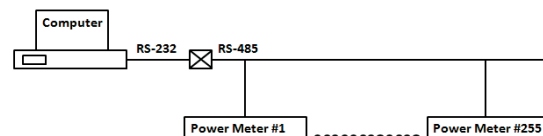
วงจรรวมเอเดอี 7755 ที่ 500 มิลลิโวลต์) จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 8.8 กิโลวัตต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับ คอมพิวเตอร์ฝั่งการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ คอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยคอมพิวเตอร์จะส่ง Command Code Address เพื่อเรียกดูข้อมูลใน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้ามายัง คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 ฝั่งการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ คอมพิวเตอร์

### 3.3 การเชื่อมเป็นเครือข่าย

การประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นตัวเก็บข้อมูลและแสดงผลการใช้กำลังไฟฟ้าจริงในขณะนั้น โดย ต่อเข้ากันกับเครือข่ายด้วยระบบบัสแบบ RS-232/485 ซึ่ง สามารถเชื่อมชุดวัดได้ 255 ชุด ได้ระยะทางไกลได้ถึง 1.2 กิโลเมตรโดยสื่อสารเป็นแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผังวงจรสำหรับเครือข่าย

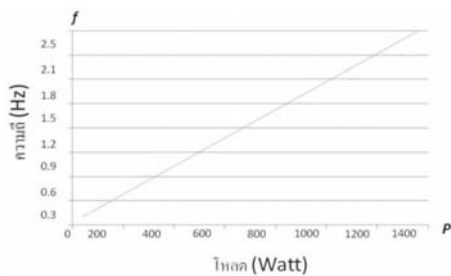
### 4. ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบจ่าย โหลดพิกัด กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ถึง 1400 วัตต์ ได้ค่าความถี่จากชุดวงจร รวมเอเดอี 7755 ที่ขา  $F_{OUT}$  ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า กับความถี่จากชุดวงจรรวมเอเดอี 7755 ที่ขา  $F_{OUT}$  แสดงตาราง ในรูปที่ 4.1 และเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความถี่ แสดงในรูปที่ 4.2 โดยได้ทำการทดสอบที่โหลด 400 วัตต์ วัด ค่าจากขา  $F_{OUT}$  ชุดวงจรรวมเอเดอี 7755 ได้ความถี่ 0.771 Hz

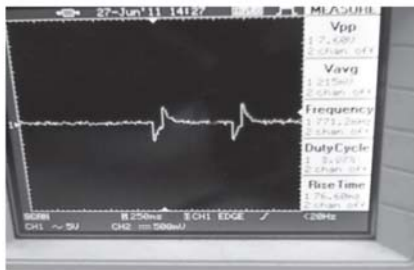
ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ ค่าที่อ่านได้จากผลึกเหลว 0.41 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ที่โหลดกำลังไฟฟ้า (Watt)	ค่าที่วัดความถี่ได้จากขา FCF (Hz)
200	0.386
400	0.771
600	1.155
800	1.539
1000	1.929
1200	2.309
1400	2.694

รูปที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณด้านนอกของวงจรตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการป้อนโหลด 400 วัตต์



รูปที่ 4. หน้าจอแสดงผลการชดวัดกำลังไฟฟ้าทำการป้อนโหลด 400 วัตต์ บนหน้าจอนึกเหลว

สำหรับการเชื่อมโยงแบบเครือข่ายซึ่งชุดวัดกำลังไฟฟ้าด้วยบัสแบบ RS-485 เป็น RS-232 นำไปเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าบน โปรแกรม

## 5. สรุปผล

ผลการวิจัยนี้ออกแบบชุดวัดกำลังไฟฟ้าสามารถวัดกำลังไฟฟ้าจริงได้ทำการเปรียบเทียบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบ ซึ่งสามารถแสดงผลบนจอแสดงผล LCD และสามารถเชื่อมต่อบนคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคลแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

ขณะนี้งานวิจัยชุดวัดกำลังไฟฟ้าได้ออกแบบไว้เป็นส่วนหนึ่งในการนำไปพัฒนาต่อของงานวิจัยชุดวัดประสิทธิภาพของการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ต้องวัดค่ากำลังไฟฟ้าด้านคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ เพื่อที่จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงในขณะที่ใช้งานหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในขณะที่ใช้งาน เพื่อให้สอดคล้องกับการนำค่าประสิทธิภาพไปใช้สำหรับอนุรักษ์พลังงานแบบยั่งยืนต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.ชัยพล ธงชัยสุริษศักดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ให้คำปรึกษาและให้ใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ในการทำงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยขพล ธงชัยสุริยศักดิ์กุล. “การอนุรักษ์พลังงานแบบบูรณาการในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ”.การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7, ภูเก็ต, 3-5 พฤษภาคม 2554
- [2] ธวัชชัย บุญส่ง. เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า ชนิด 1 เฟส วิทยานิพนธ์.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2547, หน้า 6-9
- [3] Analog Devices Energy Metering IC with Pulse Output AD7755. <http://www.analog.com>

## ประวัติผู้เขียนบทความ

ทวิ ว่องชัยกิจ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กำลังศึกษาระดับปริญญาโทครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงานตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า แผนกงานบริหารและ ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง บริษัท แพลนคอนซัลแตนต์ จำกัด

งานวิจัยที่สนใจ Control Systems, Power Systems

อาจารย์ ผศ.ดร.ชัยขพล ธงชัยสุริยศักดิ์กุล ปัจจุบันทำงาน อาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ