

การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์  
ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

ACCURACY EVALUATION OF ELECTRONIC ENERGY METERS  
USING IMAGE PROCESSING

อริศศักดิ์ เหมียนรุ่งโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์  
ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

อริศศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ
ชื่อ-นามสกุล	นายอริศศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

## บทคัดย่อ

ความผิดพลาดของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า จะมีผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงมีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีใช้วิธีตรวจสอบ ณ จุดติดตั้งอยู่ 2 วิธี คือ การใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบแคลมป์ ซึ่งวิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนสูง และการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบ วิธีนี้ให้ความถูกต้องสูงกว่าแต่ไม่สะดวกในใช้งานและใช้เวลาการทดสอบนาน จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน โดยคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากเวลาการ ติด - ดับ ของหลอด LED ซึ่งตรวจจับจากภาพที่บันทึกได้จากกล้องเว็บแคม ด้วยเทคนิคการลบจุดภาพ (Subtraction) การตรวจระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) และอัลกอริทึมที่ออกแบบในการแปลงภาพที่บันทึกได้ มาเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่บันทึกได้จากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อใช้ในการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ

ผลการทดสอบการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ในห้องปฏิบัติการ และ ณ จุดติดตั้งใช้งานจริง พบว่าเทคนิคที่นำเสนอให้ผลการประเมินที่ถูกต้องที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.54% เมื่อเทียบกับวิธีการติดตั้งมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบ จะให้ผลความถูกต้องใกล้เคียงกัน แต่ใช้เวลาในการตรวจสอบน้อยกว่า และมีความสะดวกในการติดตั้งทดสอบ

**คำสำคัญ:** เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

<b>Thesis Title</b>	Accuracy Evaluation of Electronic Energy Meters Using Image Processing Technique
<b>Name-Surname</b>	Mr. Atisak Rienrungrote
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2012

## ABSTRACT

Accuracy of energy meters directly effect to both customers and the Provincial Electricity Authority (PEA). Thus the accuracy of energy meters needs to be evaluated regularly. According to the PEA regulations, there are two methods that normally use in the evaluation: using stopwatch work with clamp-on power meter that provides some errors. Another using the standard energy meter installed at the working site compared to the meter under testing. This technique provides a good accuracy evaluation but it is inconvenient in the installation and has to spend a lot of time during the test. From these problems, it inspires to investigate a novel technique as a research.

This thesis presents a digital image processing associate with the standard power meter to calculate the real power from the LED on-off status of the energy meters. Image processing techniques, subtraction thresholding, are applied to the LED images captured from web camera and pass to the designed algorithm in order to provide the real power. Then compared to the real power obtains from the standard power meter for evaluating the energy meter under the test.

As the experimental results both in the laboratory and on installation site, it is found that the proposed method give a better accuracy than the stopwatch method with the mean error of 0.54%. In the comparing to the standard energy meter, in term of accuracy results are almost the same. However in term of testing time, it is found that the proposed method spends much less time and more convenient than the standard energy meter method.

**Keywords:** electronic energy meters, image processing, standard energy meter



## กิตติกรรมประกาศ

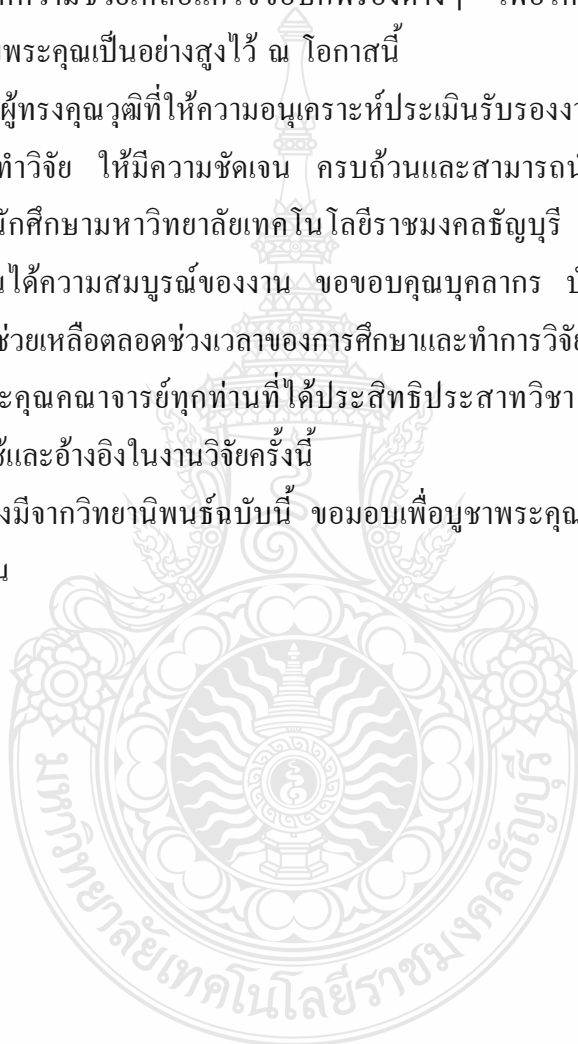
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร. นัทรชัย ศุภพิทักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ณัฐภัทร พันธุ์คง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ บวบทอง ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ให้มีความชัดเจน ครบถ้วนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง และขอขอบใจเพื่อนนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินกิจกรรมวิจัยจนได้ความสมบูรณ์ของงาน ขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา จนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อชิศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 งานวิจัยและเทคนิคที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.3 วิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนเพาเวอร์มิเตอร์.....	22
2.4 วิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานเปรียบเทียบ.....	24
2.5 การตรวจจับการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	25
2.6 แผนภาพของการทำงานวิจัย (Flow Chart).....	27
2.7 บทสรุป.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้องดิจิทัลจับภาพเพื่อนับค่าเวลา.....	31
3.2 การใช้อัลกอริทึมในการวิเคราะห์ประมวลผลค่าเวลา.....	35
3.3 การทดสอบการทำงานหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 การทดสอบวิธีการประมวลผลภาพ โดยการป้อนโหลดที่ทราบค่า ซึ่งวัดค่าด้วย เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานผ่านเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์....	41
3.5 การทดลองให้ผู้ปฏิบัติใช้งานวิธีการประมวลผลภาพ ประเมินผลความถูกต้องของ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	42
3.6 การวิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	45
3.7 บทสรุป.....	45
4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	46
4.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	46
4.2 การทดสอบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าบนพื้นที่ติดตั้งใช้งานจริง.....	57
4.3 สรุปผล.....	65
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ปัญหา อุปสรรค ในการทำวิจัย.....	66
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก รายละเอียดคุณสมบัติเครื่องวัดทางไฟฟ้า.....	70
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การทดสอบค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่างกัน .....	48
4.2	การพิจารณาผลลัพธ์ของการลบจุดภาพในสถานะต่างๆ .....	50
4.3	ผลการทดสอบช่วงการทำงานของหลอด LED1 ใน 1 รอบการทำงาน .....	52
4.4	การทดสอบอัลกอริทึมในการประมวลผลค่าเวลา.....	53
4.5	ผลการทดสอบการแปลงค่าเวลาที่บันทึกได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง.....	53
4.6	การทดสอบค่าเวลาการทำงานของหลอด LED1 เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน .....	54
4.7	ผลการทดสอบใช้วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน.....	56
4.8	ผลการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลิเบรชันเพาเวอร์มิเตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน .....	62
4.9	ผลการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลิเบรชันเพาเวอร์มิเตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน .....	64

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส แบบเหนี่ยวนำ.....	7
2.2	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย .....	8
2.3	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สายประกอบด้วยแปลงกระแสแรงต่ำ.....	8
2.4	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย .....	9
2.5	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ประกอบด้วยแปลงกระแสแรงต่ำ.....	9
2.6	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ประกอบด้วยแปลงกระแสแรงสูง .....	10
2.7	มิเตอร์ไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	11
2.8	มิเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน .....	11
2.9	วงจรการต่อสายเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส 2 สาย .....	12
2.10	การวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เครื่องและเวกเตอร์ไดอะแกรม .....	13
2.11	การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง ต่อวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส .....	14
2.12	การคิดค่ากิโลวัตต์เฉลี่ย.....	16
2.13	การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล .....	17
2.14	ระบบการประมวลผลภาพดิจิทัล .....	18
2.15	ภาพแบบ RGB.....	18
2.16	ภาพแบบ Gray scale หรือภาพระดับสีเทา.....	19
2.17	ภาพแบบ Binary หรือภาพขาว-ดำ.....	19
2.18	การแปลงภาพจากภาพสีเทาให้เป็นภาพสีขาวดำ .....	20
2.19	การใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ .....	22
2.20	การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ .....	24
2.21	การต่อวงจรเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน.....	26
2.22	ขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	27
3.1	บล็อกไดอะแกรมกระบวนการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า.....	29
3.2	บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing).....	30
3.3	กล้องดิจิทัลผลิตภัณฑ์ ANITECH รุ่น IR160 .....	31
3.4	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM I รุ่น Mk6N.....	32
3.5	ตำแหน่งบันทึกการทำงานของเครื่องวัด .....	33

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6	การทำงานใน 1 รอบของหลอด LED1 ที่บันทึกได้..... 34
3.7	การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา ..... 36
3.8	การลบจุดภาพในระดับภาพสีเทา..... 36
3.9	การตรวจระดับจุดเริ่มเปลี่ยนความสว่างของภาพ ..... 37
3.10	การจับลำดับภาพ ..... 37
3.11	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ DRANETZ รุ่น PV 440 ..... 39
3.12	การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์บนแผงทดสอบ ..... 40
3.13	การติดตั้งหลอดอินแคนเดสเซนต์บนแผงทดสอบ ..... 40
3.14	การทดสอบการทำงานของหลอด LED1 ..... 41
3.15	การปรับตั้งค่าโปรแกรมการวัดของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ..... 41
3.16	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์..... 42
3.17	การวัดกำลังไฟฟ้าจริงด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ ..... 43
3.18	การวัดค่าเวลาและจำนวนค่ากำลังไฟฟ้าจริงจาก LED1 ..... 43
3.19	แบบฟอร์มการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ..... 44
4.1	การรับภาพสีแปลงเป็นภาพระดับสีเทา..... 47
4.2	การบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลบริเวณหลอด LED1 ..... 47
4.3	ระดับสีเทาเป็นอาร์เรย์ 1 มิติ ..... 47
4.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการกระพริบของหลอด <b>LED1</b> กับค่ากำลังไฟฟ้าจริง โดยใช้หลอดที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่างกัน 2 ประเภท..... 49
4.5	การพิจารณาระดับความสว่างของจุดภาพ ..... 51
4.6	การทดสอบระดับจุดเปลี่ยนภาพ..... 51
4.7	การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส A ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์..... 57
4.8	การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส B ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์..... 58
4.9	การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส C ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์..... 58
4.10	การวัดค่าเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา ..... 59
4.11	การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจับเวลาจาก LED1 ..... 59

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 แบบฟอร์มการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า .....	60
4.13 การใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า .....	61
4.14 การใช้อัลกอริทึมประมวลผลภาพความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า.....	61
4.15 จุดติดตั้งกล้องดิจิทัลบนที่ภาพหลอด LED.....	63
4.16 การติดตั้งกล้องดิจิทัลกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris	63
4.17 การใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris .....	64



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

พลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟใช้ในการดำรงชีวิต หรือประกอบกิจการต่างๆ นั้น จะมีเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter) เป็นเครื่องมือสำหรับใช้บันทึกปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าบริโภคไปอย่างไรก็ตามหากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทำงานไม่ถูกต้อง จะส่งผลกระทบต่อการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าไม่ถูกต้องเช่นกัน ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์กรขาดความน่าเชื่อถือจึงถือได้ว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้ไฟฟ้าจึงต้องมีการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยวิธีการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่จุดติดตั้งหน้างานมี 2 วิธีการ คือ วิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ [1] ซึ่งวิธีนี้ทำได้สะดวก รวดเร็ว แต่มีความคลาดเคลื่อนสูงจากการจับเวลาและการตรวจสอบขณะโหลดเปลี่ยนแปลง ส่วนวิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบ [2] วิธีการนี้ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องกว่า แต่ใช้เวลาในการทดสอบนาน

ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมืองพัทยาได้มีแผนงานตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทุกเครื่อง โดยมีผู้ใช้ไฟจำนวน 116,000 รายแบ่งเป็นผู้ใช้ไฟรายย่อยจำนวน 113,500 ราย และผู้ใช้ไฟรายใหญ่จำนวน 2,500 ราย ซึ่งระดับความรุนแรงของปัญหาเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทำงานไม่ถูกต้องสำหรับผู้ใช้ไฟรายใหญ่สูงกว่าผู้ใช้ไฟรายย่อยมาก และส่วนใหญ่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟรายใหญ่จะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้ ดังนี้

#### 1.1.1 วิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบ [2]

วิธีการนี้จะใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานที่มีคุณลักษณะเหมือนกันกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเทียบ เช่น ชนิด ขนาด จำนวนเฟส รอบต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นต้น โดยมาต่ออนุกรมกันซึ่งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งตามลักษณะการวัดคือ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่วัดค่าโดยตรง (Direct Energy Meters) และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่วัดค่าทางอ้อม (Indirect Energy Meters) การติดตั้งเปรียบเทียบจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าพลังงานที่วัดได้ทั้ง 2 เครื่อง มาเปรียบเทียบกันหากผลการประเมินอยู่ในช่วง  $\pm 2.5\%$  ถือว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ



อยู่ในเกณฑ์ปกติสำหรับวิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบมีข้อดี และข้อเสียดังนี้

1) ข้อดี

1. วิเคราะห์ผลการตรวจสอบได้ง่ายมีการคำนวณไม่ซับซ้อนเห็นผลชัดเจน
2. เครื่องมือที่ใช้เพียงเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเพียงอย่างเดียว

2) ข้อเสีย:

1 ต้องมีการตัดกระแสไฟฟ้าระหว่างการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ สำหรับเครื่องวัดพลังงานวัดค่าโดยตรง (Direct Energy Meters) ทำให้ต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติและอุปกรณ์ไฟฟ้า

2. หากเป็นมิเตอร์วัดค่าแบบทางอ้อม (Indirect Energy Meter) ต้องต่อวงจรสายคอนโทรลใหม่แต่ไม่ตัดไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังเกิดความไม่ปลอดภัยในการทำงาน

3. ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ
4. ใช้เวลาในการเปรียบเทียบไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ทราบผลการตรวจสอบช้า
5. เสียบุคลากรในการทำงานต้องกลับมาปลดเก็บเครื่องวัดพลังงานเปรียบเทียบ
6. ต้องติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับจำนวนงานในแต่ละวัน
7. ผู้ใช้ไฟต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานเปรียบเทียบ
8. ไม่สามารถตรวจสอบการละเมิดสิทธิ์ที่ไม่ได้กระทำกับตัวเครื่องวัดได้

1.1.2 วิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ [1]

วิธีการวัดรอบการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยใช้นาฬิกาจับเวลาของจานหมุนหรือจานเข็มของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยใช้นาฬิกาจับเวลาเป็นตัววัดความเร็วรอบของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและเปรียบเทียบด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็วกว่าวิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบ แต่พบว่าผลการตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนสาเหตุเนื่องจาก

- 1) โหลดมีการเปลี่ยนแปลงขณะตรวจสอบ และการควบคุมโหลดของผู้ใช้ไฟทำได้ยาก
- 2) การใช้แคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์แบบ 1 เฟส ตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3

เฟส

- 3) ความแม่นยำของแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์
- 4) ความแม่นยำในการจับเวลา

5) ความพร้อมเพรียงกันในการจับเวลาและวัดค่าพลังงานด้วยแคล์มออนเพาเวอร์มิเตอร์

6) ความละเอียดของนาฬิกาจับเวลา

7) การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนผิดพลาด

การวัดรอบการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะงานหมุนของมิเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) มิเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Energy Meters) จะมีงานหมุนแถบสีดำเป็นจุดสังเกตการทำงานติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยที่ใช้กระแสไฟฟ้าตั้งแต่ขนาด 5 แอมป์ 1 เฟส ไปจนถึงขนาด 30 แอมป์ 3 เฟส

2) มิเตอร์ไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Energy Meters) จะแสดงการทำงานด้วยหลอดแอลอีดี หรือเป็นหน้าจอ แอลซีดี (LCD Display) มีจุดกระพริบติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ทุกประเภท

3) มิเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Energy Meters) เป็นมิเตอร์ที่แสดงผลได้ทั้งสองแบบข้างต้น

การทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าจะแสดงผลแตกต่างกันออกไป เนื่องจากมิเตอร์ไฟฟ้าที่มีใช้งาน มีมากมายหลายประเภท หลายผลิตภัณฑ์ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาและออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้งานในอนาคตเป็นมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด เพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะเกิดขึ้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอ การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งให้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง แม่นยำ สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีการที่ใช้อยู่เดิมเพื่อเป็นการพัฒนาการตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้า โดยการนำภาพที่จับได้จากกล้องเว็บแคมประมวลผลโดยการทำ Thresholding และใช้เทคนิคการทำ Subtractions ในการประมวลผลภาพ และใช้อัลกอริทึมแปลงค่าที่ได้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง เพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดพลังงานทางไฟฟ้า และประมวลผลค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงาน การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่างๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีใช้ในปัจจุบัน

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการประเมินผลความถูกต้องที่เหมาะสมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานจริง

1.2.4 เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกต้องปลอดภัยและเพิ่มความน่าเชื่อถือต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 รวบรวมข้อมูลวิธีการตรวจวัดประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.3.2 สามารถใช้กล้องดิจิทัลจับค่าเวลาจากภาพการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่บันทึกได้

1.3.2 สามารถใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมาวิเคราะห์และรายงานผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้

1.3.4 เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถประเมินผลความถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 2.5\%$

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและรวบรวมวิธีการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่างๆ

1.4.2 คัดเลือกวิธีการตรวจวัด เพื่อประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

1.4.3 ทดสอบความถูกต้องของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล

1.4.4 เก็บค่าที่บันทึกได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน และวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล

1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วิธีการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น

1.5.2 เพิ่มความปลอดภัย ความสะดวก รวดเร็ว ในการปฏิบัติงานตรวจสอบประเมินผลการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

1.5.3 สร้างความมั่นใจและความน่าเชื่อถือให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า การประเมินผลค่าความถูกต้องด้วยเทคนิค วิธีการต่างๆ และการนำเทคโนโลยีประมวลผลภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยสะดวกในการทำงาน สามารถใช้ประเมินผล ณ จุดติดตั้งใช้งานเครื่องวัด และเพื่อพัฒนาแนวทางการตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

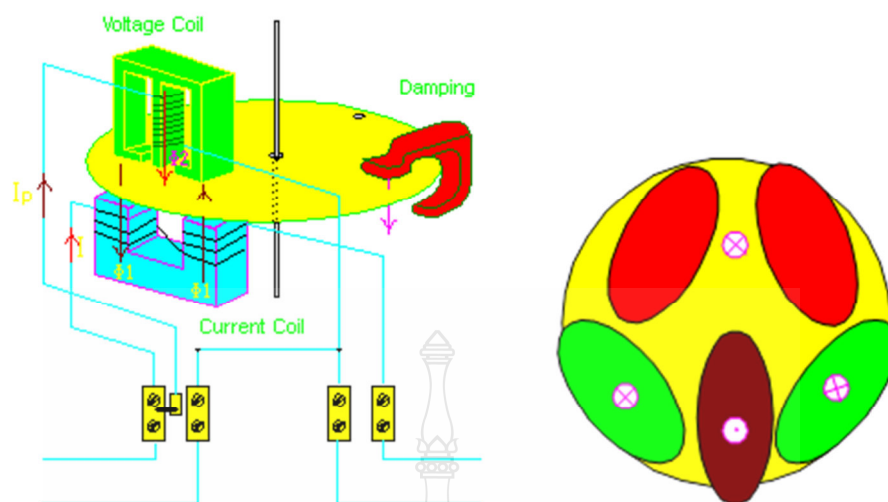
ทฤษฎีได้กล่าวถึงหลักการทํางานวงจรต่อสาย และการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่างๆ

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์หรือเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า [3]

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นเครื่องวัดที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นเพื่อวัดปริมาณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับทั้งในบ้านเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (Kilowatt Hour) สามารถจำแนกตามโครงสร้างได้ 3 ประเภท ดังนี้ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Watt Hour Meters) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Watt Hour Meters) และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Watt Hour Meters)

1) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Watt Hour Meters) มีหลักการทํางานเหมือนกับเครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าชนิดที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำโดยมีส่วนประกอบที่เหมือนกันคือ ขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current Coil) และขดลวดแรงดันไฟฟ้า (Potential Coil) ส่วนที่แตกต่างกันก็คือ ในเครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าจะแสดงค่าด้วยการบายเบนของเข็มชี้ซึ่งใช้ชี้ค่าบนสเกลส่วนเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะแสดงค่าโดยใช้แม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนทำให้จานหมุนและใช้ชุดเฟืองไปขับเคลื่อนตัวเลขหรือชุดเข็มชี้ให้แสดงค่าออกมาบนหน้าปัด



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส แบบเหนี่ยวนำ [3]

โครงสร้างดังภาพที่ 2.1 ประกอบด้วย ขดลวดกระแสต่ออนุกรมกับโหลดและขดลวดแรงดันต่อขนานกับโหลดขดลวดทั้งสองชุดจะพันอยู่บนแกนเหล็กที่ออกแบบโดยเฉพาะและมีจานอะลูมิเนียมบางๆ ยึดติดกับแกนหมุนวางอยู่ในช่องว่างระหว่างขดลวดทั้งสอง

หลักการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำขดลวดกระแสและขดลวดแรงดันทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กส่งผ่านไปยังจานอะลูมิเนียมที่วางอยู่ระหว่างขดลวดทั้งสองทิศทางที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ทำให้แผ่นโลหะตัวนำเกิดการเคลื่อนที่รอบแกนหมุนแรงบิดที่เกิดขึ้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านมิเตอร์ไปยังโหลดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและมีกระแสไหลวน (Eddy Current) เกิดขึ้นในจานอะลูมิเนียมแรงต้านระหว่างกระแสไหลวนและสนามแม่เหล็กของขดลวดแรงดันจะทำให้เกิดแรงผลักดันจานอะลูมิเนียม จึงหมุนไปได้ที่แกนของจานอะลูมิเนียมจะมีเฟืองติดอยู่เฟืองนี้จะไปจับชุดตัวเลขที่หน้าปัดของเครื่องวัดแรงผลักดันที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดแรงดันและกระแสไหลวนในจานอะลูมิเนียมและขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดด้วยส่วนจำนวนรอบการหมุนของจานอะลูมิเนียมขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถแบ่งได้หลายชนิด ดังนี้

1. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย (Single Phase Watt-Hour Meters)



ภาพที่ 2.2 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

2. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สายประกอบหม้อแปลงกระแสแรงต่ำ (Single Phase Watt-Hour Meters with Low Voltage Current Transformer)



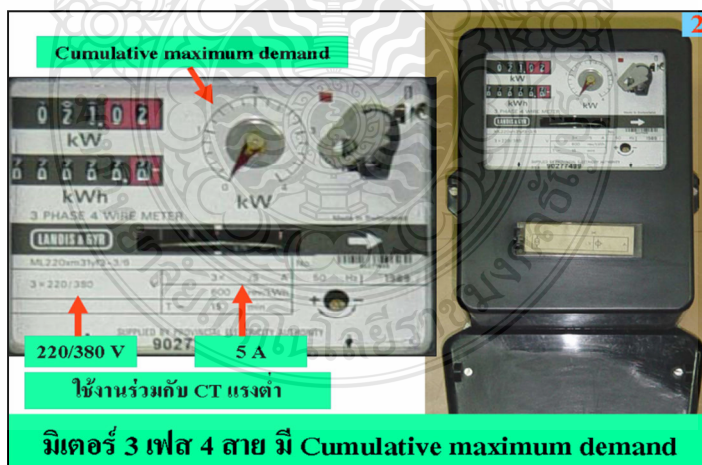
ภาพที่ 2.3 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สายประกอบหม้อแปลงกระแสแรงต่ำ

3. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย (Three Phases Four Wires Watt-Hour Meters)



ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

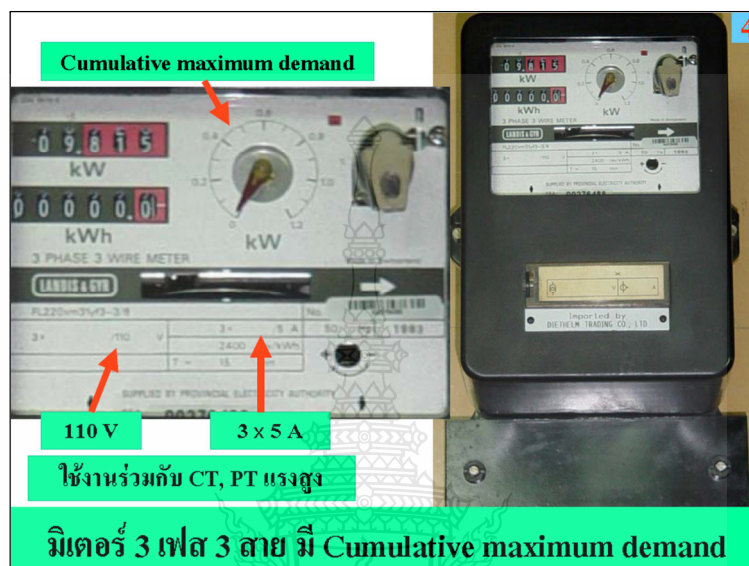
4. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ประกอบหม้อแปลงกระแสแรงต่ำ (Three Phases Four Wires Watt-Hour Meters with Low Voltage Current Transformer)



ภาพที่ 2.5 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ประกอบหม้อแปลงกระแสแรงต่ำ



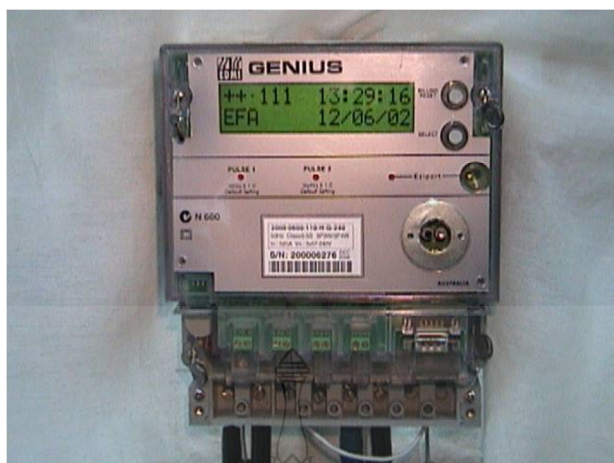
5. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ประกอบหม้อแปลงกระแสแรงสูง (Three Phases Three Wires Watt-Hour Meters with High Voltage Current Transformer and Potential Transformer)



ภาพที่ 2.6 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ประกอบหม้อแปลงกระแสแรงสูง

2) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ [3] การพัฒนาเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องวัดพลังงานแบบดิจิทัล เนื่องจากมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับชนิดแอนะล็อก เช่น ในด้านความเร็ว ความเที่ยงตรง ความละเอียด ลดความผิดพลาดของผู้ใช้ มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกมาก มีระบบป้องกันวงจรภายในดี มีค่าความต้านทานภายในสูงไม่ไหลดวงจร

การทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนประกอบการทำงานดังต่อไปนี้แหล่งจ่ายไฟหลัก แหล่งจ่ายไฟสำรองส่วนการตรวจวัดแรงดันและกระแส วงจรประมวลผลรวม หน่วยความจำ และหน่วยควบคุม ซึ่งหน่วยควบคุมจะเป็นตัวสื่อสารระหว่างวงจรประมวลผลรวมกับหน่วยความจำ ควบคุมจอแสดงผล LCD และสร้างสัญญาณพัลส์ออกทาง LED ที่สัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องวัด



ภาพที่ 2.7 มิเตอร์ไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

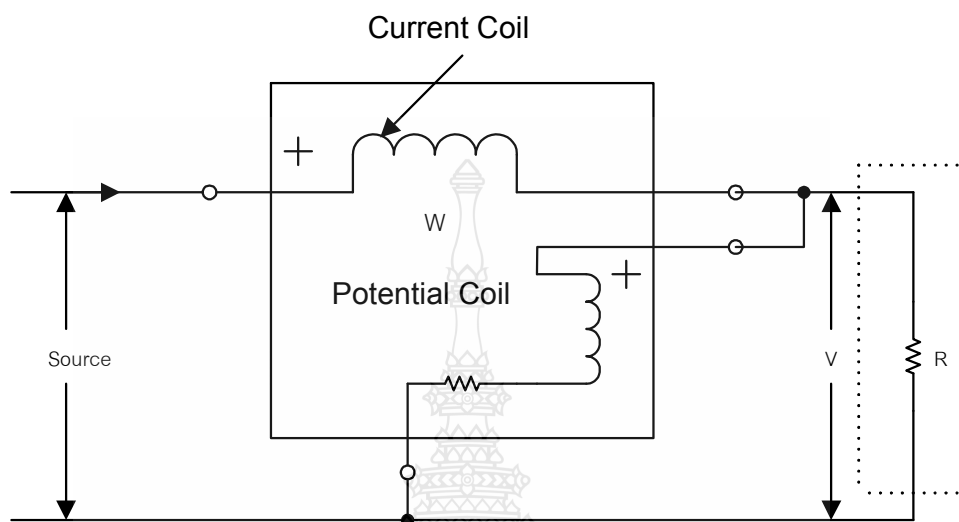
3) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน [3] เป็นเครื่องวัดพลังงานที่แสดงผลได้ทาง 2 แบบคือ ทั้งแบบดิจิทัลและแบบทางกล โดยหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและมีวงจรรวม หน่วยความจำ การแสดงผลทางหน้าจอ LCD เช่นเดียวกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ นับว่าเป็นการพัฒนาเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนที่จะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 มิเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน

### 2.1.2 วงจรการต่อสายและการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดค่าพลังงานชนิดต่างๆ [4]

#### 1) วงจรการต่อสายเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส 2 สาย



ภาพที่ 2.9 วงจรการต่อสายเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส 2 สาย [4]

ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับ

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (2.1)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)

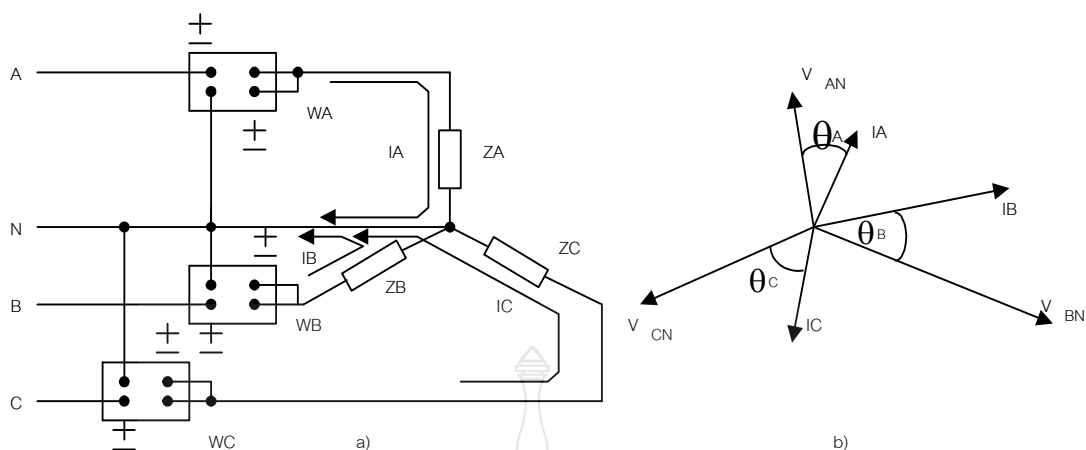
V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

#### 2) วงจรการต่อสายเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

การต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ทำได้ 2 วิธี คือ ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เครื่อง และใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง

1. การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เครื่อง (Three Wattmeter Method) การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เครื่อง เพื่อวัดกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดต่อแบบวายระบบ 3 เฟส 4 สาย ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เครื่องและเวกเตอร์โตะอะแกรม [4]

ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับ

$$W_A = V_{AN} I_A \cos\theta_A \quad W_B = V_{BN} I_B \cos\theta_B \quad W_C = V_{CN} I_C \cos\theta_C \quad (2.2)$$

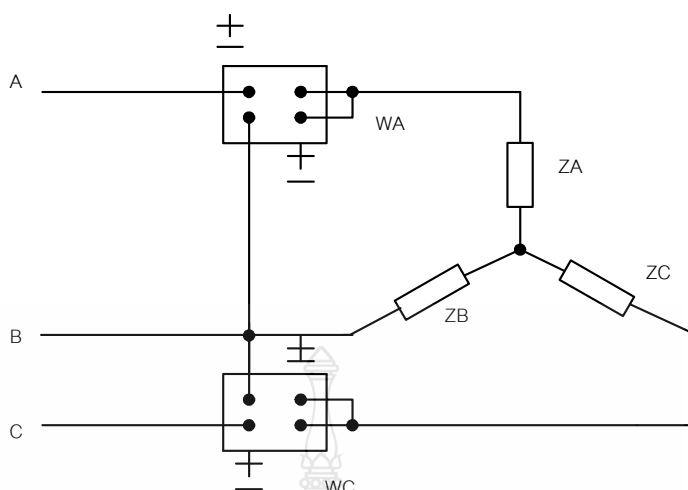
จากสมการนี้ ทำให้ทราบว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า  $W_A$ ,  $W_B$  และ  $W_C$  จะอ่านค่ากำลังไฟฟ้าเฟส A, B และ C ตามลำดับ ดังนั้นสมการค่ากำลังไฟฟ้ารวม ( $P_T$ ) ระบบ 3 เฟส 4 สาย ดังนี้

$$P_T = V_{AN} I_A \cos\theta_A + V_{BN} I_B \cos\theta_B + V_{CN} I_C \cos\theta_C$$

$$P_T = W_A + W_B + W_C \text{ (วัตต์)} \quad (2.3)$$

$$P_T = \text{ค่ากำลังไฟฟ้าจริงรวม (วัตต์)}$$

2. การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง (Two Wattmeter Method) การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง เพื่อวัดกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดต่อแบบเดลต้า ระบบ 3 เฟส 3 สาย การต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง แสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง ต่อวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส [4]

การคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงด้วยการใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 2 เครื่อง มีดังนี้

$$W_1 = (V_{ab})(I_a) \cos \theta_{ab} \quad (2.4)$$

$$W_2 = (V_{cb})(I_c) \cos \theta_{cb} \quad (2.5)$$

$\theta_{ab}$  = มุมระหว่าง  $V_{ab}$  กับ  $I_a$

$\theta_{cb}$  = มุมระหว่าง  $V_{cb}$  กับ  $I_c$

$$P_T = (V_{ab})(I_a) \cos \theta_{ab} + (V_{cb})(I_c) \cos \theta_{cb} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\cos \theta_{ab} = \cos(30 + \theta_1)$

$$\cos \theta_{cb} = \cos(30 - \theta_3)$$

$$\cos(30 + \theta_1) = \cos(30) \cos(\theta_1) - \sin(30) \sin(\theta_1)$$

$$\cos(30 - \theta_3) = \cos(30) \cos(\theta_3) + \sin(30) \sin(\theta_3)$$

แทนค่า  $\cos\theta_{ab}$  และ  $\cos\theta_{cb}$  ในสมการที่ 2.6 จะได้

$$P_T = (V_{ab})(I_a)[\cos(30)\cos(\theta_1) - \sin(30)\sin(\theta_1)] + (V_{cb})(I_c)[\cos(30)\cos(\theta_3) + \sin(30)\sin(\theta_3)] \quad (2.7)$$

กำลังไฟฟ้ารวมระบบ 3 เฟส 3 สาย มีค่าดังนี้

$$P_T = W_1 + W_2 \quad (2.8)$$

ข้อผิดพลาดในการวัด [4]

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ความใกล้เคียงระหว่างค่าที่เป็นจริงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด เขียนเป็นสมการดังนี้

$$A = 1 - \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \quad (2.9)$$

โดยที่  $Y_n$  คือ ค่าจริง

$X_n$  คือ ค่าที่วัดได้

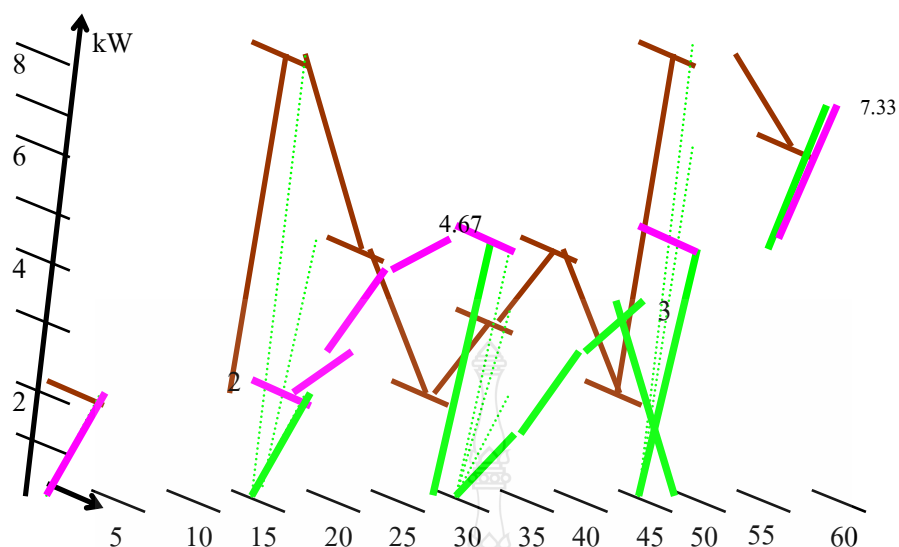
และ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง} = A \times 100 \% \quad (2.10)$$

การคิดค่ากิโลวัตต์เฉลี่ย (Demand) [3]

ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ย คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (หน่วย) ที่ใช้ไปในช่วงเวลาหนึ่งเวลาใด และหารด้วยระยะเวลาในช่วงเวลานั้น ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคิดค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 15 นาที ดังนั้นค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 15 นาที จะเท่ากับจำนวนหน่วยที่ใช้ไปในช่วงเวลา 15 นาที หารด้วยเวลาในหน่วยของชั่วโมง คือ  $(15 \text{ นาที} / 60 \text{ นาที}) = 1/4$

$$\text{ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ย} = (\text{กิโลวัตต์ชั่วโมง} / (1/4)) = (4 \times \text{กิโลวัตต์ชั่วโมง})$$



ภาพที่ 2.12 การคิดค่ากิโลวัตต์เฉลี่ย

ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 0 - 15 นาทีแรก

$$\frac{\{[2 \times (5/60)] + [2 \times (5/60)] + [2 \times (5/60)]\}}{(15/60)} = 2 \text{ kW}$$

ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 15 - 30 นาที

$$\frac{\{[8 \times (5/60)] + [4 \times (5/60)] + [2 \times (5/60)]\}}{(15/60)} = 4.67 \text{ kW}$$

ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 30 - 45 นาที

$$\frac{\{[3 \times (5/60)] + [4 \times (5/60)] + [2 \times (5/60)]\}}{(15/60)} = 3 \text{ kW}$$

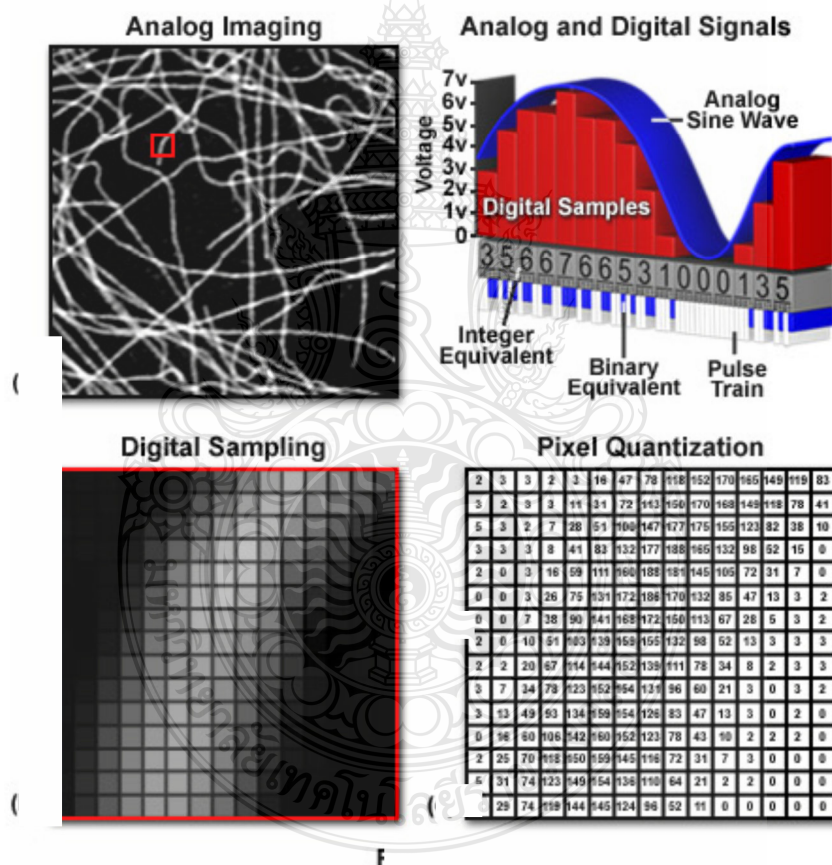
ค่ากิโลวัตต์เฉลี่ยในช่วงเวลา 45 - 60 นาที

$$\frac{\{[8 \times (5/60)] + [8 \times (5/60)] + [6 \times (5/60)]\}}{(15/60)} = 7.33 \text{ kW}$$

### 2.1.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัลจะนำข้อมูลภาพที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analogue Signal) แปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์

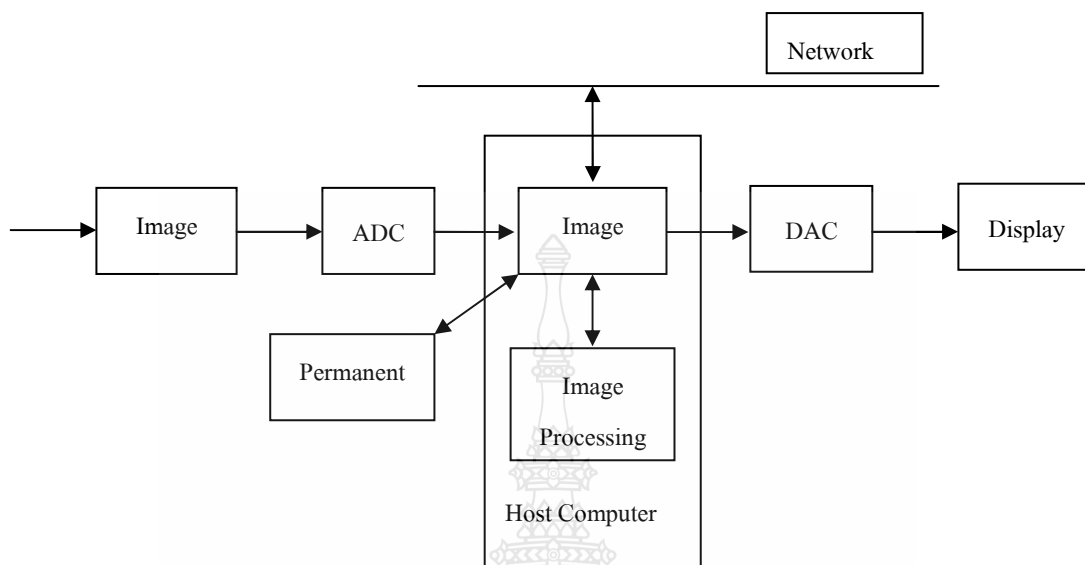
ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นระบบจะนำภาพที่รับเข้ามาไปคำนวณโดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัลจากนั้นคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำโดยการจองหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่างๆของภาพที่จุดจุดภาพนั้นๆและตำแหน่งของช่องอาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพด้วย



ภาพที่ 2.13 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล [5]



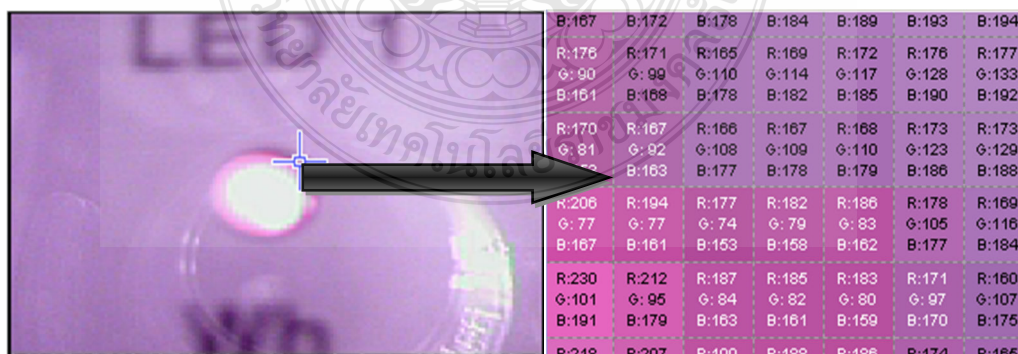
## 1) ระบบการประมวลผลภาพดิจิทัล



ภาพที่ 2.14 ระบบการประมวลผลภาพดิจิทัล

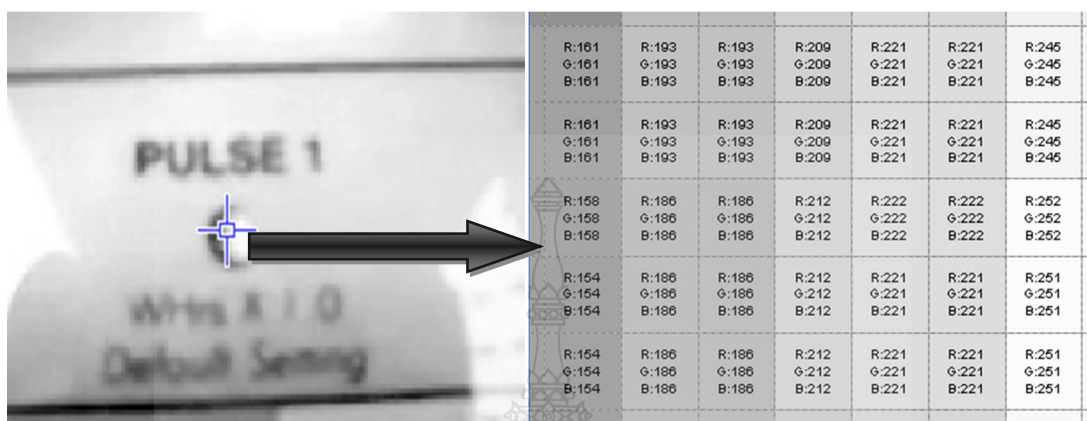
ภาพดิจิทัลที่ได้จะมีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ซึ่งจะมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกันขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าวโดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

RGB Image หรือ True Color Image เป็นภาพที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติขนาด  $m \times n \times 3$  โดยที่  $m$  คือ ความยาวและ  $n$  คือ ความกว้างของภาพในหน่วยจุดภาพส่วนมิติตสุดท้ายนั้นในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกันคือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)



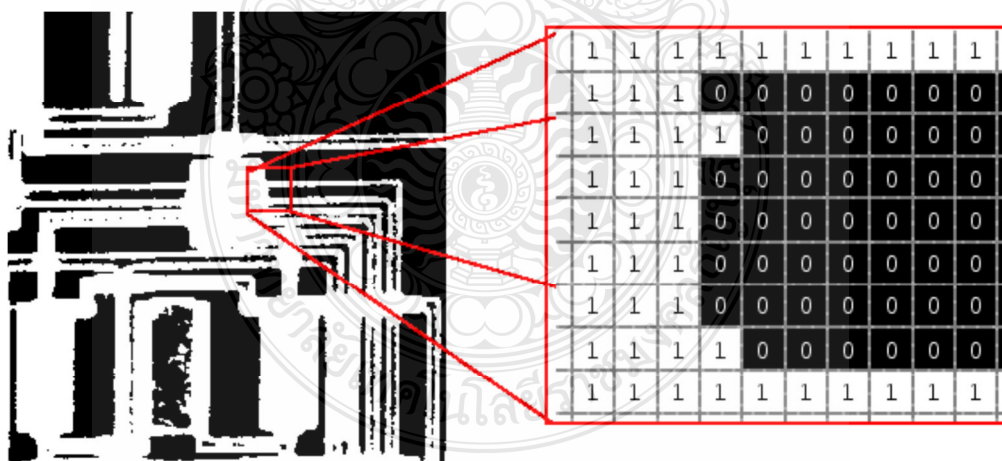
ภาพที่ 2.15 ภาพแบบ RGB

Gray Scale Image เป็นภาพที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆ หนึ่ง 0 – 255 ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี



ภาพที่ 2.16 ภาพแบบ Gray scale หรือภาพระดับสีเทา

Binary Image หรือภาพขาว-ดำเป็นภาพที่ใช้เนื้อที่เพียง 1 บิตต่อจุดภาพ โดยค่าสีจะมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำและ 1 หรือสีขาว



ภาพที่ 2.17 ภาพแบบ Binary หรือภาพขาว-ดำ [5]

## 2) การแปลงระดับสีของภาพสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา [5]

ภาพระดับสีเทา คือ ภาพขาว-ดำ-เทา โดยจะมีระดับความเข้มของสีเทา คือ 0-255 (8 bit) ภาพระดับสีเทาเกิดจากการแปลงภาพสี RGB ที่อยู่ในรูปแบบสี 3 มิติมาเป็นภาพระดับสีเทาเหลือเพียง 1 มิติ โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ง่ายต่อกันคำนวณซึ่งการแปลงสีมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ ที่นิยมคือ

1. การเฉลี่ยค่าของแม่สีทั้งสามซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายแต่ก็อาจมีความผิดพลาดของแม่สีได้
2. คัดตามความสว่างของแต่ละแม่สีโดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.11

$$\text{Gray} = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.114 \times B) \quad (2.11)$$

โดยที่ Gray คือค่าความเข้มของสีเทาโดยจะมีค่าระหว่าง 0-255  
 R คือ ค่าความเข้มของสีแดง โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255  
 G คือ ค่าความเข้มของสีเขียว โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255  
 B คือ ค่าความเข้มของสีน้ำเงิน โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

## 3) วิธีการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำรูปภาพระดับสีเทามาทำการแปลงให้เป็นภาพขาว-ดำ จะทำให้สามารถแยกภาพออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน โดยขั้นตอนในการแปลงภาพนั้นจะใช้เทคนิค Threshold

โดยการนำค่า Threshold ที่ปรับตั้งไว้ มาทำการเปรียบเทียบแต่ละพิกเซลจนครบทุกพิกเซล เพื่อตรวจสอบว่าพิกเซลนั้นควรเป็นส่วนของพื้นหลังหรือส่วนของตัวอักษร เช่น จากการปรับตั้งค่า Threshold เป็น 3 นำค่าไปเปรียบเทียบทุกพิกเซล ค่าที่พิกเซลใดมีค่าน้อยกว่า Threshold ให้พิกเซลนั้นเป็น 0 สีดำ พิกเซลใดมากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ให้พิกเซลนั้นเป็น 1 สีขาว ดังภาพที่ 2.18

0	5	7
1	2	9
1	7	10

ก) ภาพสีเทา

0	1	1
0	0	1
0	1	1

ข) ภาพสีขาวดำ

ภาพที่ 2.18 การแปลงภาพจากภาพสีเทาให้เป็นภาพสีขาวดำ

## 2.2 งานวิจัยและเทคนิคที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนบทความงานวิจัยด้านการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในงานตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและงานที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ สรุปได้พอสังเขปดังนี้

วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในงานตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

วิธีที่ 1 การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าด้วย Clamp on Power Tester [1] ข้อดีของวิธีการนี้คือสะดวก สามารถใช้ตรวจสอบการละเมิดมิเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งไม่ว่ากระทำการที่สายไฟโดยตรง หรือสายคอนโทรลหรือที่ตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้และสามารถประเมินผลความถูกต้องของมิเตอร์ไฟฟ้าโดยไม่ต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในขณะตรวจสอบ แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือไม่สามารถประเมินผลได้ถูกต้องกรณีโหลดเปลี่ยนแปลงขณะจับเวลาเนื่องจากค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จาก Clamp on Power Tester ไม่ตรงกับกรจับเวลาใน 1 รอบการทำงาน

วิธีที่ 2 การนำมิเตอร์เปรียบเทียบกับมิเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน [2] วิธีการนี้ให้ความถูกต้องในการประเมินผลกว่าแต่ต้องใช้เวลาในการติดตั้งเครื่องวัดมาตรฐานเปรียบเทียบเวลา 24 ชั่วโมงสำหรับมิเตอร์วัดค่าแบบทางตรงต้องมีการดับไฟเพื่อติดตั้งมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบส่วนมิเตอร์วัดค่าแบบทางอ้อมต้องต่อวงจรสายคอนโทรลใหม่โดยที่มีกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานและต้องหาพื้นที่สำหรับติดตั้งมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบ

วิธีที่ 3 การใช้ชุดทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์โดยใช้การบันทึกภาพวิดีโอที่งานหมუნ [6] โดยติดต่อควบคุมกับชุดควบคุมโหลดแบบไร้สายเพื่อปรับระดับโหลด ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบภาพจับเวลาของงานหมუნในหนึ่งรอบมาประมวลผลค่าความคลาดเคลื่อน ผลที่วัดได้ต่างจากค่าที่ศูนย์ทดสอบ น้อยกว่า 0.1 % ข้อดีของวิธีนี้คือการใช้งานสะดวกและใช้เวลาในการทดสอบน้อยผลการทดสอบมีความถูกต้องและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูกแต่มีข้อเสียคือต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะทดสอบและไม่สามารถทดสอบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ที่มีความสำคัญสูง

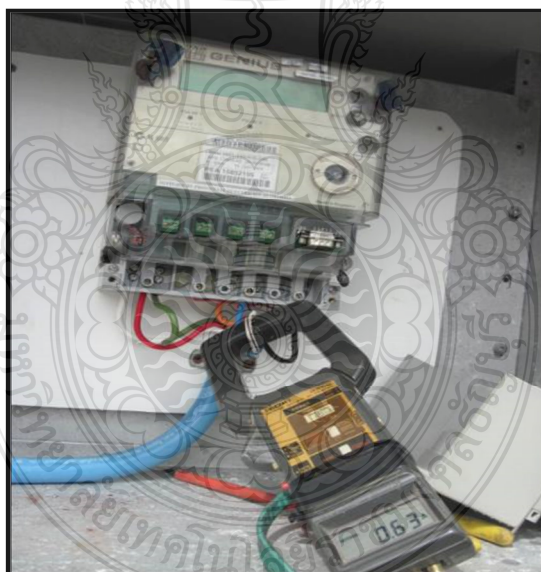
วิธีที่ 4 การใช้เครื่องมือตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำ Unipower 3010 [7] โดยการใช้หลักการการสะท้อนแสงอินฟราเรดพร้อมทั้งวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และประมวลผลค่าความเที่ยงตรงของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องโดยใช้มาตรฐาน IEC 514 และ IEC 736 ในการตรวจสอบและสามารถแสดงผลทางปริ้นท์เตอร์หรือบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ได้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยกว่า 1 % ข้อดีของวิธีการนี้คือผลการประเมินมีความถูกต้องใช้งานง่าย ไม่ต้องหยุดการทำงาน

ของโหลด แต่มีข้อเสียคือเครื่องมือมีราคาสูงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนได้ ซึ่ที.สำหรับ คล้องสายไฟมีขนาดเล็กไม่เหมาะกับสายไฟที่มีขนาดใหญ่

เทคโนโลยีการประมวลผลภาพจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ งานตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากปัจจุบันอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มี ราคาถูกและการประมวลผลรวดเร็วขึ้นมากซึ่งสามารถประมวลสัญญาณภาพได้ถูกต้องโดยไม่ต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในและการใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว

### 2.3 วิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนเพาเวอร์มิเตอร์ [1]

วิธีการวัดรอบการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้านี้ ทำได้โดยสังเกตการทำงานจากจาน หมุนสำหรับมิเตอร์แบบแมคคานิกส์ หรือหลอดแอล อี ดี สำหรับมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมวัด ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่ทำการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำเวลาที่ได้มา คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าและทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ตรวจสอบ



ภาพที่ 2.19 การใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนเพาเวอร์มิเตอร์

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยการวัดรอบการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_M = \frac{3600 \times N \times CT_{RATIO} \times PT_{RATIO}}{(Imp/kWh) \times T} \quad (2.12)$$

โดยที่	$P_M$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ (กิโลวัตต์)
	$N$	คือ จำนวนรอบของการทำงาน (รอบ)
	$CT_{RATIO}$	คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส; หากไม่มีให้ค่าเป็น 1
	$PT_{RATIO}$	คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดัน; หากไม่มีให้ค่าเป็น 1
	(Imp/kWh)	คือ จำนวนรอบการทำงานของเครื่องวัดต่อ 1 กิโลวัตต์
	$T$	คือ เวลาที่วัดได้ (วินาที)

สมการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 3 สาย 2 อิลิเมนต์

$$P1 = (V_{ab})(I_a) \cos\theta_{ab} \quad (2.13)$$

$$P2 = (V_{cb})(I_c) \cos\theta_{cb} \quad (2.14)$$

$$P_T = (P1 + P2) / 1,000 \quad (2.15)$$

โดยที่	$P_T$	คือ กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน (กิโลวัตต์)
	$P1$	คือ กำลังไฟฟ้าจริงของชุดที่ 1 (วัตต์)
	$P2$	คือ กำลังไฟฟ้าจริงของชุดที่ 2 (วัตต์)
	$V_{ab}$	คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส A กับเฟส B (โวลต์)
	$V_{cb}$	คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส C กับเฟส B (โวลต์)
	$I_a$	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเฟส A (แอมแปร์)
	$I_c$	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเฟส C (แอมแปร์)
	$\theta_{ab}$	คือ มุมระหว่าง $V_{ab}$ กับ $I_a$ (องศา)
	$\theta_{cb}$	คือ มุมระหว่าง $V_{cb}$ กับ $I_c$ (องศา)

จากนั้นเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ หากผลการเปรียบเทียบอยู่ในช่วง  $\pm 2.5\%$  ถือว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ปกติ มีสมการคำนวณ ดังนี้

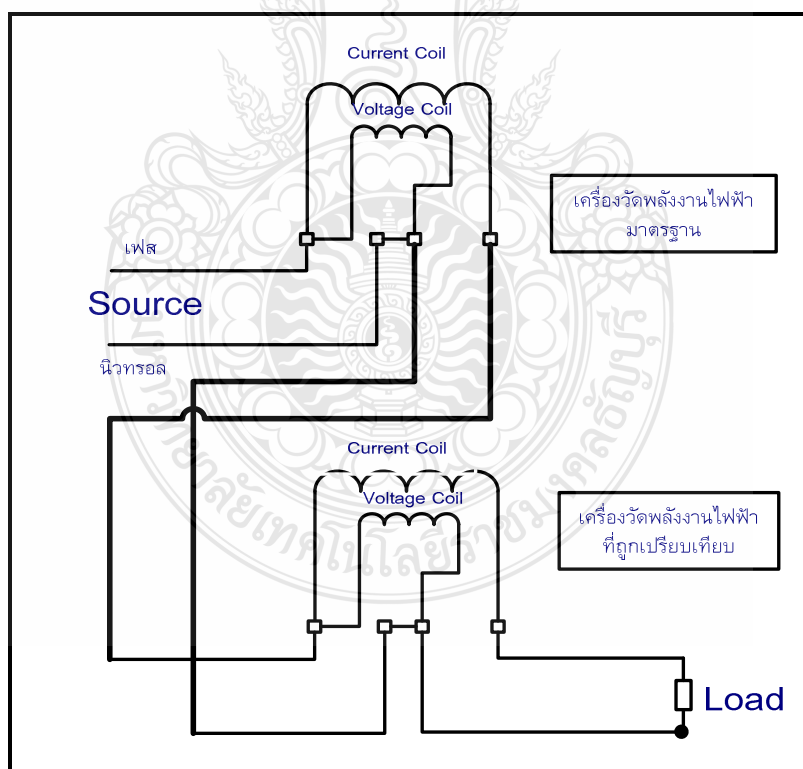
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{P_T - P_M}{P_T} \times 100 \quad (2.16)$$

โดยที่  $P_T$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน (กิโลวัตต์)

$P_M$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ (กิโลวัตต์)

#### 2.4 วิธีการติดตั้งเครื่องวัดพลังงานเปรียบเทียบ [3]

การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานเปรียบเทียบ คือการนำเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะเหมือนกันมาต่ออนุกรมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเทียบ ลักษณะการติดตั้งดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ [2]

โดยนำสายไฟฟ้าด้านแหล่งจ่ายต่อทางด้านเข้าของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ด้านออกของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน เชื่อมต่อทางด้านเข้าของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเปรียบเทียบ และด้านออกของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบต่อไปยังโหลด โดยติดตั้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าพลังงานที่วัดได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ มาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ซึ่งหากผลการเปรียบเทียบอยู่ในช่วง  $\pm 2.5\%$  ถือว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ปกติ มีสมการการคำนวณ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{Y_s - Y_c}{Y_s} \times 100 \quad (2.17)$$

โดยที่  $Y_s$  คือ ค่าพลังงานที่อ่านได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน (หน่วย)  
 $Y_c$  คือ ค่าพลังงานที่อ่านได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปรียบเทียบ (หน่วย)  
 1 หน่วย คือ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

## 2.5 การตรวจับการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณจากระยะเวลาการกระพริบของหลอดแอลอีดี โดยสังเกตได้การ ติด - ดับ ของหลอดแอลอีดี ใน 1 รอบ ทั้งนี้ระยะเวลาการกระพริบจะขึ้นอยู่กับโหลด เช่น หากโหลดน้อยจะใช้เวลานาน และหากโหลดมากจะใช้เวลาน้อย เป็นต้น

### 2.5.1 การตรวจับการทำงานของหลอดแอลอีดีด้วยกล้องดิจิทัล

การตรวจสอบจะใช้กล้องดิจิทัลบันทึกภาพเคลื่อนไหวของหลอดแอลอีดีโดยมีค่าที่สำคัญต่อการประมวลผล คือค่าเฟรมเรต (Frame Rate)

เฟรมเรต คือ อัตราการบันทึกภาพได้ในหนึ่งวินาทีเช่น กล้องเว็บแคมมีค่าเท่ากับ 30 เฟรมเรต หมายถึง กล้องสามารถบันทึกภาพได้ 30 ภาพต่อ 1 วินาที เป็นต้น ซึ่งสามารถหาค่าเวลาระหว่างภาพขณะที่หลอดแอลอีดีสว่าง ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ได้ดังนี้

$$\text{เวลา (วินาที)} = \frac{\text{ลำดับภาพที่ 2} - \text{ลำดับภาพที่ 1}}{\text{เฟรมเรต (ภาพต่อวินาที)}} \quad (2.18)$$

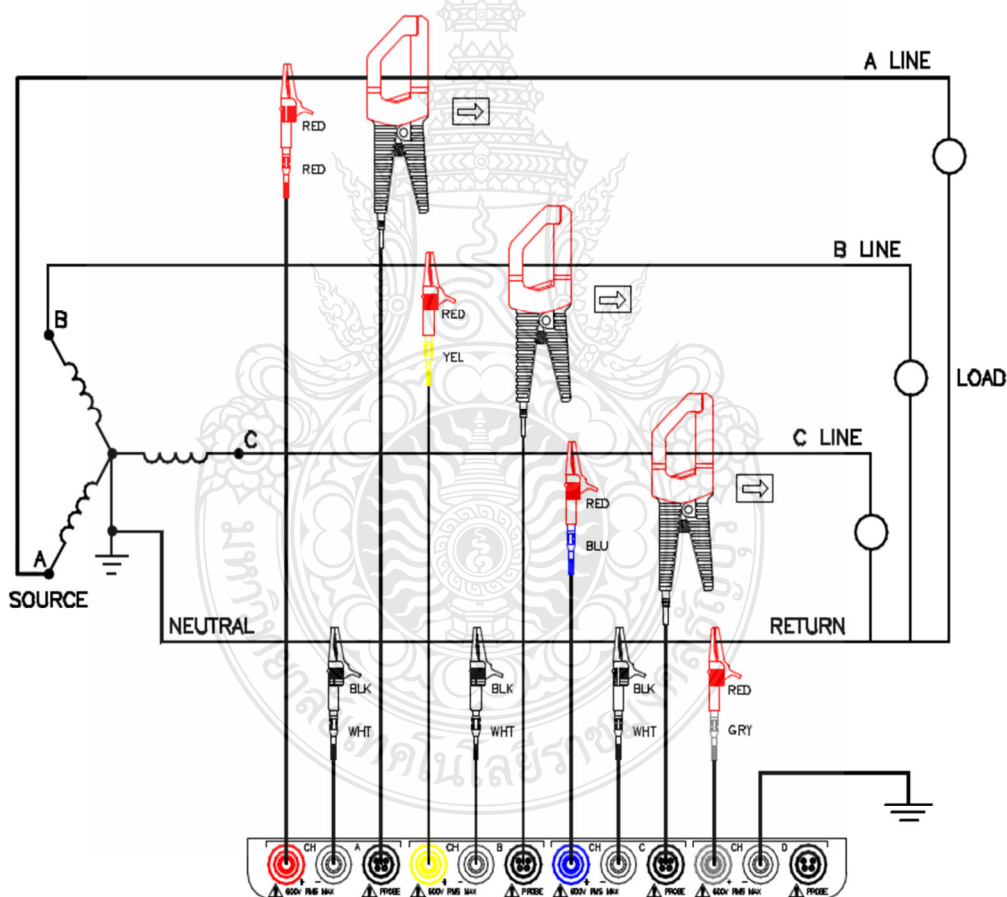


ในที่นี้ใช้กล้องเว็บแคมมีค่าเท่ากับ 30 ภาพต่อ 1 วินาที เนื่องจากข้อมูลภาพที่นำมาประมวลผลไม่ต้องการความละเอียดสูงนักและเพื่อการประมวลผลได้รวดเร็วจึงตั้งค่าความละเอียดที่  $160 \times 120$  pixels

ดังนั้นเมื่อหน่วยควบคุม (Microcontroller) ส่งสัญญาณพัลส์ออกทาง แอลอีดี1 ที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าจริง ก็จะสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้จากสมการ 2.11

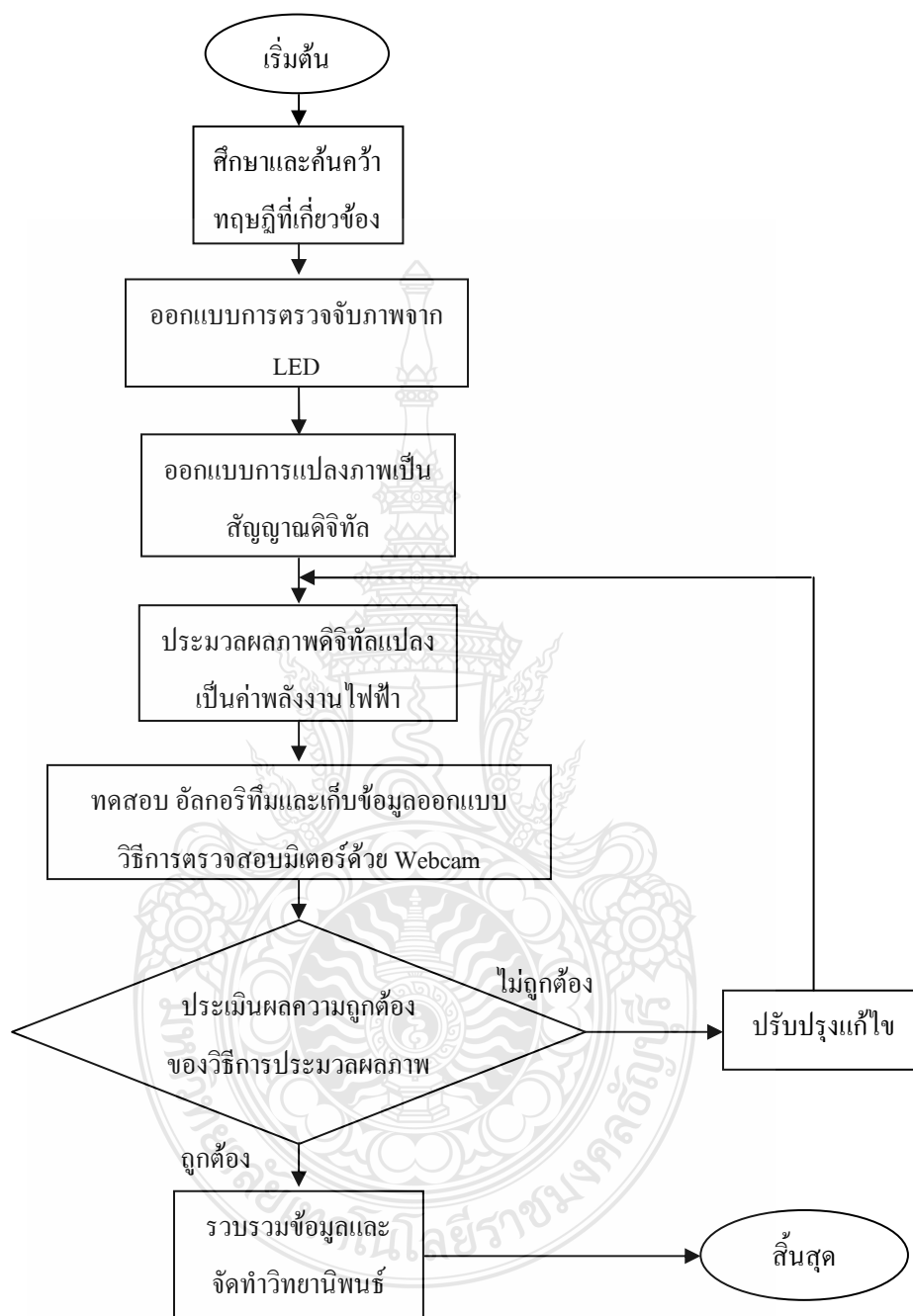
### 2.5.2 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ DRANETZ รุ่น Power Visa ซึ่งมีความละเอียดและความถูกต้องสูงมาเป็นข้อมูลอ้างอิงสามารถส่งข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ Excel ด้วยโปรแกรม Dran-View 6 ลักษณะ การต่อวงจรเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานตามวงจร ดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การต่อวงจรเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน [12]

## 2.6 แผนภาพของการทำงานวิจัย (Flow Chart)



ภาพที่ 2.22 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

## 2.7 บทสรุป

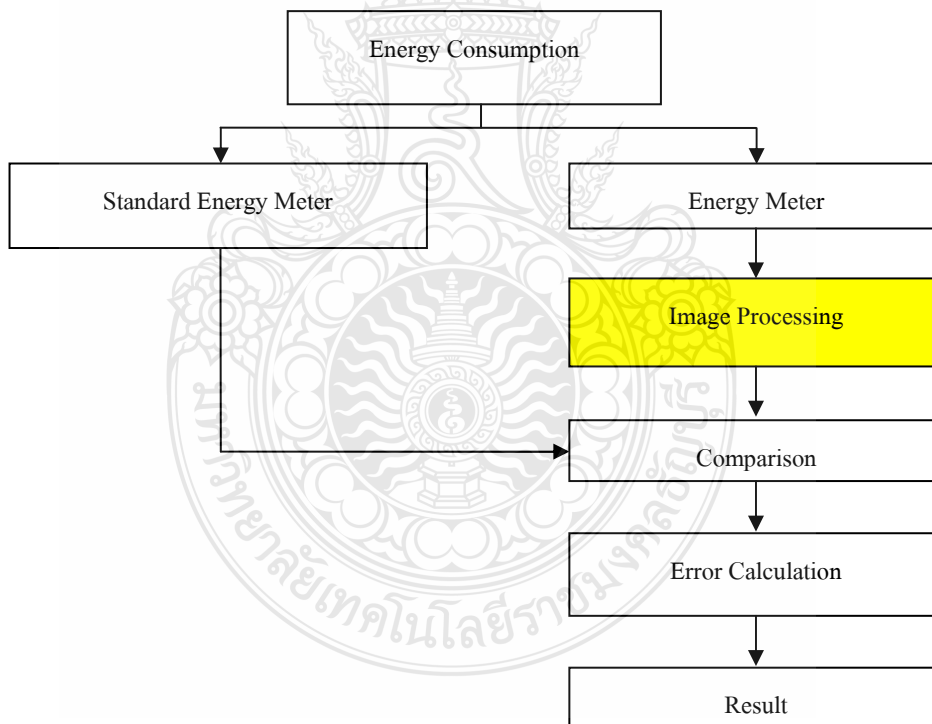
เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีในปัจจุบันมีทั้งแบบเหนี่ยวนำ แบบอิเล็กทรอนิกส์ และแบบกึ่งเหนี่ยวนำกึ่งอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้งานกับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส โดยมีวงจรวัดค่าพลังงานทั้งแบบวัดค่าทางตรง และแบบวัดค่าทางอ้อม การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจึงมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเครื่องวัดพลังงานนั้นๆ ซึ่งในการตรวจสอบประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแต่ละวิธีการก็มีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป จึงได้นำเอาข้อดีของแต่ละวิธีการมาพัฒนาขึ้นใหม่ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่จุดติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าหน้างาน



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

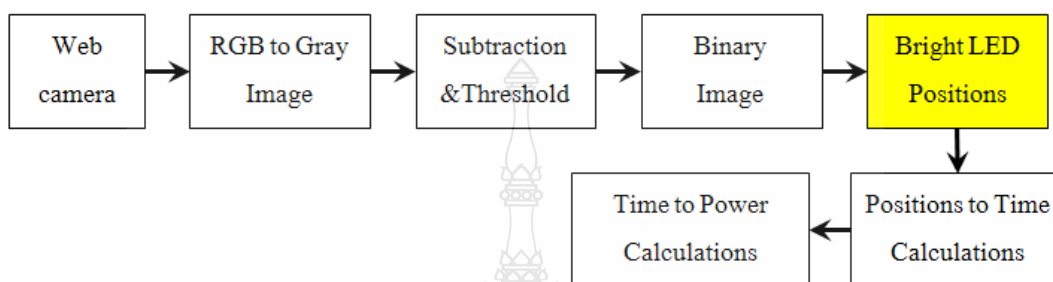
การดำเนินการวิจัยบทนี้ได้ศึกษาและทดสอบการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับการเก็บบันทึกค่าพลังงานจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน (Standard Energy Meter) มีกล้องเว็บแคมใช้ในการบันทึกภาพการกระพริบของ LED ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ มาประเมินผลค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ฐานเวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาเฉลี่ยคือเวลาที่หลอด LED กระพริบใน 1 รอบ แล้วนำมาเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อใช้ในการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทำการทดสอบ โดยสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ ดังนี้



ภาพที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมกระบวนการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Consumption) ของผู้ใช้ไฟจะถูกวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter) โดยมีเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานต่อร่วมเพื่อ

นำค่าพลังงานไฟฟ้ามาเปรียบเทียบ (Comparison) กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) มาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Error Calculation) ด้วยสมการที่ 2.16 และผลลัพธ์ (Result) แสดงผลว่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานหรือไม่



ภาพที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing)

ในการประมวลผลภาพ (Image Processing) ใช้กล้องเว็บแคม (Web Camera) เพื่อบันทึกภาพการทำงานของหลอดแอลอีดีของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจากภาพสีแล้วแปลงค่าสีให้อยู่ในระดับภาพสีเทา (RGB to Gray Image) ด้วยสมการที่ 2.11 จากนั้นนำจุดภาพของแต่ละภาพมาลบกัน (Subtraction) ตามลำดับก่อนลบหลัง  $[(n+1) - n]$  และพิจารณาความสว่างของจุดภาพ (Threshold) เพื่อลดขนาดจุดภาพให้เหลือเพียง 1 บิต กลายเป็นภาพระดับขาว - ดำ (Binary Image) เพื่อนำลำดับภาพที่แสดงจุดสว่างของหลอดแอลอีดี (Bright LED positions) มาคำนวณค่าเวลาการกระพริบใน 1 รอบ (Positions to Time Calculation) ด้วยสมการที่ 2.18 แล้วจึงแปลงค่าเวลาเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า (Time to Power Calculation) ด้วยสมการที่ 2.12

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้องดิจิทัลจับภาพเพื่อนับค่าเวลา
- 2) การใช้อัลกอริทึมในการวิเคราะห์ประมวลผลค่าพลังงาน
- 3) การทดสอบการทำงานของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน
- 4) การทดสอบวิธีการประมวลผลภาพ โดยการป้อนโหลดที่ทราบค่า ซึ่งวัดค่าด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ผ่านเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

5) การทดลองให้ผู้ปฏิบัติใช้งานวิธีการประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

6) การวิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

### 3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้องดิจิทัลจับภาพเพื่อนับค่าเวลา

การทดลองเบื้องต้นเป็นการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ว่าสามารถใช้กล้องดิจิทัลวัดค่าพลังงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการทดสอบได้ ในการบันทึกภาพการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้านั้น จะเริ่มทำการทดสอบเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลองเพื่อหาขนาดของภาพรูปแบบการบันทึกภาพและจุดติดตั้งกล้องดิจิทัลที่เหมาะสม จากนั้นนำภาพที่ได้มาประมวลผลนับค่าเวลาการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่ กล้องดิจิทัลและเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

กล้องดิจิทัลที่นำมาใช้บันทึกภาพการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 3.3 กล้องดิจิทัลผลิตภัณฑ์ ANITECH รุ่น IR160

คุณสมบัติกล้องดิจิทัลผลิตภัณฑ์ ANITECH รุ่น IR160

- 1) กล้องอินฟราเรด สามารถใช้ในที่มืด หรือแสงน้อยได้
- 2) ความละเอียด 16 ล้านจุดภาพหมุนได้ 360 องศา
- 3) ภาพเคลื่อนไหว 2 ล้านจุดภาพ (30 fps)

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N มีรายละเอียด ดังนี้

มิเตอร์ EDM1 รุ่น Mk6N เป็นมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้งานได้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส และ 1 เฟส ซึ่งมิเตอร์สามารถที่จะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริง (kWh) พลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟ

(kVarh) และพลังงานไฟฟ้าปรากฏ (kVAh) โดยสามารถที่จะทำการบันทึกค่าต่างๆ พร้อมทั้งเวลาได้ โดยแสดงผลได้ทั้ง 4 ทิศทาง (Quadrant) สามารถอ่านข้อมูลค่าทางไฟฟ้าต่างๆ รวมทั้งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากหน้าจอ LCD ได้ และสามารถโอนถ่ายข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ได้ ค่าพลังงาน Active Energy (Wh), Reactive Energy (Varh) จะแสดงค่าผ่านทางหลอด LED1 และ LED2 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 1000 impulse/kWh ส่งสัญญาณกระพริบซึ่งค่าเวลาในการกระพริบสัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป ณ ขณะนั้น

ข้อกำหนดการติดตั้งใช้งานเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N มีดังนี้

- 1) พิกัดแรงดัน (Rated Voltage):  $57 V_{L-N}$  to  $240 V_{L-N}$
- 2) พิกัดกระแส (Rated Current): 5(6) A แบบต่อผ่านหม้อแปลงกระแส (CT Connect)
- 3) ความถี่ (Frequency): 50 Hz
- 4) อุณหภูมิใช้งาน (Operating Temperature):  $-25$  ถึง  $+60$  °C
- 5) ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity): 0 ถึง 100 %
- 6) ส่วนประกอบของมิเตอร์



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N



ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N [8]

ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
จอแสดงผล	ใช้สำหรับแสดงค่าต่างๆ ที่มีเตอร์อ่านได้
LED kWh	เป็น LED1 สำหรับใช้ในการทดสอบมิเตอร์
LED kvarh	เป็น LED2 สำหรับใช้ในการทดสอบมิเตอร์
ปุ่มรีเซ็ตมิมานต์	ใช้รีเซ็ต Billing และ Max Demand แบบ Manual
ปุ่มเปลี่ยนหน้าจอ	ใช้เพื่อกดเปลี่ยนค่าต่างๆ แบบ Manual
Optical Port	ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับมิเตอร์เพื่ออ่านข้อมูลต่างๆ
ฝาครอบ เทอร์มินอล	ใช้ครอบเทอร์มินอลต่างๆ ของมิเตอร์

#### ขั้นตอนการทดลอง

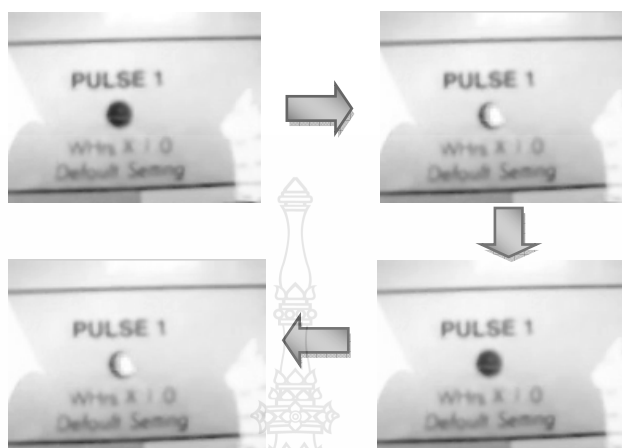
1) การตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องวัดบันทึกค่าปัจจุบันได้ โดยการสังเกตการทำงานของหลอด LED1 โดยใช้โปรแกรม Matlab Simulink รับภาพจากกล้องดิจิทัลผ่านสายสัญญาณเข้าพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์นำภาพที่ได้มาประมวลผลเพื่อนับค่าเวลา ดังนั้นจึงเลือกจุดติดตั้งกล้องดิจิทัลบันทึกการทำงานของเครื่องวัดจะติดตั้งบริเวณหลอด LED1 ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งบันทึกการทำงานของเครื่องวัด



2) บันทึกภาพการทำงานของหลอด LED1 โดยใช้ขนาดเล็กที่สุด (160 x 120 พิกเซล) ที่กล้องดิจิทัลสามารถตั้งค่าได้ เนื่องจากค่าความละเอียดน้อยทำให้การประมวลผลรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 3.6 การทำงานใน 1 รอบของหลอด LED1 ที่บันทึกได้

3) พิจารณาค่าการกระพริบของหลอด LED1 ที่สามารถเป็นไปได้ ดังนี้ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N ที่ทำการทดสอบเป็นแบบ 3 เฟส พิกัด 5 แอมแปร์ 230/400 โวลต์ มีค่าจำนวนอิมพัลส์/กิโลวัตต์ชั่วโมง เท่ากับ 1,000 อิมพัลส์/กิโลวัตต์ชั่วโมง จากสมการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด

$$P_{Max} = \sqrt{3} \times V_L \times I_{L,Max} \times \cos \theta \quad (3.1)$$

โดยที่  $P_{Max}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (วัตต์)  
 $V_L$  คือ แรงดันระหว่างสายเฟส (โวลต์)  
 $I_{L,Max}$  คือ กระแสในสายสูงสุด (แอมแปร์)  
 $\cos \theta$  คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

แทนค่าสมการที่ 3.1 จะได้

$$P_{Max} = \sqrt{3} \times 400 \times 5A \times 1 = 3,464.102 \text{ วัตต์} = 3.464 \text{ กิโลวัตต์}$$

จากสมการที่ 2.12 หาค่าเวลาได้

$$T = \frac{3600 \times N \times CT_{RATIO} \times PT_{RATIO}}{(Imp / kWh) \times P_M} \quad (3.2)$$

$$T = \frac{3,600 \times 1 \times 1 \times 1}{1,000 \times 3.464}$$

และ

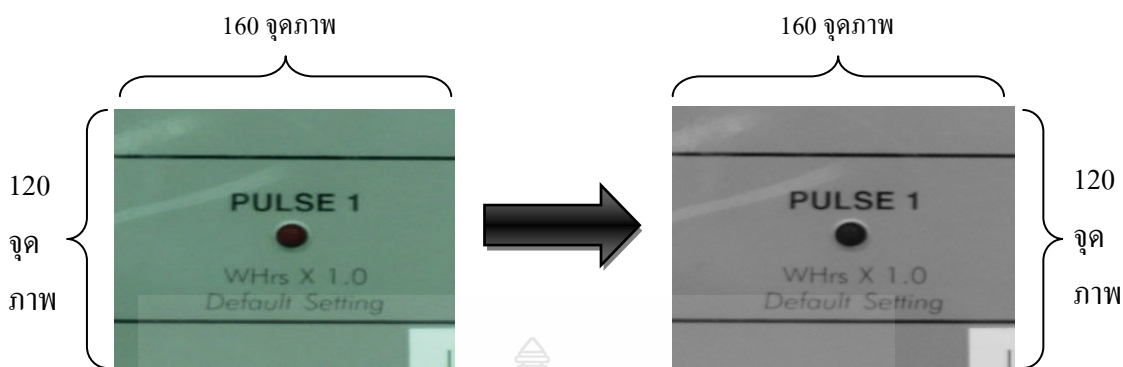
$$T = \frac{3.600}{3.464} = 1.039 \text{ วินาที}$$

เพราะฉะนั้นค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ที่เร็วที่สุดคือ 1.039 วินาที ซึ่งคุณสมบัติของกล้องดิจิทัลมีความไวถึง 30 เฟรมต่อวินาที ดังนั้นสามารถนำมาใช้นับค่าเวลาการทำงานของหลอด LED1 ได้

### 3.2 การใช้อัลกอริทึมในการวิเคราะห์ประมวลผลค่าเวลา

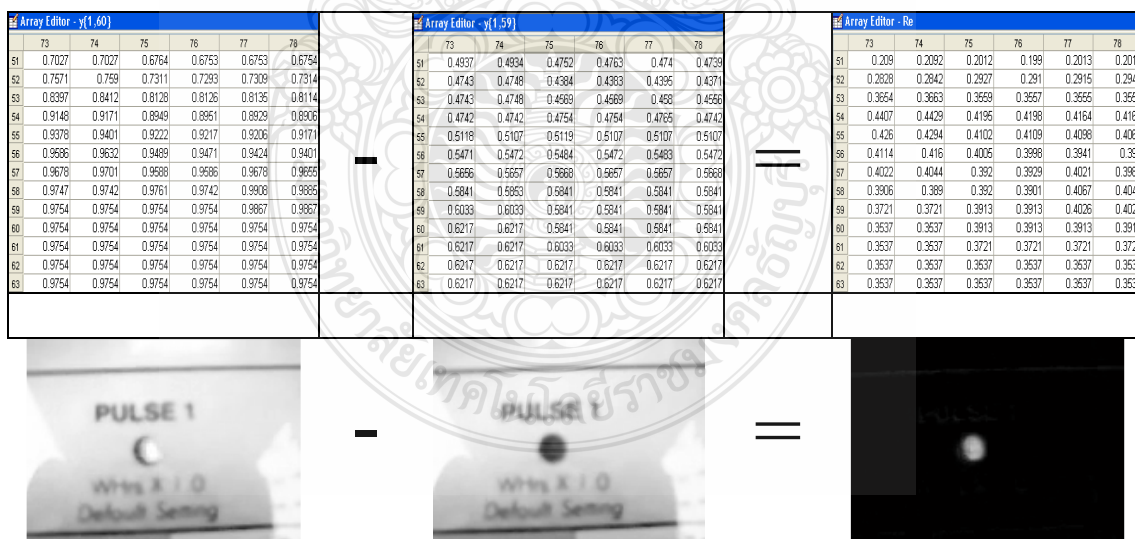
ในขั้นตอนนี้จะนำภาพที่บันทึกได้จากขั้นตอนที่ 3.1 มาประมวลผลหาค่าเวลาโดยใช้เทคนิคการลบจุดภาพ (Subtraction) และการตรวจระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ความสว่างของจุดภาพ จากนั้นใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบในการแปลงภาพที่บันทึกได้ มาคำนวณให้ได้เป็นค่าเวลา โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) นำภาพสีในแต่ละเฟรมแปลงเป็นภาพระดับสีเทา (RGB to Gray Scale) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ความเข้มของแม่สีมีระดับเดียวกัน (Intensity Transformation) คือในพิกเซลหนึ่งนั้นจะประกอบไปด้วยสี R, G, B ซึ่งค่าทั้งสามนี้จะทำให้มีความยากต่อการประมวลผล ดังนั้นต้องมีการทำให้ภาพมีความเข้มของสีในระดับเดียวกันก่อน ดังภาพที่ 3.8



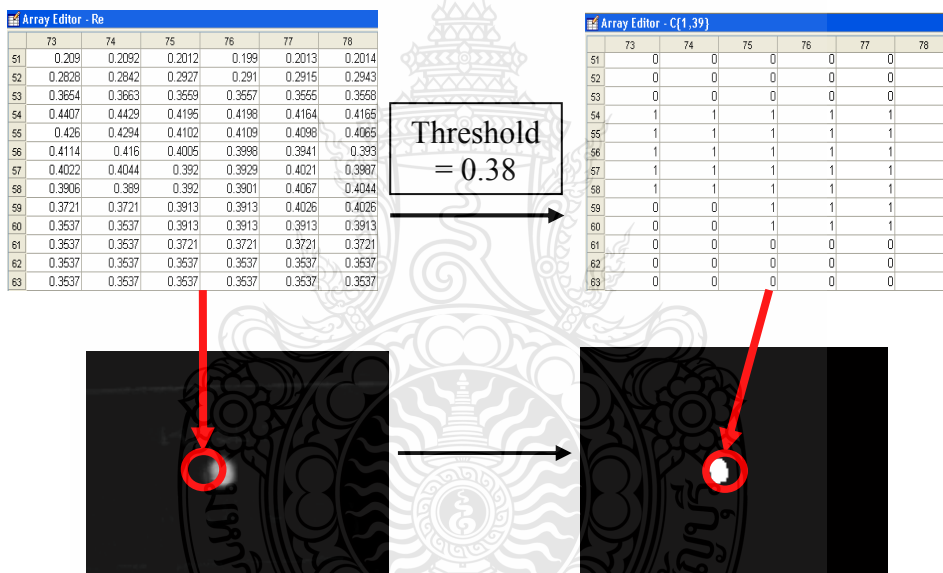
ภาพที่ 3.7 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา

2) นำภาพระดับสีเทามีระดับสีตั้งแต่ 0 - 100 % ของค่า 255 โดยที่ใช้ภาพขนาด 160×120 จุดภาพ แต่ละเฟรมมาลบกันเพื่อหาความแตกต่างของจุดภาพ โดยที่นำภาพข้างหน้ามาลบกับภาพปัจจุบัน  $\{(N + 1) - N\}$  ซึ่งภาพในแต่ละเฟรมที่ลบกันนั้น เหมือนการลบเมทริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับ 160×120 จุดภาพ ซึ่งเมทริกซ์สองเมทริกซ์สามารถนำมาลบกันได้ ถ้าเมทริกซ์ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน วิธีการลบ เช่นเดียวกับการลบทางพีชคณิต กล่าวคือนำสมาชิกที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันลบกันตามปกติ และจะได้เมทริกซ์ผลลัพธ์ที่มีขนาดเท่าเดิม ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การลบจุดภาพในระดับภาพสีเทา

3) ตรวจสอบระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ความสว่างของจุดภาพและจับตำแหน่งภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อแปลงเป็นค่าเวลาที่หลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าขณะทำงาน เป็นการแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับ ให้เป็นภาพที่มีระดับความเข้มเพียง 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 หรือเรียกอีกอย่างว่า Binary ซึ่ง 1 หมายถึงจุดภาพที่มีสีขาว และ 0 หมายถึงจุดภาพที่มีสีดำ การแปลงภาพเป็น Binary จึงมีความสำคัญมากในการแสดงผลภาพที่มีระดับความเข้มของภาพหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้ 2 ระดับ และประโยชน์ในการลดพื้นที่เก็บข้อมูลภาพให้เหลือเพียง 2 บิตในการสร้างภาพ Binary นั้น สามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Threshold Techniques) โดยพิจารณาว่าจุดใดควรเป็นจุดขาวหรือจุดดำ จะกระทำโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่าค่า Threshold หากค่าของพิกเซลมีค่าน้อยกว่า Threshold ให้พิกเซลนั้นเป็น 0 และหากพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่า Threshold ให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 1



ภาพที่ 3.9 การตรวจสอบระดับจุดเริ่มเปลี่ยนความสว่างของภาพ



ภาพที่ 3.10 การจับลำดับภาพ

การนำตำแหน่งภาพมาแปลงเป็นค่าเวลาได้จากสมการที่ 2.18 ดังนี้ ตัวอย่างเช่น ภาพที่หยุดการจับภาพอยู่ในลำดับภาพที่ 90 และตำแหน่งที่เริ่มจับภาพอยู่ในลำดับภาพที่ 30 โดยที่กล้องดิจิทัลมีค่า Frame Rate เท่ากับ 30 fps

$$\text{เวลา (วินาที)} = \frac{90 - 30 \text{ (ภาพ)}}{30 \text{ (ภาพต่อวินาที)}} = 2 \text{ วินาที}$$

4) นำค่าเวลาที่นับได้มาแทนค่าในสมการแปลงเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้จากสมการที่ 2.12 ดังนี้ ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามีค่า Revolution/kWH เท่ากับ 1,000 ต่อร่วมกับ หม้อแปลงกระแสแรงสูงขนาด 10/5 แอมป์ และหม้อแปลงแรงดันแรงสูงขนาด 22,000/110 โวลต์

$$P_M = \frac{3600 \times 1 \times 2 \times 200}{(1000) \times 2} = 720 \text{ กิโลวัตต์}$$

ดังนั้นสรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีประมวลผลภาพสามารถนับค่าเวลาการทำงานจากภาพที่บันทึกได้ และสามารถแปลงเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์บันทึกได้

### 3.3 การทดสอบการทำงานหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

ในขั้นตอนนี้ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ จำนวน 6 หลอด (200 วัตต์ x 5 หลอด และ 100 วัตต์ x 1 หลอด) ซึ่งสามารถปรับค่าได้ 0 – 1,100 วัตต์ ระดับละ 100 วัตต์ โดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานมาตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง แล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับการทำงานของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ DRANETZ รุ่น PV 440 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ DRANETZ รุ่น PV 440 [9]

เนื่องจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มีพิกัดกระแส 5 แอมป์ต่อหนึ่งเฟส การคำนวณหาพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหนึ่งเฟส ได้ดังนี้

$$P_{Max} = V_P \times I_{P,Max} \times \text{Cos}\theta \quad (3.3)$$

โดยที่  $P_{Max}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (วัตต์)

$V_P$  คือ แรงดันเฟส (โวลต์)

$I_{P,Max}$  คือ กระแสเฟสสูงสุด (แอมแปร์)

$\text{Cos}\theta$  คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

จะได้

$$P_{Max} = 220 \times 5 \times 1 = 1,100 \text{ วัตต์}$$

การทดสอบใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นโหลดคงที่ โดยป้อนโหลดครั้งละ 100 วัตต์ ตั้งแต่ 0 – 1,100 วัตต์ ผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีคุณสมบัติ 1,000 อิมพัลส์ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และอัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 1 โดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานบันทึกค่าพลังงานจริงของโหลดแต่ละระดับ จากนั้นคำนวณค่าเวลาด้วย สมการที่ 3.2 เปรียบเทียบกับค่าเวลาที่หลอด LED1 ทำงาน

การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โหลดทดสอบและทำการทดสอบหลอด LED1

1) นำเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งบนแผงทดสอบเพื่อเตรียมทดสอบหลอด LED1



ภาพที่ 3.12 การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์บนแผงทดสอบ

2) นำหลอด (หลอดอินแคนเดสเซนต์) ติดตั้งบนแผงทดสอบจำนวน 6 หลอด (200 วัตต์ x 5 หลอด และ 100 วัตต์ x 1 หลอด)



ภาพที่ 3.13 การติดตั้งหลอดอินแคนเดสเซนต์บนแผงทดสอบ

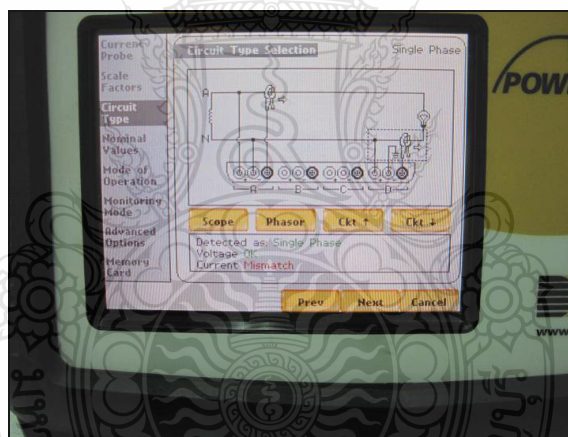
3) ตรวจสอบค่าพลังงานไฟฟ้าจริงโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเปรียบเทียบกับหลอด LED1





ภาพที่ 3.14 การทดสอบการทำงานของหลอด LED1

4) ตั้งค่าโปรแกรมเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าจริง



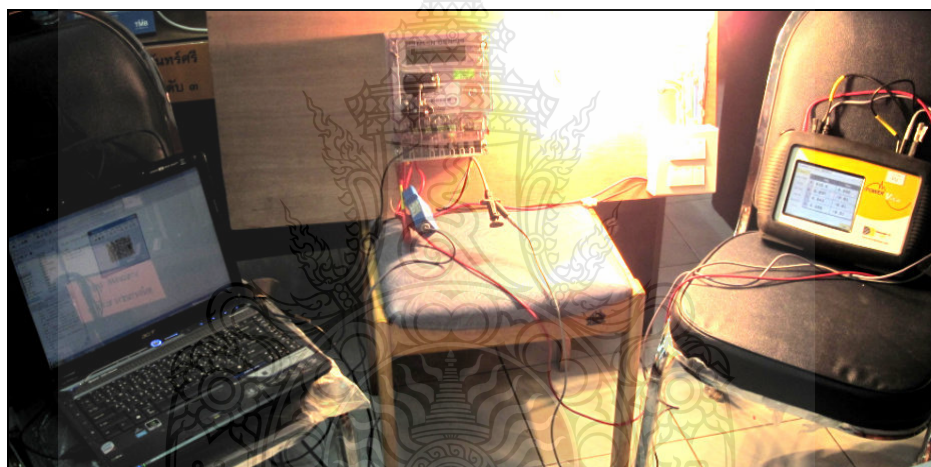
ภาพที่ 3.15 การปรับตั้งค่าโปรแกรมการวัดของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

### 3.4 การทดสอบวิธีการประมวลผลภาพ โดยการป้อนโหลดที่ทราบค่า ซึ่งวัดค่าด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานผ่านเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ในขั้นตอนนี้ใช้กล่องดิจิทัลบันทึกภาพการทำงานหลอด LED1 โดยป้อนโหลดครั้งละระดับผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริงเปรียบเทียบกับวิธีการประมวลผลภาพ เพื่อประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์



วิธีการประมวลผลภาพ เป็นการนำภาพที่เป็นสัญญาณอนาล็อกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้กล้องเว็บแคมจับภาพการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทางหลอด LED1 ที่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าจริง แล้วนำสัญญาณภาพที่เป็น RGB แปลงให้เป็น Gray Scale เพื่อเปรียบเทียบระดับสีได้ง่าย จากนั้นหาค่าผลต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพถัดไปจะทราบตำแหน่งภาพที่หลอด LED1 กระพริบ เมื่อหลอด LED1 กระพริบครั้งที่ 1 โปรแกรมประมวลผลทำการแปลงภาพเป็นภาพขาว-ดำ และนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 หากจำนวนพิกเซลมีค่าเป็น 1 เกินค่า Threshold ให้บันทึกตำแหน่งภาพ พร้อมทั้งทำการวัดค่าพลังงานจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า จากนั้นหาค่าผลต่างตำแหน่งของภาพนำมาคำนวณเป็นเวลาเฉลี่ย 1 รอบการทำงาน ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจากอัตรา Frame Rate มาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจริงและเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า



ภาพที่ 3.16 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

### 3.5 การทดลองให้ผู้ปฏิบัติใช้งานวิธีการประมวลผลภาพ ประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ในที่นี้ได้้นำวิธีการประมวลผลภาพให้ผู้ปฏิบัติทดลองใช้งานตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ตามสถานประกอบการ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมซึ่งใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์มาประเมินผลความถูกต้องโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการติดตั้งเครื่องวัดแคล้มป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ บนที่ก่าแรงดันกระแส ตัวประกอบกำลัง ลำดับเฟส ทั้ง 3 เฟส



ภาพที่ 3.17 การวัดกำลังไฟฟ้าจริงด้วยแคล้มป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์

- 2) จับเวลาการทำงานของหลอด LED1 และบันทึกค่าเวลาในแบบฟอร์มตรวจสอบมิเตอร์



ภาพที่ 3.18 การวัดค่าเวลาและคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจาก LED1



5) ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพในการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

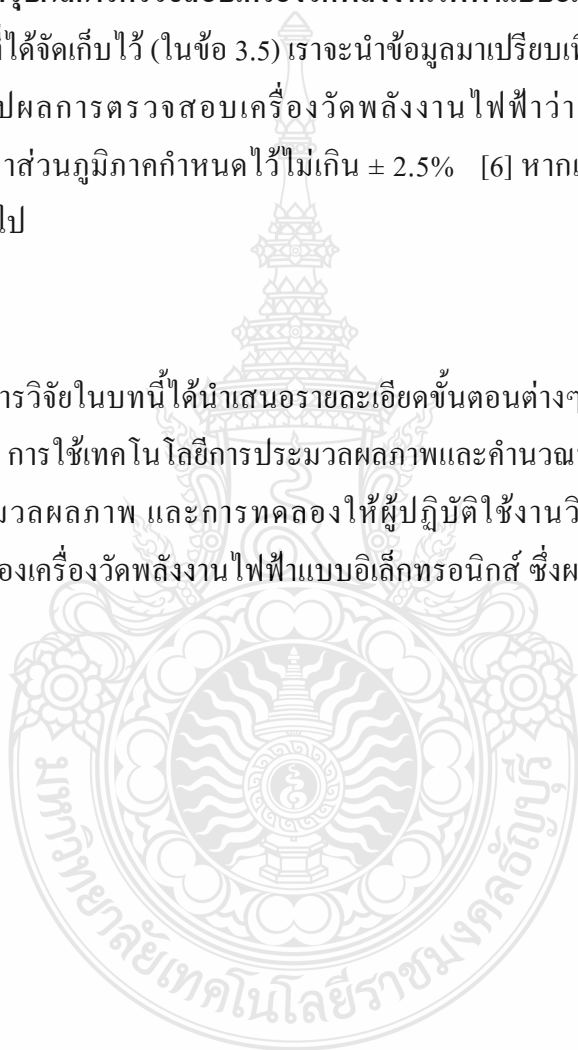
6) เปรียบเทียบการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา

### 3.6 การวิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

จากข้อมูลที่ได้อ้างอิงไว้ (ในข้อ 3.5) เราจะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือไม่ ซึ่งมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดไว้ไม่เกิน  $\pm 2.5\%$  [6] หากเกินค่าที่กำหนดดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป

### 3.7 บทสรุป

วิธีดำเนินการวิจัยในบทนี้ได้นำเสนอรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ในการใช้งานกล้องดิจิทัลจับภาพเพื่อนับค่าเวลา การใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและคำนวณประเมินผลค่าพลังงาน การทดสอบวิธีการประมวลผลภาพ และการทดลองให้ผู้ปฏิบัติใช้งานวิธีการประมวลผลภาพมาประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการทดลองจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 ต่อไป



## บทที่ 4

### วิเคราะห์ผลการทดสอบ

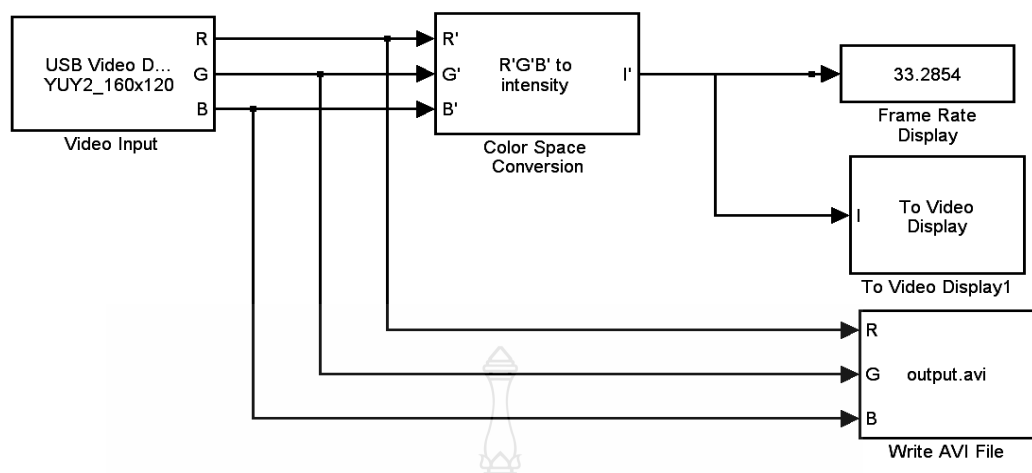
ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบถึงความถูกต้องของวิธีการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลการทดสอบการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงาน ความสะดวกในการใช้งาน ความน่าเชื่อถือของวิธีการที่มีใช้อยู่ปัจจุบันกับวิธีการที่น่าเสนอ

การวิจัยบทนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าบนพื้นที่ติดตั้งใช้งานจริง

#### 4.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่าสามารถนำภาพดิจิทัลที่บันทึกการทำงานของหลอด LED1 มาคำนวณหาค่าช่วงเวลาในการกระพริบของหลอด LED1 มาประยุกต์ใช้กับงานด้านการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ งานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคมบันทึกภาพการกระพริบของหลอด LED1 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับโหลด จากนั้นใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบในการแปลงภาพที่บันทึกได้ มาคำนวณให้ได้เป็นค่าเวลา

การทดลองเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้องดิจิทัลจับภาพโดยใช้โปรแกรม Matlab Simulink รับภาพจากกล้องดิจิทัลผ่านสายสัญญาณเข้าพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์นำภาพที่ได้มาประมวลผลเพื่อนับค่าเวลา สมมติฐานของงานวิจัยนี้ได้บันทึกภาพดิจิทัลเป็นภาพสีขนาด  $160 \times 120$  พิกเซล พร้อมแปลงภาพสีที่บันทึกได้เป็นภาพระดับสีเทาเพื่อสะดวกต่อการคำนวณ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การรับภาพสีแปลงเป็นภาพระดับสีเทา



ภาพที่ 4.2 การบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลบริเวณหลอด LED1



ภาพที่ 4.3 ระดับสีเทาเป็นอาร์เรย์ 1 มิติ



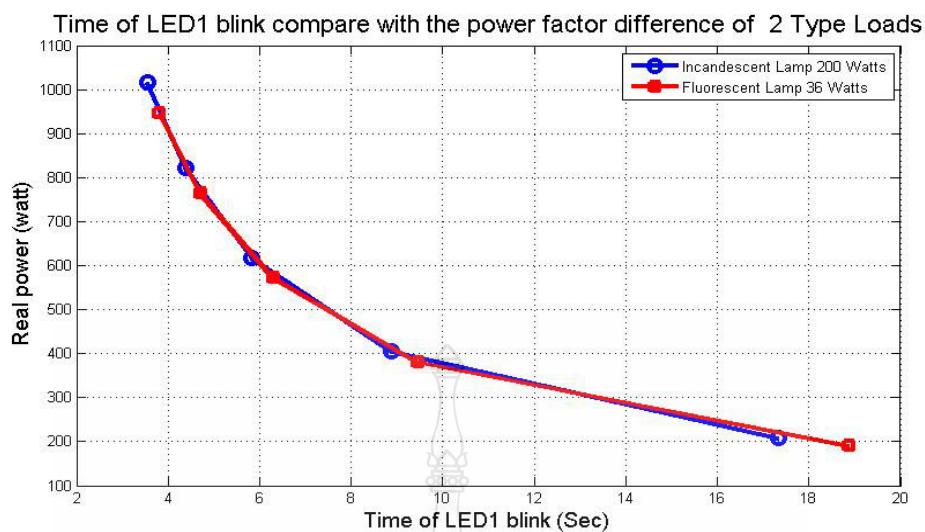
### 1) การทดสอบความสัมพันธ์ของโหลดกับการทำงานของหลอด LED1

หลอด LED1 เป็นตัวแสดงถึงอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าเวลา เพราะฉะนั้น โหลดประเภท Inductive Load หรือ Capacitive Load ไม่ส่งผลต่อค่าเวลาในการกระพริบและหน่วยการใช้ไฟที่เกิดขึ้น (kWh) การทำงานของหลอด LED1 ถูกประมวลผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งสัญญาณพัลส์ออกทาง LED1 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโดยป้อนโหลดเป็นโหลดอินแคนเดสเซนต์ ที่มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 มีขนาด 200 วัตต์ จำนวน 5 หลอด โดยจ่ายโหลดครั้งละ 1 หลอด เปรียบเทียบกับการจ่ายโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.95 ล้าหลัง จำนวน 25 ดวง โคม จ่ายโหลด ครั้งละ 5 ดวง โคม ผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยบันทึกค่าแรงดัน กระแส และตัวประกอบกำลังจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** การทดสอบค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่างกัน

ลำดับ ที่	ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์									
	ป้อนโหลดหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 200 วัตต์					ป้อนโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์				
	จำนวน หลอด	กระแส (แอมป์)	ตัว ประกอบ กำลัง	กำลังไฟฟ้า จริง (วัตต์)	เวลา LED (วินาที)	จำนวน หลอด	กระแส (แอมป์)	ตัว ประกอบ กำลัง	กำลังไฟฟ้า จริง (วัตต์)	เวลา LED (วินาที)
1	1	0.8869	1	207.57	17.34	5	0.8634	0.962	190.64	18.88
2	2	1.7590	1	404.80	8.89	10	1.7250	0.960	380.88	9.45
3	3	2.6624	1	617.70	5.83	15	2.6017	0.958	571.46	6.30
4	4	3.5510	1	822.50	4.38	20	3.4518	0.962	763.74	4.71
5	5	4.4090	1	1,015.40	3.55	25	4.3276	0.959	946.24	3.81

นำค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่บันทึกได้ มาเปรียบเทียบกับกราฟเดียวกัน



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 กับค่ากำลังไฟฟ้าจริง โดยใช้โหลดที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่างกัน 2 ประเภท

ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าความเร็วในการกระพริบของหลอด LED1 ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่างกัน หากมีพิกัดกำลังไฟฟ้าจริงเท่ากัน ค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 จะมีค่าเท่ากันด้วย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 แปรผกผันกับค่ากำลังไฟฟ้าจริง และขึ้นอยู่กับค่า Revolution/kWh ดังสมการที่ 3.2

2) การนับจำนวนภาพเพื่อหาค่าเวลาในการกระพริบของหลอด LED1 ใน 1 รอบการทำงาน

การทดสอบอัลกอริทึมเพื่อนับจำนวนภาพได้ใช้กล้องดิจิทัลบันทึกภาพการกระพริบของหลอด LED1 มาประมวลผล โดยแปลงภาพจากภาพสี (RGB) ที่มีขนาด 3 มิติ เป็นภาพระดับสีเทา (Gray) มีขนาดเพียง 1 มิติ ซึ่งมีค่าสีเป็น 0 ถึง 100 % (0 ถึง 255) เพื่อง่ายต่อการประมวลผล จากนั้นนำภาพมาลบกันพบว่าผลลัพธ์ของภาพที่นำมาลบกันมีความแตกต่างดังภาพที่ 4.5 โดยนำภาพลำดับก่อนหน้ามาลบกับภาพลำดับปัจจุบัน  $[(n+1) - n]$  จะให้ผลลัพธ์สถานะการทำงานของหลอด LED1 ที่ใช้ในการนับจำนวนภาพเพื่อหาค่าเวลาได้ 4 สถานะ ดังนี้

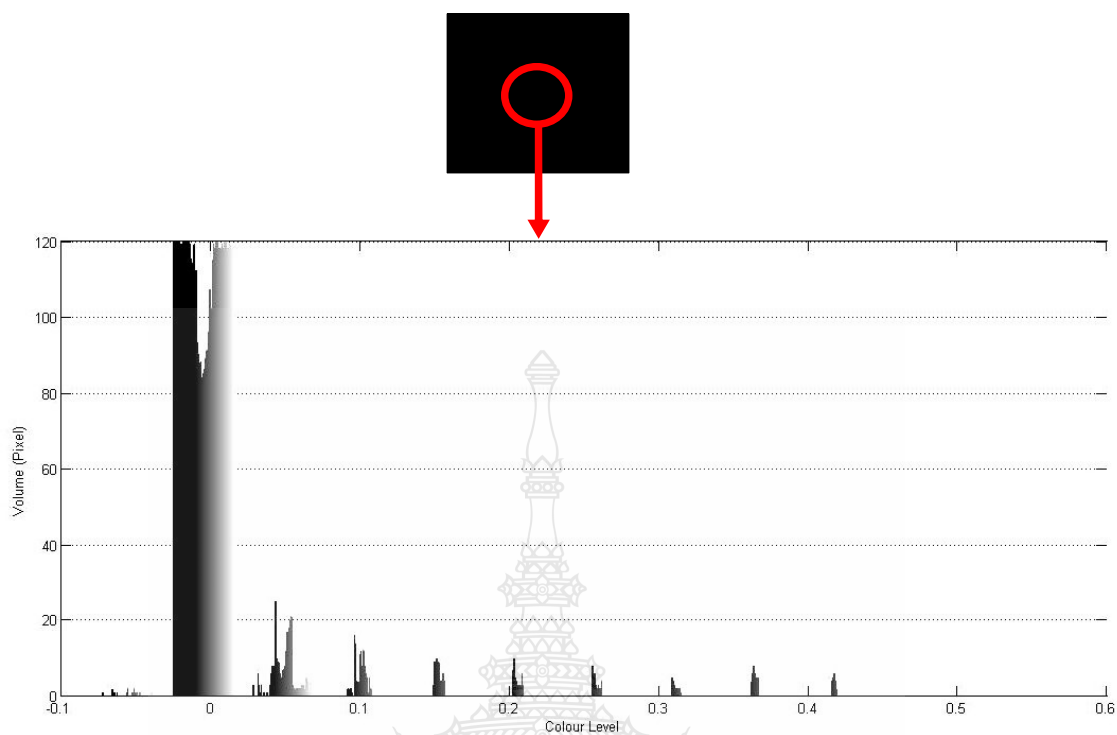


ตารางที่ 4.2 การพิจารณาผลลัพธ์ของการลบจุดภาพในสถานะต่างๆ

ลำดับที่	สถานะการทำงานของหลอด LED1		ผลลัพธ์การลบจุดภาพ
	ภาพลำดับที่ n+1	ภาพลำดับที่ n	
1			
2			
3			
4			

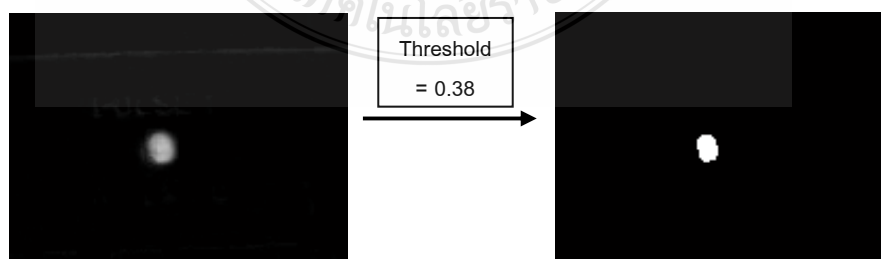
จากผลลัพธ์การลบจุดภาพพบว่าเมื่อสถานะการทำงานลำดับที่ 1 และ 3 เป็นภาพที่ไม่มี ความแตกต่างกันผลลัพธ์การลบจุดภาพจึงเป็นภาพสีดำ ส่วนสถานะลำดับที่ 2 ผลลัพธ์ของค่าสีมีค่า เป็นลบ จึงแสดงผลเป็นภาพสีดำเช่นกัน ส่วนสถานะลำดับที่ 4 ผลลัพธ์ของค่าสีเป็นบวก จึงแสดง จุดสว่างของบริเวณหลอด LED1 ขึ้น จึงแสดงการพิจารณาจุดภาพของหลอด LED1 ให้เห็นเป็นตัวเลข อย่างง่าย

การนำผลลัพธ์การลบจุดภาพจากตารางที่ 4.2 ลำดับที่ 4 มาพิจารณาความสว่างของ จุดภาพบริเวณหลอด LED1 ด้วยฮิสโตแกรมเพื่อหาค่า Threshold ที่เหมาะสมกับการแสดงผลของภาพ หลอด LED ที่บันทึกค่าได้



ภาพที่ 4.5 การพิจารณาระดับความสว่างของจุดภาพ

พบว่าระดับสีในแต่ละจุดภาพหลังการลบกันแล้วจะมีค่าตั้งแต่ -0.06 ถึง 0.42 โดยจะพิจารณาใช้ระดับสีที่ 0.38 เป็นค่า Threshold เนื่องจากค่าที่เกิน 0.4 มีเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้จำนวนจุดภาพที่นำมาพิจารณาความสว่างน้อยเกินไปจนไม่นำตำแหน่งภาพที่มีจุดสว่างของหลอด LED นั้นมาพิจารณา ในการทดสอบนี้จึงได้กำหนดค่าระดับความสว่างของจุดภาพสำหรับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 ที่ทำการทดสอบ เท่ากับ 0.38 โดยการพิจารณาจุดภาพที่มีค่ามากกว่า 0.38 จะถูกปรับค่าให้เป็น 1 (สีขาว) และจุดภาพใดมีค่าน้อยกว่า 0.38 จะถูกปรับค่าให้เป็น 0 (สีดำ) ตามภาพที่ 4.6 ดังนี้



ภาพที่ 4.6 การทดสอบระดับจุดเปลี่ยนภาพ

### 3) การทดสอบการนับภาพการทำงานของหลอด LED1 ใน 1 รอบการทำงาน

การทดสอบการนับตำแหน่งภาพการกระพริบของหลอด LED1 จากผลลัพธ์ที่ได้จากการลบภาพ มาพิจารณาช่วงการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าใน 1 รอบ ได้ดังนี้

#### ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบช่วงการทำงานของหลอด LED1 ใน 1 รอบการทำงาน

ผลลัพธ์จากการลบจุดภาพการทำงาน ของหลอด LED1 ในลำดับถัดมา	การพิจารณาคำแหน่งภาพ
	ไม่พิจารณา (หลอดดับ)
•	ตำแหน่งภาพเริ่มต้น (หลอดสว่าง)
	ไม่พิจารณา (หลอดดับ)
•	ตำแหน่งภาพสิ้นสุด (หลอดสว่าง)

การพิจารณาการทำงานของหลอด LED1 (สว่าง – ดับ) จะพิจารณาจากจำนวนจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 (สีขาว) บริเวณหลอด LED1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของรูปภาพหลอด LED ที่บันทึกได้ โดยพิจารณาจำนวนจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของขนาดภาพหลอด LED เป็นสถานะหลอดสว่าง และหากจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของขนาดภาพหลอด LED เป็นสถานะหลอดดับ

การพิจารณาจำนวนภาพในช่วง 1 รอบการทำงาน โดยนำตำแหน่งภาพหลอด LED1 สว่างครั้งที่ 2 ลบกับตำแหน่งภาพหลอด LED1 สว่างครั้งที่ 1 ซึ่งผลการทดสอบการนับจำนวนภาพช่วงการกระพริบของหลอด LED1 ใน 1 รอบ จากอัลกอริทึมที่นำเสนอจะใช้สมการที่ 2.18 และ 3.2 มาประมวลเป็นค่าเวลาผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบอัลกอริทึมในการประมวลผลค่าเวลา

ลำดับที่	จำนวนภาพใน 1 รอบจากสมการ 2.18 (ภาพ)	ค่าเวลาที่คำนวณจากสมการที่ 3.2 (วินาที)
1	1061	35.381
2	520	17.343
3	352	11.739
4	259	8.650
5	209	6.988
6	175	5.836
7	150	5.024
8	132	4.417
9	118	3.962
10	107	3.568

จากผลการทดสอบโดยใช้อัลกอริทึมแปลงค่าจากจำนวนภาพที่บันทึกได้จากกล้องเว็บแคมแปลงเป็นค่าเวลา ในช่วงการกระพริบของหลอด LED1 ใน 1 รอบ ทั้งนี้ความละเอียดของค่าเวลาจะขึ้นอยู่กับอัตราเฟรมเรตของกล้องดิจิทัลที่นำมาใช้ ในการทดสอบได้ใช้กล้องดิจิทัลที่มีอัตราเฟรมเรตเท่ากับ 30 ดังนั้นความไวในการจับภาพต่อ 1 ภาพจะเท่ากับ  $1/30$  วินาที = 33 มิลลิวินาที ดังนั้นสามารถใช้กล้องเว็บแคมในการประมวลผลค่าเวลาได้

การทดสอบการใช้อัลกอริทึมในการประมวลผลค่าเวลาที่บันทึกได้เป็นแปลงเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการแปลงค่าเวลาที่บันทึกได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง

ลำดับที่	เวลาที่หลอด LED1 ทำงาน (วินาที)	กำลังไฟฟ้าจริงจากอัลกอริทึม (กิโลวัตต์)
1	35.381	0.1020
2	17.343	0.2080
3	11.739	0.3070
4	8.650	0.4160
5	6.988	0.5150

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการแปลงค่าเวลาที่บันทึกได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง (ต่อ)

ลำดับที่	เวลาที่หลอด LED1 ทำงาน (วินาที)	กำลังไฟฟ้าจริงจากอัลกอริทึม (กิโลวัตต์)
6	5.836	0.6170
7	5.024	0.7170
8	4.417	0.8150
9	3.962	0.9090
10	3.568	1.0090

ผลการทดสอบอัลกอริทึมในการแปลงค่าเวลาที่หลอด LED1 ทำงาน เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง จากสมการที่ 2.12 ดังนั้นสามารถนำค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ประมวลผลได้มาใช้ประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้

การกำหนดระยะเวลาการบันทึกภาพ พิจารณาจากช่วงเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ที่ไหลด 100 วัตต์ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด โดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N มีค่า Revolution/kWh เท่ากับ 1,000 สามารถคำนวณค่าเวลาการกระพริบของหลอด LED1 ได้เท่ากับ 36 วินาที ตามสมการที่ 3.2 จึงปรับตั้งค่าเวลาในการบันทึกภาพเท่ากับ 40 วินาที

จากการป้อนโหลดด้วยหลอดอินแคนเดสเซนต์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 100 วัตต์ จนถึง 1,100 วัตต์ สามารถบันทึกผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานเพื่อทำการทดสอบการทำงานของหลอด LED1 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 การทดสอบค่าเวลาการทำงานของหลอด LED1 เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

โหลด (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน (วัตต์)	เวลาที่คำนวณได้จากค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานวัดได้ (วินาที)	เวลาที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ (วินาที)	% ความคลาดเคลื่อน
100	101.8	35.363	35.381	-0.05
200	207.7	17.333	17.343	-0.06
300	307.0	11.726	11.739	-0.11
400	415.7	8.660	8.650	0.12

ตารางที่ 4.6 การทดสอบค่าเวลาการทำงานของหลอด LED1 เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า  
มาตรฐาน (ต่อ)

หลอด (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจริงจาก เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า มาตรฐาน (วัตต์)	เวลาที่คำนวณได้ จากค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า มาตรฐานวัดได้ (วินาที)	เวลาที่ได้จากวิธีการ ประมวลผลภาพ (วินาที)	% ความคลาดเคลื่อน
500	513.7	7.008	6.988	0.29
600	617.7	5.828	5.836	-0.14
700	713.2	5.048	5.024	0.48
800	816.0	4.412	4.417	-0.11
900	910.7	3.953	3.962	-0.23
1,000	1,012.0	3.557	3.568	-0.31
1,100	1,106.0	3.255	3.267	-0.37
% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย				0.2

จากการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน พบว่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าจริงของหลอดอินแคนเดสเซนต์ มีค่าแตกต่างจากฉลากที่กำหนดไว้ จึงเลือกใช้ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ที่วัดค่าได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน แปลงเป็นค่าเวลาด้วยสมการที่ 3.2 มาทดสอบการประมวลผลค่าเวลาที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งผลการทดสอบให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 % ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [1] สามารถนำไปใช้ตรวจจับค่าเวลาการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้

การทดสอบวิธีการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์และวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบใช้วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน	ค่าที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล		ค่าที่ได้จากวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนอนเพาเวอร์มิเตอร์	
	กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน	กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน
101.8	102.86	1.04	101.64	-0.16
207.7	208.71	0.49	201.23	-3.12
307.0	306.45	-2.13	299.00	-2.61
415.7	416.32	0.15	394.74	-5.04
513.7	515.23	0.30	480.64	-6.44
617.7	617.08	-0.10	588.24	-4.77
713.2	717.20	0.56	688.34	-3.49
816.0	815.33	-0.08	745.34	-8.66
910.7	909.24	-0.16	845.07	-7.21
1,012.0	1,009.90	-0.21	906.80	-10.40
1,106.0	1,114.20	0.74	954.91	-13.66
% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		0.54	5.96	

จากการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนอนเพาเวอร์มิเตอร์จะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงถึง  $\pm 5.96\%$  ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง  $\pm 0.54\%$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับได้ [1] เพราะฉะนั้นวิธีจับเวลาร่วมกับแคลมป์ป้อนอนเพาเวอร์มิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธีการประมวลผลภาพ ส่งผลให้การวิเคราะห์การทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผิดพลาดและปัญหาที่ยังคงไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกต้อง

ทั้งนี้ผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลอาจมีความคลาดเคลื่อนสูงถึง  $-2.13\%$  อยู่บ้าง เนื่องจากขณะที่หลอด LED ทำงานมีจุดภาพที่สว่าง (มีค่าเป็น 1) น้อยกว่าค่าที่กำหนด จึงส่งผลให้ค่าเวลาเฉลี่ยมากขึ้น เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าต่ำลง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งกล้องดิจิทัลให้มีพื้นที่หลอด LED มากขึ้น หรือปรับตั้งค่าเทรชโฮลด์ให้เหมาะสม

#### 4.2 การทดสอบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าบนพื้นที่ติดตั้งใช้งานจริง

การทดลองให้ผู้ปฏิบัติใช้งานวิธีการประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยการวิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยวิธีการตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์ทดสอบและวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพตามขั้นตอนที่กล่าวไว้จากบทที่ 3 ดังต่อไปนี้

1) ทำการติดตั้งเครื่องวัดแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ บนที่ก้าแรงดัน กระแส เพาเวอร์ แฟกเตอร์ ทั้ง 3 เฟส



ภาพที่ 4.7 การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส A ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์





ภาพที่ 4.8 การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส B ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์



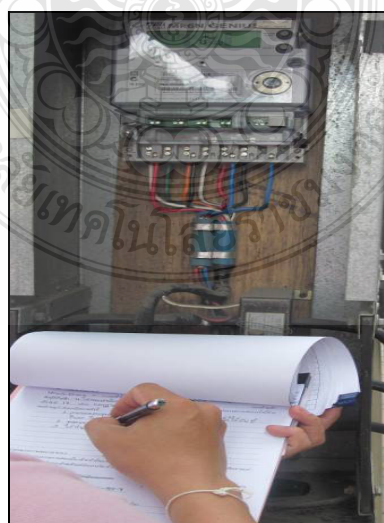
ภาพที่ 4.9 การวัดกำลังไฟฟ้าจริงเฟส C ด้วยแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์

2) จับเวลาการทำงานของหลอด LED1 และบันทึกค่าเวลาในแบบฟอร์มตรวจสอบ มิเตอร์ (มต.ทม.5) บันทึกค่าเวลาได้เท่ากับ 3.41 วินาที



ภาพที่ 4.10 การวัดค่าเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา

3) คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงจากค่าเวลาที่จับได้จาก LED1 เปรียบเทียบกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์และบันทึกค่าเวลาในแบบฟอร์มตรวจสอบมิเตอร์ (มต.ทม.5) บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการคำนวณค่าเวลาที่จับได้เท่ากับ 31.67 กิโลวัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่บันทึกได้จากแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์รวมทั้ง 3 เฟสได้เท่ากับ 29.61 กิโลวัตต์



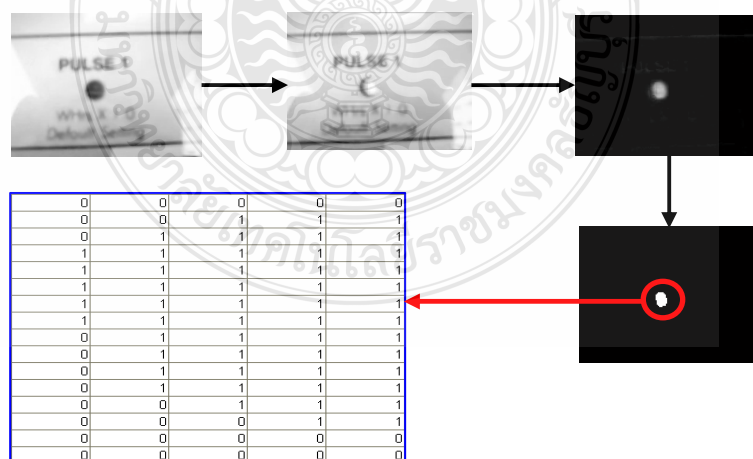
ภาพที่ 4.11 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจับเวลาจาก LED1



5) ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพในการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.13 การใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 4.14 การใช้อัลกอริทึมประมวลผลภาพความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า



วิธีการประมวลผลภาพสามารถบันทึกภาพการทำงานของหลอด LED1 ใน 1 รอบ ได้ 109 ภาพ ค่าเวลาที่มีค่าเท่ากับ 3.633 วินาที และค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่ากับ 29.727 กิโลวัตต์

6) เปรียบเทียบการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา

**ตารางที่ 4.8** ผลการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์อออนเพาเวอร์มิเตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน	ค่าที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล		ค่าที่ได้จากวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์อออนเพาเวอร์มิเตอร์	
กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน
29.610	29.727	+0.40	31.67	+7.00

เห็นได้ว่าการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพให้ผลการตรวจสอบได้ถูกต้อง แม่นยำกว่าวิธีการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจาก ผู้ตรวจสอบกดจับเวลาไม่แม่นยำ โหลดมีการเปลี่ยนแปลงขณะตรวจวัด ผิดพลาดเนื่องจากการคำนวณ เป็นต้น

การทดสอบใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ

การทดสอบใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพในการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่แสดงผลการทำงานผ่านหลอด LED ในที่นี้ได้นำไปทดสอบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris รุ่น SL7000 มีค่าการทำงาน 10,000 อิมพัลส์/กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นมิเตอร์ประกอบ หม้อแปลงกระแสแรงต่ำ ขนาด 250/5 แอมป์



ภาพที่ 4.15 จุดติดตั้งกล้องดิจิทัลบนที่ภาพหลอด LED



ภาพที่ 4.16 การติดตั้งกล้องดิจิทัลกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์

Actaris



ภาพที่ 4.17 การใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ Actaris ด้วยวิธีการประมวลผลภาพกับวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน	ค่าที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล		ค่าที่ได้จากวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	% ความคลาดเคลื่อน
64.54	63.84	- 1.09	60.27	- 6.60

ผลการทดสอบการประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่แสดงผลค่าเวลาผ่านหลอด LED สามารถใช้ได้เช่นกันและให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้

### 4.3 สรุปผล

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพสามารถวัดค่าพลังงานที่ตรวจสอบจากการแสดงผลของ LED 1 ได้ถูกต้อง ผลการทดลองพบว่าวิธีการจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออสซิลโลสโคปมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นเมื่อจ่ายโหลดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการกระพริบของหลอด LED เร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน ดังนั้นวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล สามารถนำมาใช้ตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้อง ง่าย สะดวก รวดเร็ว แม่นยำ ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ





## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพดิจิทัลประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการนำเสนอเทคนิคใหม่เพื่อเป็นต้นแบบการพัฒนาวิธีการตรวจสอบเครื่องวัดให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการทดสอบในห้องทดลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.42% เท่านั้น จากวิธีการปัจจุบันที่การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนิยมใช้ คือ วิธีการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ ซึ่งวิธีการนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

สำหรับการนำไปทดลองใช้กับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่หน้างาน สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก ผลการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อน 1.09% ทั้งนี้ผลความคลาดเคลื่อนส่วนหนึ่งอยู่ที่การปรับตั้งค่าเทรสโฮลด์ในการประมวลผลภาพ ขนาดของภาพ ควรปรับตั้งให้เหมาะสมกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแต่ละผลิตภัณฑ์ด้วย

#### 5.2 ปัญหา อุปสรรค ในการทำวิจัย

วิธีการนี้ใช้กล้องเว็บแคมจับภาพบริเวณหลอด LED1 ที่แสดงค่ากิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งค่าความถูกต้องของการประมวลผลภาพจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพที่ตรวจจับได้ หากภาพไม่นิ่งหรือมีแสงรบกวนหรือการเปล่งแสงของหลอด LED1 ไม่ชัดเจนอาจทำให้การรับภาพเพื่อประมวลผลเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีความคลาดเคลื่อน ส่วนค่าเวลาการทำงานของเครื่องวัดจะขึ้นอยู่กับโหลดหากโหลดที่ใช้ผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 100 วัตต์ จะส่งผลให้ช่วงการกระพริบใน 1 รอบของหลอด LED ช้าการประมวลผลภาพจะนานขึ้นเช่นกัน และคุณสมบัติของกล้อง เช่น ความไวในการรับภาพ (Frame Rate) ความละเอียดและคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณาเลือกใช้งานเช่นกัน

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบการใช้งานเทคโนโลยีประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย โปรแกรม Mat lab ซึ่งราคาลิขสิทธิ์ค่อนข้างสูง แต่สามารถนำไปประยุกต์เขียนด้วย โปรแกรมภาษาซี Visual Basic ใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือทำเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถจัดเก็บข้อมูลตามสถานที่ต่างๆ และมีชุดเครื่องวัดมาตรฐานอยู่ในเครื่องเดียวกันเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย มาใช้ในการตรวจสอบประเมินผล เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า หรือประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบหรือสอบเทียบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทั้งแบบเหนี่ยวนำและแบบอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจจับความเร็วของวัตถุ หรือการใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพประเมินผลเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน



## รายการอ้างอิง

- [1] นายชัยวัฒน์ บุรพัฒน์, การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าด้วย Clamp on Power Tester. การไฟฟ้านครหลวงเขตคลองเตย, กรุงเทพฯ, 2540.
- [2] กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, อัตราค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้าและบริการ. กรุงเทพฯ, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2540.
- [3] กองมิเตอร์ไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, เอกสารการอบรมการตรวจสอบมิเตอร์. กรุงเทพฯ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2540.
- [4] ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, เอกสารการสอน Introduction to Instrumentation. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [5] The MathWorks, Inc. **Image Processing Toolbox™ User's Guide** (Online), 1994. Available: <http://www.mathworks.com> (23 June 2011).
- [6] สมชาย เบียนสูงเนิน, “ชุดทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์โดยใช้การบันทึกภาพวิดีโอที่งานหมุน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่34 (EECON-34), 2554.
- [7] Unipower AB, **Verification Equipment for Electric Meters Unipower 3010** (Online). Available: <http://www.eng.unipower.se/> (21 กุมภาพันธ์ 2555).
- [8] กองมิเตอร์ไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, คู่มือการใช้งาน ที่โอยูมิเตอร์ผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น **Genius**. กรุงเทพฯ, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551.
- [9] DRANETZ – BMI, **Power Visa USER'S GUIDE** (Online), 2005. Available: <http://www.dranetz-bmi.com> USA, 2005 (21 กุมภาพันธ์ 2555).



ภาคผนวก

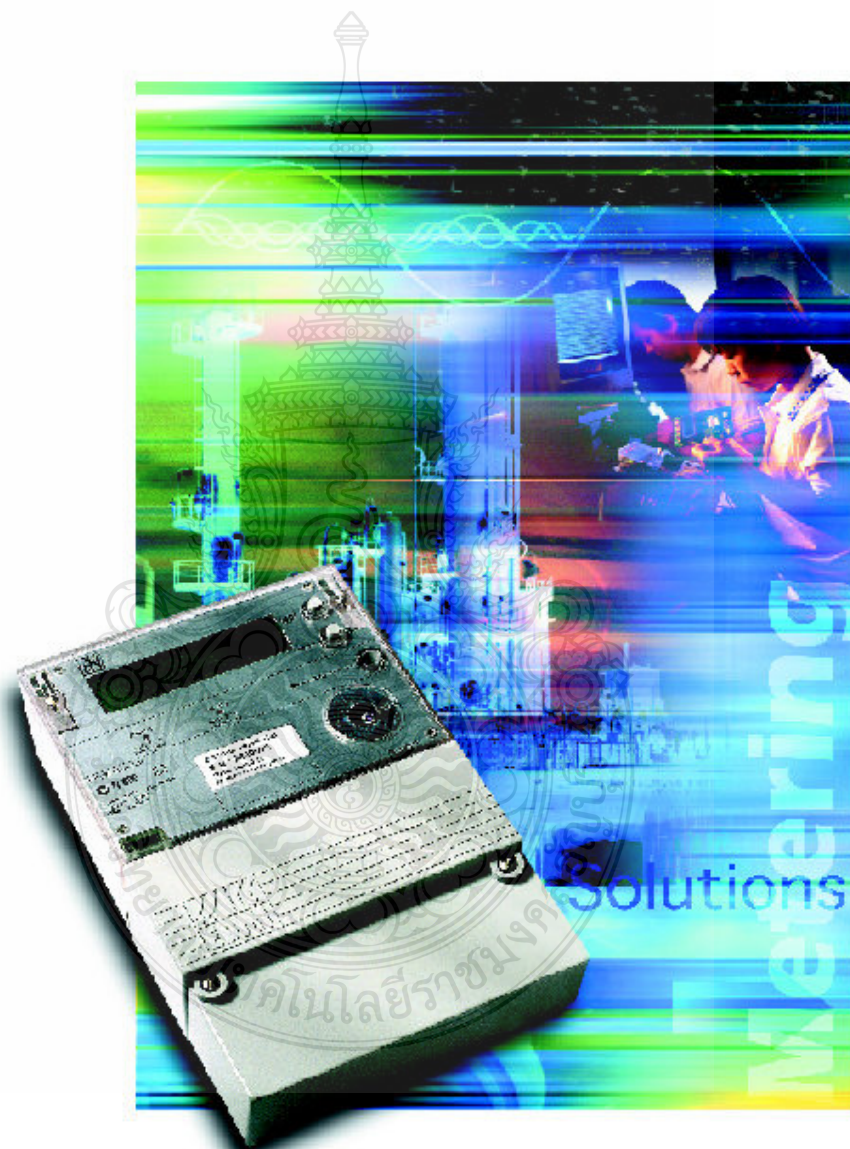


ภาคผนวก ก

รายละเอียดคุณสมบัติเครื่องวัดทางไฟฟ้า



Transform the way people think about  
Electronic **Metering Solutions**



**Mk6 GENIUS**

# Introduction

**EDMI is more than a meter supplier.**

**We provide total energy measurement & management solutions**

## Providing total Energy Measurement Solutions

EDMI is a technology company founded in Brisbane, Australia. We recognised the market needs for an electricity metering and monitoring system which catered for the rapidly changing deregulating markets. We have developed the next generation of Electronic Energy Meters - Mk6 GENIUS.

## EDMI defined the features for the meters of the future:

- Sustained accuracy and reliability;
- Systems approach leading to energy management;
- Measurement of all electrical parameters;
- Data integrity and data security;
- Flexibility in the display and analysis of data;
- Easy remote access;
- Provision for future field upgrades of software;
- Compatibility among all meters in the range;
- Reduction of stock levels by allowing wide voltage and current ranges;
- Readily adaptable to special applications.

**EDMI** has worked in close collaboration with its customers, to develop modern and innovative products. Through the combination of "state of art" hardware and specialised software modules, EDM I has created a range of electricity meters which are quite unparalleled in terms of functionality, accuracy, installation, communication, and data analysis.





# General

## Deregulation challenges the traditional thinking of metering engineers

All over the world, the Producers and Distributors of electric energy are confronted with the challenges of liberalization and deregulation.

Demands from customers and the challenges of new commercial strategies are forcing the producers and suppliers of electricity to be more flexible and competitive in their transactions with customers by offering innovative tariffs and value added services.

There are greater demands for improved quality and the quantity of information from metering systems to meet the needs of: -

- Generation utilities
- Transmission utilities
- Distribution utilities
- Regulators
- Electricity retailing companies
- Customers



## Genius MK6: Meters planned for the changing market place

From experience gained in countries that have understood the issues associated with deregulation, the EDM1 MK6 energy meters have been adapted to cater for the needs of both utilities and customers, without sacrificing reliability, accuracy or security.

We offer features that are unparalleled in the market place. In order to take full advantage of all of the advanced features of the MK6 energy meters, it is important to understand our general approach.

### Meter:

#### Hardware:

Following the analysis of existing metering, it was found that severe metering inaccuracies could occur during the following conditions.

- Rapidly changing load conditions. E.g., spot welding plants
- Presence of high levels of harmonics. E.g., Traction metering
- DC offsets caused by half wave rectified loads.
- External magnetic fields.

Through innovative design, EDM1 engineers were able to provide hardware that exceeded all existing standards, and easily remains within its accuracy class, despite the above influences.

*Through innovative design, EDM1 engineers were able to provide hardware that exceeded all existing standards, and easily remains within its accuracy class, despite the above influences.*



Once again, the Australian design team exceeded expectations.



**Firmware:**

The pre-programmed software within the meter.  
 The challenge given here was to write software that not only met the existing standards, but would also provide a platform for easy set-up of meters to suit the customers' individual requirements. A further requirement was to allow secure field upgrading of the meter to prevent the meter from becoming obsolete as market standards and requirements changed.

Once again, the Australian design team exceeded expectations.

**Customer interface**

**PC Software:**

The challenge here was to provide an interface that was user friendly and versatile enough to be able to set-up and interrogate the entire range of meters.  
 The result was the **EziView** software.

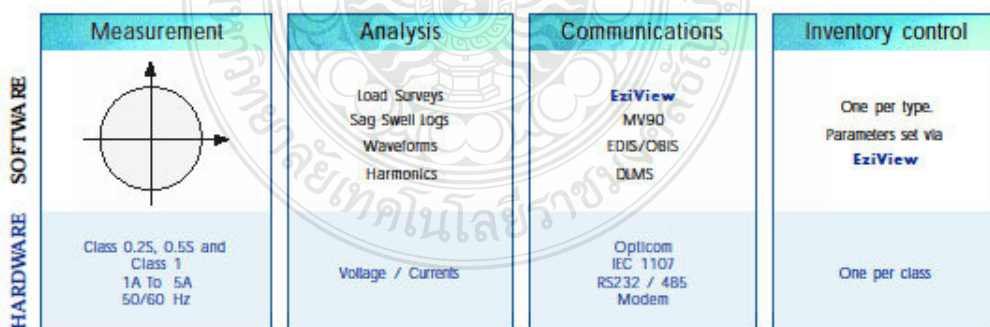
**EziView software: Planned for the future:**

The software EziView provides a number of possibilities for configuring meters, reading and analysing the data from meters as well as setting up security systems for a range of meters.

At entry level EziView can be supplied with the minimum of features, allowing easy familiarisation of the software, and as the customers' requirements change, EziView can be re-configured to add extra functions.

Also available for use with EziView is a scripting "Toolbox." This toolbox is used to add special functions to the Mk6 GENIUS meters, tailoring the meter to suit both industry and customer specific requirements.

**We can represent the meters schematically:**



## Description

Essential functions of the MK6 Energy Meters:

### Basic functions

- Energy measurement, well within the limits of the Class of accuracy
- Instantaneous Parameters
- Surveys
- Tarification
- Data Storage
- Internal clock
- Alarms
- Security

### Parameterisation

- Programmable CT & VT ratios
- 2 Element / 3 Element
- Customised LCD display
- Customer specific Alarms
- Scripts: standard or "to order"
- EziView software

### Communication Possibilities

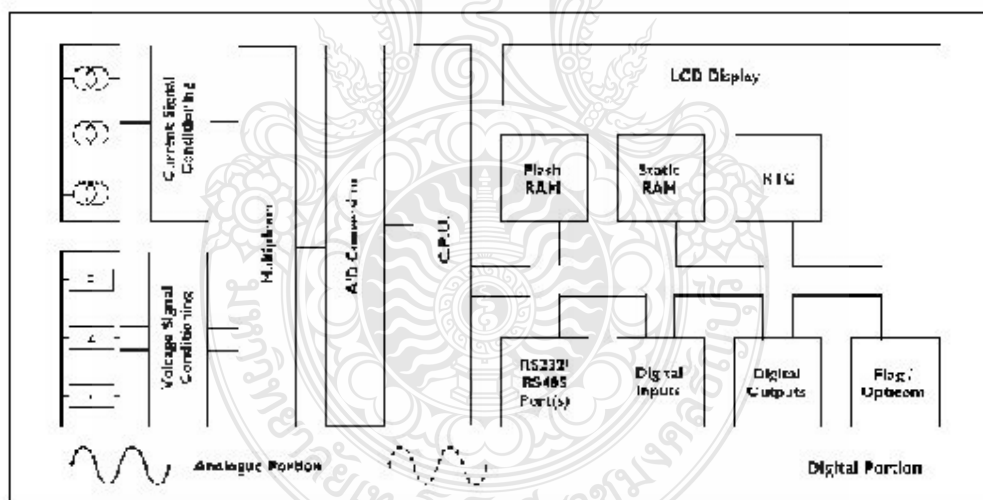
- EDIS / OBIS<sup>Δ</sup>
- RS-232
- RS-485
- SCADA
- Modems
- EziPort
- MV 90
- TCP/IP
- Master - slaves configuration

### Complementary functions

- Instrument transformers loss compensation
- Quality of Supply
- Waveform Capture
- Sag and Swell Analysis
- Harmonic Analysis

### Measurements

The heart of the meter is an analogue to digital converter (ADC) used to sample the voltage and current signals. To calculate the energy and other system parameters, advanced digital signal processing (DSP) techniques are used. Any of these quantities may also be stored as a profile for future analysis.



Available measurements include:

- RMS Voltage
- RMS Current
- Power Factor
- Frequency
- Active Energy
- Active Power
- Reactive Power
- Reactive Energy
- Apparent Power
- Maximum Demand (Block or Rolling)



### Surveys

The Survey function allows for different channels

Meter Type	MK6	MK3
Number of channels	30 per survey	On Request
Surveys	11	OR
Integration Period	Programmable	OR
Notes	Additional available using scripts.	

### Tariffication

The MK6 meters are equipped with a very advanced tariffication module. In MK6, Up to 200 Tariff Periods of up to 8 Rates can be programmed into the meter, including daily, weekly, yearly and special one-off periods. Periodicity can be daily, weekly, yearly or special. The meter stores energy, maximum demand and time of maximum demand for the current billing period, previous billing period and cumulative totals with complete flexibility to display over twelve months of previous readings. The meters can also survey external pulse inputs i.e. water and gas meters.

### Data Storage

All critical data, including calibration, configuration and time of use, is stored in battery backed up RAM and in non-volatile FlashRAM, which will retain the data indefinitely even when no auxiliary supply is available.

### Internal Clock

The internal clock of the MK6 meters is fitted with a Real time Clock/Calendar chip (RTC) used for tariff control and for time stamping of load survey data. This chip utilises a Lithium Battery to provide backup supply to maintain the time during power outages. This Lithium battery is capable of preserving the meter clock for up to 5 years continuously in absence of power. As an option, during normal operation, the clock can be maintained from the mains frequency.

### Alarms

Auto-diagnostic alarms are used in the MK6 meters (loss of memory, problems with batteries...). Other programmed alarms are available, including VT failure/tolerance, unbalanced power and advanced tampering.

### Security

The security of the meters is managed according to categories of users. Thus, the use of the meters is protected and guarantees a direct and exclusive access to the menus determined by the security level.

### Liquid Crystal (Back lit) Display

Two lines of 16 alpha-numeric characters.

The scrolling of the information can be user programmed. The MK6 meters can display a very large range of pre-programmed registers but also allows user defined options to be displayed.

## Communications options

### IEC1107 FLAG™

The energy meter is fitted with an optical port that is hardware compatible with I E C 1107 F L A G™. User access is categorised into several levels to provide user configurable levels of read only and configuration modes and incorporates user identification and passwords to prevent unauthorised access.

Access to the meter known as command line mode uses simple protocol and message structure to enable the meter registers to be read by an external program. Sixteen-bit CRC's are used on all communications for high reliability. The command line protocol can be used by third party for AMR applications.

### RS-232 and RS-485

The MK6 Meter has an optional second interface, which can be ordered as either RS485 or RS232. This port can serve as a modem interface connecting to a standard data modem, which allows remote access to the units via the PSTN or other communications networks including Power Line Carrier, GSM radio modems. The connection between the meter and the modem is via a fully isolated RS232/485 port.

Communication speeds up to 19200 baud are available.

### SCADA

The MK6 meter has provision for an optional special SCADA port that enables connection with SCADA system and a second simultaneous connection with PC or modem.

### EziPort

This port is uni-directional infrared port, which continuously outputs 'stream' of data. This data is fully programmable through EziView. The data can be displayed with the EziPort software and the EziPort read head designed to connect to a PC RS232 port. The protocol and format of the EziPort output are freely available and are designed for easy connection to load management and SCADA systems.

### MV90

Many of the meters functions are accessible with the EDM I MV90 T I M S.

### TCP/IP

Internet access to EDM I meter is possible using Port Directors and EziView.

### Master - Slaves Configuration

The Mk6 meter permits multiple meters to connect to a fibre opti ring. The master meter can be connected to a single PC or modem thus allowing remote access to all the individual meters on the ring

## Parameterisation

### CT and VT ratios

The CT and VT ratios are fully programmable.

Mk6 meters are operational between 45 to 290V (Line to neutral)

Voltage, current and energy can optionally be displayed as a primary or secondary value, thus making the meters ideally suited for LV, MV and HV installations.

### 2 Element / 3 Element

The meters can be configured for either 2 or 3 element modes. No internal modification to the meter is necessary.

Meters can be pre-configured via EziView before installation.

### Customer specific alarms

There are numerous pre-programmed alarms, plus the possibility of user defined alarm conditions (via scripts). These can be used to (a) turn on an alarm LED, (b) displayed on an LCD screen, (c) entered into an error log for remote access, (d) trigger an event such as a remote alarm or dial an emergency number (via scripts in Mk6 GENIUS), and (e) turn on/off a relay output.

### Scripts: standard or "to order"

The scripts are programs downloaded to the meter according to the needs of the market; either the customer or EDMF can develop these, according to the customer's choice. Scripts allow many calculations, management of the registers, and logical decisions to be made according to predetermined criteria.

### EziView software

EziView is a sophisticated, but user-friendly utility program that enables a PC to communicate with and set up the meter. The EziView software has full security built in allowing administrators to configure EziView installations and allow the correct level of access to the right personnel.

Advanced waveform and harmonic display and analysis are part of this software package.

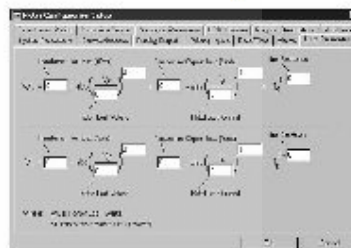
Automatic Meter Reading via the recently released scheduler module, allows EziView to be configured to connect to and extract meter readings for saving to files or forwarding to billing systems.



## Optional Complementary Functions

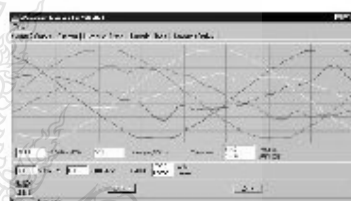
### Error compensation

The Mk6 meter (class 0.2S, 0.5S) incorporates a function for the compensation of the energy losses caused by instrument transformers as well as transformer & line losses. The meter calculates all values of consumption, and calculates the compensated values and makes both compensated and un-compensated values available for analysis.

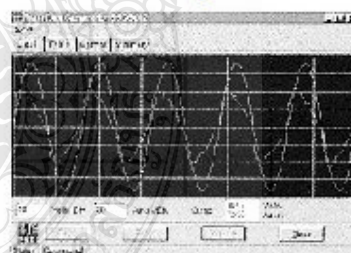


### Quality of Supply

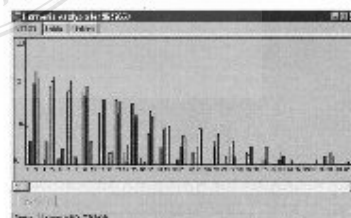
The Mk6 meters can be equipped with very sophisticated software for the examination of quality of supply (power quality).



### Waveform capture



### Harmonic Analysis





## Basic Specification Sheet

Type of meter		Class	Standard
MK6 GENIUS		0.5s 1	IEC 60687 IEC 61036
Type	Specifications		Remark
<b>Voltages</b>	Nominal Min. to Max. Burden	57 to 240V (Phase to Neutral) 45 to 290V <10 VA / phase @ Vn (3Phase) (As per IEC62053-61, 1998)	The same meter
<b>Auxiliary Supply*</b>		110V	Others available on order
<b>Current</b>	Nominal Range Standard  Short Time Over- Current Starting Current Burden	1A (C.T.)      5A (C.T.) 0.05A - 1.2A      0.25A - 6A  20 times the I <sub>max</sub> for 0.5 second  <-0.10% of I <sub>s</sub> <-0.5VA/phase	
<b>Measurement modes</b>		Single Phase (3 circuits) 3 Phase 3 wire (2 Element) 3 Phase 4 wire (3 Element)	The same meter can be configured 2 or 3 E.
<b>Pulse outputs</b>		Voltage Current Pulse width Polarity	5-220Vdc, 12-240Vac 0.2A maximum 5ms to 250ms Programmable
<b>Pulse inputs</b>		Voltage SØ	5, 12, 48, 110, 240 AC/DC Yes
<b>Temperature &amp; Humidity Range</b>		Operating Temp    -10 to +60°C Relative Humidity    0 to 95 % non condensing	Storage Temp    -40 to +85°C
<b>Time keeping</b>		Type Accuracy (internal)    ±15 sec / month Backup time Backup type Lithium Battery	Mains synchronised or internal crystal (selectable). Mains syn- chronised reverts to internal on loss of all Phase volts.
<b>Data storage (configuration and TOU data Load Survey)</b>		Non volatile FlashRAM, Indefinite storage period.	
<b>Communications</b>		Local    FLAG™ (IEC 1107) Local    OPTICOM Isolated RS485 or RS232 EZIPOINT SCADA	Standard Optional Optional Optional Optional

The performance of these products easily exceeds those mentioned in the IEC standards.  
The MK6 meters offer accuracy, typically two times better than those specified in the standards.

\* Optional      ▽ Other values available

## Advanced Specification Sheet

Technical Specifications		Mk6 GENIUS	Remark
Accuracy Class		1 or 0.5s	
Current range	CT 5A	✓	
Installation	2/3 element	✓	
Measured parameters	4 quadrants	✓	
	Power factor	✓	
	kWh	✓	
	kvarh	✓	
	V	✓	
	A	✓	
	Hz	✓	
	Phase Angle	✓	
	kVA	✓	
	kW & kvar (Max. Demand)	✓	
	KVA (demand)	✓	
Tariffs	2, 4, 8 tariffs	✓	
	kWh $\pm$ Q1, Q2, Q3, Q4	✓	
	kvarh $\pm$ Q1, Q2, Q3, Q4	✓	
	kW	✓	
	kVA	✓	
	Power factor at max. demand	✓	
	Time of max. demand	✓	
	Multiple periods	✓	
Inputs	5, 12, 48, 110, 240V AC/DC	<input type="checkbox"/>	
	1, 2, 3, 4, 6 inputs	<input type="checkbox"/>	
I/O Ports	Optical Flag	✓	
	Optical Opticom	<input type="checkbox"/>	
	RS-232	<input type="checkbox"/>	
	RS-485	<input type="checkbox"/>	
	On Request SCADA RS-232	<input type="checkbox"/>	(Optionally available with Gateway Card)
	On Request SCADA RS-485	<input type="checkbox"/>	(Optionally available with Gateway Card)
Options hardware	EziPort to SCADA Systems	<input type="checkbox"/>	
	Extended Memory	<input type="checkbox"/>	
Output relays	Extended TOU	<input type="checkbox"/>	
	Electronic (BOSFET)	<input type="checkbox"/>	
	Mercury wetted reeds 2, 3, 4, 6 or 7 outputs	<input type="checkbox"/>	Only available on special order
Software	Waveform capture	✓	
	Voltage Sag & Surge	•	
	Harmonic analysts	•	
	TOU	✓	
	Extended TOU	<input type="checkbox"/>	
	Modem Control	<input type="checkbox"/>	
	Surveys	✓	
	Anti-fraud script	✓	
	Pulse summation scripts	<input type="checkbox"/>	
Programming script	<input type="checkbox"/>		
Protection Degree	IP51	✓	

✓ Standard  
 Option  
 • Done by EzView

# POWER VISA

## Power Quality Analyzer



Equipped with 8 independent channels, the 3-phase PowerVisa® is the only advanced power monitoring instrument to incorporate a color touch screen into its lightweight design. Automated setups provide instant detection of circuits and configurations, ensuring that the instrument is ready to successfully collect data. Users can select the length and mode of data collection, including troubleshooting, data logging, power quality surveys, energy and load balancing. The PowerVisa collects data at 256 samples/cycle/channel, offers remote communications using RS-232, ethernet or USB options, and meets IEEE 1159 and the newest European standards.

### Measured Parameters

(4) differential inputs, 1-600 Vrms, AC / DC, 0.1% rdg + 0.05% FS, 256 samples/cycle, 16 bit ADC  
 (4) inputs with CTs 1-6000 Arms, CT -dependent, AC / DC, 256 samples/cycle, 0.1% rdg + CTs, 16 bit ADC  
 Frequency range, 10 mHz resolution, 45-65 Hz  
 Phase lock loop – standard PQ mode

### Monitoring/Compliance

IEEE 1159  
 IEC 61000-4-30 Class A  
 EN50160 Quality of Supply

### Power Quality Triggers

Cycle-by-cycle analysis; 256 samples/cycle; 1/2 RMS steps  
 L-L, L-N, N-G RMS variations: sags/swells/interruptions  
 RMS recordings and Waveshape recordings (30 pre-fault, 100 post-fault cycles)  
 Low and medium frequency transients – V&I  
 Harmonics summary parameters  
 Cross trigger V&I channels  
 RMS event characterization (IEEE or IEC)

### Distortion / Power / Energy

W, VA, VAR, TPF, DPF, Demand, Energy, etc.; Harmonics & Interharmonics per IEC 61000-4-7  
 THD/Harmonic Spectrum, TID/Interharmonic Spectrum (V, I, W) to 63rd  
 Crest factor, K factor, transformer derating factor, telephone interference factor

### General Specifications

Size (HxWxD): 12" x 2.5" x 8"; Weight: 3.8 lbs  
 Operating temperature: 0 to 50 degrees C; Storage temperature: -20 to 55 degrees C  
 Humidity: 10 – 90% non-condensing  
 Memory options (must have one): Up to 128M removable compact flashcard



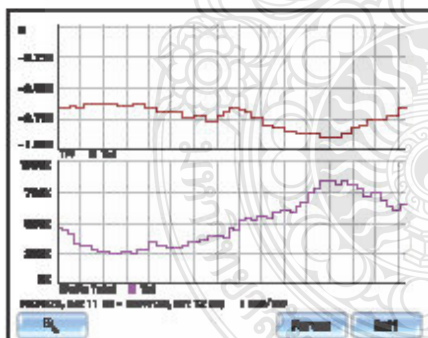
### Troubleshooting

The PowerVisa unique annunciator “report card” provides instant power quality answers in the field. A wide range of power monitoring data is collected, analyzed and tabulated in color-coded categories to quickly identify areas of concern, which are identified in red. Drill down for more detailed information by simply touching the intuitive graphical screen to troubleshoot problems, locate the source and pinpoint the root cause of power quality disturbances.



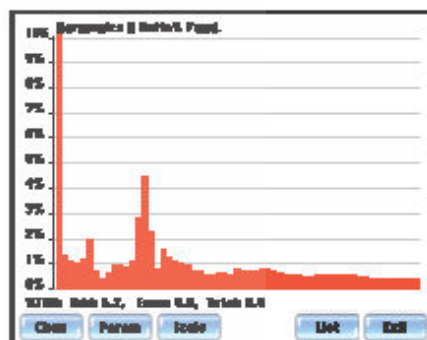
### Energy Surveys

The cost of energy is oftentimes a facility's largest operating expense. Reducing energy consumption during peak times, shifting loads, purchasing energy efficient equipment, or changing energy suppliers can shave 10-40% annually off that cost. The PowerVisa is an invaluable tool for performing energy surveys, including monitoring energy consumption, usage patterns, peak demands and the activation of large loads to reduce electricity costs. Plus, the PowerVisa makes it easy to track and allocate energy costs by process or department.



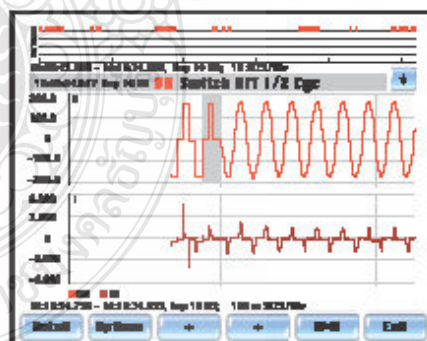
### Harmonics

As the sensitivity of power electronics increases, equipment ranging from HVAC systems, personal computers and copiers to computerized process equipment and manufacturing systems are susceptible to harmonic pollution. In fact, harmonics can cause small, almost imperceptible variations in performance that aggregate to effect significant long-term damage. Current harmonics generated by a source can pollute the entire power system without being affected itself. The PowerVisa captures detailed harmonics, interharmonics and subharmonics to effectively troubleshoot the complex problems caused by these events.

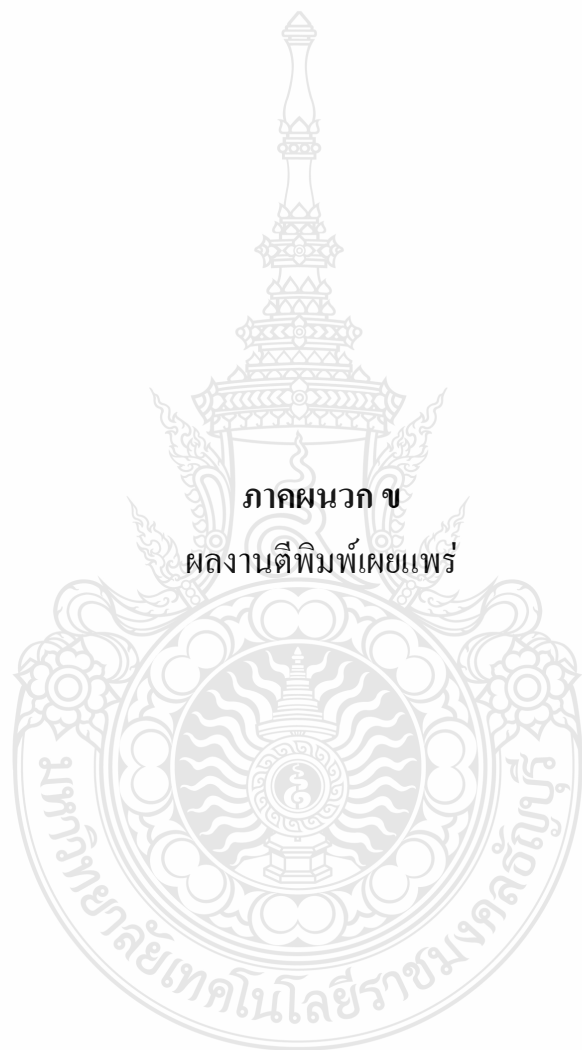


### Equipment Performance Testing

Determining the availability and compatibility of facility power prior to the installation of new equipment is simplified using the PowerVisa. The instrument incorporates advanced features such as RMS triggers, low/medium frequency transients, and cross triggering between channels to demonstrate that power mitigation devices such as UPSs are operating properly. Real time readings observed during maintenance and startup processes enable users to see results and tweak that equipment during the testing process.







ภาคผนวก ข  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



The banner features a background image of wind turbines on a mountain range under a blue sky. In the top left, there is a red square logo with the word 'EECON' written vertically and a grid of white arrows pointing right. To the right of this logo, the text 'EECON-35' is written in a large, bold, white font. Below it, 'The 35<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference' is written in a smaller white font. In the top right, there is a diamond-shaped logo with the text 'SCHOOL OF ENGINEERING BANGKOK UNIVERSITY' and 'NECTEC' next to it. At the bottom right, there is a copyright notice: '© 2012 EEAAT. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the EEAAT.'



### ที่ปรึกษา

ดร.มีทนา สานติวัตร	อธิการบดีมหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ดร.พันธ์ศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์	ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
รศ.ดร.พิพัทธ์น์ วงษ์เจริญ	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
รศ.ดร.ธันนีย์ ก่อตระกูล	รองผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
ดร.ณิชา สวัสดิ์สรพร	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ดร.ภาสกร ประถมบุตร	หัวหน้าหน่วยวิจัยสารสนเทศ การสื่อสารและการคำนวณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

### คณะกรรมการอำนวยการ

ผศ.ดร.ณัฐภพ นิ่มปิติวัฒน์	ประธานกรรมการ
ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีพิภานวัฒน์	ประธานกรรมการ (ร่วม)
ผศ.ดร.สุพจน์ สุขไพฑารมณี	รองประธานกรรมการ
ดร.ศุภกร สิทธิไชย	รองประธานกรรมการ (ร่วม)
อ.สนศักดิ์ อภิวัจน์สมบัติ	กรรมการ
อ.ศิริชัย เต็มโชคเกษม	กรรมการ
อ.ธิดารัตน์ ต่อสุข	กรรมการ
อ.ปิยะ วราบุญทวีสุข	กรรมการ
ดร.ปกรณ บุบผโกศล	กรรมการ
ดร.ภาคภูมิ สมบูรณ์	กรรมการ
น.ส.ทิญญานันท์ นกัทรศักดิ์เมธี	กรรมการ
น.ส.ธศานัก เตชเกษมศุกกุล	กรรมการ
ดร.วิศาล พันธุ์ชู	กรรมการและเลขานุการ
ดร.กมล เขมะวงษ์สี	กรรมการและเลขานุการ (ร่วม)
อ.ทลอยพรหม ธรรมศิริรักษ์	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางอมรรัตน์ แสงระงษา	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางศศิรัญา ชาวสะอาด	ผู้ช่วยเลขานุการ (ร่วม)

### คณะกรรมการประสานงานเกี่ยวกับสถานที่จัดการประชุม

ผศ.ดร.สุพจน์ สุขไพฑารมณี	ประธาน
ผศ.บัณฑิตยา ชัยบุตร	กรรมการ
อ.สุนทรณี รัตตาสกร	กรรมการ
อ.รุจีพรรณ สัมปโนภา	กรรมการ
อ.ธิดารัตน์ ต่อสุข	กรรมการ
อ.นราธิป ไก่วิช	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการประสานงานการจัดแสดงนิทรรศการ

อ.สนศักดิ์ อภิวัจน์สมบัติ	ประธาน
ดร.ปกรณ บุบผโกศล	กรรมการ
อ.กัญญา ทิพนวรัตน์	กรรมการ
ผศ.สงกรานต์ กิ่งหวด	กรรมการ
อ.ธีรพงษ์ เอกศิริ	กรรมการ
อ.สิทธิศักดิ์ วงศ์กนกพันธ์	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการประสานงานสื่อสิ่งพิมพ์และเว็บไซต์

อ.ปิยะ วราบุญทวีสุข	ประธาน
อ.อัมพรสิริก อังคทะวานิช	กรรมการ
อ.นฤเทพ สุวรรณธาดา	กรรมการ
อ.จันทิมา บัวมัน	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการประสานงานเพื่อประชาสัมพันธ์งานประชุมวิชาการ

ผศ.ดร.สุพจน์ สุขไพฑารมณี	ประธาน
--------------------------	--------

อ.ศุภฤกษ์ หนูเจริญ	กรรมการ
ผศ.ธนะศักดิ์ พันธุ์ประสิทธิ์	กรรมการ
อ.อัมพรสิทธิ์ อังคทะวานิช	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการประสานงานการจัดหาผู้สนับสนุนการประชุมและจัดหาของที่ระลึก**

ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีพิภานรัตน์	ประธาน
อ.สมศักดิ์ อภิรักษ์สมบัติ	กรรมการ
ดร.ศุภกร สิทธิไชย	กรรมการ
ดร.กมล เขมะรังสี	กรรมการ
นางศศิรัญา ชาวสะอาด	กรรมการ
ดร.ปกรณัฐ ยุบลโกศล	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการประสานงานด้านการลงทะเบียน**

อ.ศิริชัย เต็มใจคณาณ	ประธาน
อ.รุจิพรรณ สัมปโนนา	กรรมการ
อ.กัญญา พัฒนวรรณัฐ	กรรมการ
อ.พลอยพรหม ธรรมภักดิ์	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการฝ่ายการเงิน**

ดร.วิศาล พันธุ์ชู	ประธาน
อ.รุจิพรรณ สัมปโนนา	กรรมการ
อ.นราธิป โกวิท	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการประสานงานการพิจารณาบทความ**

ผศ.ดร.สุพจน์ สุขโพธารมณ (BU)	ประธาน	ดร.กอบศักดิ์ ศรีประภา (NECTEC)	สาขา EL
ผศ.ดร.รัชชัย เสงี่ยมอนันต์ (CU)	สาขา PW	รศ.ดร.สัญญา มิตรธม (TU)	สาขา DS
ผศ.ดร.อนงค์ สุวรรณศรี (KMUTNB)	สาขา PW	ดร.วิศาล พันธุ์ชู (BU) สาขา DS	
ผศ.ดร.นัฐภร นิมปิตินัน (BU)	สาขา PW	ผศ.ดร.มารอง นฤสิทธิ์ (KMUTT)	สาขา CP
ดร.ศิริยา สกลอนารัตน์ (NECTEC)	สาขา PW	ดร.ศุภกร สิทธิไชย (NECTEC)	สาขา CP
ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ (KU)	สาขา PE	ดร.ธีรพล วงศ์สะอาดสกุล (BU)	สาขา CP
ดร.ณัชพงศ์ นัทธ (NECTEC)	สาขา PE	ดร.สมมาตร แสงเงิน (MUT)	สาขา PH
ผศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม (KU)	สาขา CM	Dr.Karel Streectx (BU) สาขา PH	
ดร.เกียรติศักดิ์ (NECTEC)	สาขา CM	รศ.ดร.ยุชาติ ปิณฑวิรุจน์ (KMITL)	สาขา BE
ดร.ปกรณัฐ ยุบลโกศล (BU)	สาขา CM	ดร.เสาวลักษณ์ แก้วกำเนิด (NECTEC)	สาขา BE
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล (KMITL)	สาขา CT	รศ.ดร.ไอลินทร์ จันทน์ไทย (KMUTT)	สาขา GN
ดร.อนศ รัชพงษ์ (BU)	สาขา CT	ดร.ภาคภูมิ สมบูรณ์ (BU)	สาขา GN
รศ.ดร.สุรพันธุ์ เขื่อนไพบูลย์ (KMITL)	สาขา EL		

Grid	
68	PW066: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ อดีตักดิ์ เหยี่ยวรุ่งโรจน์ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล และณัฐวุฒิ โสมเกษตรินทร์ image processing, electronic energy meters, power quality instrument
69	PW067: Vehicle to Grid (V2G) Control based on Frequency Droop Characteristic and Its Capacity Reduction Effect on Battery for Frequency Control in Power System with Wind Farm ชโยธร รตินพรัชชีย์ อัสระชัย งามหรุ ชีรวาดิ ไชยธรรม และสิทธิตเดช วัชราศรีศรีกุล Frequency control, Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV), Battery energy storage system (BESS), Vehicle to grid (V2G), Droop characteristic, State of charge (SOC)
70	PW068: ระบบนำชมพิพิธภัณฑ์แบบประหยัดพลังงาน ธัตพงษ์ วงสาโท สดใส วิเศษสุด อนุวัฒน์ ไชยวงศ์เย็น ละลอบ โควาราชราช หริศักดิ์ สรรเพชดา กฤษฎาจินดา museum guide, RFID, Energy saving
71	PW069: ชุดแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน สมชาย เมื่อนสูงเนิน Energy Meter, Television, Wireless Communication
72	PW070: Computer Software Development for Automatic Distance Relay Setting of The Closed Loop Transmission Line Protection for Provincial Electricity Authority ธนากร เพ็ญทอง เกียรติคุณ กรวิภาณ และคมสันต์ หงษ์สมบัติ Digital distance relay, DPL script Language, Distance relay setting, Transmission line protection
73	PW071: การวิเคราะห์ตำแหน่งความผิดปกติของระบบจำหน่าย 22 kV โดยวิธีคำนวณค่าสัมพีแดนซ์ เสกสิทธิ์ เข้มทอง กฤษณชนน ภูมิศักดิ์พิชญ์ และณัฐภัทร พันธุ์คง distance relay, fault location, Discrete Fourier Transform, ATP-EMTP
74	PW072: Fault Type and Location Identification by Artificial Neural Network and Symmetrical Component สรสิทธิ์ สงม และสมพร สิริสารานุกุล neural network, fault location, symmetrical component
75	PW073: EMT/ATP-Based Transient Short Circuit Fault Simulation for Percentage Transformer Differential Relay Performance Testing: โสฬส อวษพร และสันต์ อิศวศิริพงษ์ Percentage Transformer Differential Relay Testing, Magnetizing Inrush Current
76	PW074: Maximum Power at Receiving Bus of Multiple Wheeling Transactions in a Deregulated Power System พรเทพ บุญญาแก้ว maximum real power at receiving bus, deregulated power system, multiple wheeling transactions
77	PW075: A Study on Short-Term Load Forecasting for Smart Grid Based on Multiple Regression ศธาสิทธิ์ โพธิ์อ่อง, คมสันต์ หงษ์สมบัติ, รัชชีย์ สุระพัฒน์ Multiple Regression, Short Term Load Forecasting, Smart Grid
78	PW076: Critical Load Level-based Adaptive Load Frequency Control under Rapid Demand Fluctuations Chanwit Boonchuy and Weerakorn Ongsakul
79	PW077: Feasibility and System Impact Study of Integration Solar thermal power generation ดวิจักร มีทนนาวิน, กัตติภูมิ ญาตักดิ์, กัตติศักดิ์ อภิรมย์วิไล, ชาย ชมภูอินโท และชารุ ชมภูอินโท solar thermal energy, possibility, technology
80	PW078: การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับโรงพยาบาล พุทธพร เสวตสกุลานนท์ วิจิตร กัณเรศ Power quality, Phase Multiplication
81	PW079: Bee Colony Optimization of Battery Capacity and Location for Alleviation of Voltage Rise Due to Photovoltaic Generations in Radial Distribution System ชีรวาดิ ไชยธรรม อัสระชัย งามหรุ และชโยธร รตินพรัชชีย์ Photovoltaic, radial distribution systems, battery, bee colony optimization
82	PW080: Outage Cost of Commercial Sector in Thailand by Fuzzy Logic Method อภิสิทธิ์ สุขยอด กานวัฒน์ เทียนศรี พระพิพัฒน์ ภาสบุตร และวรรดิณั มีตรประกร Reliability of Power System, Fuzzy Logic Method, Outage Cost
83	PW081: The Effect of Light Intensity from PV Power Generation on Power Quality Issue in PEA System ศุภชัย พิเศษ เปรมอนันต์ จายะศักดิ์ ชัชชชายน นวมโคกสูง เชาว์ ชมภูอินโท และชาย ชมภูอินโท light intensity, PV power generation, power quality

**การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า  
สำหรับประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์  
Using Image Processing Technique Associated with Power Quality Instrument  
for Accuracy Evaluation of Electronic Energy Meters**

อริศศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์<sup>1</sup> ฉัตรชัย สุขพิทักษ์สกุล<sup>2</sup> และณัฐชาติ โสมเกษศรีรินทร์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>แผนกมิเตอร์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมืองพัทยา

100 ม.2 ถนนพญา-นาเกลือ ต.นาเกลือ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี 20150 โทรศัพท์:0-3822-1007 E-mail:atisakrienrungrrote@hotmail.com

<sup>2,3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต - นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-3425

E-mail: chatchai.s@en.rmutt.ac.th, nwsr2121@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่ในการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพร่วมกับการเก็บบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า กล้องเว็บแคมจะใช้ในการบันทึกภาพการกระพริบของ LED ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาประเมินผลค่ากำลังไฟฟ้า ในการประมวลผลภาพใช้เทคนิคการลบจุดภาพ (Subtraction) และการตรวจระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ความสว่างของจุดภาพ จากนั้นใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบในการแปลงภาพที่บันทึกได้ มาคำนวณให้ได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่ากำลังไฟฟ้าจริง ที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า เพื่อใช้ในการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทำการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบให้ผลการประเมินที่ถูกต้อง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.87 % ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

คำสำคัญ: เทคโนโลยีประมวลผลภาพ, เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์, เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

#### Abstract

This paper presents a novel technique for accuracy evaluation of electronic energy meters that uses image processing techniques associated with the high accuracy power quality instrument. The indicator (LED) images of meters are recorded by a web camera. The images are processed subtraction and thresholding to detect the LED status. Later the designed algorithm is applied to calculate real power using time interval of the detected images then compared to the power that obtained from the power quality instrument. As the

experiments, the satisfactory results are given with average error of 0.87% which within the standard of the provincial electricity authority.

Keywords: image processing, electronic energy meters, power quality instrument

#### 1. บทนำ

ความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือผู้ใช้ไฟฟ้าทุกราย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงมีนโยบาย ที่จะดำเนินการตรวจวัดความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทุกเครื่อง รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าที่ร้องเรียนเรื่องค่าไฟสูงหรือตัดคิดปกติ ส่งผลให้ปริมาณงานมีจำนวนมาก ผู้ใช้ไฟขาดความน่าเชื่อถือ ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาการปฏิบัติงานและสร้างความน่าเชื่อถือต่อผู้ใช้ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือ หรือวิธีการสำหรับปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว ใช้งานง่ายและมีความถูกต้อง

การตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ วิธีที่ 1 การตรวจสอบโดยการใช้นาฬิกาจับเวลาจากงานหมุนเปรียบเทียบกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ [1] วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะสถานที่ที่ใช้ระบบ 3 เฟส เนื่องจากการตรวจสอบด้วยวิธีนี้ใช้เพียงแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์แบบ 1 เฟส ซึ่งไม่ครอบคลุมการปฏิบัติงานผลการประเมินจะเกิดความคลาดเคลื่อน วิธีที่ 2 การติดตั้งมิเตอร์เปรียบเทียบ [1] จะใช้เวลาในการเปรียบเทียบทำงาน 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีทางเลือกที่ผู้ใช้ไฟร้องขอ หรือยังคงไม่มั่นใจในผลการตรวจสอบ วิธีการนี้มีข้อจำกัดหลายประการ คือ 1. ต้องใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน 2. ต้องปลดวงจรไฟฟ้าเพื่อติดตั้งมิเตอร์เปรียบเทียบซึ่งมีความเสี่ยงเนื่องจากสายไฟด้านหลังจ่ายยังคงมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ การปลดและการเชื่อมต่อวงจรหากมีการใช้โหลดอยู่



จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ซึ่ง 2 วิธีนี้ถือเป็นแนวทางการปฏิบัติที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหน่วยงาน ส่วนวิธีที่ 3 การทดสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า [1] วิธีการนี้ต้องปลดเครื่องวัดไปทำการทดสอบในห้องทดลองที่สำนักงานใหญ่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งต้องใช้เวลาในการส่งทดสอบ และต้องปลดวงจรไฟฟ้าเช่นกัน

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับงานตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ฮอปเปอร์ [2] มีข้อจำกัดเรื่องการสะท้อนแสงขณะตรวจสอบและเครื่องมือมีราคาสูง ต่อมาได้มีการออกแบบชุดทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ด้วยวิธีที่ใช้การบันทึกภาพวิดีโอที่งานหมูน [3] เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่การทดสอบต้องมีกรับไฟฟ้าเพื่อทดสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและไม่มีกรนำมาใช้กับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์จึงได้มีพัฒนาการประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ [4] แต่วิธีการดังกล่าวเป็นเพียงการทดลองเท่านั้น โดยนำค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบซึ่งยังไม่มีการทดลองกับการใช้งานจริง

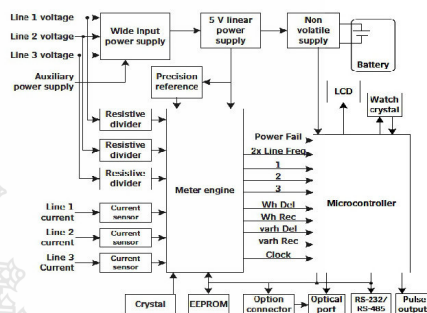
เนื่องจากปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าให้เป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับใช้งานทดแทนเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบแอนะล็อกสื่ บทความนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี การประมวลผลภาพ ร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าสำหรับประเมินผลความถูกต้อง เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในงานตรวจสอบที่อาจเกิดขึ้นจากเครื่องมือ วิธีการตรวจวัดและผู้ตรวจสอบ โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ ELSTER รุ่น A1800 และผลิตภัณฑ์ EDM1 รุ่น Mk6N เนื่องจากมีการติดตั้งใช้งานอยู่เป็นส่วนใหญ่ มาประมวลผลค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ  $\pm 2.5\%$  หรือไม่ [1] โดยบทความนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ หลักการรับค่าและแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้า วิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพตรวจสอบเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ผลการทดสอบการประมวลผลภาพร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าและสุดท้ายเป็นการสรุปผลข้อดี ข้อเสียของวิธีการที่นำเสนอ

**2. หลักการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า**

**2.1 การรับค่าและแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์**

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มีรูปแบบการทำงานและบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 1 แรงดันและกระแสของระบบไฟฟ้าจะถูกตรวจวัด โดยเซนเซอร์กระแสและวงจรแบ่งแรงดัน หลังจากนั้นจะถูกคำนวณและประมวลผลโดยวงจรรวมเฉพาะทางที่เรียกว่า Meter Engine ซึ่ง Meter Engine จะทำการคูณและกรคำนวณอื่นๆ ซึ่ง

ภายใน Meter Engine จะประกอบด้วย วงจรประมวลสัญญาณ (DSP) และ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ส่งสัญญาณต่างๆ ไปยัง หน่วยควบคุม (Microcontroller) แสดงผลเอาท์พุทออกทางหน้าจอ LCD และสร้างสัญญาณพัลส์ออกทาง หลอด LED ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ โดยขึ้นอยู่กับอัตราของค่ามัลติพลีไคลด์-ชั่วโมง เช่น 1000 Impulse/KWH หมายถึง หลอด LED กระพริบ 1000 ครั้ง วัดค่าพลังงานได้ 1 กิโลวัตต์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า [5]

**2.2 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ**

ในที่นี้ใช้กล้องเว็บแคมในการบันทึกภาพเคลื่อนไหวซึ่งมีค่าที่สำคัญคือเฟรมเรต (Frame Rate)

เฟรมเรต คือ อัตราการบันทึกภาพได้ในหนึ่งวินาที เช่น กล้องเว็บแคมมีค่าเท่ากับ 30 เฟรมเรต หมายถึง กล้องสามารถบันทึกภาพได้ 30 ภาพต่อ 1 วินาที เป็นต้น ซึ่งสามารถหาค่าเวลาระหว่างภาพค่าแห่งที่ 1 และค่าแห่งที่ 2 ได้ดังนี้ [3]

$$\text{เวลา (วินาที)} = \frac{\text{ตำแหน่งภาพที่ 2} - \text{ตำแหน่งภาพที่ 1}}{\text{เฟรมเรต (ภาพต่อวินาที)}} \quad (1)$$

ในที่นี้ใช้กล้องเว็บแคมที่เท่ากับ 30 เฟรมเรต ดังนั้นเมื่อหน่วยควบคุม (Microcontroller) ส่งสัญญาณพัลส์ออกทาง LED1 ที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าจริง ก็จะสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้จากสมการ ดังนี้ [1]

$$P_M = \frac{3600 \times N \times CT_{RATIO} \times PT_{RATIO}}{(\ln p / KWH) \times T} \quad (2)$$

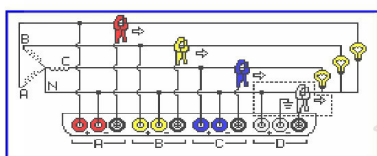
เมื่อ  $P_M$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคำนวณ (กิโลวัตต์)  
 N คือ จำนวนรอบของการทำงาน (รอบ)  
 $CT_{RATIO}$  คือ อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส; ไม่มีให้ค่าเป็น 1

$PT_{KATIO}$  คือ อัตราส่วนหม้อแปลงแรงดัน; ไม่มีให้ค่าเป็น 1  
 Imp/KWH คือ จำนวนรอบการทำงานของเครื่องวัดคอกิโลวัตต์  
 T คือ เวลาที่วัดได้ (วินาที)

**2.3 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า**

เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ DRANETZ รุ่น Power Visa ซึ่งมีความละเอียด และความถูกต้องสูง สามารถส่งข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ Excel ด้วย โปรแกรม Dran-View 6

ลักษณะการต่อวงจรเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าตามวงจร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อวงจรเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าจริงที่ถูกเก็บบันทึกมีค่าตามสมการดังนี้ [1]

$$P_T = V_{AN} I_A \cos\theta_A + V_{BN} I_B \cos\theta_B + V_{CN} I_C \cos\theta_C \quad (3)$$

เมื่อ $P_T$ คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการวัด (วัตต์)
$V_{AN}$ คือ	แรงดันเฟส A (โวลต์)
$V_{BN}$ คือ	แรงดันเฟส B (โวลต์)
$V_{CN}$ คือ	แรงดันเฟส C (โวลต์)
$I_A$ คือ	กระแสเฟส A (แอมป์แปร์)
$I_B$ คือ	กระแสเฟส B (แอมป์แปร์)
$I_C$ คือ	กระแสเฟส C (แอมป์แปร์)
$\cos\theta_A$ คือ	ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์เฟส A
$\cos\theta_B$ คือ	ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์เฟส B
$\cos\theta_C$ คือ	ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์เฟส C

**2.4 การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า**

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ค่าไม่เกิน  $\pm 2.5\%$  [1] โดยวิธีการนี้ นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการจับรอบการทำงานของหลอด LED1 เปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้ จากสมการที่ (2) และ (3) สามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้ [1]

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = [(P_m - P_r) / P_r] \times 100 \quad (4)$$

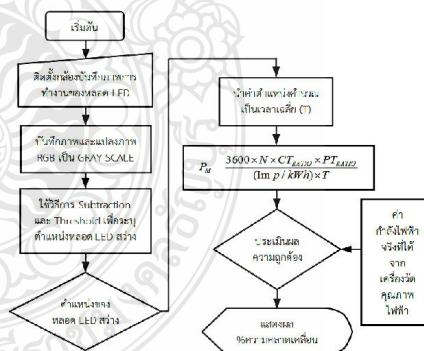
**3. วิธีการตรวจสอบเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า**

**3.1 วิธีการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ**

เนื่องจากวิธีการตรวจสอบเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาเทียบกับแคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากผู้ตรวจสอบ การตรวจสอบในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง แคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์ที่ใช้วัดค่าได้ครั้งละเฟส เป็นต้น ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่สามารถปลด โหลดเพื่อทดสอบหรือติดตั้งเครื่องมือวัดไฟฟ้าเปรียบเทียบได้ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามีราคาสูงมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกการประยุกต์เทคโนโลยีประมวลผลภาพร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าเพื่อเป็นค่าอ้างอิงมาประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

**3.2 วิธีการหาค่าเวลาโดยการประมวลผลภาพ**

วิธีการประมวลผลภาพ เป็นการนำภาพที่เป็นสัญญาณอนาล็อก แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้กล้องเว็บแคมจับภาพการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทางหลอด LED1 ที่มีคุณสมบัติกับค่าพลังงานไฟฟ้าจริง แล้วนำสัญญาณภาพที่เป็น RGB แปลงให้เป็น Gray Scale เพื่อเปรียบเทียบระดับสีได้ง่าย จากนั้นหาค่าผลต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพถัดไปที่จะทราบตำแหน่งภาพที่หลอด LED1 กระพริบ เมื่อหลอด LED1 กระพริบครั้งที่ 1 โปรแกรมประมวลผลทำการแปลงภาพเป็นภาพขาว-ดำ และนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 หากจำนวนพิกเซลมีค่าเป็น 1 เกินค่า Threshold ให้นำบันทึกตำแหน่งภาพ พร้อมทั้งทำการวัดค่าพลังงานจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า จากนั้นหาค่าผลต่างตำแหน่งของภาพนำมาคำนวณเป็นเวลาเฉลี่ย 1 รอบการทำงาน ของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจากอัตรา Frame Rate มาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจริงและเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า โดยมีแผนผังขั้นตอนในการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์



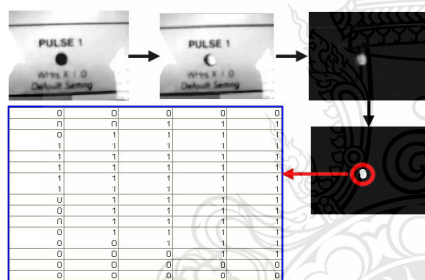
#### 4. การติดตั้งชุดตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

##### 4.1 การติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าร่วมกับกล่องเว็บแคมเพื่อประมวลผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4 การตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

##### 4.2 การประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคการลบจุดภาพ (Subtraction) และการตรวจระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ความสว่างของจุดภาพ



รูปที่ 5 การประมวลผลภาพดิจิทัล

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงตำแหน่งการจับเวลาการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า และการประมวลผลโปรแกรม เมื่อหลอด LED1 กระพริบครั้งที่ 1 โปรแกรมประมวลผลทำการแปลงภาพเป็น ภาพขาว-ดำ และนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 หากจำนวนพิกเซลมีค่าเป็น 1 เกินค่าที่กำหนด ให้บันทึกตำแหน่งพิกเซลในเฟรมที่เท่าไร พร้อมทั้งทำการวัดค่าพลังงานจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า หลังจากหยุดจับเวลาพร้อมทั้งหยุดการวัดค่าพลังงาน จะนำเฟรมที่มีจำนวนพิกเซลเป็น 1 เกินค่า Threshold มาคำนวณระยะห่างเฉลี่ย ที่เวลาจะได้ค่าเวลาที่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าครบ 1 รอบ จากนั้นจึงนำค่าต่าง ๆ ที่ตรวจจับได้มาคำนวณและประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

##### 5. ผลการทดสอบวิธีการประมวลผลภาพและการจับเวลาด้วยนาฬิกาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

จากการทดลองได้ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยเพิ่มโหลดครั้ง 100 วัตต์ ตั้งแต่ 0 – 1000 วัตต์ จากวิธีการประมวลผลภาพและการจับเวลาด้วยนาฬิกาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดจากสมการที่ (1) - (3) ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้วยวิธีการที่ทดสอบ

ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า		ค่าที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ		ค่าที่ได้จากการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา		
แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	% ผลต่าง	กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	% ผลต่าง
235.79	0.4353	102.45	102.86	0.40	101.64	-0.79
234.44	0.8869	207.57	205.71	-0.90	201.23	-3.05
233.77	1.3132	306.58	305.95	-0.21	299.00	-2.47
230.49	1.7590	404.80	408.32	0.87	394.74	-2.49
227.22	2.1729	493.20	499.23	1.22	480.64	-2.55
232.18	2.6624	617.70	623.08	0.87	588.24	-4.77
232.17	3.0796	714.40	721.20	0.95	688.34	-3.65
231.10	3.9670	916.30	926.24	1.08	845.07	-7.77
230.20	4.8260	1,110.50	1,119.20	0.78	954.91	-14.01
229.27	5.3090	1,216.60	1,225.30	0.72	1,100.92	-9.51
ค่าเฉลี่ยขั้วปฐม				0.87		5.93

#### 6. สรุปผล

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตรวจสอบจากการแสดงผลของ LED1 ได้ถูกต้องกว่าวิธีการจับเวลาด้วยสายคา จากตารางที่ 1 ผลการทดลองพบว่า การตรวจจับเวลาด้วยสายคา มีความผิดพลาดมากขึ้นเมื่อจ่ายโหลดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเหตุผลในข้อที่ 3.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า ฉะนั้นวิธีการประมวลผลภาพสามารถตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้อง ง่าย สะดวก รวดเร็ว แม่นยำ โดยที่มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.87 % ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

#### เอกสารอ้างอิง

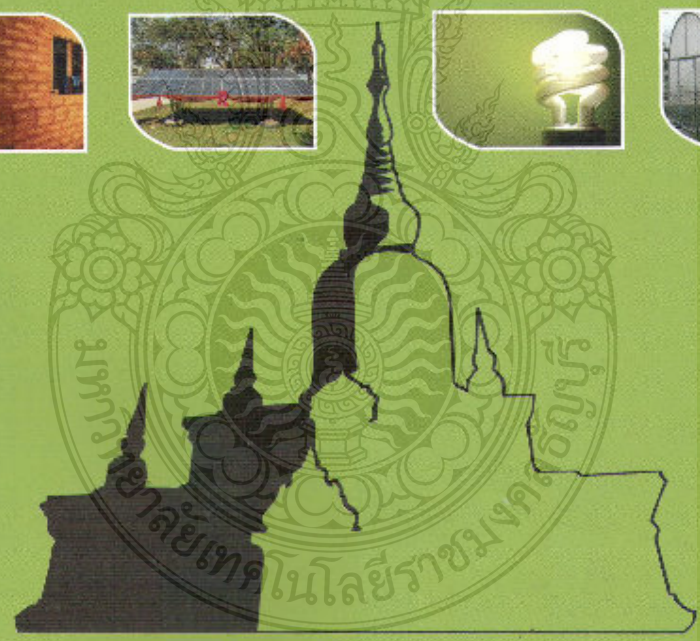
- [1] กองมิเตอร์ไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "เอกสารการอบรมการตรวจสอบมิเตอร์" กรุงเทพฯ: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2540
- [2] Unipower AB, "Verification equipment for electric meters Unipower 3010" Sweden, available from [www.eng.unipower.se](http://www.eng.unipower.se) access on 21/02/2012.
- [3] สมชาย เมื่อนสูงเนิน, "ชุดทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์สวามีเตอร์โดยใช้การบันทึกภาพวิดีโอที่งานศูนย์การประจวบวิทยการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34 (EECON-34), 2554
- [4] อธิศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์ และคณะ, "การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, 2555
- [5] Forth Corporation Public Co.Ltd, "คู่มือมิเตอร์ TOU ผลิตภัณฑ์ ELSTER A1800", กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8  
The 8<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT 8



คณะกรรมการจัดงาน ฝ่ายวิชาการพลังงาน

พลังงานและนวัตกรรมสีเขียวเพื่ออนาคตอาเซียน  
Green Energy and Innovations for ASEAN's Future



วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมอัสสัมชัญ จังหวัดนครราชสีมา





### รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร. ธาณินทรีย์ เมธิยานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร. ณีฎฐ์ กาศยปนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. นรินทร์ วัฒนกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. มานะ อมรกิจบำรุง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สมเกียรติ ปรัชญาวารการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. อติศักดิ์ นาดกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สัมพันธ์ ฤทธิ์เดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. เสริม จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร. จุฬารัตน์ เบญจปิยะพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ธนวิจุ ศรีวีระกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. นริส ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ปรีชา เต็มสุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. จีรวรรณ เตียรณัฐสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ธนิต สวัสดิ์เสวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. สมบูรณ์ เวชกามา	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร. วันชัย นิมฉวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร. ศักดิ์ระวี ระวังกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผศ.ดร. ศิริ ดวงพร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. บพิตร บุปผโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. ณิชกุล ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8  
วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม

## การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ Evaluation Accuracy of Electronic Energy Meters Using Image Processing

อชิศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์<sup>1</sup>, จักรชัย สุขพิทักษ์สกุล<sup>2</sup> และ ณัฐวุฒิ โสมะเกษศรีจันทร์<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110  
โทร 0-2549-3425, 083-701-2542 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail : atisakriennrungrrote@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีความสะดวก รวดเร็ว และเพิ่มความน่าเชื่อถือในงานตรวจสอบ ด้วยการใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ มาวิเคราะห์การทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยนำภาพที่จับได้จากกล้องเว็บแคมมาประมวลผลด้วยเทคนิคการทำ Subtractions และทำ Thresholding จากนั้นใช้อัลกอริทึมแปลงค่าจากภาพที่ได้ เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง เพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน และประมวลผลค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบ

**คำหลัก:** เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์, เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

### Abstract

This paper presents a technique for evaluation accuracy electronic energy meters, to make the method more simplify faster and increase reliability in Organization, by the image processing technology, to analyze accuracy of electronic energy meters. By the image from the web camera to processing with subtraction and thresholding techniques, and then use algorithm to transform pictures to the real power energy consumptions to compare with the standard energy meter and evaluate accuracy of electronic energy meters

**Keywords:** Electronic energy meters, Image processing

### 1. บทนำ

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter) เป็นเครื่องมือใช้สำหรับวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ ที่มีใช้อยู่ตามสถานประกอบการ อาคารบ้านเรือนต่างๆ ซึ่งค่าพลังงานที่วัดได้ต้องมีความเที่ยงตรงตลอดเวลา หากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทำงานไม่

ถูกต้อง จะส่งผลต่อการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าไม่ถูกต้อง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์กรขาดความน่าเชื่อถือ การตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้น มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่ 1.วิธีการติดตั้งมิเตอร์เปรียบเทียบ ใช้เวลาในการทดสอบ 24 ชั่วโมง [1] ซึ่งต้องดับไฟขณะทำ



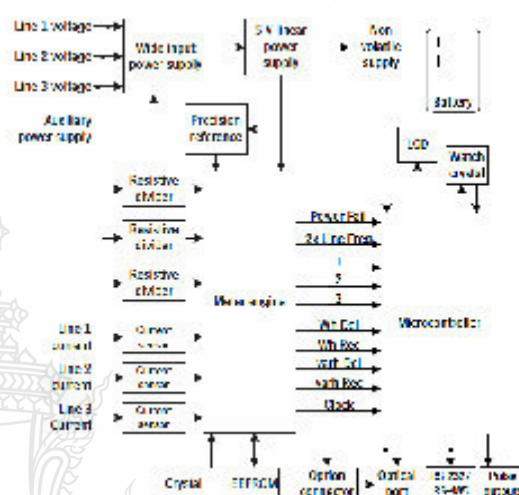


การเปรียบเทียบสำหรับมิเตอร์วัดค่าแบบทางตรง หรือ การเปรียบเทียบมิเตอร์วัดค่าแบบทางอ้อมทำได้โดย ไม่ดับไฟมีความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน ทั้งนี้ยังต้องใช้ พื้นที่ในการติดตั้งและต่อสายวงจรอีกด้วย 2.วิธีการ ตรวจสอบโดยการใช้นาฬิกาจับเวลาจากจานหมุนหรือ จานเทียบเปรียบเทียบกับแคล์มออนเพาเวอร์มิเตอร์ (Clamp-on power meter) [1] วิธีการดังกล่าวไม่สามารถประเมินผลได้กับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลง ขณะตรวจสอบ หรือกรณีตรวจสอบกิโลวัตต์ชั่วโมง มิเตอร์ (Kilowatt hour meter) แบบ 3 เฟส ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับงานตรวจสอบความ ถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินฟราเรด [2] ก็มีจุดอ่อนเรื่องการสะท้อนแสงขณะตรวจสอบและ มีราคาสูง ปัจจุบันอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ หาได้ง่ายและมีราคาถูก จึงมีการพัฒนาชุดทดสอบค่า ความคลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์โดยใช้การ บันทึกรูปภาพวิดีโอที่จานหมุน [3] แต่การทดสอบต้องมื การดับไฟเพื่อทดสอบกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เช่นกันและ ไม่สามารถใช้กับกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบ อิเล็กทรอนิกส์ บทความนี้จึงนำเสนอแนวทาง พัฒนาการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัด พลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการ ประมวลผลภาพเพื่อความปลอดภัย ใช้งานง่าย โดย การใช้หลักการนำภาพวิดีโอการกะพริบของหลอด LED แพลงเป็นรูปภาพต่อเนื่อง มาคำนวณเวลาการทำงาน จากนั้นนำค่าเวลาคำนวณพลังงานไฟฟ้า เปรียบเทียบกับชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อ ประมวลผลค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงาน ไฟฟ้าว่าอยู่ในเกณฑ์หรือไม่ โดยบทความนี้แบ่ง เนื้อหาออกเป็น 8 ส่วน ได้แก่ หลักการวัดค่าพลังงาน ไฟฟ้า, วิธีการตรวจสอบเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า, การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ, การ ทดสอบ ข้อเสนอแนะ สรุปผล และเอกสารอ้างอิง ดังนี้

## 2. หลักการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

### 2.1 การวัดและแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับ เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีส่วนประกอบการทำงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัด พลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ [4]

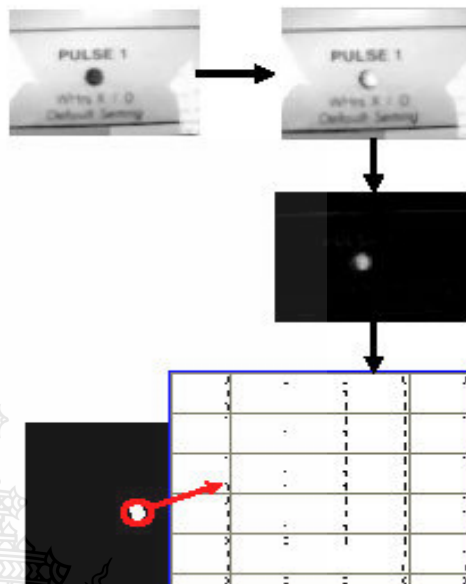
แรงดันและกระแสของระบบไฟฟ้าจะถูก ตรวจวัดโดยเซนเซอร์กระแสและวงจรแบ่งแรงดัน หลังจากนั้นจะถูกคำนวณและประมวลผลโดยวงจรรวม เฉพาะทางที่เรียกว่า Meter Engine ซึ่ง Meter Engine จะทำการคูณและการคำนวณอื่นๆ ซึ่งภายใน Meter Engine จะประกอบด้วย วงจรประมวล สัญญาณ (DSP) และ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิทัล (ADC) ส่งสัญญาณต่างๆไปยัง หน่วย ควบคุม (Microcontroller) สร้างสัญญาณพัลส์ออกทาง หลอด LED และแสดงผลเอาท์พุทออกทางหน้าจอ LCD







**4. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ**



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพตรวจสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

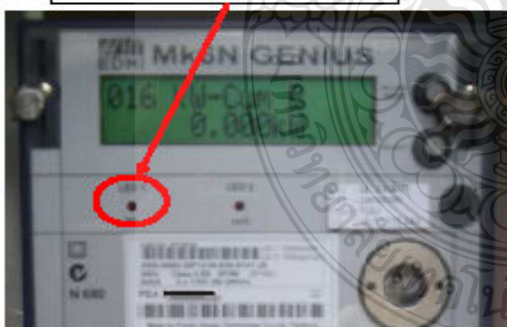
รูปที่ 4 แสดงการประมวลผลภาพดิจิทัล

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงตำแหน่งการจับเวลาการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า และการประมวลผลโปรแกรม เมื่อหลอด LED กระทบครั้งที่ 1 โปรแกรมประมวลผลทำการแปลงภาพเป็น ภาพขาวดำ และนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 หากจำนวนพิกเซลมีค่าเป็น 1 เกินค่าที่กำหนด ให้เริ่มทำการจับเวลาพร้อมทั้งทำการวัดค่าพลังงานจากเครื่องวัดมาตรฐาน และจะทำการหยุดจับเวลาพร้อมทั้งหยุดการวัดค่าพลังงาน เมื่อภาพที่ได้มีจำนวนพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 เกินค่าที่กำหนดเป็นครั้งที่ 2 จากนั้นนับจำนวนเฟรมของภาพที่อยู่ในช่วงการจับเวลาจะได้ค่าเวลาที่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าครบ 1 รอบ จากนั้นจึงนำค่าต่าง ๆ ที่ตรวจจับได้มาคำนวณและประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยสมการที่ 1-3

**5. การทดสอบ**

**5.1 ผลทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ**

จุดจับภาพสำหรับวัดรอบการทำงาน



รูปที่ 3 ตัวอย่างเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

**5.2 ผลการทดสอบการทำงานของ การประมวลผลภาพจากหลอด LED 1 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง**





โดยจ่ายโหลดคงที่ 0.500 kW, วัดค่า 1 รอบ,  
1000 Imp/kWh และ Ratio = 1 จะได้  $t = 7.20$  วินาที  
จากสมการที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการ  
จับเวลาด้วยนาฬิกากับเทคโนโลยีประมวลผลภาพ  
พร้อมทั้งคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าเปอร์เซ็นต์  
ผิดพลาดจากสมการที่ (2) และ (3)

ครั้งที่	เวลาจาก โปรแกรม (วินาที)	ค่า พลังงาน ไฟฟ้าจาก โปรแกรม (กิโลวัตต์)	% ผิดพลาด	เวลาที่ จับด้วย นาฬิกา (วินาที)	ค่า พลังงาน ไฟฟ้าจาก การจับ เวลา (กิโลวัตต์)	% ผิดพลาด
1	7.22	0.499	-0.20	7.71	0.467	-6.60
2	7.21	0.499	-0.20	7.04	0.511	+2.20
3	7.19	0.501	+0.20	6.96	0.517	+3.40
4	7.22	0.499	-0.20	6.91	0.521	+4.20
5	7.17	0.502	+0.40	7.71	0.467	-6.60
6	7.18	0.501	+0.20	7.24	0.497	-0.60
7	7.21	0.499	-0.20	7.19	0.501	+0.20
8	7.19	0.501	+0.20	7.37	0.488	-2.40
9	7.20	0.500	0.00	7.05	0.511	+2.20
10	7.21	0.499	-0.20	7.25	0.497	-0.60
เฉลี่ย	7.20	0.500	0.00	7.24	0.497	-0.60

#### 6. ข้อเสนอแนะ

วิธีการนี้ใช้กล้องเว็บแคมจับภาพบริเวณ  
หลอด LED1 ที่แสดงค่ากิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งค่าความ  
ถูกต้องของการประมวลผลภาพจะขึ้นอยู่กับคุณภาพ  
ของภาพที่ตรวจจับได้, ค่าเวลาการทำงานของ  
เครื่องวัดที่ขึ้นอยู่กับโหลด และคุณสมบัติของกล้อง  
เช่น ความไวในการรับภาพ (Frame Rate), ความ  
ละเอียดและคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสง เป็นต้น ซึ่ง  
งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบ  
หรือสอบเทียบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทั้งแบบ  
เหนี่ยวนำและแบบอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจจับ  
ความเร็วของวัตถุ

#### 7. สรุปผล

การประมวลผลค่าพลังงานที่ตรวจสอบจาก  
หลอด LED ด้วยวิธีการประมวลผลภาพนั้นสามารถ  
จับเวลาได้ถูกต้องกว่าวิธีการจับเวลาด้วยสายคาจาก  
ตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าการตรวจจับเวลาด้วย  
สายคาได้ผลการประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด  
เกินมาตรฐาน  $\pm 2.5\%$  ถึง 4 ครั้ง ทำให้การ  
ประเมินผลเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผิดพลาด แต่  
วิธีการประมวลผลภาพสามารถตรวจสอบเครื่องวัด  
พลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้อง ง่าย สะดวก รวดเร็ว เมื่อ  
ทราบผลการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่  
ถูกต้องแล้ว การเปรียบเทียบกับชุดเครื่องมือวัด  
พลังงานไฟฟ้ามาตรฐานแบบ 3 เฟส ที่เวลาเดียวกัน  
จะทำให้การประเมินผลเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้  
ถูกต้อง

#### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองมิเตอร์ไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "เอกสาร  
การอบรมการตรวจสอบมิเตอร์ "กรุงเทพฯ : การไฟฟ้า  
ส่วนภูมิภาค, 2540
- [2] Unipower AB, "Verification equipment for  
electric meters Unipower 3010" Sweden, URL:  
[http://www.eng.unipower.se/default.asp?initid=342  
&menutree=404.349&toplinkname=Products&men  
uheading=Products&mainpage=templates/04.asp?  
sida=268](http://www.eng.unipower.se/default.asp?initid=342&menutree=404.349&toplinkname=Products&menuheading=Products&mainpage=templates/04.asp?sida=268), access on 21/02/2012.
- [3] สมชาย เบียนสูงเนิน, " ชุดทดสอบค่าความ  
คลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์ฮาว์มิเตอร์โดยใช้การ  
บันทึกภาพวิดีโอที่งานหมุน " การประชุมวิชาการทาง  
วิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34 (EECON-34), 2554
- [4] Forth Corporation Public Co.Ltd, "คู่มือมิเตอร์  
TOU ผลิตภัณฑ์ ELSTER A1800", กรุงเทพฯ : การ  
ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายอศิศศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	29 มิถุนายน พ.ศ. 2527
ที่อยู่	13 ถนนประชาบำรุง ซอย 1 ตำบลสะเดา อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา 90120
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	วิศวกรประจำแผนกมิเตอร์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมืองพัทยา พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน

