

มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร  
Smart Meter for Renewable Energy and Farms



โดย

นายวศิน เขมระวิชญ์รัตน์  
นายวศิน กฤษณะวิชญ์รัตน์  
นายวันชัย หิรัญทองชัย

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผลงานเทคโนโลยีพระจอมเกล้า อัจฉริยะเกษตรกรรม

ปีการศึกษา 2557

มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร  
Smart Meter for Renewable Energy and Farms



เอกสารนี้เป็นปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

# Smart Meter for Renewable Energy and Farms



Wasin  
Wasin  
Wanchai

Kemawichanurat  
Anan-naweenusorn  
Sirisaengchaikul

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปีการศึกษา 2557

มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร  
Smart Meter for Renewable Energy and Farms



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร

ผู้จัดทำ

1. นาย วศิน เชมะวิชานุรัตน์
2. นาย วศิน อนันต์นาวิณุสรณ์
3. นาย วันชัย ศิริแสงชัยกุล



  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริเดช บุญแสง)

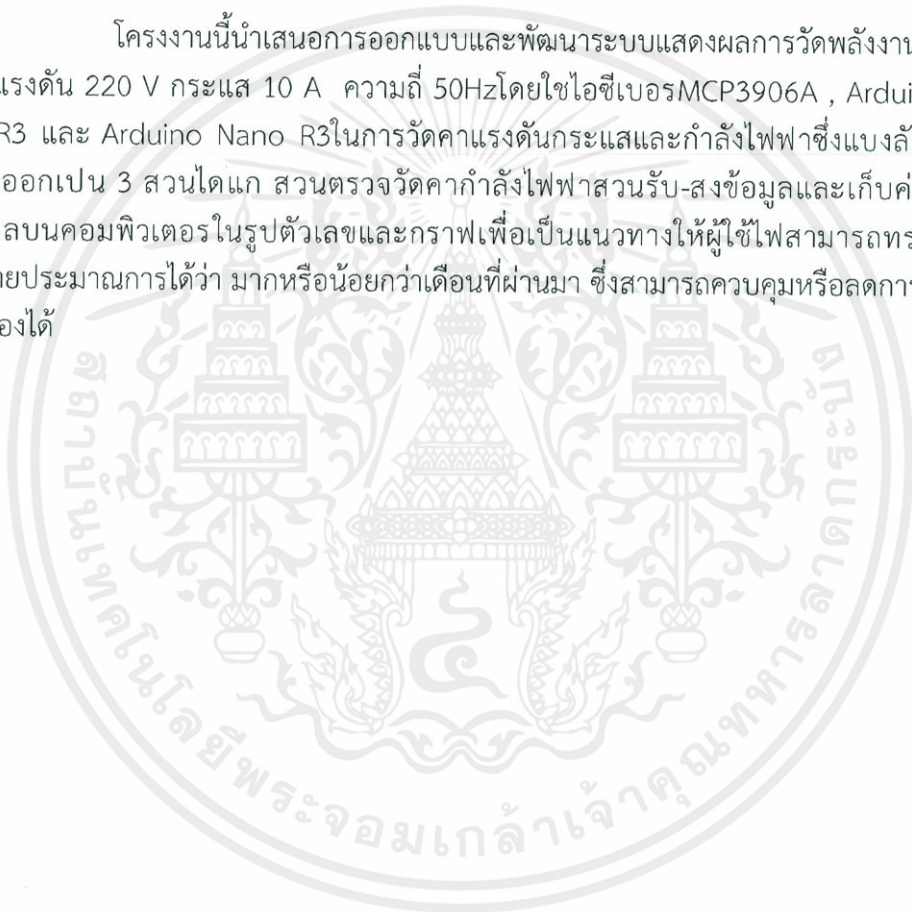
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร

นายวศิน	เขมะวิชานุรัตน์	
นายวศิน	อนันต์นาวิณุสรณ์	
นายวันชัย	ศิริแสงชัยกุล	
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวินชิวไล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.ศิริเดช	บุญแสง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบแสดงผลการวัดพลังงานไฟฟ้าชนิด 3 เฟสแรงดัน 220 V กระแส 10 A ความถี่ 50Hz โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCP3906A , Arduino MEGA 2560 R3 และ Arduino Nano R3 ในการวัดค่าแรงดันกระแสและกำลังไฟฟ้าซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าวรับ-ส่งข้อมูลและเก็บค่าและส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบตัวเลขและกราฟเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ใช้ไฟสามารถทราบตัวเลขค่าใช้จ่ายประมาณการได้ว่า มากหรือน้อยกว่าเดือนที่ผ่านมา ซึ่งสามารถควบคุมหรือลดการใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Smart Meter for Renewable Energy and Farms

Mr. Wasin                      Kemawichanurat  
Mr .Wasin                     Anan-naweenusorn  
Mr. Wanchai                 Sirisaengchaikul  
Assoc. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai Adviser  
Asst. Prof. Dr. Siridech Boonsang             Co- Adviser  
Year 2014

## Abstract

This project presents the design and development of energy measuring and display for 3 phase 220 V 10 A with 50 Hz frequency by using ICs' MCP3906A , Arduino MEGA 2560 R3 and Arduino Nano R3 for measuring voltage, current and power. The operation of this meter composes of three parts; i.e. power measurement, data acquisition, and the display in monitoring in both digits and graph. This module can provide the electrical charge and can be used for estimating the cost of electric charge so that the next month charge can be estimated and compared to the past month so that the electric charge can be controlled.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการชี้แนะคำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและการเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคุณภูมิ คงห้วยรอบ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้วิชาแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆในห้องปฏิบัติการ ECC 305 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ และเป็นกำลังใจเสมอมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในทุกๆด้าน และ คอยเป็นกำลังใจ เป็นที่ปรึกษาที่ดี ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดีจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายวศิน เขมะวิชานรัตน์  
นายวศิน อนันต์นาวิณุสรณ์  
นายวันชัย ศิริแสงชัยกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	viii
สารบัญตาราง	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์	5
1.8 บทสรุป	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)	7
2.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)	8
2.3 ค่าประสิทธิผลหรือค่า RMS (Effective or RMS Values)	10
2.3.1 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex power)	11
2.3.2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 3 เฟส	13
2.3.3 กำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟส	14
2.3.4 ตัวประกอบกำลัง (Power factor)	15
2.3.5 พลังงานไฟฟ้า	16
2.4 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	16
2.4.1 สาเหตุการพัฒนา มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	16
2.4.2 ส่วนประกอบของ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	16

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.3 ฟังก์ชันการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	18
2.5 การจัดการฐานข้อมูล	18
2.5.1 Thingspeak	18
2.6 เว็บไซต์	19
<b>บทที่ 3 การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ</b>	20
3.1 แนวความคิดในการออกแบบวงจรการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	20
3.2 การออกแบบหาไอซีที่จะใช้งาน	20
3.3 การศึกษาและทดสอบการทำงานของไอซี MCP3906A	21
3.4 วงจรสัญญาณขาเข้าสำหรับ MCP3906A	25
3.4.1 วงจรตรวจจับแรงดันสามเฟสสำหรับ MCP 3906A	25
3.4.2 วงจรตรวจจับกระแสสามเฟสสำหรับ MCP3906A	27
3.5 วงจรสัญญาณขาเข้าสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.5.1 วงจรปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.5.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	33
<b>บทที่ 4 ซอฟต์แวร์รับ-ส่งค่า และแสดงผลบนอินเตอร์เน็ต</b>	36
4.1 บทนำ	36
4.2 ส่วนของการควบคุมและประมวลผล	36
4.2.1 Arduino MEGA 2560 r3	37
4.2.2 Arduino Nano r3	38
4.3 การออกแบบโปรแกรมของ Arduino	39
4.4 การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์	40
4.5 Arduino Data Logger Shield	41
4.6 การออกแบบระบบ Cloud IOT Server	42
4.7 การออกแบบหน้าเว็บไซต์	44
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง</b>	47
5.1 บทนำ	47
5.2 การทดลองคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากสัญญาณความถี่ $HF_{out}$ ต่อ 1 เฟส	47

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 การทดลองการวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้าแบบต่างๆ	52
5.4 การทดสอบการแสดงค่าบนจอ LCD	63
5.5 การรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บค่าไว้ในฐานข้อมูล	64
5.6 ผลการแสดงผลบนเว็บไซต์	65
5.7 การแสดงผลด้วยอุปกรณ์อื่นๆ	66
<b>บทที่ 6 บทสรุปข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา</b>	67
6.1 บทสรุป	67
6.2 ข้อเสนอแนะ	67
6.2.1 การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	67
6.2.2 การใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะบนหน้าเว็บไซต์	68
6.3 แนวทางการพัฒนา	68
<b>บรรณานุกรม</b>	69
<b>ภาคผนวก</b>	70
-ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการ	71
-ภาคผนวก ข. MCP3906A	76
-ภาคผนวก ค. Microcontroller	103
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	7
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในกรณีตัวต้านทาน	9
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในกรณีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	9
2.4 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	11
2.5 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแสไฟฟ้า	12
2.6 เฟสเซอร์สามเหลี่ยมกำลัง	12
2.7 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสและแผนภาพเฟสเซอร์	13
2.8 ระบบแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสแบบววาย	13
2.9 ระบบแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสแบบเดลต้า	14
2.10 ส่วนประกอบของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	17
3.1 รูปแบบวงจรมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต่อเฟส	20
3.2 บล็อกไดอะแกรมที่จำลองใน MATLAB SIMULINK ต่อเฟส	20
3.3 การต่อวงจรของไอซี MCP 3906A ต่อหนึ่งเฟส	22
3.4 Function Block Diagram ของไอซี MCP 3906A	22
3.5 วงจรตรวจจับแรงดันสำหรับ MCP3906A	25
3.6 หม้อแปลงแรงดัน 220/6 V	25
3.7 สัญญาณแรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง 220/6 1 เฟส	26
3.8 สัญญาณแรงดันหลังผ่านวงจรตรวจจับกระแส 1 เฟส	26
3.9 วงจรตรวจจับกระแสสำหรับ MCP3906A	27
3.10 Current Transformer	28
3.11 สัญญาณหลังเข้าวงจรปรับสภาพสัญญาณ 1 เฟส	28
3.12 วงจรสำหรับใช้วัดภาระไฟฟ้าจริงสำหรับ MCP3906A	29
3.13 วงจร MCP3906A 1 เฟส	30
3.14 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.15 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.16 สัญญาณแรงดันหลังปรับสภาพสัญญาณ 1 เฟส	32
3.17 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	33
3.18 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	34
3.19 Current Sensor Module	34
3.20 วงจรสำหรับใช้วัดภาระไฟฟ้าจริง	35
4.1 ภาพรวมการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังเว็บไซต์	36
4.2 บอร์ด Arduino MEGA 2560 r3	37
4.3 บอร์ด Arduino Nano r3	38
4.4 Module Wi-fi WSP8266	40

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การต่อ ESP8266	41
4.6 Arduino Data Logger Shield	41
4.7 Channel ต่างๆของ Thingspeak	42
4.8 Field ต่างๆที่ใช้แสดงกราฟของพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า	43
4.9 เว็บไซต์หน้าแรก	44
4.10 เว็บไซต์หลังจากกดปุ่มกราฟ	45
4.11 เว็บไซต์หน้าแสดงกราฟของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	45
4.12 หน้าเว็บไซต์หลังจากกดปุ่ม Report	46
5.1 รูปชุดการทดลอง	48
5.2 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 1 หลอด (เฟส A)	49
5.3 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 2 หลอด (เฟส B)	50
5.4 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 3 หลอด (เฟส C)	51
5.5 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง	51
5.6 วงจรชุดทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับภาระแบบต่างๆ	52
5.7 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A	53
5.8 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B	54
5.9 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C	54
5.10 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A	55
5.11 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B	56
5.12 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C	56
5.13 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A	57
5.14 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B	58
5.15 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C	58
5.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A	59
5.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B	60
5.18 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C	60
5.19 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A	61
5.20 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B	62
5.21 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C	62
5.22 การแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD	63
5.23 กราฟจาก Thingspeak	64
5.24 ผลการเก็บค่าของ Thingspeak	65
5.25 การแสดงกราฟค่าพารามิเตอร์บนเว็บไซต์	65
5.26 หน้าเว็บในส่วนแสดงรายงานในเมนู Report	66
5.27 การแสดงค่าร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ	66

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
3.1	กราฟแสดงค่าจากการ Simulation	21
3.2	MCP3906A GAIN SELECTIONS	23
3.3	MCP3905A/06A OUTPUT FREQUENCY SETTINGS	23
3.4	คุณสมบัติไอซี MCP3906A แต่ละขา	24
5.1	การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้(Smart Meter)กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)	53
5.2	การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)	55
5.3	การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)	57
5.4	การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)	59
5.5	การเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)	61
5.6	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของทุกคนทั้งในด้านการสื่อสาร การคมนาคม การศึกษา เศรษฐกิจและในด้านการเกษตร ประเทศไทยเป็นผู้นำโลกในการผลิตและส่งออกข้าว ยาง สับปะรดกระป๋อง และกุ้งกุลาดำ เป็นผู้นำภูมิภาคเอเชียในการส่งออกเนื้อไก่ และโคคัณฑ์อื่นอีกหลายรายการ และเลี้ยงคนได้มากกว่าสี่เท่าของประชากรทั้งประเทศ จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ระบุว่าในปี 2557 ได้มีอัตราการขยายตัวด้านการเกษตรร้อยละ 3.0 – 4.0 จากในปี 2556 ที่มีอัตราการขยายตัวด้านการเกษตรเพียงร้อยละ 1.1 โดยด้านเกษตรพืชมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.2 - 4.2 ด้านปศุสัตว์มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.0 – 3.0 ด้านประมงมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 - 3.2 ด้านการบริการทางการเกษตรมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 – 1.8 และด้านป่าไม้มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 – 4.0 จากอัตราการขยายตัวทางการเกษตรที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมด้านการเกษตรมากขึ้นด้วย จึงต้องมีการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการของการจัดการพลังงานไฟฟ้าคือการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทุกประการจึงทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้อีกด้วย เพราะฉะนั้นเราจึงต้องหาวิธีที่จะมาจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้รู้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้จึงสามารถจัดการและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ดีขึ้น ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเพิ่มขึ้น เพื่อแทนที่มิเตอร์ไฟฟ้าแบบจานหมุนโดยจะเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำในการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์จากการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลไปที่ระบบควบคุม (Control System) มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถติดต่อสื่อสารโดยตรงกับระบบควบคุมได้บ่อยเท่าที่ต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องส่งพนักงานมาเพื่ออ่านค่าหน่วยไฟฟ้าเดือนละครั้งแบบปัจจุบันทำให้การไฟฟ้าสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านบริการลูกค้า ดังนั้นผู้ขายไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถอ่าน หรือคำนวณค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เสมอ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถบอกค่าหน่วยพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าทั้งหมด ทั้งในเดือนปัจจุบัน และในเดือนก่อนได้โดยจะสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกัน ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าการเปลี่ยนมาใช้มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะนั้นทำให้สามารถเข้าถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าของผู้ใช้งานได้ง่ายขึ้นทำให้ทราบรูปแบบของการใช้พลังงานไฟฟ้าของลูกค้าแต่ละรายได้จึงสามารถจัดการโครงข่ายระบบจำหน่ายได้เหมาะสมที่สุด และเป็นการเตรียมระบบให้พร้อมสำหรับระบบสมาร์ทกริดให้พร้อมสำหรับอนาคตและยังทำให้รัฐบาลสามารถกำหนดนโยบายการใช้พลังงานไฟฟ้า กระตุ้นสร้างแรงจูงใจให้ประชาชนดำเนินการตามนโยบาย เพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อปรับปรุงกระบวนการตลาดเสรี ทางด้านพลังงานมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถจัดการและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าให้ดีขึ้น

ได้ จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและส่งผลให้ลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น งานวิจัยเกี่ยวกับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Soma Shekara Sreenadh และคณะ [1] ได้กล่าวถึงการออกแบบการใช้งาน, การใช้งานและการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานมิเตอร์อัจฉริยะ การใช้งานที่หลากหลายและข้อดีของมิเตอร์อัจฉริยะ ความต้องการมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะในประเทศทั่วโลก Daminda Alahakoon และคณะ [2] ได้กล่าวถึงการวัดของมิเตอร์ไฟฟ้าและโครงสร้างพื้นฐานการวัดขั้นสูง (AMI) จะถูกนำไปใช้ในหลายประเทศทั่วโลกและเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่แตกต่างกันสำหรับการควบคุมข้อมูลมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ รวมทั้งข้อจำกัดและเทคนิคที่ใช้ในการจัดการข้อมูลจำนวนมากจากมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ และการพัฒนาในอนาคต Giuseppe Del Prete และ Carmine Landi [3] ได้กล่าวถึงมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะโดยมีจุดมุ่งหมายในการใช้ต้นทุนต่ำที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยมีการรวบรวมข้อมูลผ่านโปรโตคอล Controller Area Network (CAN) และการใช้งานบนเครือข่ายเน็ตเวิร์คเว็บไซต์เพื่อในการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถเรียกดูข้อมูลที่รวบรวมไว้จากระยะไกล นำมาคำนวณปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้าและสามารถตัดสินใจในการปลดภาระไฟฟ้าหรือตัดสินใจเวลาในการใช้งาน Shang-Wen Luan และคณะ [4] ได้กล่าวถึงมิเตอร์อัจฉริยะชิปที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายและระบบการดำเนินการและการบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระบบสมาร์ตชิป (Zigbee) จะรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเหตุการณ์ไฟดับส่งไปยังระบบประมวลผล ผลการทดลองแสดงถึงความถูกต้องของระบบที่มีประสิทธิภาพใน AMI และยังสามารถนำไปร่วมกับบ้านอัจฉริยะอัตโนมัติที่สามารถนำไปใช้ได้จริงอย่างแพร่หลาย Rahman, M.M. และคณะ [5] ได้กล่าวถึงภาพรวมของลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะมาตรฐาน การสื่อสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง แบนด์วิดท์ และสำรวจความแพร่หลายของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะผ่านทางอุปกรณ์ Ethernet โดยใช้ OPNET ITGuru เพื่อให้การทำงานของเครือข่ายมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะมีประสิทธิภาพ Garpetun, L. [6] ได้กล่าวถึงการพัฒนาระบบการวัดมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะจากต้นระบบ AMR กับการทำงานขั้นพื้นฐานสำหรับการเก็บข้อมูลของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อใช้ใน Smart Grid การทำงานนี้บูรณาการของ AMI / ระบบการวัดแสงสมาร์ตกับ DMS / ระบบ Scada จะให้ผู้ประกอบการในศูนย์ควบคุมมุมมองที่ดีขึ้นมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่มีความเป็นไปได้ในการตรวจสอบระบบ Smart Grid ที่แรงดันต่ำเกี่ยวกับการเกิดเบรกดาวร์และคุณภาพไฟฟ้า จึงสามารถตรวจสอบลูกค้าแรงดันต่ำแต่ละรายได้ Bernard Neenan และ Ross C. Hemphill [7] ได้กล่าวถึงประโยชน์ที่ทางสังคมจะได้รับจากการลงทุนทางด้านมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะขอบเขตการพัฒนาและปริมาณของประโยชน์สังคมจะได้รับ รูปแบบในปัจจุบันของมิเตอร์อัจฉริยะที่ให้ผลประโยชน์ ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าศักยภาพในการใช้งานก็ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้ การสนับสนุนและหน่วยงานที่ควบคุมดูแล ศ.ดร.ศิริโรจน์ศิริสุขประเสริฐ และ คณะ [8] ได้กล่าวถึงการนำเสนอเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะโดยการศึกษาและวิจัยเรื่องเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ มิเตอร์อัจฉริยะ โครงสร้างมิเตอร์ขั้นสูง ระบบอ่านหน่วยมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ระบบการจัดการพลังงานอัตโนมัติ รวมถึงนำเสนอการออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟสที่

เอกสารนี้สามารถรับส่งข้อมูลแบบไร้สายได้โดยใช้บอร์ดทดลองสำเร็จนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ
2. เพื่อศึกษาลักษณะการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าของมิเตอร์อัจฉริยะผ่านจอแสดงผลและส่งข้อมูลเพื่อไปแสดงผลทางเว็บไซต์
3. เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าตระหนักในการใช้พลังงานไฟฟ้า ควบคุมและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า ของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ดีขึ้น
4. เพื่อนำมิเตอร์อัจฉริยะไปประยุกต์ในกิจกรรมการทางเกษตร และปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของกิจการนั้นๆ ให้ดีขึ้น
5. เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในระบบสมาร์ตกริดสำหรับประเทศไทยในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

จัดทำมิเตอร์อัจฉริยะวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ที่พิกัดแรงดัน 220 V กระแส 10 A โดยมิเตอร์อัจฉริยะนี้สามารถแสดงค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ผ่านทางหน้าจอแสดงผลได้ และส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารนำไปแสดงผลในเว็บไซด์เพื่อความสะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูลโดยจะแสดง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเสมือน พลังงานไฟฟ้าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และค่าไฟฟ้า ทั้งในรูปของตัวเลขและในรูปแบบของกราฟ

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณทางไฟฟ้า ระบบการแสดงผลทางเว็บไซด์ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะจากหนังสือ บทความ ปรินูญาณิพนธ์ และงานวิจัยต่างๆ
2. ออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC62053 International Energy Metering Specification และ IEC 1036/61036/687 Specifications
3. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆอย่างถูกต้อง
4. จัดสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC62053 International Energy Metering Specification และ IEC 1036/61036/687 Specifications
5. ออกแบบและจัดสร้างระบบส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและแสดงผลทางเว็บไซด์
6. ทดสอบและเปรียบเทียบการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า ของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบ กับอุปกรณ์ที่นำเชื่อถือและผ่านการรับรองมาตรฐาน
7. ทดลองการทำงานมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 3เฟส ที่พิกัดแรงดัน 220V พิกัดกระแส 10A และทดลองการทำงานผ่านระบบส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อแสดงผลทางเว็บไซด์
8. บันทึกข้อมูลจากผลการทดลอง
9. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้ยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อแสดงผลทางเว็บไซด์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากทั้งนี้เป็นการเปิดเผยข้อมูลจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สรุปผลการทดลอง
11. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

### 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซ่องกับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ										
2. ออกแบบและจัดการสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ										
3. เขียนโปรแกรมควบคุมส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์										
4. เขียนโปรแกรมมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะบนคอมพิวเตอร์และระบบส่งข้อมูลเพื่อไปแสดงผลทางเว็บไซต์										
5. เปรียบเทียบการวัดปริมาณทางไฟฟ้า										
6. ทดลองและบันทึกผลการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ										
7. สรุปผลงานและนำเสนอโครงการ										

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- โครงการนี้เป็นการบูรณาการระหว่างวิทยาการในด้านต่างๆ ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า เช่น อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบการวัดและการเปรียบเทียบ การเขียนโปรแกรม ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ศึกษาค้นคว้า วิจัยในทางด้านที่กล่าวมา

- สามารถจัดทำมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ เพื่อทดแทนการใช้งานมิเตอร์แบบจานหมุน จะเป็นแนวทางให้ผู้ใช้ไฟฟ้าให้เปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลง ช่วยลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า
- สามารถนำมิเตอร์อัจฉริยะไปประยุกต์ในกิจการต่างๆ และปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของกิจการนั้นๆ ให้ดีขึ้น
- สามารถนำความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้ ไปประยุกต์เป็นแนวทางในการนำไปสู่การจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในระบบสมาร์ตกริดสำหรับประเทศไทย

### 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพนธ์

ปฏิญญาพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ เพื่อเป็นแนวทางอันนำไปสู่การติดตั้งระบบสมาร์ตกริด ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 บท ดังนี้

**บทที่ 1 บทนำ** ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของโครงการงาน วัตถุประสงค์ของโครงการงาน ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการงาน ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** ในบทนี้นำเสนอทฤษฎีกำลังไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ภาระไฟฟ้าแบบต่างๆ โครงสร้างและหลักการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบจานหมุน และมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ ทฤษฎีการชั่งสัญญาณ และแนวทางการพัฒนาเว็บไซต์

**บทที่ 3 การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ** ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง ซึ่งประกอบไปด้วย การจำลองเพื่อหาไอซีที่ตรงกับที่ความต้องการ การศึกษาและทดสอบการทำงานของไอซี MCP3906A การออกแบบวงจรตรวจจับกระแส ออกแบบวงจรตรวจจับแรงดัน การออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ

**บทที่ 4 ซอฟต์แวร์รับ-ส่งค่า และการแสดงผลบนอินเตอร์เน็ต** ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และการนำค่าไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล รวมไปถึงการนำข้อมูลที่เก็บไว้มาแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์

**บทที่ 5 ผลการทดลอง** ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดสอบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะไม่ว่าจะเป็นการทดลองวัดกับภาระทางไฟฟ้า การเก็บค่าเพื่อนำมาเปรียบเทียบ ฯลฯ

**บทที่ 6 สรุปผล ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา** ในบทนี้จะกล่าวถึง บทสรุปของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ ตั้งแต่วัตถุประสงค์ ไปจนถึงแนวทางการพัฒนาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.8 บทสรุป

ในบทนี้นำเสนอที่มาและความสำคัญของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ วิธีการที่ใช้ในโครงการ แผนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ โดยในบทต่อไปจะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

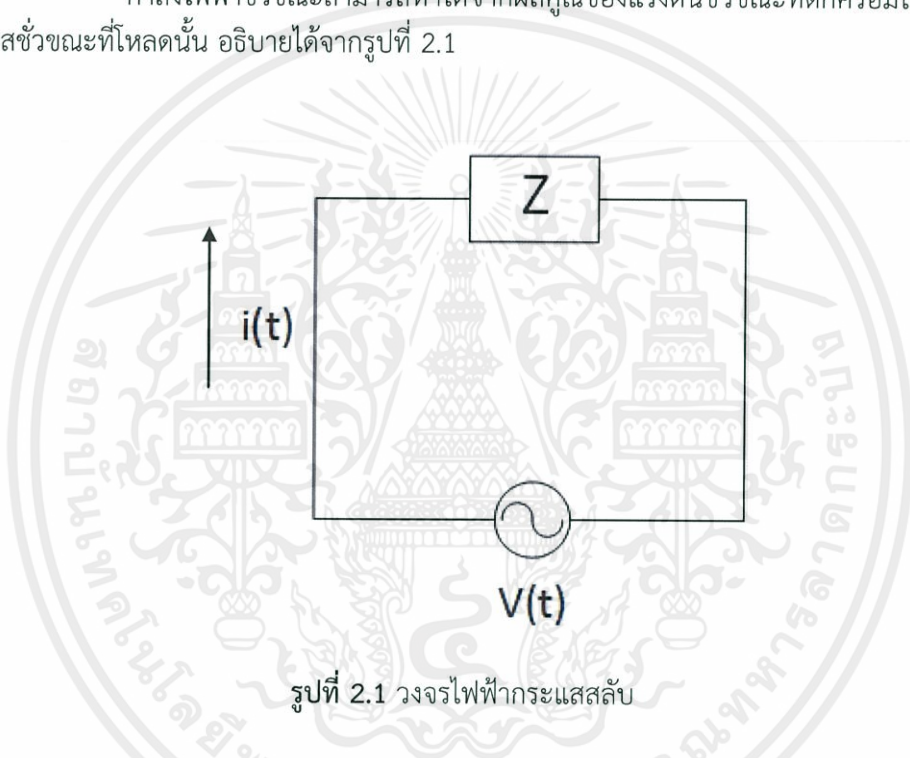
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเวลา 1 วินาที ในการทำให้เกิดพลังงานหรือการสูญเสียพลังงานไป ในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานแสงสว่าง พลังงานกล เป็นต้น กำลังไฟฟ้ามักมีหน่วยเป็นวัตต์(W) กำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ หมายถึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าไป 1 จูลในเวลา 1 วินาที

### 2.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ(Instantaneous Power)

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะสามารถหาได้จากผลคูณของแรงดันชั่วขณะที่เกิดคร่อมโหลดกับกระแสชั่วขณะที่ไหลคั่นนั้น อธิบายได้จากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการของแรงดัน และสมการของกระแสเป็นดังนี้

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.2)$$

จากสมการ 2.1 และ 2.2 จะได้สมการของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน  $p(t) = v(t)i(t)$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประ(2.3)นี้ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.4)$$

และจากพื้นฐานสมการตรีโกณมิติ

$$\cos\theta_a \cos\theta_b = \frac{1}{2} \cos(\theta_a - \theta_b) + \frac{1}{2} \cos(\theta_a + \theta_b) \quad (2.5)$$

จะได้สมการของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะเป็น

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} [\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)] \quad (2.6)$$

โดยที่

$V_m$  คือ ขนาดสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า  $v(t)$

$I_m$  คือ ขนาดสูงสุดของกระแสไฟฟ้า  $i(t)$

$\theta_v$  คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า

$\theta_i$  คือ มุมเฟสของกระแสไฟฟ้า

$\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม

## 2.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นที่มีลักษณะเป็นรายคาบหรือรูปคลื่นรายคาบ (Periodic Waveform) สามารถหาได้จากการอินทิเกรตฟังก์ชันตลอดคาบเวลา แล้วหารผลลัพธ์นี้ด้วยคาบเวลา จากสมการ 2.6 จะได้ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยดังนี้

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt \quad (2.7)$$

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i) dt \quad (2.8)$$

$$P_{avg} = \frac{V_m I_m}{2T} \left[ \int_{t_0}^{t_0+T} \cos(\theta_v - \theta_i) dt + \int_{t_0}^{t_0+T} \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) dt \right] \quad (2.9)$$

โดยที่

$P_{avg}$  คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วัตต์

$T$  คือ คาบเวลาของคลื่นสัญญาณ

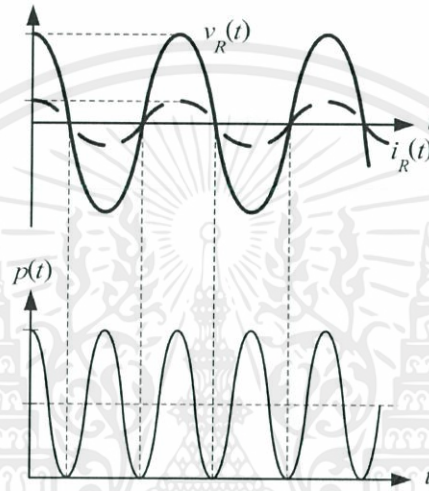
$t_0$  คือ ค่าเวลาใดๆ

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนส่วนแรกนั้นไม่มีตัวแปร ทำให้ได้ค่าคงที่ในการอินทิเกรตส่วนที่สองเป็นเทอมรูปคลื่นไซน์ขอยด์ซึ่งค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ขอยด์ตลอด 1 คาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์จึงสามารถถูกรูปเป็น

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.10)$$

โดยที่  $\theta_v - \theta_i$  แทน มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสหรือมุมเฟสอิมพีแดนซ์ของวงจร ดังนั้นถ้าวงจรประกอบด้วยโหลดความต้านทานอย่างเดียวกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเป็นดังนี้

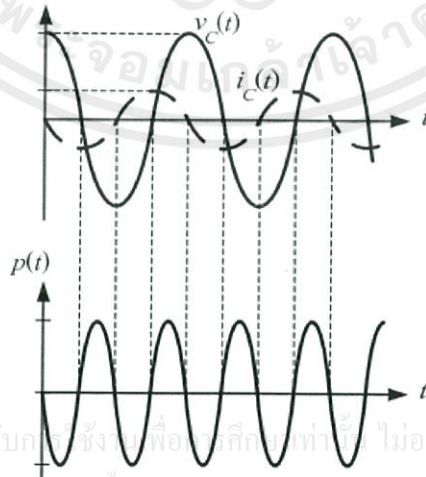
$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} V_m I_m \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในกรณีตัวต้านทาน

และถ้าวงจรประกอบด้วยโหลดรีแอกทีฟเพียงอย่างเดียวกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเป็นดังนี้

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(90^\circ) = 0 \quad (2.12)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ซึ่งไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในกรณีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

สาเหตุที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโวลต์รีแอกทีฟเพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจาก อิมพีแดนซ์รีแอกทีฟเป็นองค์ประกอบวงจรที่ไม่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเพราะไม่สามารถรับหรือดูดซึมกำลังไฟฟ้าได้ และเนื่องจากอิมพีแดนซ์รีแอกทีฟจะเก็บพลังงานส่วนหนึ่งและปล่อยพลังงานอีกส่วนหนึ่งตลอดคาบเวลาทำให้มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

2.3 ค่าประสิทธิผลหรือค่า RMS (Effective or RMS Values)

ค่าประสิทธิผล (RMS) ของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรกระแสตรงซึ่งไหลผ่านตัวต้านทานตัวเดียวกันในเวลาเท่ากัน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากกระแสใช้งานซึ่งป้อนให้ตัวต้านทานคือ

$$P_{avg} = I_{eff}^2 R \tag{2.13}$$

โดยที่  $I_{eff}$  แทน กระแสใช้งาน

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ป้อนให้กับตัวต้านทานที่เกิด  $i(t)$  คือ

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) R dt \tag{2.14}$$

จากสมการ 2.13 และ 2.14 ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากันจะได้

$$I_{eff}^2 R = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt \tag{2.15}$$

$$I_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \tag{2.16}$$

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = I_{RMS} \tag{2.17}$$

ค่าใช้งานหาได้จากการยกกำลังสอง (Square) ของกระแสไฟฟ้า แล้วหาค่าเฉลี่ย (Mean) จากนั้นจึงหารากที่สอง (Square Root) ดังนั้นจึงเรียกว่า รากของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square) หรือค่า RMS

และสมการสำหรับแรงดันไฟฟ้าคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $V_{rms} = V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$  (2.18)   
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่สัญญาณกระแสเป็นสัญญาณไซน์ซอซอดจะได้

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.19)$$

ในกรณีที่สัญญาณกระแสเป็นสัญญาณไซน์ซอด้จะได้

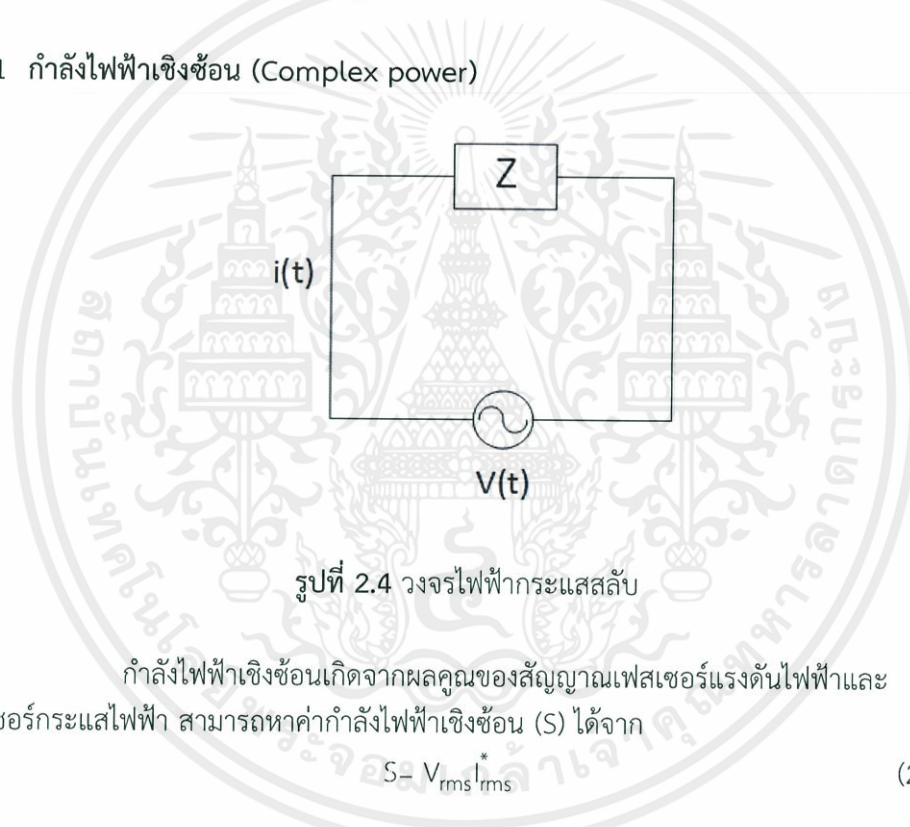
$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.20)$$

จากค่า RMS ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ดังนี้

$$P_{avg} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.21)$$

$$P_{avg} = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.22)$$

### 2.3.1 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex power)



รูปที่ 2.4 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเกิดจากผลคูณของสัญญาณเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าและเฟสเซอร์กระแสไฟฟ้า สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (S) ได้จาก

$$S = V_{rms} I_{rms}^* \quad (2.23)$$

เมื่อ  $I_{rms}^*$  เป็นคอนจูเกตเชิงซ้อนของ  $I_{rms}$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนมีค่าเป็น

$$S = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) + jV_{rms} I_{rms} \sin(\theta_v - \theta_i) \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ส่วนจริงของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน เรียกว่ากำลังไฟฟ้าจริง หรือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ไม่ว่าจะกรณี (Real or Average Power) และเรียกกส่วนจินตภาพของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ว่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนจึงสามารถกำหนดใหม่ได้เป็น

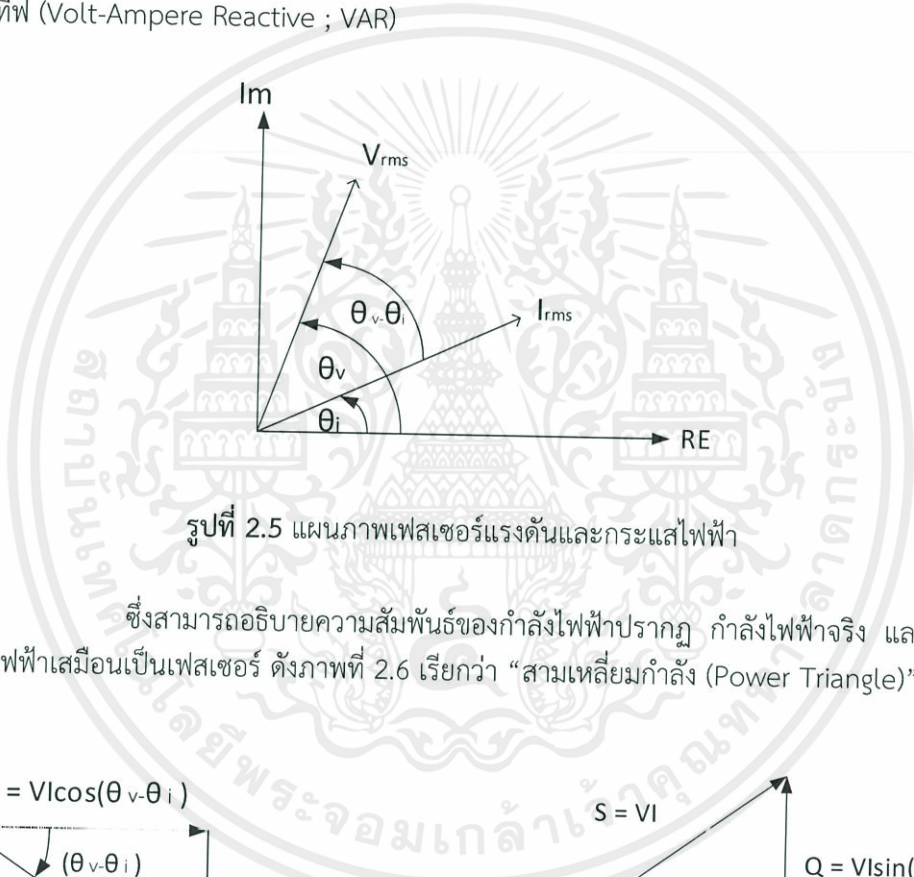
$$S = P + jQ \tag{2.25}$$

โดยที่

$$P = \text{Re}(s) = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos(\theta_v - \theta_i) \tag{2.26}$$

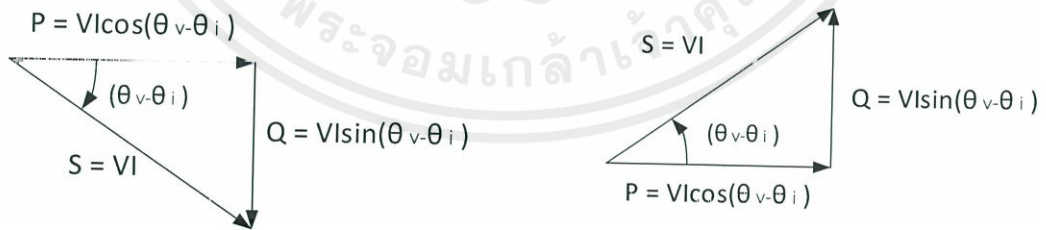
$$Q = \text{Im}(s) = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \sin(\theta_v - \theta_i) \tag{2.27}$$

โดยกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนหรือกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) มีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์ (Volt-Ampere ; VA) กำลังไฟฟ้าจริงมีหน่วยเป็น วัตต์ (W) กำลังไฟฟ้าเสมือนมีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์รีแอกทีฟ (Volt-Ampere Reactive ; VAR)



รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแสไฟฟ้า

ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นเฟสเซอร์ ดังภาพที่ 2.6 เรียกว่า “สามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)”

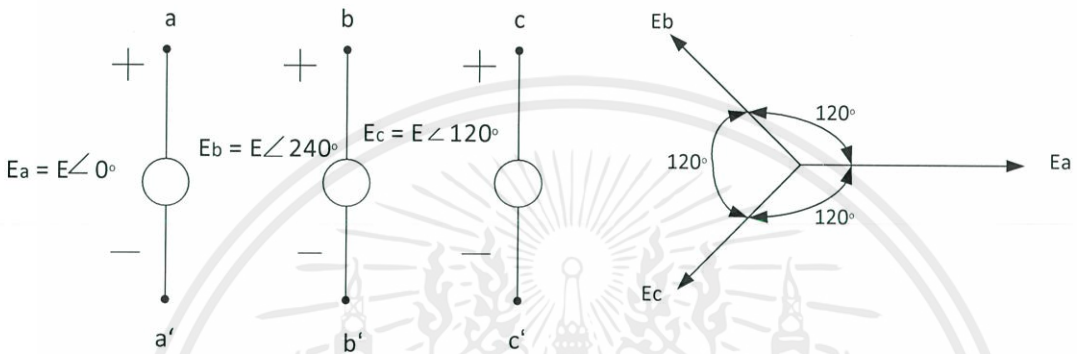


รูปที่ 2.6 เฟสเซอร์สามเหลี่ยมกำลัง

จากสามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า ได้เงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่าง S, P และ Q เป็นดังนี้ถ้า Q เป็นบวกแสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบอินดักทีฟ(L)มีตัวประกอบกำลังล้าหลังถ้า Q เป็นลบแสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบคาปาซิทีฟ(C) มีตัวประกอบกำลังนำหน้าและกำลังเชิงซ้อนถ้า Q เป็นศูนย์แสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบความต้านทาน(R) มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1

2.3.2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ในระบบไฟฟ้าของระบบจำหน่ายที่นิยมใช้กันเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศาไฟฟ้า ในรูปที่ 2.7 แสดงแหล่งจ่ายไฟของระบบ 3 เฟสและแผนภาพเฟสเซอร์มีค่าเป็นศูนย์

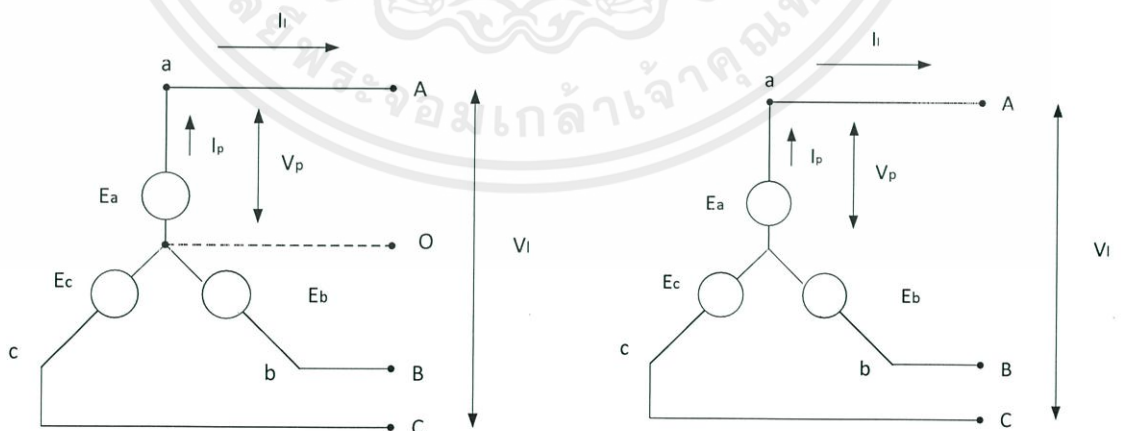


รูปที่ 2.7 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสและแผนภาพเฟสเซอร์

การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส สามารถต่อได้ได้ 2 วิธี คือ

2.3.2.1 การต่อแบบวาย (Y connection)

การต่อแบบวายเป็นการนำขั้ว a' b' และ c' มาต่อรวมกันเป็นขั้ว O ซึ่งเรียกว่าจุดสะเทิน (neutral point) การต่อแบบนี้ถ้ามีสายสะเทินเรียกว่าแบบ 3 เฟส 4 สาย ถ้าไม่มีสายสะเทินเรียกว่าแบบ 3 เฟส 3 สาย ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสแบบวาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การต่อแบบวายจะให้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ดังนี้

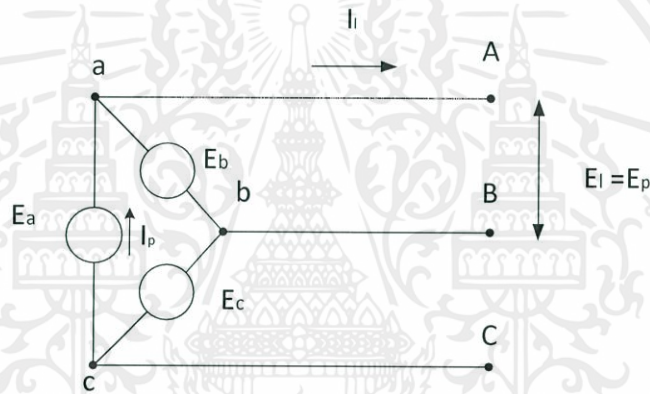
$$V_l = \sqrt{3}V_p \tag{2.28}$$

$$I_l = I_p \tag{2.29}$$

แรงดันคร่อมขั้ว a<sub>o</sub>, b<sub>o</sub>, c<sub>o</sub> เรียกแรงดันเฟส (phase voltage)  $V_p$   
 แรงดันคร่อมขั้ว AB, BC, AC เรียกแรงดันสาย (line voltage)  $V_l$   
 กระแสไหลผ่านขั้ว o<sub>a</sub>, o<sub>b</sub>, o<sub>c</sub> เรียกกระแสเฟส (phase current)  $I_p$   
 กระแสไหลผ่านขั้ว a<sub>A</sub>, b<sub>B</sub>, c<sub>C</sub> เรียกกระแสสาย (line current)  $I_l$

2.3.2.2 การต่อแบบเดลต้า (Delta connection)

การต่อแบบเดลต้าเป็นการต่อขั้ว ca' ab' และ bc' การต่อแบบนี้จะไม่มีสายสะเทิน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระบบแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสแบบเดลต้า

การต่อแบบเดลต้าจะให้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ดังนี้

$$V_l = V_p \tag{2.30}$$

$$I_l = \sqrt{3}I_p \tag{2.31}$$

แรงดันคร่อมขั้ว ab, bc, ac เรียกแรงดันเฟส (phase voltage)  $V_p$   
 แรงดันคร่อมขั้ว AB, BC, AC เรียกแรงดันสาย (line voltage)  $V_l$   
 กระแสไหลผ่านขั้ว ca, ab, bc เรียกกระแสเฟส (phase current)  $I_p$   
 กระแสไหลผ่านขั้ว a<sub>A</sub>, b<sub>B</sub>, c<sub>C</sub> เรียกกระแสสาย (line current)  $I_l$

2.3.3 กำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การวิเคราะห์หาค่ากำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ เมื่อพิจารณาระบบ 3 เฟสโดยการไม่ว่ากรณีใดบ้างนั้น อีกทั้งหาเป็นเหตุอันปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แยกพิจารณาทีละเฟสไม่ว่าจะเป็นการต่อแบบวายหรือเดลต้าจะได้

$$\text{กำลังจริงต่อเฟส} \quad P_{1\phi} = V_p I_p \cos\varphi \quad (2.32)$$

$$\text{กำลังรีแอกทีฟต่อเฟส} \quad Q_{1\phi} = V_p I_p \sin\varphi \quad (2.33)$$

$$\text{โวลต์-แอมแปร์ต่อเฟส} \quad S_{1\phi} = V_p I_p \quad (2.34)$$

เมื่อพิจารณาเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟสจะได้

$$\text{กำลังจริงต่อ 3 เฟส} \quad P_{3\phi} = 3V_p I_p \cos\varphi \quad (2.35)$$

$$\text{กำลังรีแอกทีฟต่อ 3 เฟส} \quad Q_{3\phi} = 3V_p I_p \sin\varphi \quad (2.36)$$

$$\text{โวลต์-แอมแปร์ต่อ 3 เฟส} \quad S_{3\phi} = 3V_p I_p \quad (2.37)$$

เมื่อ  $\varphi = \theta_v - \theta_i$

### 2.3.4 ตัวประกอบกำลัง (Power factor)

ตัวประกอบกำลัง คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (P;Watt) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (S;VA) ซึ่งค่าที่ดีที่สุดคือมีอัตราส่วนที่เท่ากัน จะมีค่าเป็นหนึ่ง แต่ในการทำงานจริงไม่สามารถทำได้ โดยตัวประกอบกำลังมีค่าเปลี่ยนแปลงไปลักษณะภาวะไฟฟ้าซึ่งภาระทางไฟฟ้ามีอยู่ 3 ลักษณะคือ

ภาวะไฟฟ้าประเภทความต้านทาน จะมีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 1 เช่น เครื่องทำน้ำอุ่น หม้อหุงข้าว หลอดไฟแบบไส้ เป็นต้น ถ้ามีภาวะไฟฟ้าประเภทนี้เป็นจำนวนมากก็ไม่จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ 1

ภาวะไฟฟ้าประเภทความเหนี่ยวนำ จะมีค่าตัวประกอบกำลังไม่เป็นหนึ่ง เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดเช่นมอเตอร์ เป็นต้น ภาวะไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังล่าช้าคือกระแสจะล่าช้าหลังแรงดัน จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยการนำภาวะไฟฟ้าประเภทให้ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า มาต่อเข้าในวงจรไฟฟ้าของระบบ เช่น การต่อชุดตัวเก็บประจุเข้าไปในชุดควบคุมไฟฟ้า

ภาวะไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุ จะมีค่าตัวประกอบกำลังไม่เป็นหนึ่ง ภาวะไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า คือ กระแสจะนำหน้าแรงดัน จึงนิยมนำภาวะไฟฟ้าประเภทนี้มาปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังล่าช้า เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

โดยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) จะมีสมการดังนี้

$$PF = \frac{\text{RealPower}}{\text{ApparentPower}} = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.38)$$

โดยมุม  $\theta_v - \theta_i = \varphi$  เป็นมุมเฟสของอิมพีแดนซ์ของโหลด ซึ่งเรียกว่า มุมตัวประกอบกำลัง (Power Factor Angle) หรือมุม PF  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าโหลดเป็นความต้านทาน(R) เพียงอย่างเดียวแสดงว่า  $\varphi=0$  และ PF=1
- ถ้าโหลดเป็นรีแอกทีฟ (L,C) เพียงอย่างเดียว แสดงว่า  $\varphi=\pm 90$  และ PF=0
- ถ้าโหลดเป็น RC จะมีมุม PF อยู่ระหว่างมุม  $-90$  ถึง  $0$  โดยกระแสไฟฟ้าจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าซึ่งแสดงว่าโหลดมี PF นำหน้า
- ถ้าโหลดเป็น RL จะมีมุม PF อยู่ระหว่างมุม  $0$  ถึง  $90$  โดยกระแสไฟฟ้าจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้าซึ่งแสดงว่าโหลดมี PF ล่าหลัง

### 2.3.5 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้ใช้ไป หรือสูญเสียไปในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ถูกใช้ในการคิดอัตราค่าไฟฟ้า โดยมีสมการดังนี้

$$\text{Energy (kWh)} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (Hours)} \quad (2.40)$$

### 2.4 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ คือ มิเตอร์ไฟฟ้าที่มีความสามารถสูงกว่ามิเตอร์ไฟฟ้าแบบทั่วไปสามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้หลายอย่าง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป อีกทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้า และติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านระบบสื่อสารได้อีกด้วย

#### 2.4.1 สาเหตุการพัฒนา มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

1. เพื่อนำไปทดแทนมิเตอร์ไฟฟ้าแบบจานหมุนที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งมีความสามารถในการวัดและแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้เพียงหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไปเท่านั้น
2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการวัดและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป ไว้ในหน่วยความจำสำรองสำหรับการเรียกใช้งาน
3. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลทางไฟฟ้าแบบสองทางระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า ผ่านระบบสื่อสาร
4. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปสู่การจัดการไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

#### 2.4.2 ส่วนประกอบของ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

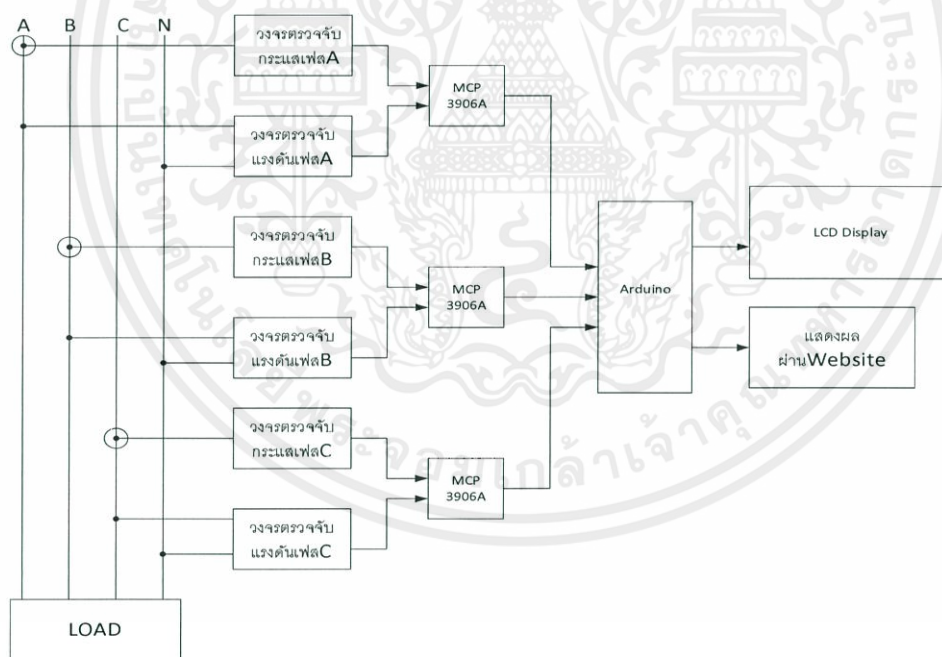
1. ชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) มีหน้าที่ตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปประมวลผลในหน่วยประมวลผลกลาง
2. ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) มีหน้าที่ตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปประมวลผลในหน่วยประมวลผลกลาง
3. หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ เช่น การติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ เป็นต้น

4. อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย (Wireless communication devices) มีหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายแบบดังนี้

- บลูทูธ (Bluetooth) อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทาง ขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่าย และใช้พลังงานต่ำ โดยสื่อสารคลื่นวิทยุระยะสั้นระยะทางการติดต่อประมาณ 10 เมตร
- รังสีอินฟราเรด (Infrared) อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทางขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ระยะทางการติดต่อสื่อสารประมาณ 1 เมตร โดยห้ามมีสิ่งกีดขวาง
- Zigbee อุปกรณ์สื่อสารไร้สายทั้งแบบทางเดียวและสองทิศทาง อัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ สามารถสร้างโครงข่ายตรวจจับไร้สาย
- ระบบเครือข่ายไร้สาย อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทาง โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถเข้าถึงระบบ Ethernet ได้ผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Access Point)
- Module Wi-Fi เป็น Module Wi-Fi ที่มีขนาดเล็ก สามารถติด Wi-Fi ให้กับ Arduino ทำให้ส่งข้อมูลแบบไร้สายได้
- การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เชื่อมต่อผ่านแอดปเตอร์ ติดตั้งง่าย มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูง

5. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Supply) มีหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะในการทำงาน

6. หน้าจอแสดงผล มีหน้าที่ในการแสดงข้อมูลต่างๆ ตามที่หน่วยประมวลผลกลางสั่ง



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ฟังก์ชันการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

1. สามารถบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปคำนวณ และประมวลผล ข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อแสดงผลที่จอแสดงผลแบบเรียลไทม์ ดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า
- กระแสไฟฟ้า
- กำลังไฟฟ้า
- ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป
- ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

2. สามารถบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าไว้ในหน่วยความจำ

3. สามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านระบบสื่อสาร เพื่อสะดวกต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในการเรียกดูข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองทางเว็บไซต์ โดยมีการแสดงผลข้อมูล ดังนี้

- สามารถแสดงผลค่าปริมาณข้อมูลทางไฟฟ้าได้ในลักษณะกราฟ
- สามารถแสดงผลค่าปริมาณข้อมูลทางไฟฟ้าในรูปแบบตาราง

### 2.5 การจัดการฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล (database) หมายถึง กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้ที่ศูนย์กลาง เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ร่วมกัน

การจัดการฐานข้อมูล(Database Management) คือ การบริหารแหล่งข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ที่ศูนย์กลาง เพื่อตอบสนองต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการซ้ำซ้อนของข้อมูล รวมทั้งลดความขัดแย้งของข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในองค์กรด้วย

การจัดการฐานข้อมูลต้องอาศัย โปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการกำหนดลักษณะข้อมูลที่จะเก็บไว้ในฐานข้อมูล อำนวยความสะดวกในการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล กำหนดผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ฐานข้อมูลได้ พร้อมกับกำหนดด้วยว่าให้ใช้ได้แบบใด เช่น ให้อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว หรือให้แก้ไขข้อมูลได้ด้วย นอกจากนั้นยังอำนวยความสะดวกในการค้นหาข้อมูล การแก้ไขปรับปรุงข้อมูล ซึ่งผู้ให้บริการ [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) ในกาสามารถเก็บข้อมูลต่างๆ และแสดงผลในรูปแบบของกราฟแบบ real-time

#### 2.5.1 Thingspeak

Thingspeak เป็นบริการ Platform as a Services ที่ให้บริการเก็บข้อมูลแบบ Real-time และ แสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบกราฟ และ ตาราง (Excel) ผ่าน Internet ซึ่งไม่ว่าเราจะอยู่ที่ใดก็จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เก็บไว้ได้ผ่านเครือข่าย Internet สามารถดึงข้อมูล (Put Data) ไปใช้แสดงผลบนเว็บไซต์ได้ ซึ่งสามารถ update real-time ได้ และ สามารถบันทึกข้อมูลได้ ทุกๆ 15 วินาที โดย Thingspeak จะมีการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. HTTP Request 2. REST API

ไม่จำกัดจำนวนครั้งในการแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลักของ Thingspeak คือ Channel โดย Channel จะเก็บข้อมูลที่เราส่งไปยัง Thingspeak ซึ่งแต่ละ Channel จะประกอบไปด้วย 8 Field ใช้ในการเก็บข้อมูลชนิดต่างๆจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ต่างๆ

## 2.6 เว็บไซต์

Wix คือ ผู้ให้บริการสร้างและจัดการแบบฟอร์มเว็บไซต์ โดยสามารถสร้างหรือพัฒนาเว็บไซต์ผ่าน Wix HTML5 Editor ซึ่งเป็น Application ของ Wix โดยไม่ต้องลงโปรแกรมใดๆ สามารถสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ผ่านทาง [www.wix.com](http://www.wix.com) ซึ่งจะต้องสมัคร Account ก่อน Wix มี Template ของเว็บไซต์มากมาย หรือจะสร้างจาก Blank Page ก็สามารทำได้ นอกจากนี้ Wix ยังรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆอย่างเช่น HTML,Flash, Javascript ความสามารถของ Wix

1. เป็นตัวช่วยในการสร้างเว็บไซต์ ใช้งานง่าย ไม่ต้องลงโปรแกรมใดๆ
2. รองรับเทคโนโลยีที่หลากหลาย HTML Flash และ Application ที่หลากหลาย
3. สามารถปรับแต่งเว็บไซต์ได้ตามความถนัดของผู้ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

### 3.1 แนวความคิดในการออกแบบวงจรการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

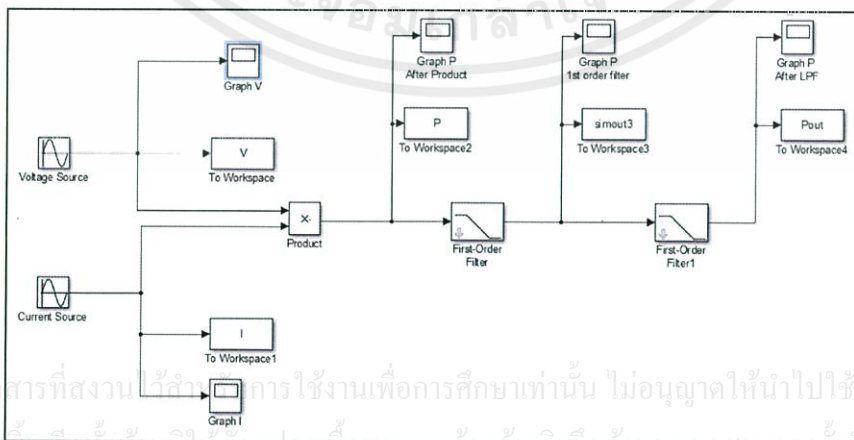
หลังจากได้ทำการศึกษาแนวความคิดในการออกแบบวงจรการทำงานของมิเตอร์ดิจิตอลจากแหล่งข้อมูลต่างๆรูปแบบที่ได้รับความนิยมและมีความน่าเชื่อถือสูงคือการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการแปลงสัญญาณกระแสแรงดันไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยแปลงสัญญาณแอนะล็อกและกำลังงานไฟฟ้าโดยแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณพัลส์ส่งต่อค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลและส่งค่าไปแสดงยังจอแอลซีดีและส่งไปยังเว็บไซต์



รูปที่ 3.1 รูปแบบวงจรมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต่อเฟส

### 3.2 การออกแบบหาไอซีที่จะใช้งาน

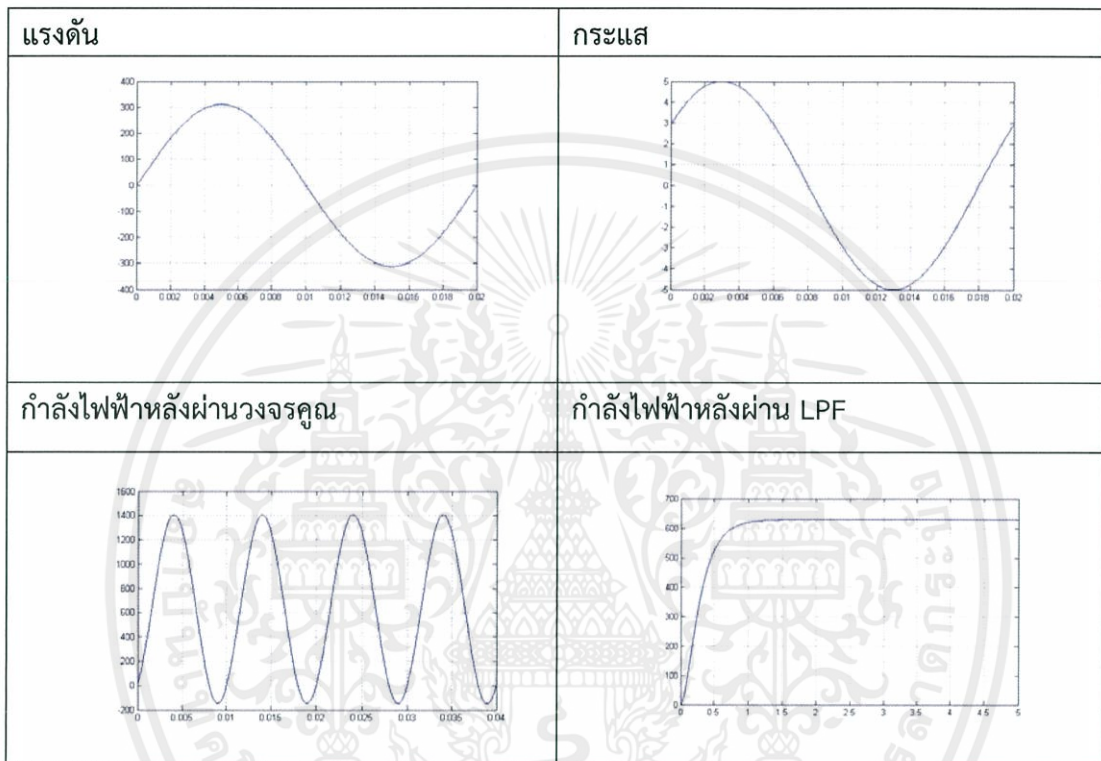
จากการศึกษาข้างต้นจะต้องมีการสร้างวงจรคณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า และมีการกรององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงและกรองฮาร์มอนิกส์ออกจากระบบเพื่อใช้หาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นต่อเฟส จึงมีการออกแบบวงจรกรองทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองความถี่สูงผ่าน แต่แรงดันที่จำลองขึ้นจะสมมติให้มีฮาร์มอนิกส์เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันที่ใช้เป็นแรงดันจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ส่วนกระแสจะสมมติให้มีฮาร์มอนิกส์เล็กน้อยและกระแสมีการ Shift Phase ของกระแสกับแรงดัน เพื่อจำลองให้คล้ายภาระไฟฟ้าจริงดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมที่จำลองใน MATLAB SIMULINK ต่อเฟส

เมื่อวงจรรับสัญญาณกระแสไฟฟ้า  $i(t)$  และแรงดันไฟฟ้า  $v(t)$  รับค่ามาจากแหล่งจ่ายที่ต้องการวัดสัญญาณดังกล่าวจะเข้าสู่วงจรการคูณ(Multiplier) โดยเอาท์พุทที่ออกมาคือสัญญาณแอนะล็อกที่เป็นกำลังไฟฟ้าต่อเฟส( $p(t)$ ) จากนั้นจะผ่านวงจร Lowpass Filter เอาท์พุทที่ได้คือค่ากำลังงานเฉลี่ย( $P_{avg}$ ) ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกที่เรียบขึ้น(เป็นเส้นตรง) ก่อนเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล

ตารางที่ 3.1 กราฟแสดงค่าจากการ Simulation

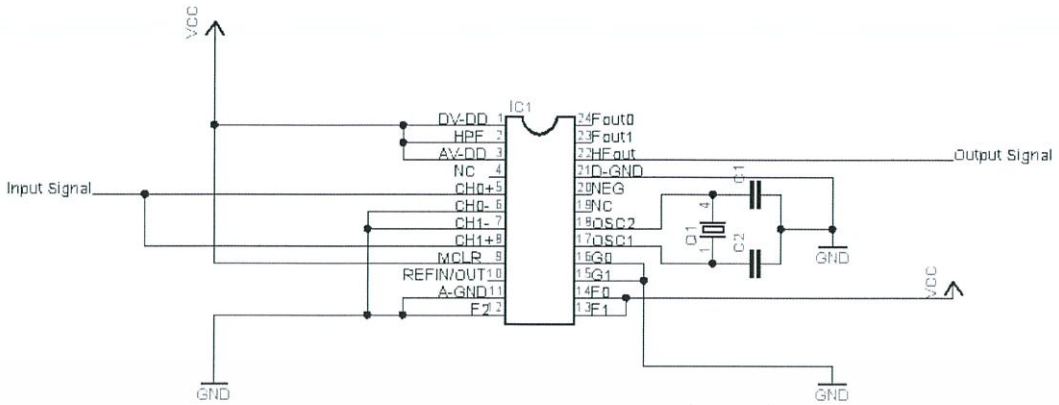


จากผลการจำลองข้างต้นจึงเลือกใช้ไอซี MCP3906A เพราะมีหลักการทำงานใกล้เคียงกับที่จำลองได้จากโปรแกรม MATLAB

### 3.3 การศึกษาและทดสอบการทำงานของไอซี MCP3906A

MCP3906A เป็นอุปกรณ์ไอซีที่ทำหน้าที่วัดค่าพลังงานซึ่งการออกแบบเป็นไปตามมาตรฐานมิเตอร์ IEC 62053 โดยไอซีนี้ให้ความถี่เอาท์พุทที่เหมาะสมกับการคำนวณหาค่าพลังงานเฉลี่ยต่อเฟส(average active real power per phase) ในขณะที่ให้ความถี่สูง(higher-frequency: HFOUT) ที่เหมาะสมให้กับการวัดค่ากำลังงานจากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่ามี 2 Channel สำหรับป้อนอินพุทคือสัญญาณกระแส(Channel 0) และสัญญาณแรงดัน (Channel 1) เอาท์พุทที่ใช้วัดค่ากำลังงานคือ HFOUT ซึ่งมีความถี่แปรผันตรงกับค่า กำลังงานเฉลี่ยต่อเฟส (average active real power per phase)

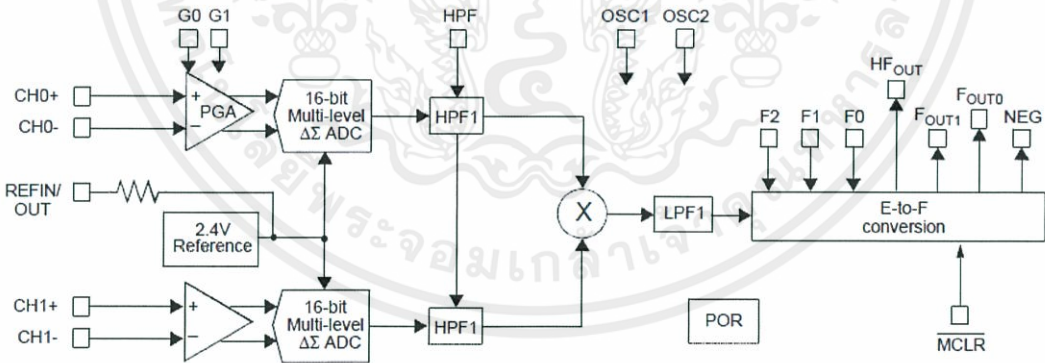
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การต่อวงจรของไอซี MCP 3906A ต่อหนึ่งเฟส

**หลักการทำงาน**

การทำงานของไอซีคือ จะมีช่องสัญญาณสำหรับรับสัญญาณขาเข้า 2 ช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณ 0 และช่องสัญญาณ 1 โดยป้อนกระแสเข้าทางช่องสัญญาณ 0 และป้อนแรงดันเข้าทางช่องสัญญาณ 1 สัญญาณที่เข้ามาทั้งสองช่องสัญญาณนี้ จะผ่านกระบวนการต่างๆ เหมือนกัน คือ เริ่มแรกสัญญาณจะผ่านออปแอมป์ที่สามารถปรับค่าอัตราขยายได้ ในการทดลองปรับค่าไว้ที่ 1 เมื่อสัญญาณผ่านออปแอมป์แล้วจะถูกแปลงสัญญาณจากแอนาลอกให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีแรงดันอ้างอิงในการแปลงอยู่ที่ 2.4 V จากนั้นจะผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่านเพื่อกรองแรงดันกระแสตรงออกจากสัญญาณดิจิทัล แล้วนำสัญญาณทั้งสองมาคูณกันกลายเป็นสัญญาณเดียวจากนั้นสัญญาณที่ได้นี้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อกรองคลื่นระลอกออกไป ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการแปลงสัญญาณจากแรงดันให้เป็นความถี่ซึ่งเป็นเอาท์พุทที่เราต้องการเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 3.4 Function Block Diagram ของไอซี MCP 3906A

จากรูปที่ 3.4 การต่อวงจรของไอซี MCP3906A สำหรับใช้ทดลองวัดค่าที่ออกมา นี้ โดยนำสัญญาณ อินพุทที่เราให้มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) คือสัญญาณรูปไซน์ โดยจะให้สัญญาณความถี่ 50 Hz เท่ากันทั้งสองช่องสัญญาณและไม่มีมุมต่างเฟสกัน เนื่องจากเอกสารนี้ นำมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเดียวกัน (ช่องสัญญาณ 0 สำหรับกระแส และ ช่องสัญญาณ 1 สำหรับแรงดัน) และวัดเอาท์พุท HF<sub>out</sub> ที่ออกมาจากนั้นจะคำนวณตาม สูตร HF<sub>out</sub> ข้างล่างเพื่อทดสอบผลการทำงานของไอซี

$$HF_{out}(Hz) = \frac{8.06 \times V_0 \times V_1 \times G \times HF_C}{V_{REF}^2} \quad (3.1)$$

โดยที่

$V_0$  คือ แรงดันที่มาจากช่องสัญญาณ 0

$V_1$  คือ แรงดันที่มาจากช่องสัญญาณ 1

$G$  คือ PGA gain จากช่องสัญญาณ 0

$HF_C$  คือ ค่าคงที่ความถี่ที่เลือกใช้

$V_{REF}$  คือ แรงดันอ้างอิง

ตารางที่ 3.2 MCP3906A GAIN SELECTIONS

G1	G0	CH0	Gain Maximum CH0 Voltage
0	0	1	±470 mV
0	1	32	±15 mV
1	0	8	±60 mV
1	1	16	±30 mV

ตารางที่ 3.3 MCP3905A/06A OUTPUT FREQUENCY SETTINGS

F2	F1	F0	$HF_C$	$HF_C$ (Hz)	$HF_C$ (Hz) MCLK=3.58MHz	$HF_{out}$ (Hz), W/ Full scale - AC inputs	$F_c$ (Hz) MCLK=3.58MHz
0	0	0	$64 \times F_c$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{21}$ 1.71
0	0	1	$32 \times F_c$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{20}$ 3.41
0	1	0	$16 \times F_c$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{19}$ 6.83
0	1	1	$2048 \times F_c$	$MCLK/2^7$	27968.75	6070.12	$MCLK/2^{18}$ 13.66
1	0	0	$128 \times F_c$	$MCLK/2^{14}$	219.75	11.85	$MCLK/2^{21}$ 1.72
1	0	1	$64 \times F_c$	$MCLK/2^{14}$	219.75	11.85	$MCLK/2^{20}$ 3.41
1	1	0	$32 \times F_c$	$MCLK/2^{14}$	219.75	11.85	$MCLK/2^{19}$ 6.83
1	1	1	$16 \times F_c$	$MCLK/2^{14}$	219.75	11.85	$MCLK/2^{18}$ 13.66

จากสมการที่ 3.1 และข้อมูลในตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ค่า  $V_0$ ,  $V_1$  จะมาจากการ

ทดลองค่า PGA gain ที่เลือกใช้คือ  $G=1$  ค่า  $HF_C$  ที่เลือกใช้คือ 27968.75 และค่า  $V_{REF} = 2.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ

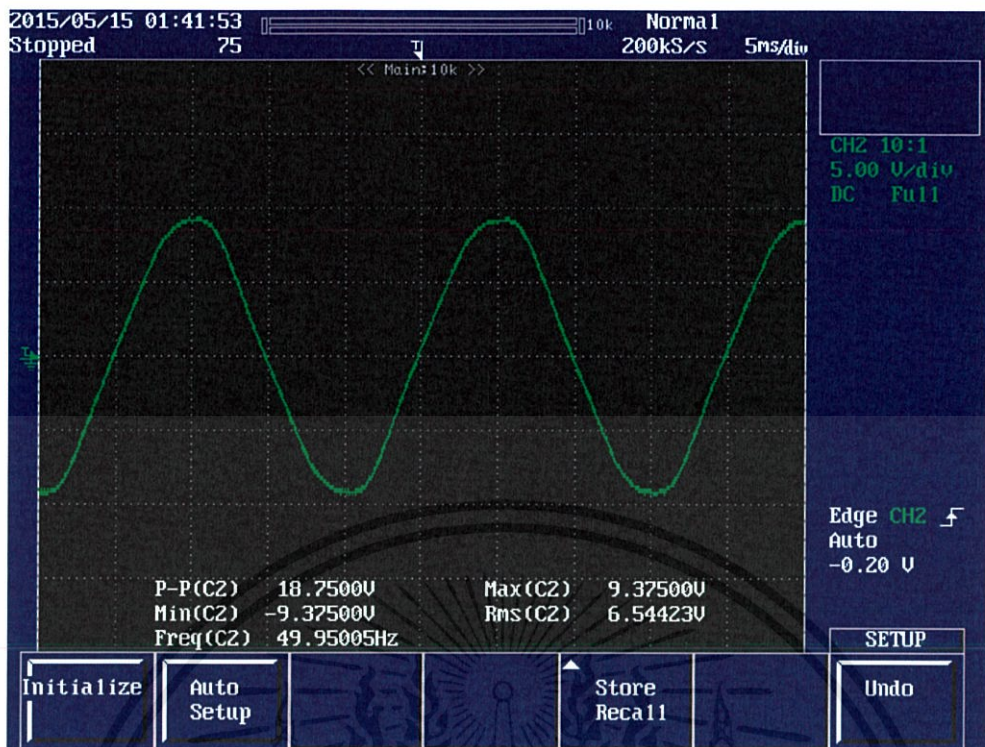
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติไอซี MCP3906A แต่ละขา

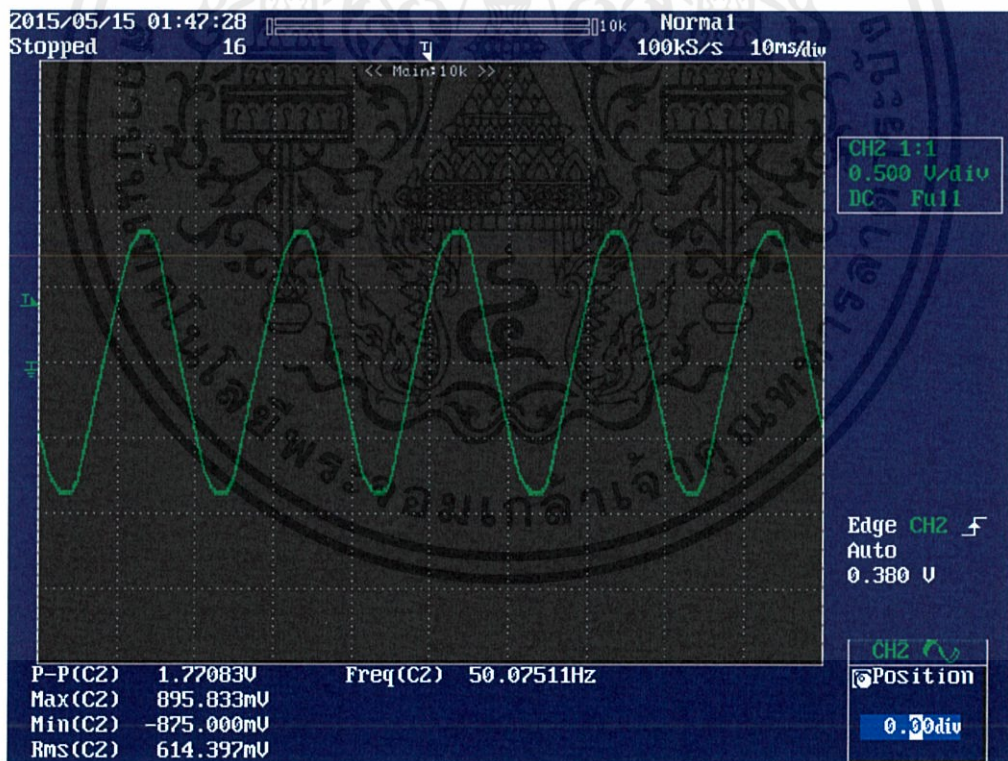
PIN Pin No.	Symbol	Function
1	DV <sub>DD</sub>	Digital Power Supply Pin
2	HPF	High-Pass Filters Control Logic Pin
3	AV <sub>DD</sub>	Analog Power Supply Pin
4	NC	No Connect
5	CH0+	Non-Inverting Analog Input Pin for Channel 0 (Current Channel)
6	CH0-	Inverting Analog Input Pin for Channel 0 (Current Channel)
7	CH1-	Inverting Analog Input Pin for Channel 1 (Voltage Channel)
8	CH1+	Non-Inverting Analog Input Pin for Channel 1 (Voltage Channel)
9	MCLP	Master Clear Logic Input Pin
10	REFIN/OUT	Voltage Reference Input/Output Pin
11	A <sub>GND</sub>	Analog Ground Pin, Return Path for internal analog circuitry
12	F2	Frequency Control for HF <sub>OUT</sub> Logic Input Pin
13	F1	Frequency Control for FOUT0/1 Logic Input Pin
14	F0	Frequency Control for FOUT0/1 Logic Input Pin
15	G1	Gain Control Logic Input Pin
16	G0	Gain Control Logic Input Pin
17	OSC1	Oscillator Crystal Connection Pin or Clock Input Pin
18	OSC2	Oscillator Crystal Connection Pin or Clock Output Pin
19	NC	No Connect
20	NEG	Negative Power Logic Output Pin
21	D <sub>GND</sub>	Digital Ground Pin, Return Path for Internal Digital Circuitry
22	HF <sub>out</sub>	High-Frequency Logic Output Pin (Intended for Calibration)
23	F <sub>out 1</sub>	Differential Mechanical Counter Logic Output Pin
24	F <sub>out 0</sub>	Differential Mechanical Counter Logic Output Pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.7 สัญญาณแรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง 220/6 1 เฟส

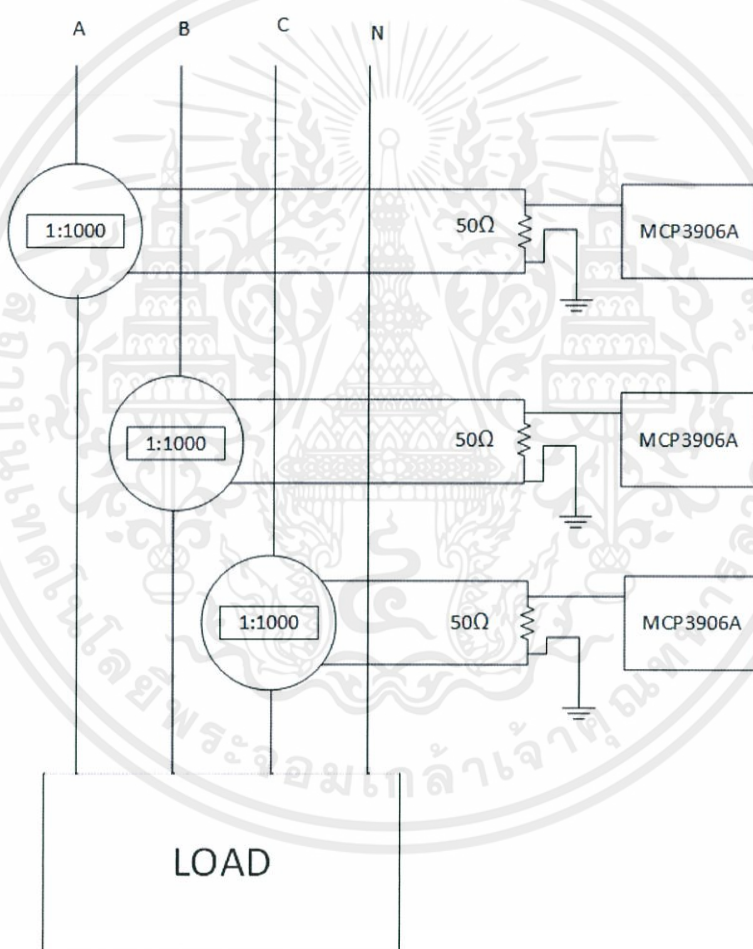


รูปที่ 3.8 สัญญาณแรงดันหลังผ่านวงจรตรวจจับกระแส 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

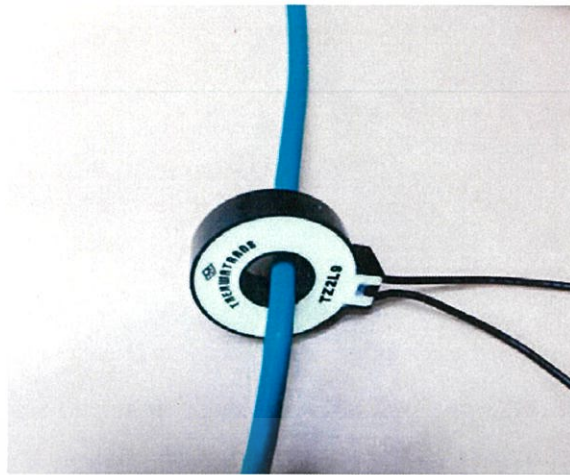
### 3.4.2 วงจรตรวจจับกระแสสามเฟสสำหรับ MCP3906A

สำหรับวงจรที่ใช้สำหรับตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของมิเตอร์ขนาด 220V 10A สามเฟส จะเลือกใช้หม้อแปลงกระแส CT(Current Transformer) Turn Ratio 1:1000จำนวนสามตัว นำไปต่อกับตัวต้านทาน 50 โอห์มสามชุด แล้วนำสัญญาณแรงดันที่คร่อมตัวต้านทานดังกล่าวเป็นตัวแทนของสัญญาณกระแสเข้าไอซี MCP3906A ดังรูปที่ 3.6 โดยเมื่อกระแสที่ไหลผ่าน CT ฝั่งปฐมภูมิมีค่าไม่เกิน 10 A ดังนั้นกระแสฝั่งทุติยภูมิจะมีค่าไม่เกิน  $10/1000 = 0.01$  A และแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าไม่เกิน  $0.01 \times 50$  mV เพื่อป้องกันไม่ให้อิซี MCP3906 A เสียหายเนื่องจากขาที่รับสัญญาณกระแสเข้าสามารถทนแรงดันได้ 500 mV และนำวงจรที่ออกแบบไว้ข้างต้น มาต่อรวมกัน และเนื่องจากเป็นมิเตอร์ชนิดสามเฟส จึงต้องมีการส่งค่าไปยังMCP3906Aจำนวนสามตัวเพื่อคำนวณหากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสและนำวงจรที่ออกแบบไว้ข้างต้น มาต่อรวมกันได้ดังรูปที่ 3.7

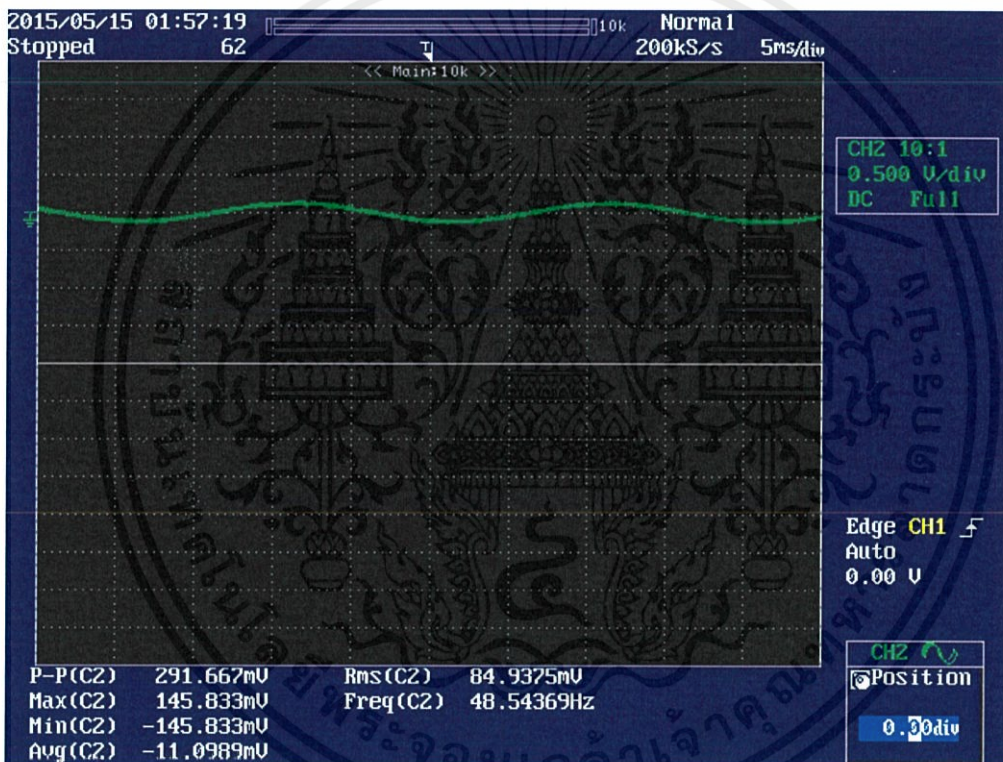


รูปที่ 3.9 วงจรตรวจจับกระแสสำหรับ MCP3906A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

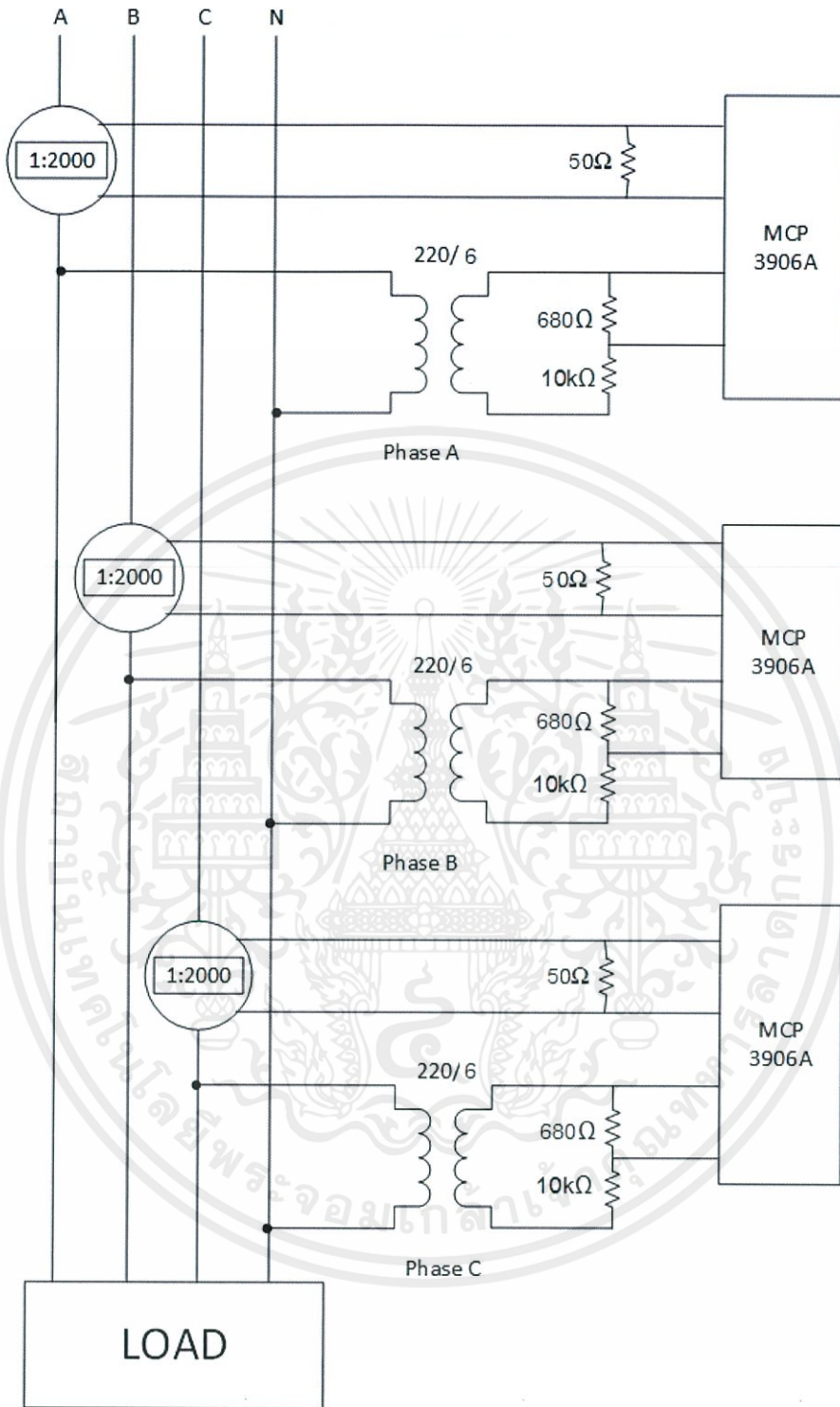


รูปที่ 3.10 Current Transformer



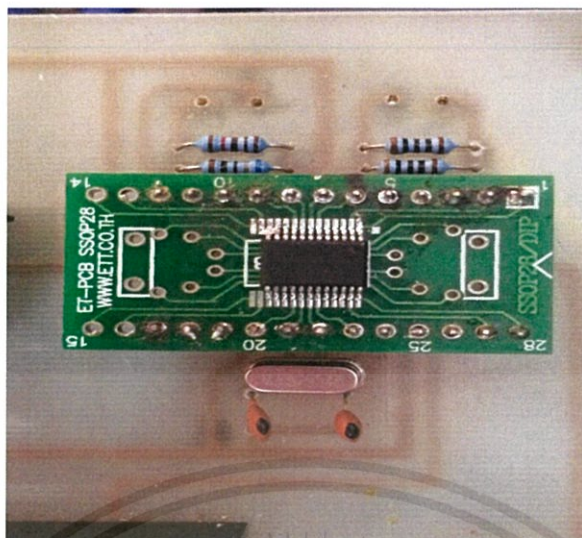
รูปที่ 3.11 สัญญาณหลังเข้าวงจรปรับสภาพสัญญาณ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรสำหรับใช้วัดกระแสไฟฟ้าจริงสำหรับ MCP3906A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจร MCP3906A 1 เฟส

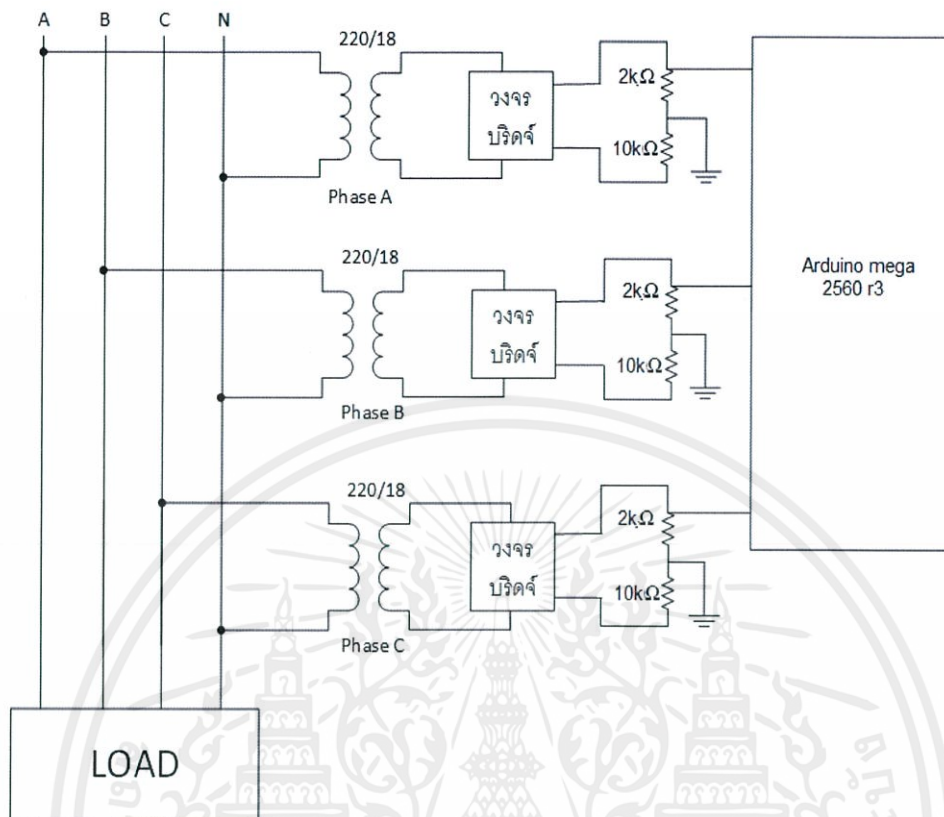
### 3.5 วงจรสัญญาณขาเข้าสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการส่งสัญญาณขาเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อตรวจจับและลดทอนสัญญาณให้อยู่ในระดับที่นำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แต่เนื่องจากสัญญาณไฟที่ป้อนเข้าพอร์ตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจึงมีทั้งสัญญาณบวกและลบแต่พอร์ตที่รับค่าอนาล็อกไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณไฟที่เป็นบวกเท่านั้น จึงต้องมีการทำวงจรเพื่อเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับฝั่งบวกเท่านั้นซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

#### 3.5.1 วงจรปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

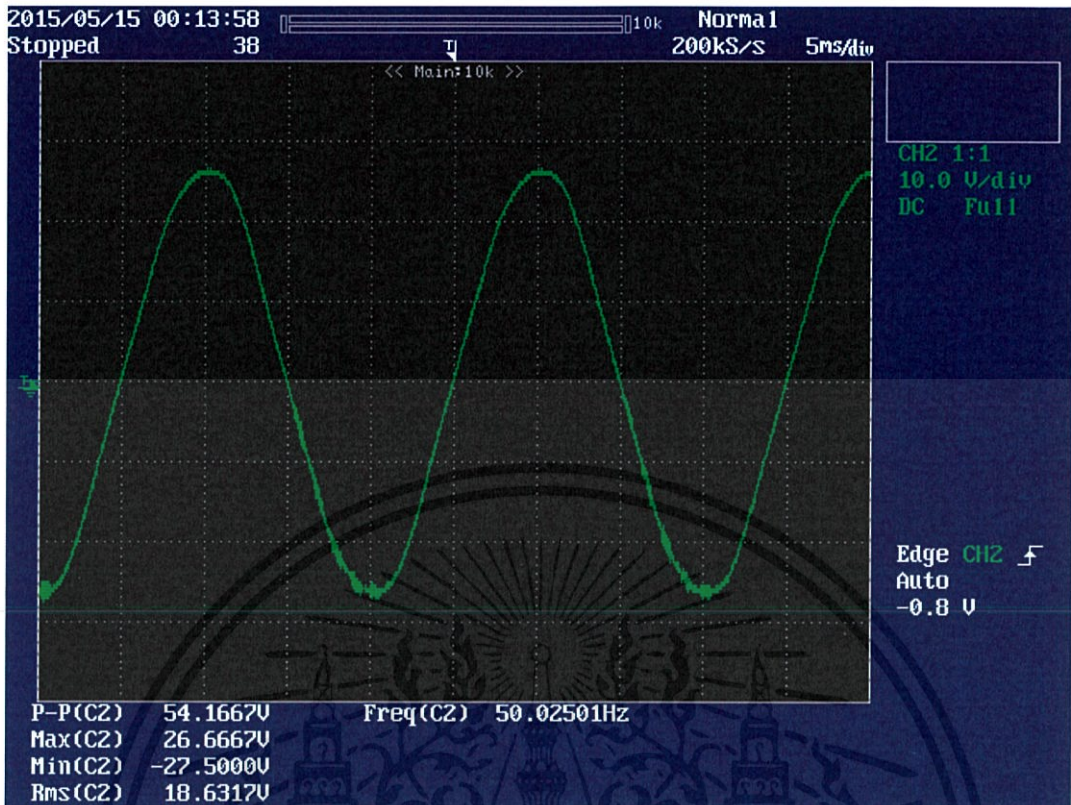
เนื่องจากเป็นมอเตอร์ 220 V 10 A สามเฟส ดังนั้นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้นั้นจึงมีทั้งสัญญาณที่เป็นบวก และสัญญาณที่เป็นลบ จึงต้องทำการแปลงให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเป็นสัญญาณที่มีแต่ไฟบวกเท่านั้น โดยการใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณแรงดันที่เป็นบวก เพื่อให้สามารถนำสัญญาณเข้าสู่ตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย โดยแรงดัน  $\pm 220V$  ที่ตรวจวัดได้ก่อนผ่านวงจรเรียงกระแสจะถูกลดแรงดันด้วยหม้อแปลง 220/18 โวลต์ 3 ตัว เหลือ  $\pm 18V$  และหลังจากผ่านวงจรเรียงกระแสแล้วแรงดันจะมีแต่ฝั่งบวก และใช้วงจรแบ่งแรงดันที่เรียกว่า Voltage Divider โดยใช้ตัวต้านทาน 2 กิโลโอห์มและตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 3 ชุด จะทำให้สัญญาณขาออกที่ 2 กิโลโอห์มอยู่ในช่วง 0 ถึง 5V ก็จะสามารถป้อนสัญญาณที่ได้นี้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

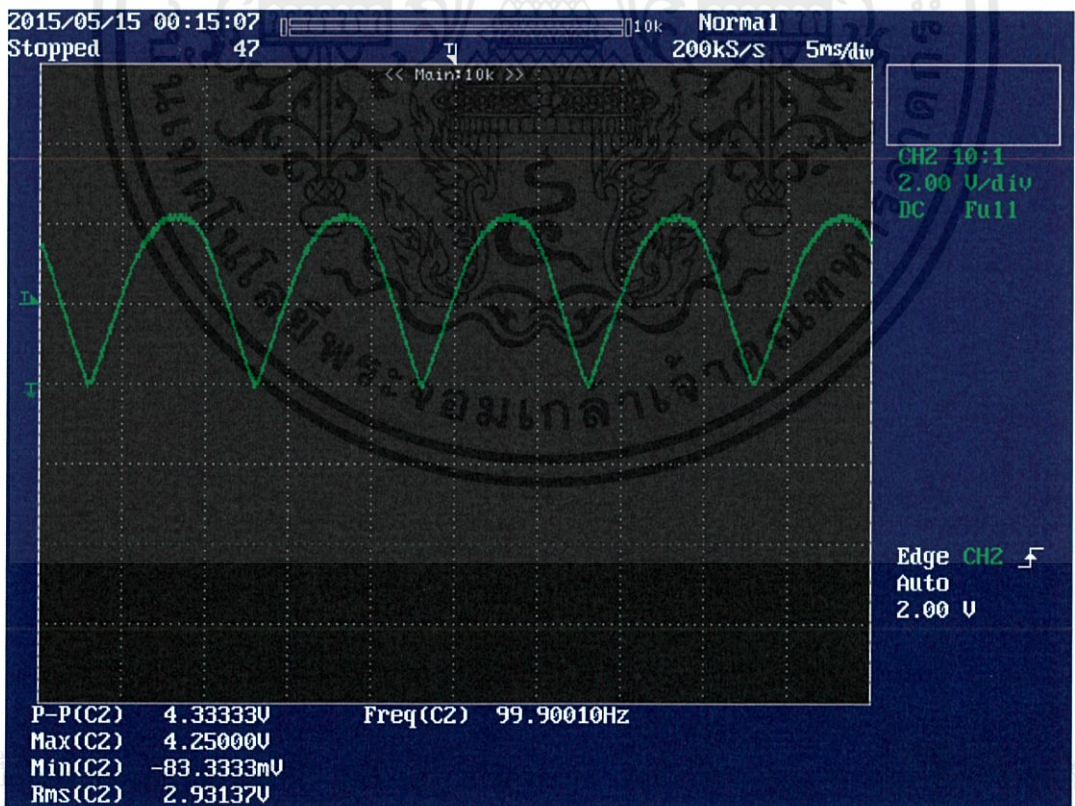


รูปที่ 3.14 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



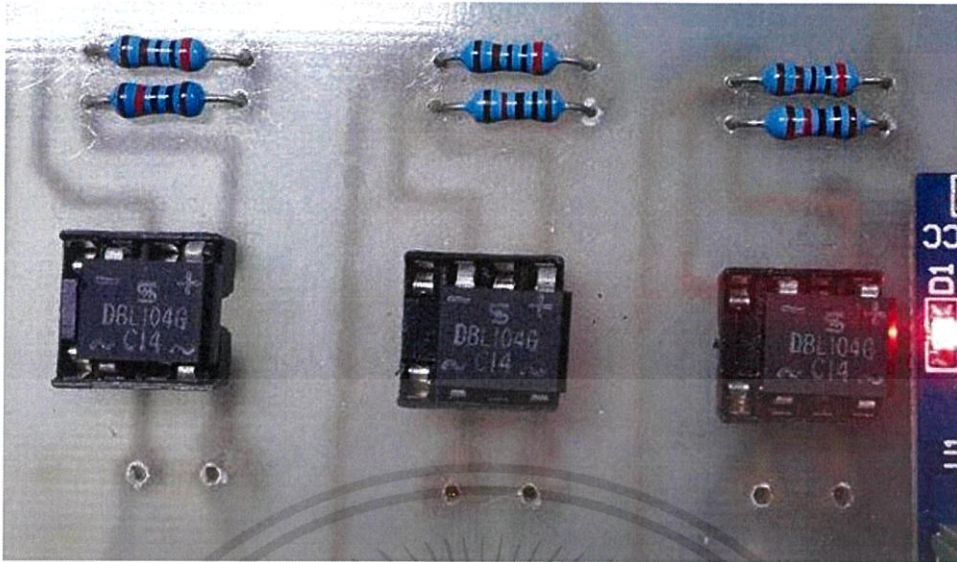
รูปที่ 3.15 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้

ท่านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.16 สัญญาณแรงดันหลังปรับสภาพสัญญาณ 1 เฟสทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

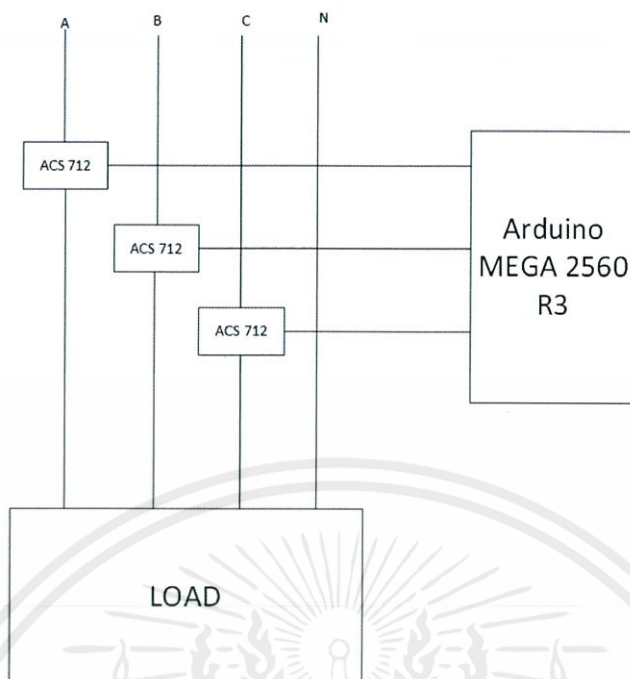


รูปที่ 3.17 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

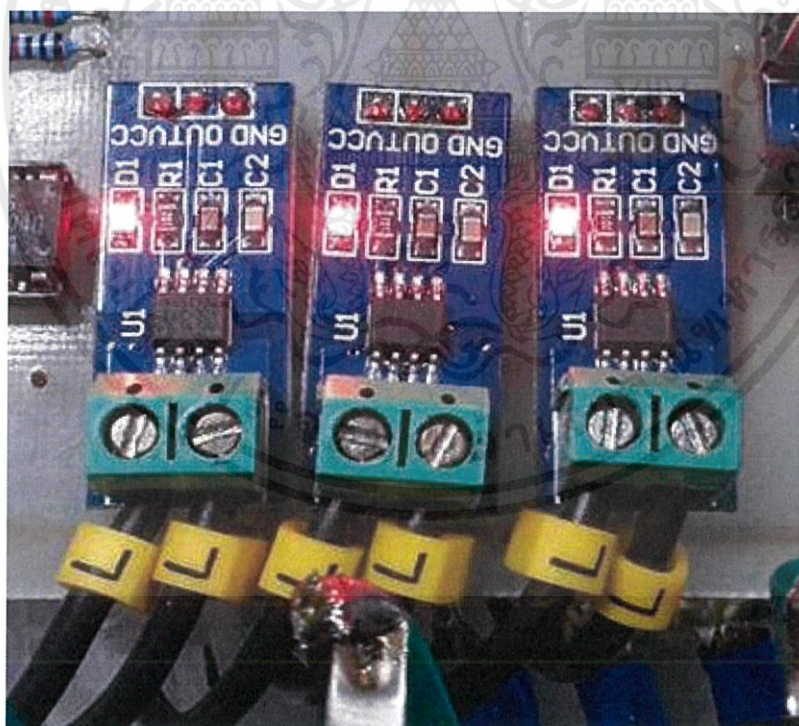
### 3.5.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากเป็นมิเตอร์ 220 V 10 A สามเฟสในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าเพื่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางกลุ่มได้เลือกใช้โมดูลวัดปริมาณกระแส (Current Sensor Module) ที่ใช้ไอซีในตระกูล ACS712 3 ตัวซึ่งใช้หลักการ Halleffect ในการวัดกระแส และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าแรงดันเอาต์พุตแบบอนาล็อก โดยมีช่วงการวัดอยู่ที่  $\pm 30$  A โดย ACS712 ใช้แรงดันไฟเลี้ยง VCC ในช่วง 4.5-5.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

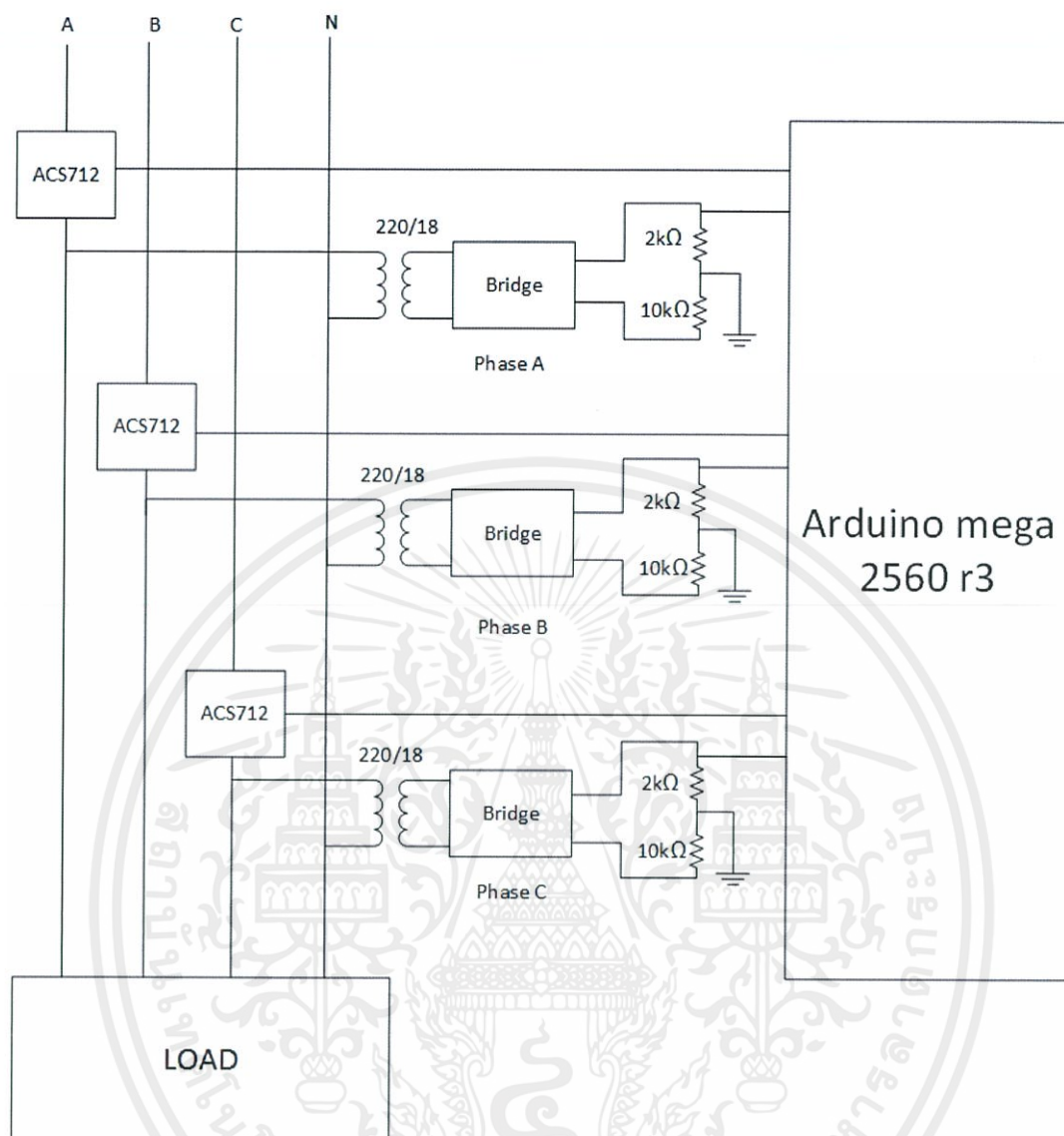


รูปที่ 3.18 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส



รูปที่ 3.19 Current Sensor Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรสำหรับใช้วัดภาระไฟฟ้าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

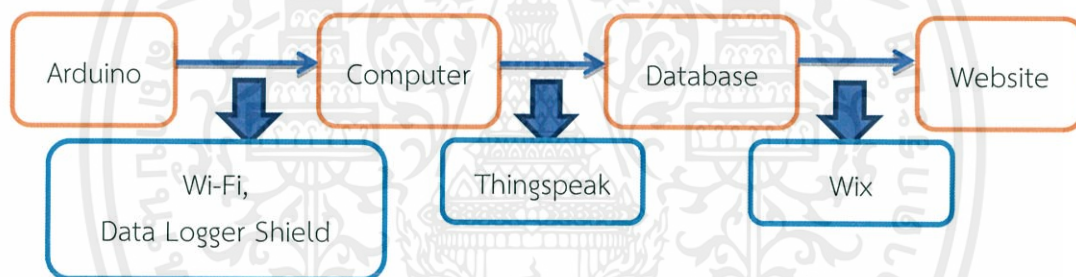
## บทที่ 4

### ซอฟต์แวร์รับ-ส่งค่า และแสดงผลบนอินเทอร์เน็ต

#### 4.1 บทนำ

มีเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่ได้จัดสร้างขึ้นมา ถูกออกแบบให้มีการเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์โดยผ่านโมดูล Wi-FiESP8266 ที่เชื่อมต่อ Internet (Wi-Fi) ซึ่งส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบ Cloud IOT Server ในที่นี้เลือกใช้ผู้ให้บริการ [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) ทำหน้าที่เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าและแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟแบบ Real time และมีการดึงข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าจาก Server ไปแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์ในที่นี้เลือกผู้ให้บริการสร้างและจัดการแบบฟอร์มเว็บไซต์ [www.wix.com](http://www.wix.com) ซึ่งมีเตอร์อัจฉริยะนี้ง่ายต่อการอ่านค่าพารามิเตอร์ เพราะในส่วนการแสดงผลบนเว็บไซต์ถูกนำเสนอในรูปแบบที่สวยงาม และง่ายต่อการเข้าถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า และมีการเก็บข้อมูลสำรองโดยใช้ Arduino Data Logger Shield

ซึ่งในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการรับ-ส่งค่าที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ และการนำข้อมูลที่รับเข้ามาไปเก็บและแสดงผลไว้ในระบบ Cloud IOT Server รวมไปถึงการนำค่าที่เก็บไปแสดงผลบนเว็บไซต์ และการออกแบบหน้าเว็บไซต์ โดยรายละเอียดมีดังนี้



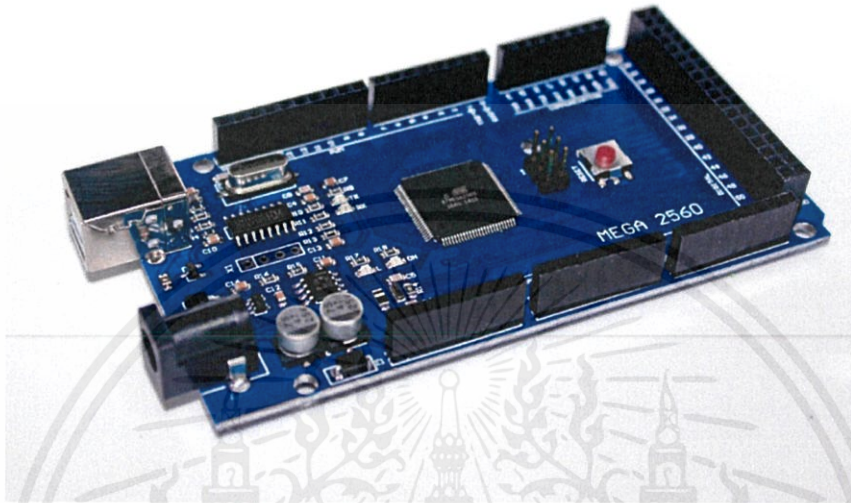
รูปที่ 4.1 ภาพรวมการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังเว็บไซต์

#### 4.2 ส่วนของการควบคุมและประมวลผล

ในการออกแบบวงจรควบคุมมีเตอร์อัจฉริยะ ทางกลุ่มได้มีการเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปรุ่น Arduino MEGA 2560 r3 และ Arduino Nano r3 ซึ่งเหตุผลที่มีการเลือกใช้คือ มีการใช้งานที่ง่าย และสะดวกต่อการติดต่อสื่อสารด้วย Serial Port และยังสามารถเขียนโค้ดในส่วนของโปรแกรม รวมถึงมีการใช้งานอย่างกว้างขวางโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 มีคุณสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 Arduino MEGA 2560 r3



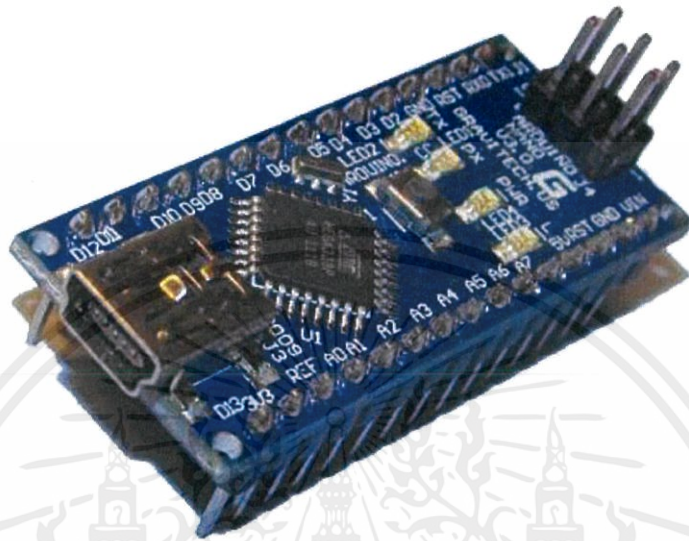
รูปที่ 4.2 บอร์ด Arduino MEGA 2560 r3

##### คุณสมบัติของ Arduino MEGA 2560 r3

1. ใช้ AT mega2560 เป็น MCU ทำงานที่ความถี่ 16 MHz จาก Crystal Oscillator
2. 256 KByte Flash(สงวนไว้ 8KByte สำหรับ Bootloader) / 8 KByte SRAM และ 4 KByte EEPROM
3. รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาC++ ของArduino
4. ใช้ USB Interface พร้อมการป้องกันกระแสเกินสำหรับติดต่อสื่อสารและอัปโหลดคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด
5. 54 Pin Digital I/O โดยมี 14 Pin สามารถโปรแกรมหน้าที่เป็นPWM ได้
6. 16 Pin Analog Input (ADC ขนาด 10 บิต 16 ช่อง)
7. 4 UART (Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic
8. บอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3cm x 10.2cm
9. รองรับการใช้งานกับแหล่งจ่ายภายนอกแบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 6-20V แต่ควรใช้ 7-12 V สามารถใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500 mA โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติโดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติเมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 Arduino Nano r3



รูปที่ 4.3 บอร์ด Arduino Nano r3

#### คุณสมบัติของ Arduino MEGA 2560 r3

1. ใช้ ATMEGA 328 เป็น MCU ทำงานที่ความถี่ 16 MHz จาก Crystal Oscillator
2. 32 KByte Flash (สงวนไว้ 2 KByte สำหรับ Bootloader) / 2 KByte SRAM และ 1 KByte EEPROM
3. รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino
4. ใช้ Small mini-B USB สำหรับติดต่อสื่อสารและอัปโหลดคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด
5. 14 Pin Digital I/O โดยมี 6 Pin สามารถโปรแกรมให้ทำงานเป็น PWM ได้
6. 8 Pin Analog Input (ADC ขนาด 10 บิต 8 ช่อง)
7. บอร์ดมีขนาด PCB Size 1.8 cm x 4.3 cm
8. รองรับการใช้งานกับแหล่งจ่ายภายนอกแบบไฟกระแสตรงขนาดแรงดัน 6-20V แต่ควรใช้ 7-12 V

สามารถใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500 mA โดยมีวงจรถูกเลือก แหล่งจ่ายอัตโนมัติโดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติเมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การออกแบบโปรแกรมของ Arduino

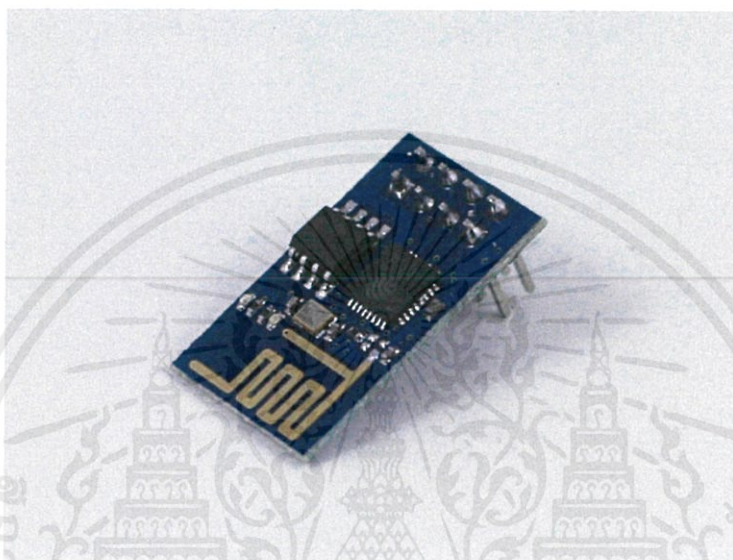
โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ โปรแกรม Arduino ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบเปิด (Open Source) โดยผู้ใช้ทั่วไปสามารถรับรู้ และพัฒนาการเขียนโปรแกรม สำหรับการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย และมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งการออกแบบจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ส่วนของการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่รับค่ามาจาก MCP 3906A ทั้ง 3 ตัว ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่แบบพัลส์ เมื่อเข้ามาทางด้านขาดิจิตอลแล้วตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าสัญญาณความถี่และนับค่าจากสัญญาณที่รับเข้ามา สำหรับส่วนที่สอง คือ ส่วนที่คำนวณค่า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าที่รับจะมาจากวงจรตรวจจับแรงดันและกระแสของทั้ง 3 เฟส หลังจากรับค่าทั้งสองส่วนเข้ามาแล้ว ก็จะนำค่าที่ได้นี้ไปคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง และค่าพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำไปแสดงผลผ่านจอแอลซีดี (LCD) แล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. การรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงขาเข้า (Real Power) ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ (Pulse) จาก MCP3906A3 ตัว ใช้ฟังก์ชัน Interrupt และ Timer ในการนับจำนวนสัญญาณความถี่ (Pulse) ในหนึ่งวินาทีที่จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง
2. การรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ที่มาจากวงจรตรวจจับแรงดันซึ่งผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ในการเขียนโปรแกรม จะตรวจจับหาค่าสูงสุด คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{max}$ ) แล้วทำการคำนวณหาค่าแรงดันประสิทธิผล ( $V_{rms}$ ) โดยการนำค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไปหารด้วย  $\sqrt{2}$  ตามสมการ  $V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$
3. การรับค่าอินพุตกระแสไฟฟ้าที่มาจากโมดูลเซ็นเซอร์ตรวจจับโดยอ่านค่ากระแสที่ไหลผ่าน ให้สัญญาณออกมาเป็นอะนาล็อก ใช้ IC ACS712-30A โดยใช้หลักการ Hall Effect ค่าที่ได้จะเป็นค่าประสิทธิผล (Root Mean Square)
4. คำนวณค่าต่างๆทางไฟฟ้า แล้วนำไปแสดงผลผ่านจอแอลซีดี (LCD) และส่งข้อมูลไปคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางโมดูล Wi-Fi และเก็บข้อมูลสำรองที่ Arduino Data Logger Shield
5. การคำนวณค่าไฟฟ้านั้นคือ การนำค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงหรือที่เรียกว่า หน่วย (Unit) คูณกับ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ซึ่งโครงการวิจัยนี้กำหนดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไว้ที่ 3 บาทต่อหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์

มีเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่ได้จัดสร้างขึ้นมาถูกออกแบบให้มีการเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยผ่านโมดูล Wi-Fi ESP8266 ที่เชื่อมต่อ Internet (Wi-Fi) ซึ่งส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบ Cloud IOT Server เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงเป็นการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่าน Internet Wi-Fi เป็นโมดูล Wi-Fi ขนาดเล็ก ใช้พลังงานน้อย และรองรับการใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น Client , Access Point และ Client+AP



รูปที่ 4.4 Module Wi-fi WSP8266

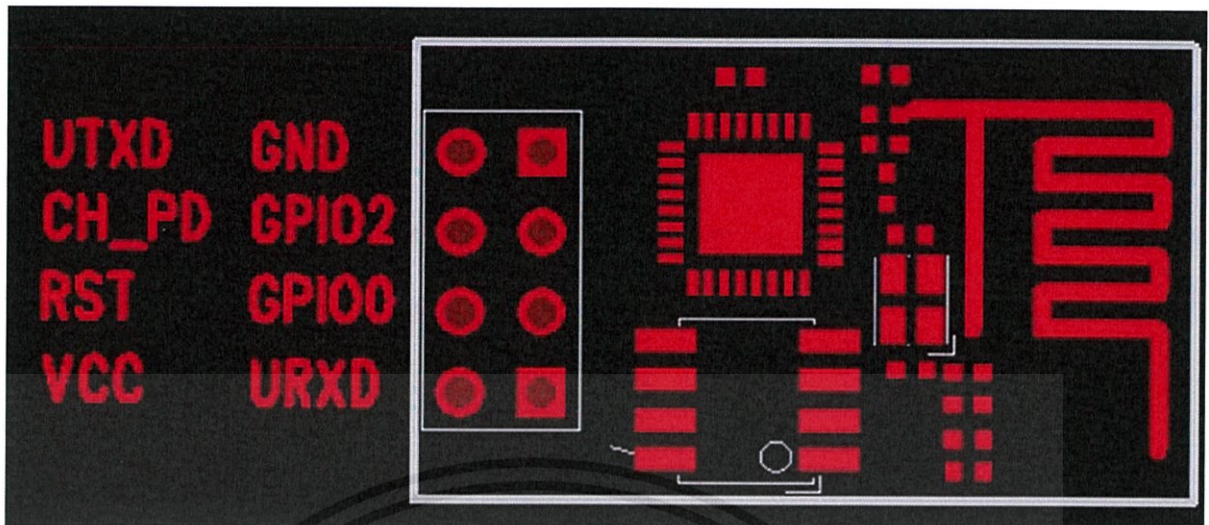
การเชื่อมต่อระหว่าง ESP8266 กับ Arduino Mega 2560 r3

- VCC ต่อ +3.3 V ของบอร์ด Arduino Mega 2560 r3
- GND ต่อ Ground ของบอร์ด Arduino Mega 2560 r3
- UTXD ต่อ PIN10(TX) ของบอร์ด Arduino Mega 2560 r3
- URXD ต่อ PIN11(RX) ของบอร์ด Arduino Mega 2560 r3
- CH\_PD ต่อ +3.3 V ของบอร์ด Arduino Mega 2560 r3

การเชื่อมต่อระหว่าง ESP8266 กับ Arduino Nano r3

- VCC ต่อ +3.3 V ของบอร์ด Arduino UNO r3
- GND ต่อ Ground ของบอร์ด Arduino UNO r3
- UTXD ต่อ PIN6(TX) ของบอร์ด Arduino UNO r3
- URXD ต่อ PIN7(RX) ของบอร์ด Arduino UNO r3
- CH\_PD ต่อ +3.3 V ของบอร์ด Arduino UNO r3

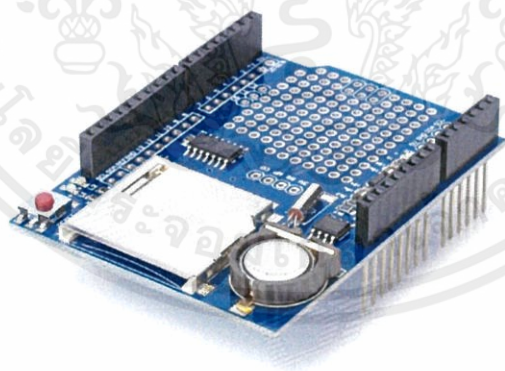
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การต่อ ESP8266

#### 4.5 Arduino Data Logger Shield

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่ได้จัดสร้างขึ้นมาถูกออกแบบให้มี การเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่าย Internet ซึ่งมีการเก็บข้อมูลสำรองไว้ที่ Arduino Data Logger Shield โดยเสียบกับ Arduino MEGA2560 r3แล้วจะทำให้สามารถบันทึกข้อมูลลง SD-Card ได้ มาพร้อมกับวงจรรณาฬิกา สามารถบันทึกข้อมูล พร้อมแท็กเวลาลงไปด้วยArduino Data LoggerShield นี้สามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานได้เป็นอย่างดี มีพื้นที่ด้านบนให้บัดกรีอุปกรณ์เพิ่ม



รูปที่ 4.6 Arduino Data Logger Shield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- SD card ทำงานกับระบบ FAT16 หรือ FAT32 มีวงจร Level Shifter Circuit 3.3V เพื่อป้องกัน SD card เสียหาย
- มี Real Time Clock (RTC) เวลาจะเดินได้แม้ว่า Arduino จะไม่มีไฟเลี้ยง มี Battery Backupสามารถทำงานได้เป็นปี
- มี Libraries และ Code ตัวอย่าง สำหรับ SD และ RTC สะดวกในการใช้งาน
- มีพื้นที่สำหรับการบัดกรีเชื่อมต่อกับวงจร หรือ Sensor

#### 4.6 การออกแบบระบบ Cloud IOT Server

การส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์ของมิเตอร์อัจฉริยะ ทางกลุ่มเลือกใช้ Module Wi-FiESP 8266 โดยส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยัง Cloud IOT Serverทางกลุ่มได้เลือกใช้ผู้ให้บริการ [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) ซึ่งThingSpeak คือผู้ให้บริการจัดการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และเก็บข้อมูลที่ได้อีก นำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งไม่ว่าเราจะอยู่ที่ใดก็จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เก็บไว้ได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้ในการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ ไว้ ก่อนที่จะดึงมาแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ต่อไป โดยข้อมูลที่จะต้องเก็บค่า ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง วัน ซึ่งจะสร้าง Channel ใช้ในการเก็บข้อมูล ในที่นี้ใช้ Channelkmitl\_project1และ Channel kmitl\_project2ในการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า

The screenshot shows the ThingSpeak website interface. At the top, there's a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Plugins', and 'Account'. Below that, a 'New Channel' button is visible. The main content area displays a table of channels:

Name	Created
SmartMeter	2015-03-25
Voltage Sensor Data	2015-03-27
Power per PH	2015-03-31
V & I	2015-03-31
Channel 32234	2015-04-01

At the bottom of the page, there's a footer with 'ThingSpeak.com | Blog | Forum | Documentation | Tutorials | RSS Feed' and '©2015 ThingSpeak - Powered by ioBridge'.

#### รูปที่ 4.7 Channel ต่างๆของ Thingspeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแต่ละ Channel จะแบ่งเป็น Field ต่างๆ เพื่อเก็บและแสดงกราฟของ พารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า

Channel kmitl\_project1 จะแบ่งเป็น Field ทั้งหมด 6 Field ที่ใช้ในการเก็บ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าแต่ละชนิด ได้แก่

1. Field เก็บค่า Voltage Phase A
2. Field เก็บค่า Voltage Phase B
3. Field เก็บค่า Voltage Phase C
4. Field เก็บค่า Current Phase A
5. Field เก็บค่า Current Phase B
6. Field เก็บค่า Current Phase C
7. Field เก็บค่า Power factor Phase B
8. Field เก็บค่า Power factor Phase C

และ Channel kmitl\_project2 จะแบ่งเป็น 8 Field ใช้ในการเก็บพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าแต่ละชนิด ได้แก่

1. Field เก็บค่า Power Phase A
2. Field เก็บค่า Power Phase B
3. Field เก็บค่า Power Phase c
4. Field เก็บค่า Q Total
5. Field เก็บค่า Unit
6. Field เก็บค่า Power factor Phase A
7. Field เก็บค่า Power factor Phase B
8. Field เก็บค่า Power factor Phase C



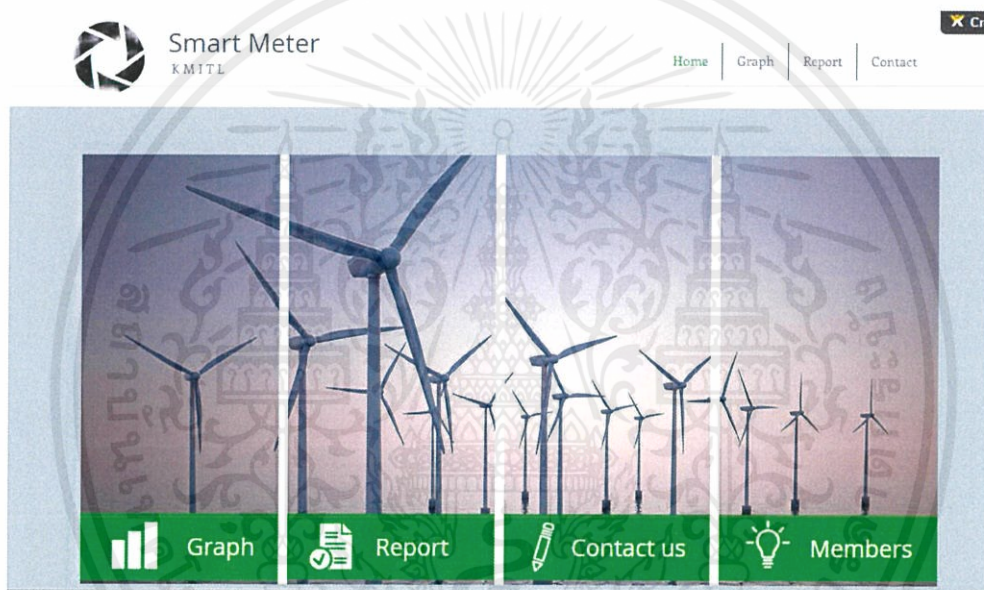
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในการนำภาพไปใช้

รูปที่ 4.8 Field ต่างๆที่ใช้แสดงกราฟของพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า

#### 4.7 การออกแบบหน้าเว็บไซต์

ทางกลุ่มเลือกใช้ผู้ให้บริการสร้างและจัดการแบบฟอร์มเว็บไซต์ [www.wix.com](http://www.wix.com) ซึ่งสะดวกต่อการสร้างเว็บไซต์ รวมทั้งมีความสวยงามและสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าได้ ในการออกแบบเว็บไซต์นั้นมีแนวความคิดดังนี้

- สามารถแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ ปัจจุบัน ได้ตลอดเวลา
- สามารถแสดงกราฟพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าได้
- สามารถดูข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ย้อนหลังกลับไปได้
- สามารถแสดงกราฟความต้องการกำลังไฟฟ้า (Peak Demand) ได้
- สามารถเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในเดือนปัจจุบันเทียบกับเดือนก่อนๆได้

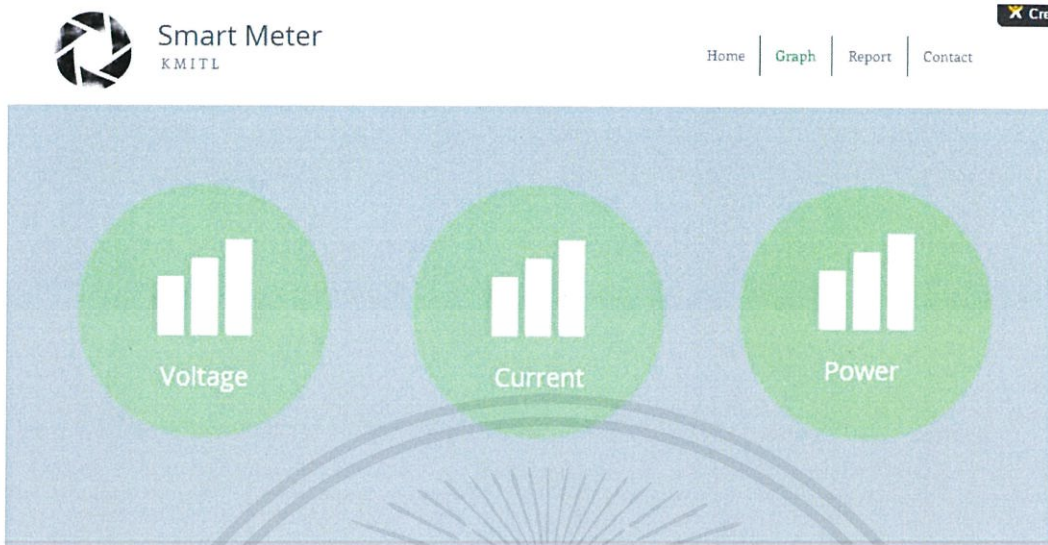


รูปที่ 4.9 เว็บไซต์หน้าแรก

จากรูปที่ 4.9แสดงแถบเมนูประกอบด้วย

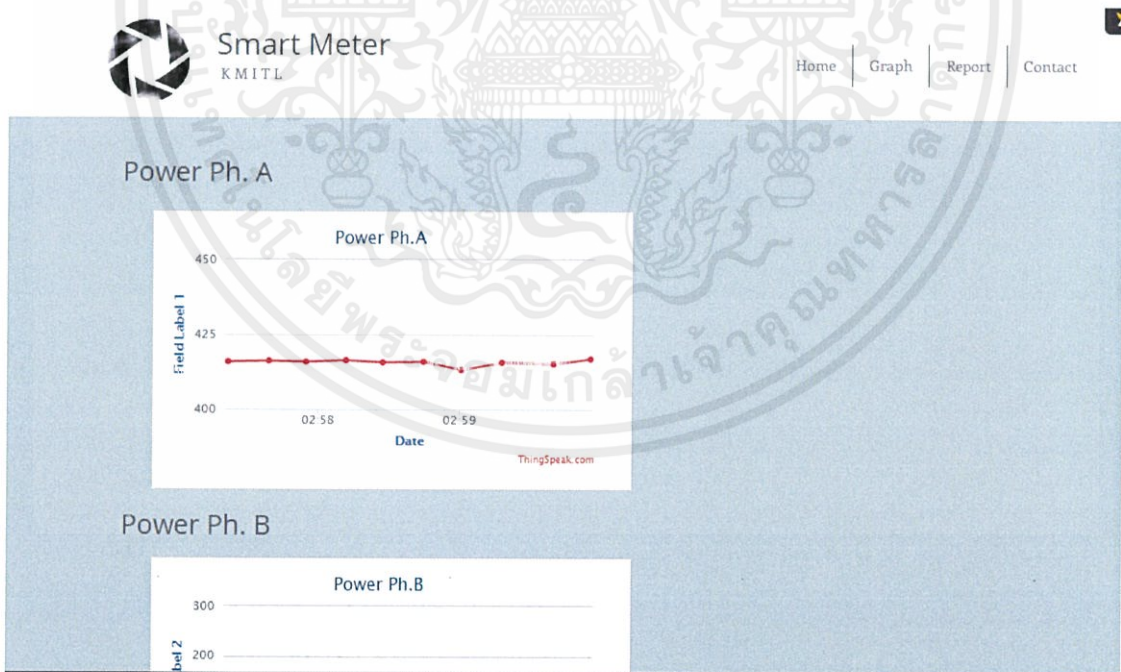
- Home เมื่อกดปุ่มนี้ จะนำไปยังหน้าแรกของเว็บไซต์
- Graph เมื่อกดปุ่มนี้ จะแสดงกราฟของพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า ณ ปัจจุบัน
- Report เมื่อกดปุ่มนี้ จะนำไปยังหน้าดูรายงานของพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า
- Contact us เมื่อกดปุ่มนี้ จะนำไปยังหน้าติดต่อกับทีมงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เว็บไซต์หลังจากกดปุ่มกราฟ

จากรูปที่ 4.10แสดงให้เห็นว่า หน้าเว็บไซต์จะแสดงตัวเลือกในการแสดงกราฟของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า โดยจะแสดง ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า รวมไปถึงค่าพลังงานไฟฟ้า วัน เวลาล่าสุด โดยทั้งหมดนี้จะมีการ Refresh ทุก 15 วินาที



รูปที่ 4.11 เว็บไซต์หน้าแสดงกราฟของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
จากรูปที่ 4.11แสดงให้เห็นว่า หน้าเว็บไซต์จะแสดงกราฟค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาปัจจุบัน



รูปที่ 4.12 หน้าเว็บไซต์หลังจากกดปุ่ม Report

จากรูปที่ 4.11แสดงให้เห็นว่าในส่วนหน้าของ Report จะสามารถเข้าไปดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าย้อนหลังได้ โดยจะแสดงเป็นไฟล์ Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 บทนำ

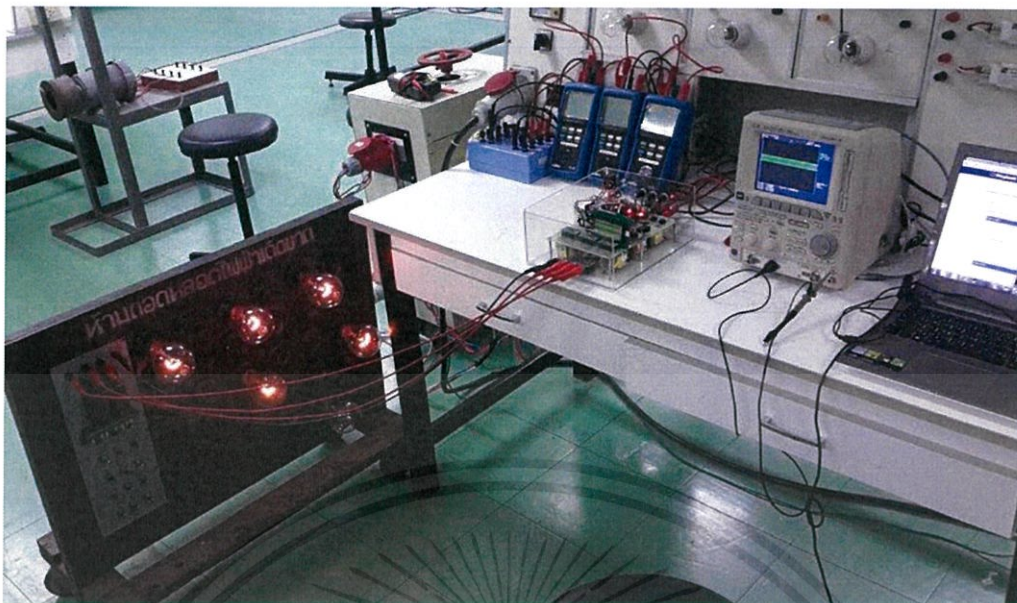
ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองทั้งหมดของโครงการ โดยเริ่มจากการทดลองคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง 3 เฟส จากสัญญาณความถี่  $HF_{out}$  ของ MCP3906A 3 ชุด เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงจากนั้นในขั้นตอนของการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะนั้น ได้ทำการทดลองวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้ากับภาระสองแบบ คือ ภาระแบบตัวต้านทาน (Resistive Load) ซึ่งก็คือภาระที่มีอิมพีแดนซ์เป็นค่าความต้านทานเพียงอย่างเดียวทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 1 กับภาระอีกประเภท คือ ภาระที่มีค่าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 1 หรือที่เรียกว่าภาระแบบ Reactive โดยทำการทดสอบกับภาระที่มีขนาดแตกต่างกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าในแต่ละช่วงการวัดว่ามีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด โดยใช้มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ยี่ห้อ ASRAS เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิง

#### 5.2 การทดลองคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากสัญญาณความถี่ $HF_{out}$ ต่อ 1 เฟส

จากการออกแบบวงจรตรวจจับแรงดันและกระแสที่กล่าวมาแล้ว กำหนดให้แรงดันมากที่สุดที่ขาเข้าของสัญญาณกระแส  $V_0 = 470$  mV และแรงดันมากที่สุดที่ขาเข้าของสัญญาณแรงดัน  $V_1 = 500$  mV จะสามารถหาสัญญาณความถี่มากที่สุด  $HF_{out}$  (Full Scale) ได้จากสมการที่ (3.1) จะได้

$$HF_{out}(\text{Hz}) = \frac{8.06 \times V_0 \times V_1 \times G \times HF_C}{V_{REF}^2}$$
$$HF_{out}(\text{Hz}) = \frac{8.06 \times 0.47 \times 0.5 \times 1 \times 27968.75}{2.4^2}$$
$$HF_{out}(\text{Hz}) = 9197.15 \text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 รูปชุดการทดลอง

สำหรับมิเตอร์ 3 เฟส ขนาด 220V 10A สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงต่อเฟสได้มากที่สุด จาก

$$P = IV \cos(\varphi) \quad (5.1)$$

โดย P จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ  $\cos(\varphi) = 1$

$$P = 10 \times 222(1)$$

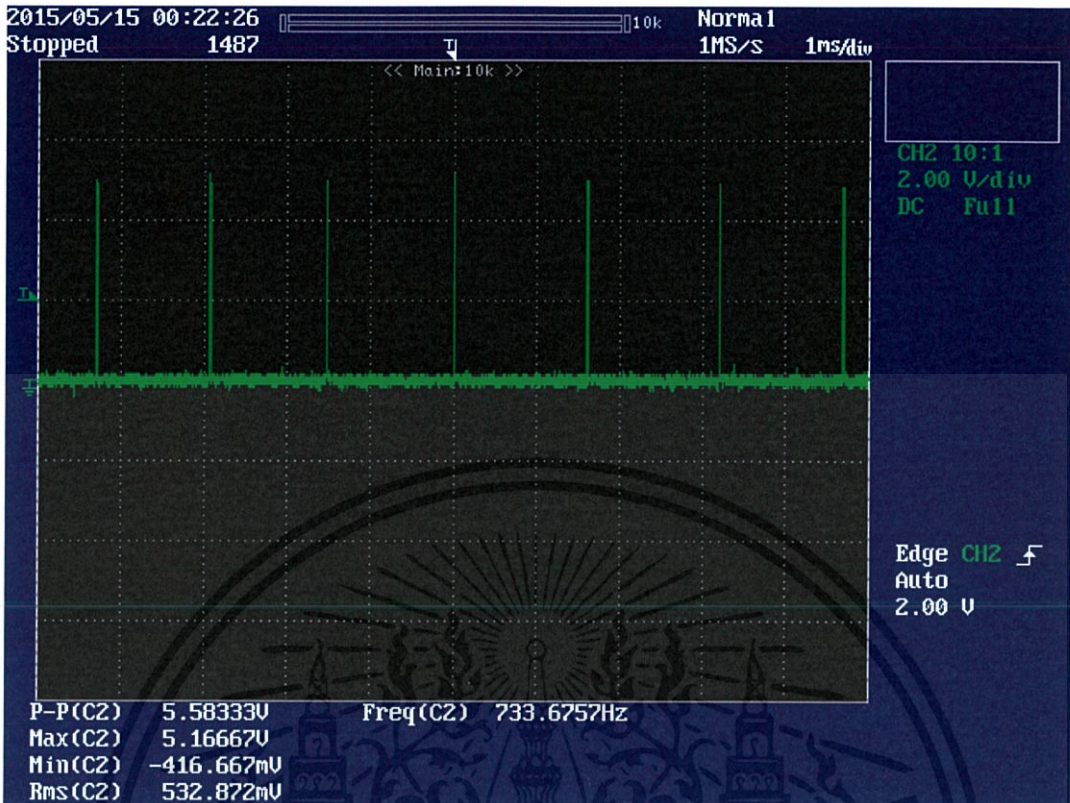
$$P = 2200 \text{ W}$$

จะได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงต่อ 1 เฟส มากสุด 2200 W สามารถให้สัญญาณความถี่มากที่สุด  $HF_{out}$  (Full Scale) เท่ากับ 9197.15 Hz ดังนั้น ค่ากำลังไฟฟ้าจริง 1 W จะให้สัญญาณความถี่เท่ากับ  $\frac{9197.15}{2200} = 4.1805 \text{ Hz}$

#### ผลการทดลอง

เฟส A เมื่อเปิดหลอดเผาไส้ 1 หลอด (หลอดขนาด 190W วัดจากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า) จะได้สัญญาณความถี่  $HF_{out}$  เท่ากับ 733.675 Hz ดังรูปที่ 3.10 และคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้  $\frac{733.675}{4.1805} = 175.5 \text{ W}$

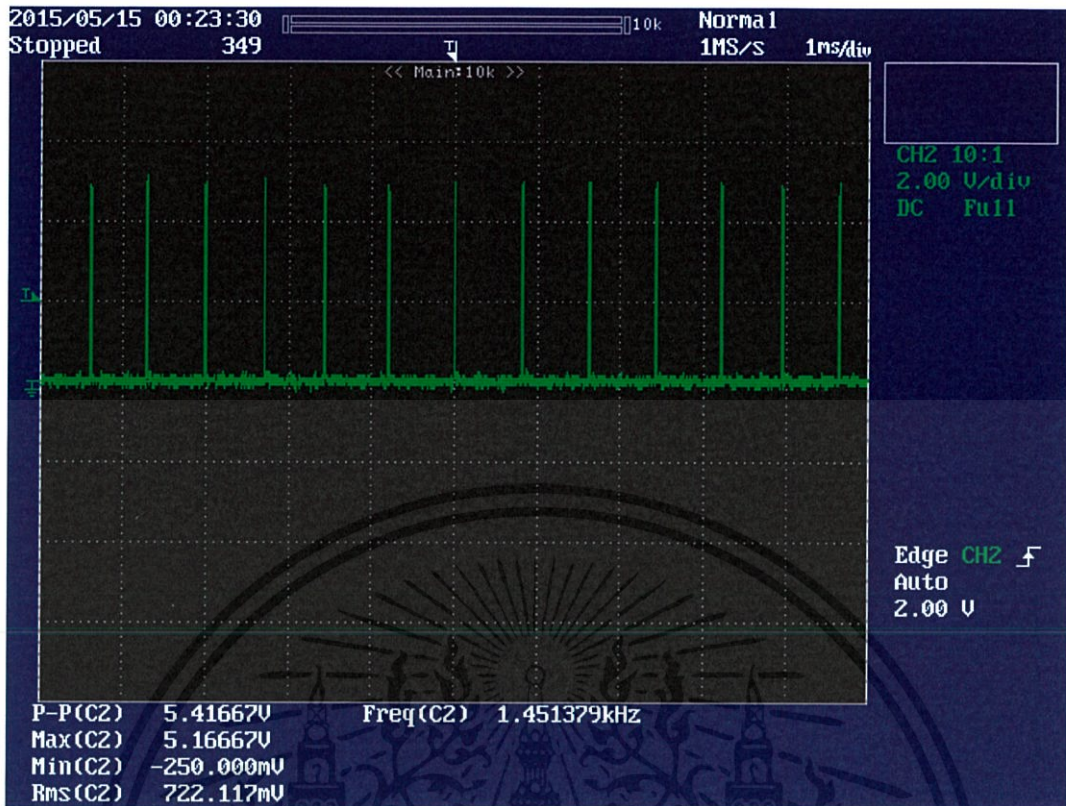
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 1 หลอด (เฟส A)

เฟส B เมื่อเปิดหลอดเผาไส้ 2 หลอด (โหลดขนาด 362 W วัดจากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า) จะได้สัญญาณความถี่  $f_{out}$  เท่ากับ 1451.379 Hz ดังรูปที่ 3.11 และคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้  $\frac{1451.379}{4.1805} = 347.18 \text{ W}$

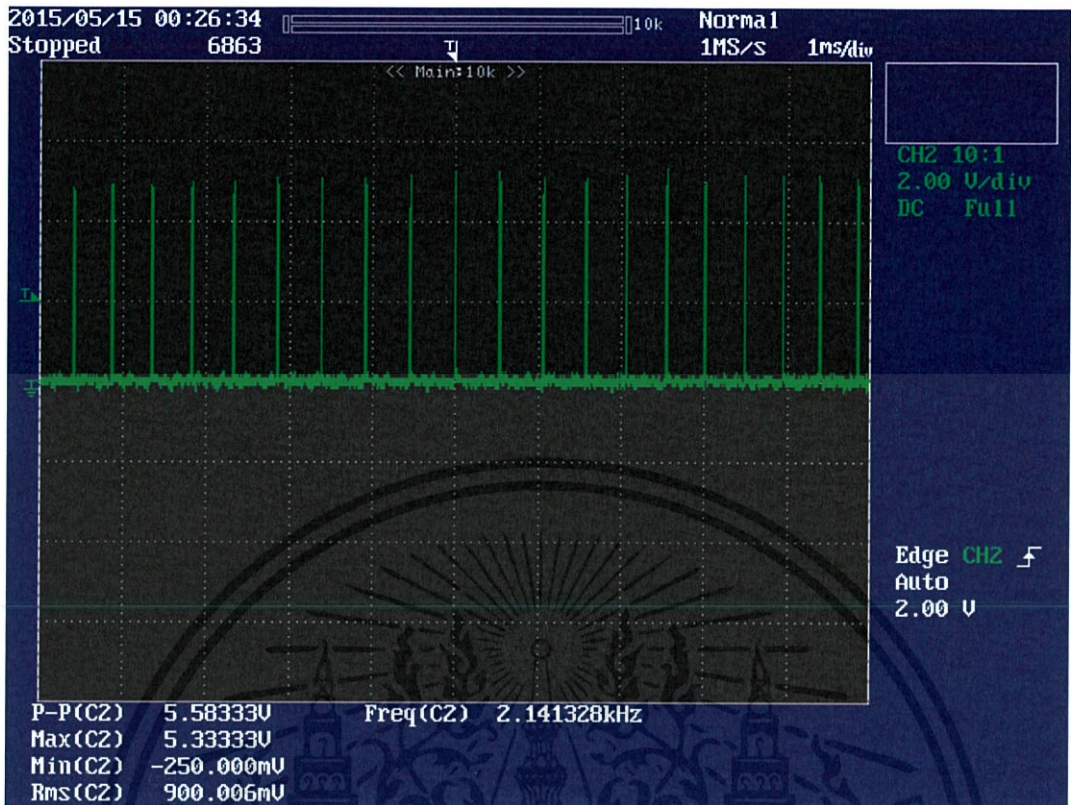
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 2 หลอด (เฟส B)

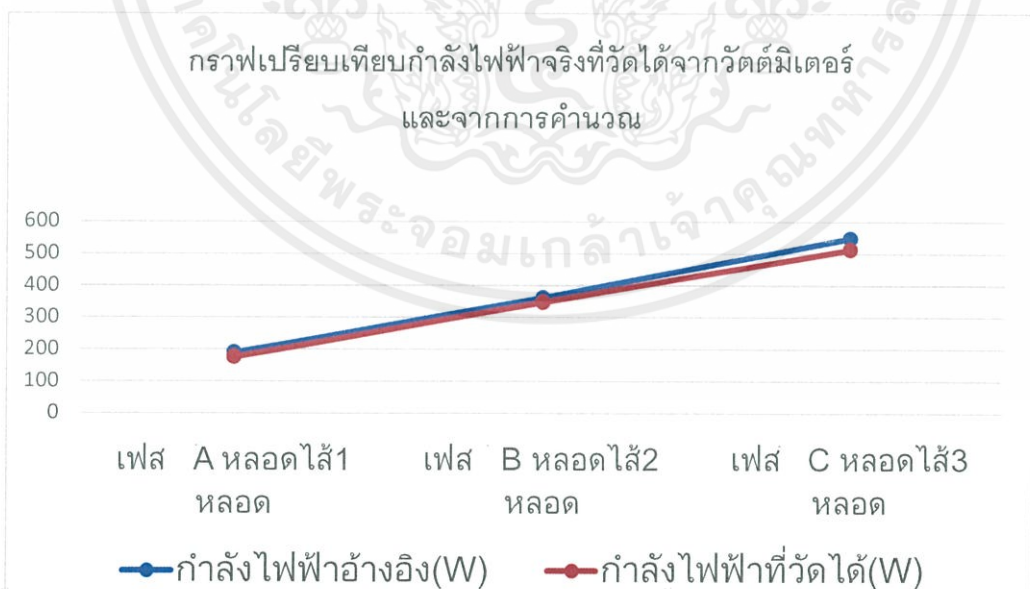
เฟส C เมื่อเปิดหลอดเผาไส้ 3 หลอด (โหลดขนาด 548 W วัตต์จากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า) จะได้สัญญาณความถี่  $HF_{out}$  เท่ากับ 2141.328Hz ดังรูปที่ 3.12 และคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้  $\frac{2141.328}{4.1805} = 512.22 \text{ W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ผลการทดลองหลอดเผาไส้ 3 หลอด (เฟส C)

จากผลการทดลอง นำค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคำนวณมาเขียนกราฟพบว่าค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 5.5

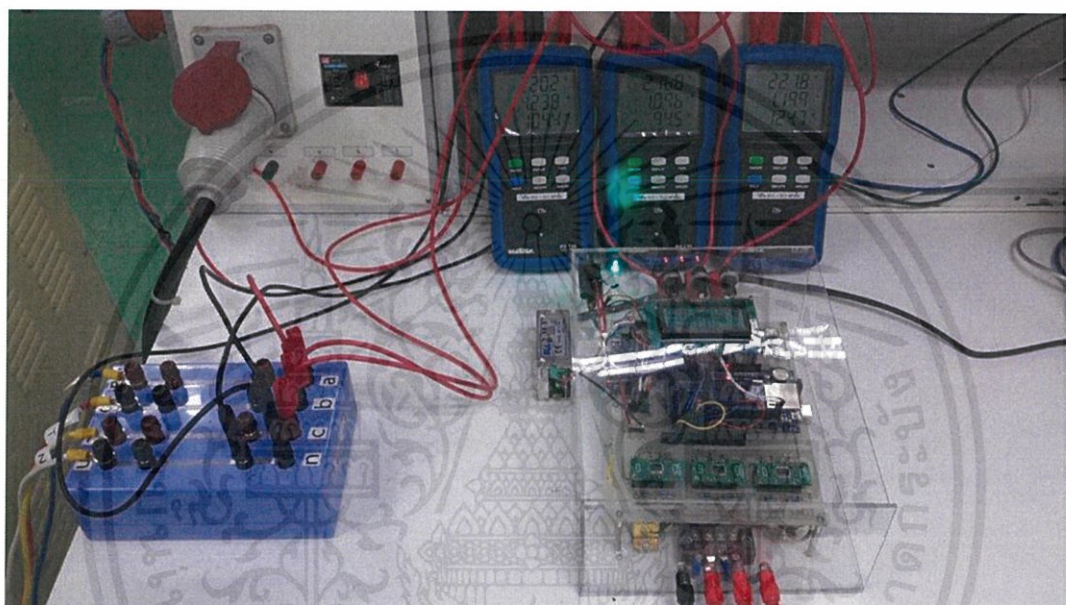


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัด, โหลด, กระจาย, และดัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริง

### 5.3 การทดลองการวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้าแบบต่างๆ

การทดลองวัดปริมาณต่างๆทางไฟฟ้ากับภาระต่างๆ จะวัดปริมาณทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน ค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกับ มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (PX120 ASRAS) ซึ่งจะทดลองกับภาระไฟฟ้า ได้แก่ มอเตอร์ 3 เฟส พิกัด 380 V 3.4 A, หลอดเผาไส้ 2 หลอดต่อเฟส, หลอดไฟเผาไส้ 3 หลอดต่อเฟส และ มอเตอร์ 3 เฟส พิกัด 380 V 3.4 A รวมกับ หลอดเผาไส้ 3 หลอดต่อเฟส ซึ่งผลการทดลองวัดปริมาณต่างๆแสดงในตารางที่ 5.1 ถึง 5.5

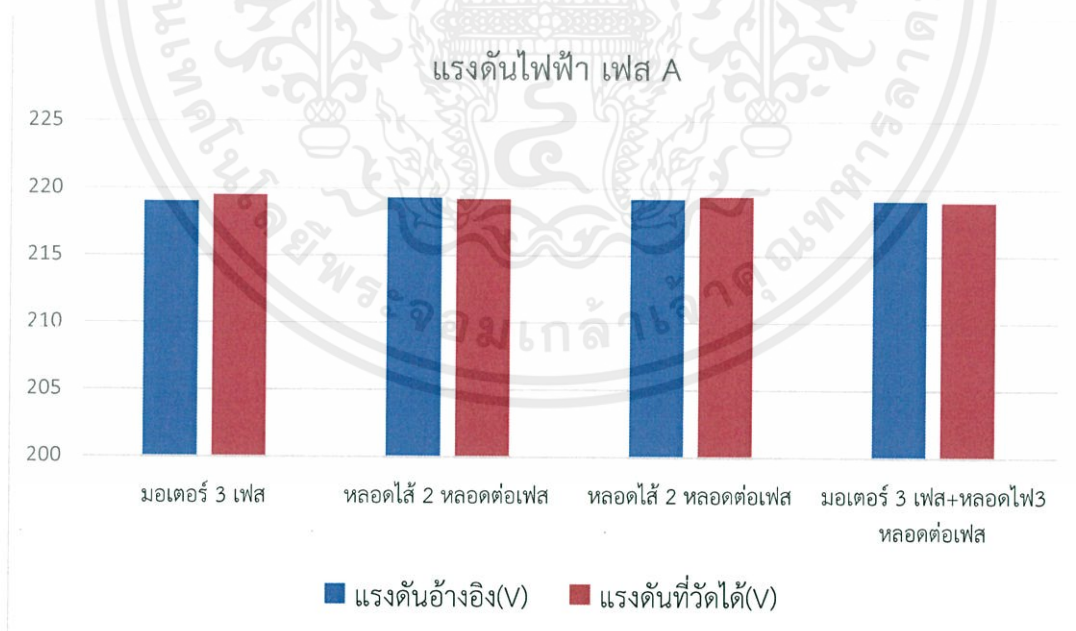


รูปที่ 5.6 วงจรชุดทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับภาระแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

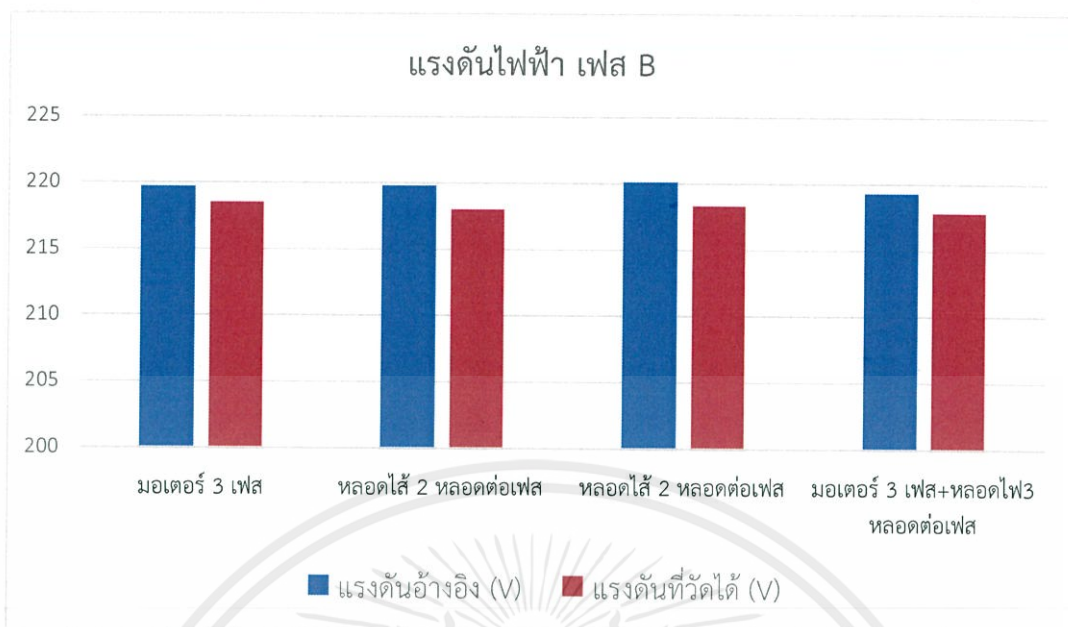
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้(Smart Meter)กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

ค่าปริมาณทางไฟฟ้า		ภาวะไฟฟ้า		มิเตอร์ 3 เฟส	หลอดไส้ 2 หลอดต่อ เฟส	หลอดไส้ 3 หลอดต่อ เฟส	มิเตอร์ 3 เฟส + หลอดไฟ 3 หลอดต่อเฟส
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V)	เฟส A	219	219.3	219.2	219.1		
	เฟส B	219.7	219.8	220.1	219.3		
	เฟส C	217.1	217.5	217.6	217.4		
แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (V)	เฟส A	219.5	219.2	219.4	219		
	เฟส B	218.5	218	218.3	217.8		
	เฟส C	217.8	216.7	216.6	217.2		

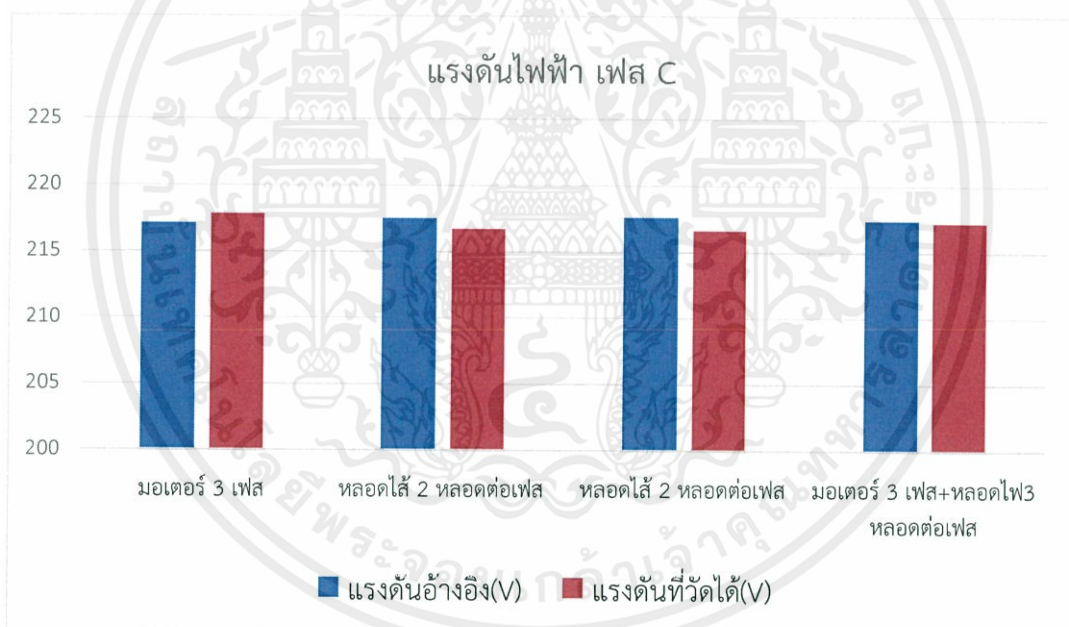


รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B

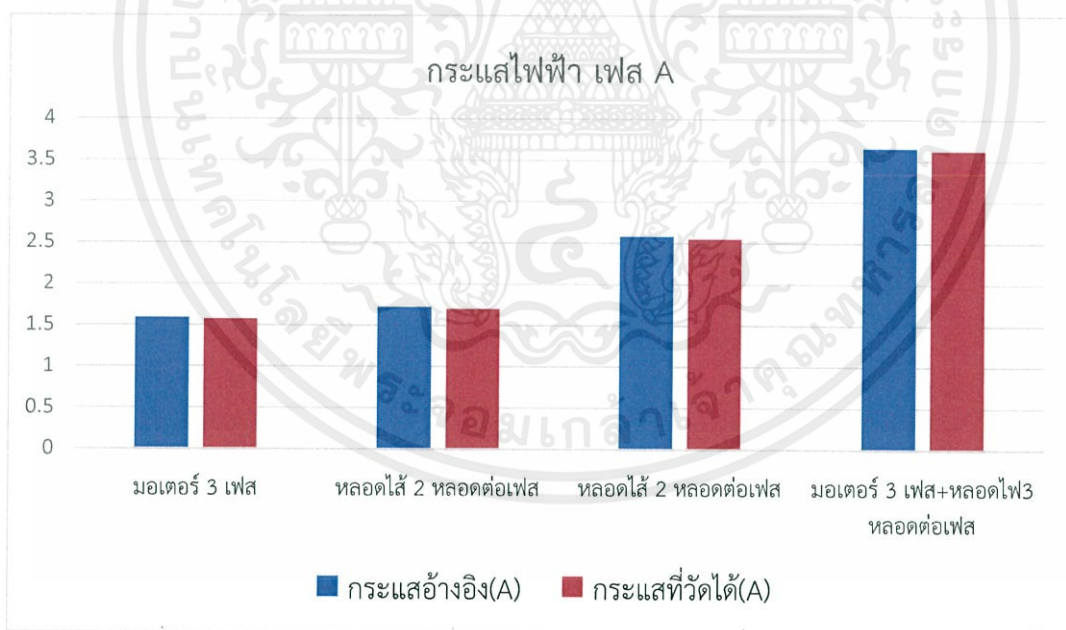


รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

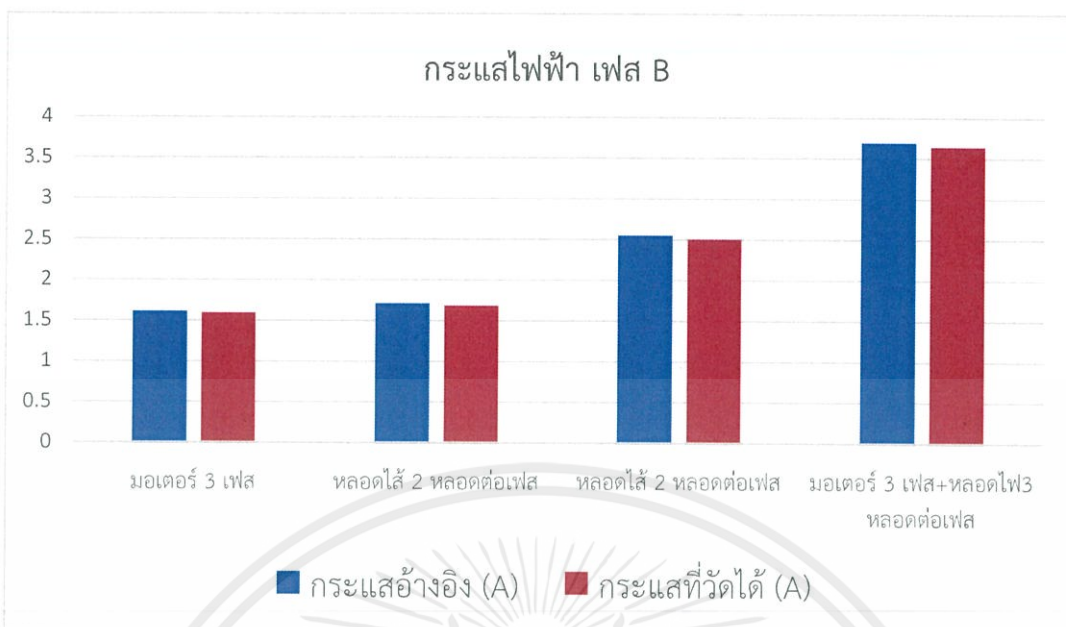
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง(มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

ภาวะไฟฟ้า ค่าปริมาณทางไฟฟ้า		มิเตอร์ 3 เฟส	โหลดไล่ 2 โหลดต่อ เฟส	โหลดไล่ 3 โหลดต่อ เฟส	มิเตอร์ 3 เฟส + โหลดไฟ 3 โหลดต่อเฟส
กระแสไฟฟ้า อ้างอิง (A)	เฟส A	1.59	1.72	2.58	3.65
	เฟส B	1.61	1.71	2.55	3.69
	เฟส C	1.46	1.73	2.55	3.54
กระแสไฟฟ้าที่ วัดได้ (A)	เฟส A	1.58	1.70	2.55	3.62
	เฟส B	1.59	1.70	2.50	3.64
	เฟส C	1.46	1.73	2.54	3.51

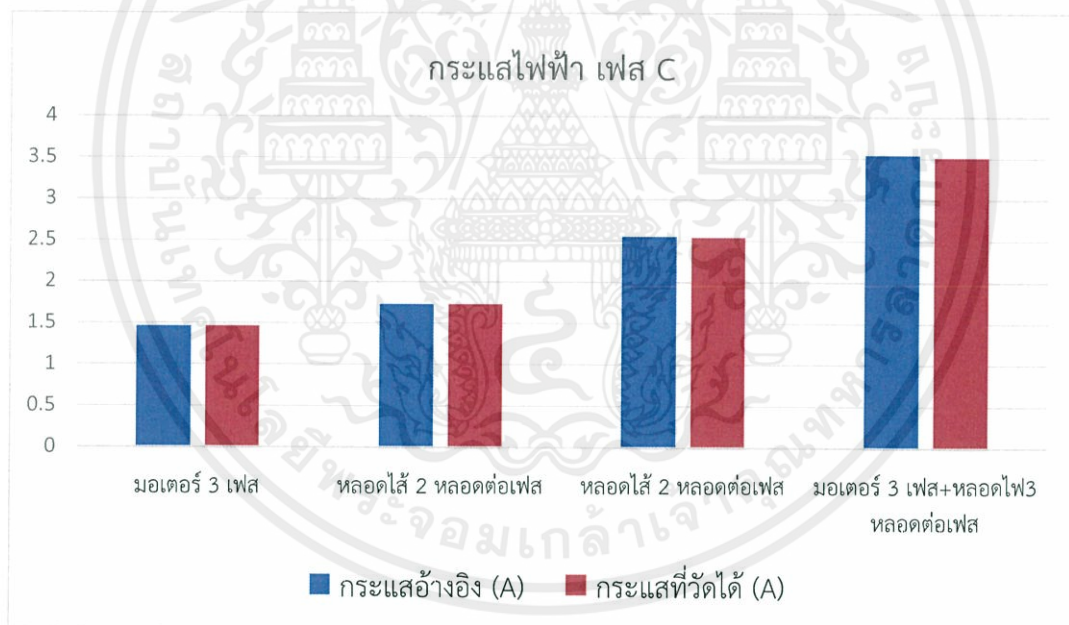


รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B

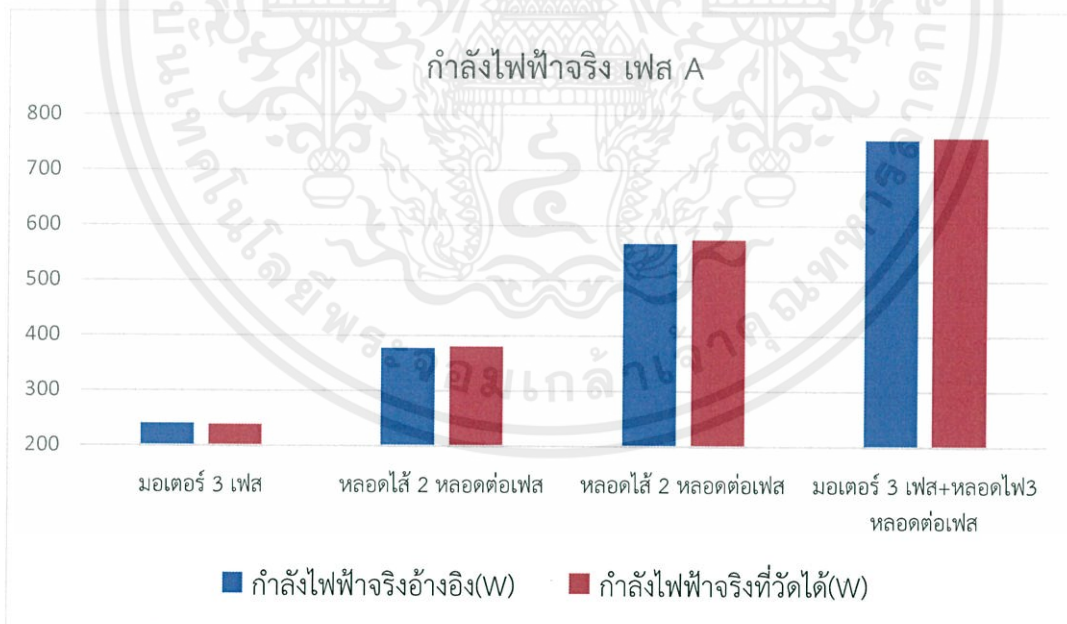


รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

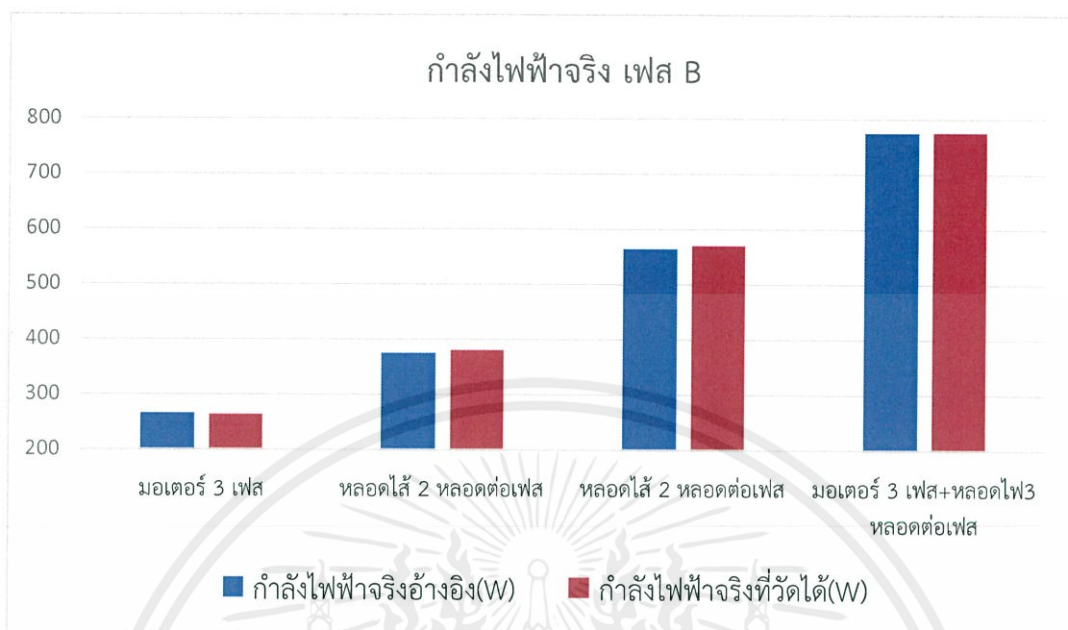
ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง(มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

ภาวะไฟฟ้า ค่าปริมาณทางไฟฟ้า		มิเตอร์ 3 เฟส	โหลดใส่ 2 โหลดต่อ เฟส	โหลดใส่ 3 โหลดต่อ เฟส	มิเตอร์ 3 เฟส + โหลดไฟ 3 โหลดต่อเฟส
		กำลังไฟฟ้าจริง อ้างอิง (W)	เฟส A	240.0	377.7
	เฟส B	265.7	375.6	564.3	774.2
	เฟส C	235.4	377.4	557.4	747.4
กำลังไฟฟ้าจริง ที่วัดได้ (W)	เฟส A	238.5	380.2	574.4	760.1
	เฟส B	263.7	380.5	569.8	775.3
	เฟส C	237.0	387.1	567.2	754.5

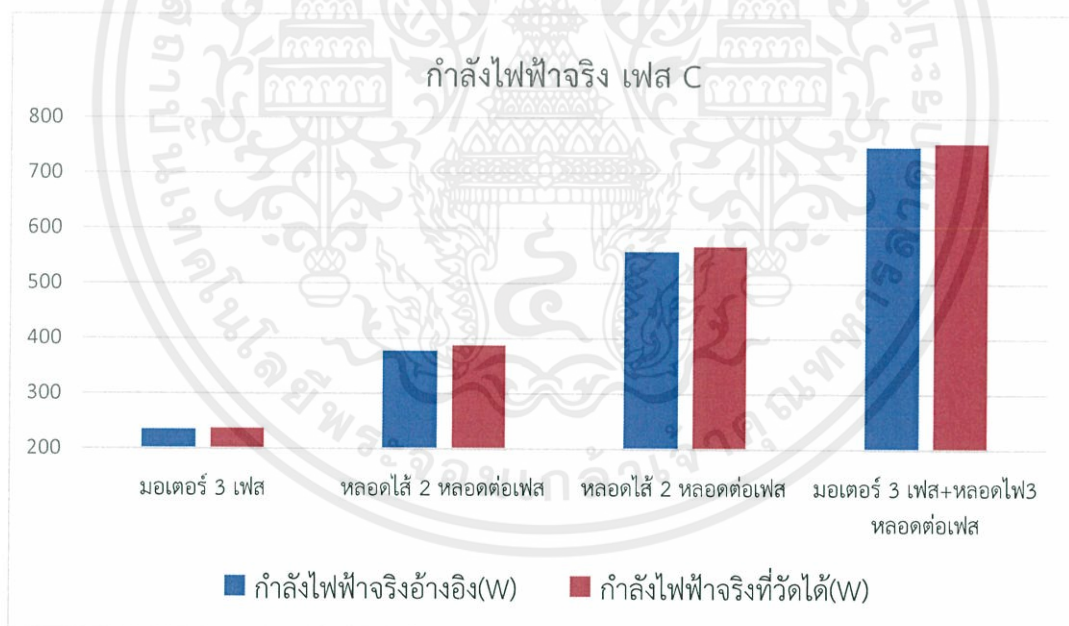


รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B



รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

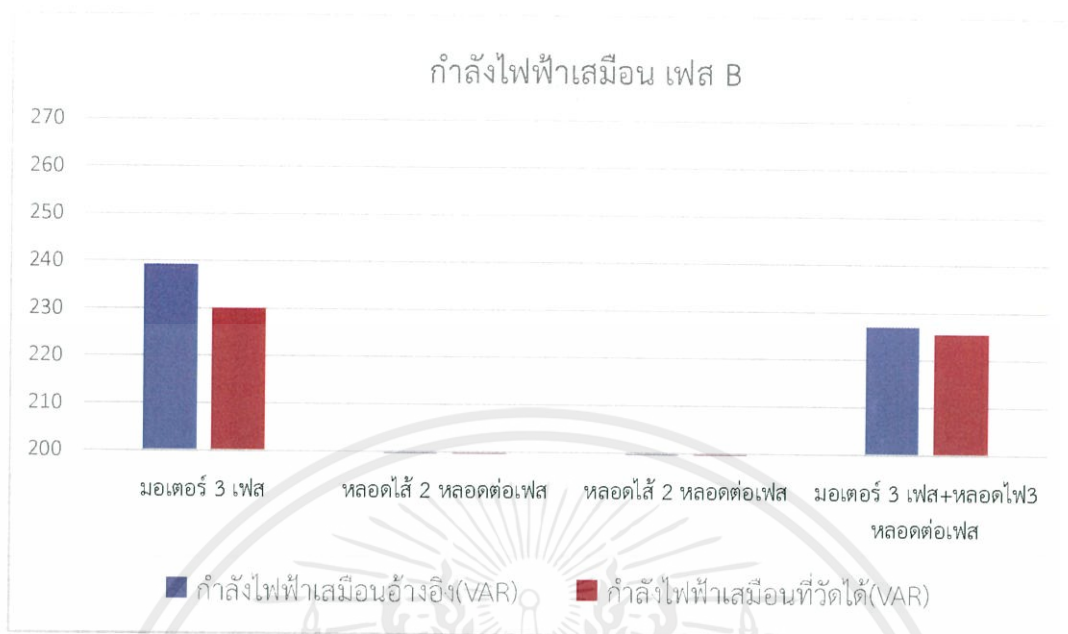
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง(มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

ค่าปริมาณทางไฟฟ้า		ภาระไฟฟ้า	มอเตอร์ 3 เฟส	โหลดได้ 2 โหลดต่อ เฟส	โหลดได้ 3 โหลดต่อ เฟส	มอเตอร์ 3 เฟส + โหลดไฟ 3 โหลดต่อเฟส
กำลังไฟฟ้า เสมือนอ้างอิง (A)	เฟส A		255.4	0	0	247.1
	เฟส B		239.2	0	0	227.1
	เฟส C		222.1	0	0	213.3
กำลังไฟฟ้า เสมือนที่ วัดได้ (A)	เฟส A		253.3	0	0	231.9
	เฟส B		230	0	0	225.5
	เฟส C		218	0	0	209.6

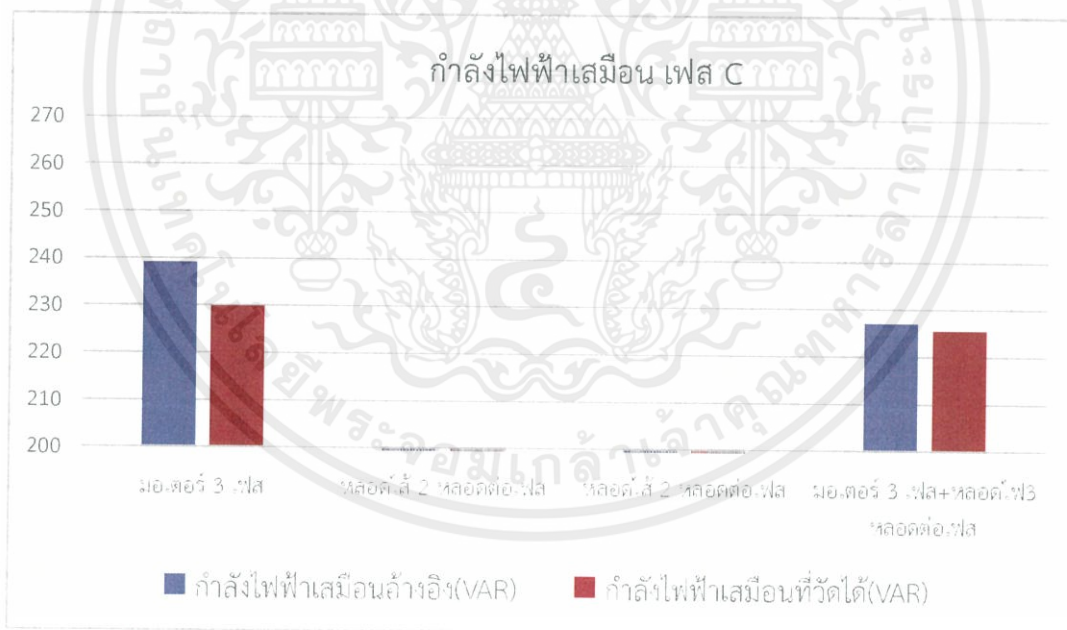


รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B

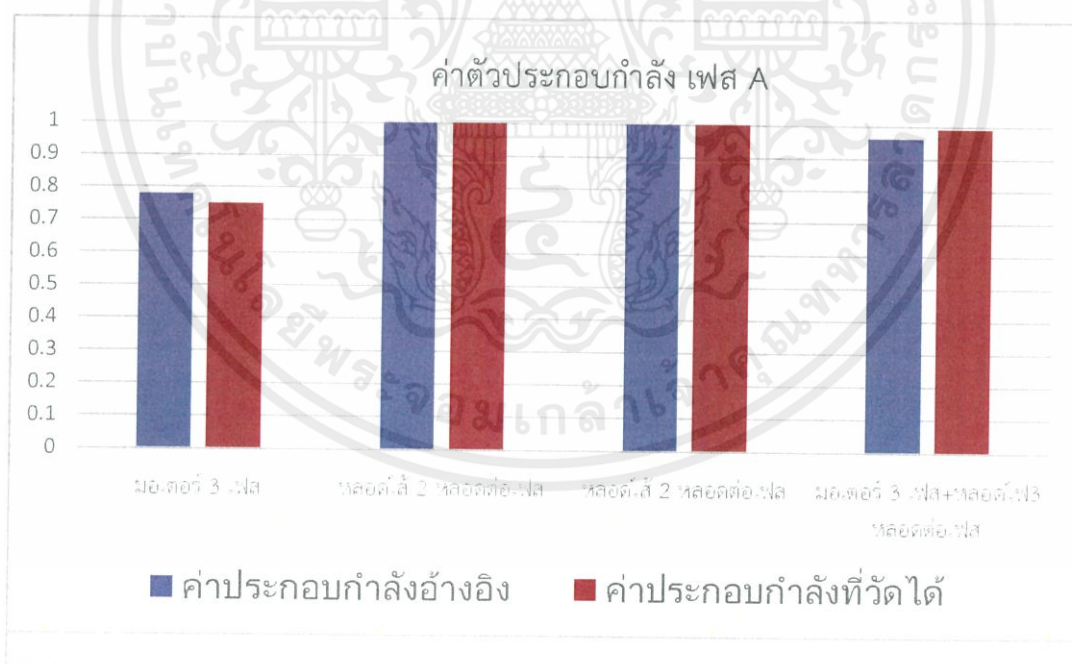


รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

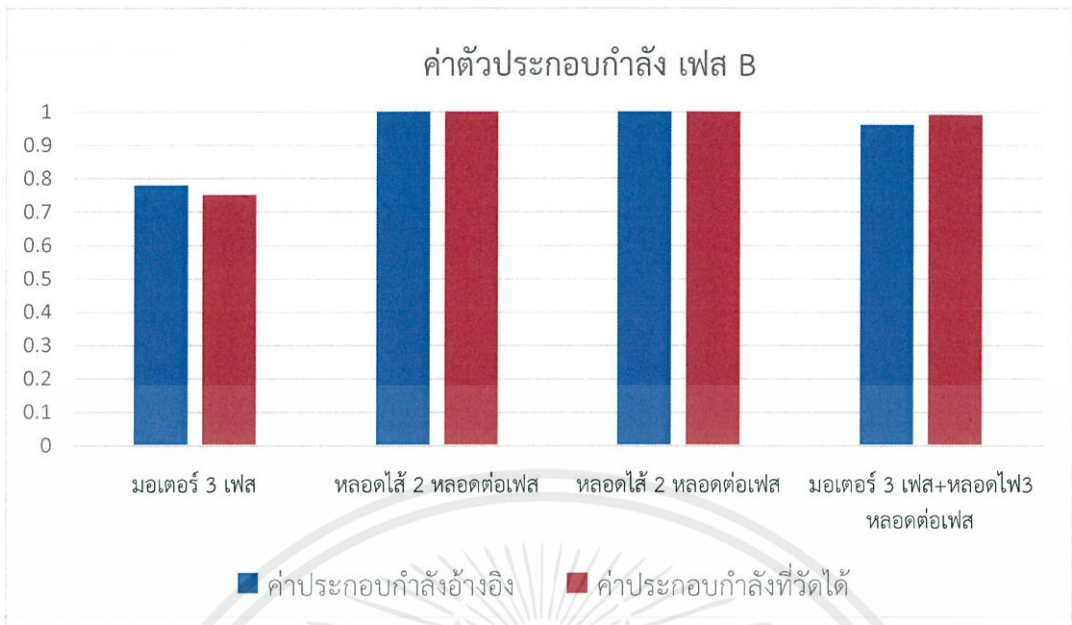
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังที่วัดได้(Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง(มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

ภาวะไฟฟ้า		มิเตอร์ 3 เฟส	โหลดได้ 2 โหลดต่อ เฟส	โหลดได้ 3 โหลดต่อ เฟส	มิเตอร์ 3 เฟส + โหลดไฟ 3 โหลดต่อเฟส
ค่าตัวประกอบ กำลังอ้างอิง (A)	เฟส A	0.74	1	1	0.95
	เฟส B	0.78	1	1	0.96
	เฟส C	0.77	1	1	0.96
ค่าตัวประกอบ กำลังที่วัดได้ (A)	เฟส A	0.73	1	1	0.96
	เฟส B	0.75	1	1	0.99
	เฟส C	0.75	1	1	0.98

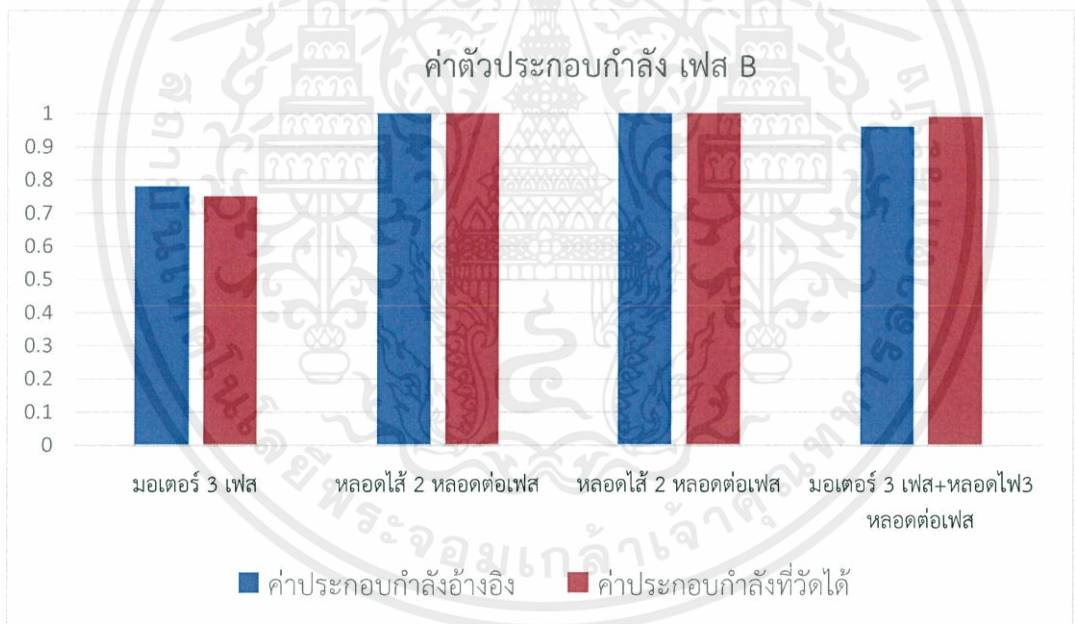


รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส B



รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง เฟส C

จากตารางที่ 5.1 ถึง 5.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ และปริมาณทางไฟฟ้าจากแหล่งอ้างอิง ซึ่งแหล่งอ้างอิงที่ใช้คือ Power Meter และปริมาณที่

เปรียบเทียบเกิดความผิดพลาด (%error =  $\frac{|truevalue - measurevalue|}{truevalue}$ ) เป็นดังนี้

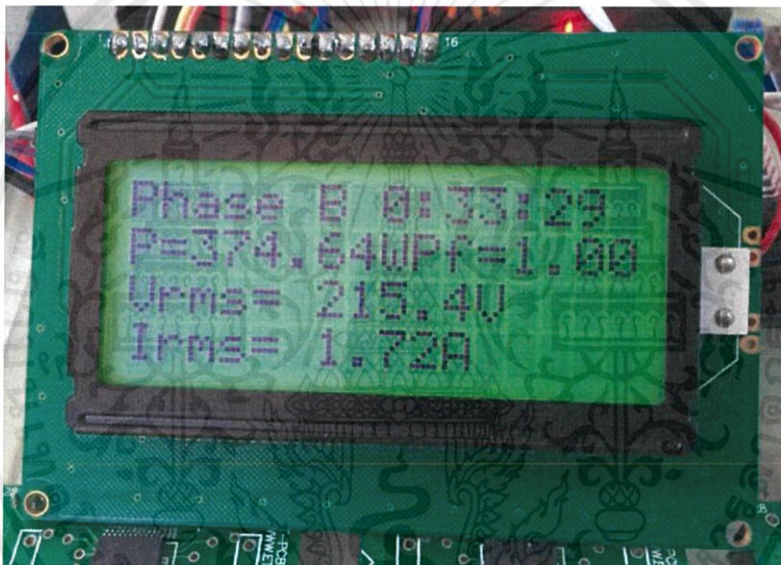
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้า เสมือน	ค่าประกอบ กำลังไฟฟ้า
0.30%	0.84%	1.01%	1.25%	1.16%

#### 5.4 การทดสอบการแสดงผลค่าบนจอ LCD

มิเตอร์อัจฉริยะที่ได้ถูกจัดสร้างขึ้นนั้น ถูกออกแบบขึ้นให้มีการแสดงผลค่าออกทางหน้าจอแสดงผล ซึ่งก็คือ LCD Display เพื่อให้ผู้ใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะนี้สามารถเข้าถึงปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าได้โดยการดูค่าจากหน้าจอ LCD ซึ่งการแสดงผลผ่านจอ LCD นี้จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.22 การแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD

จากรูปที่ 5.22 จะเห็นได้ว่าเป็นหน้าจอ LCD มีการแสดงผลค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย P (Power) มีหน่วยเป็น วัตต์ ซึ่งปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าซึ่งในนี้มีค่าเท่ากับ 374.64 วัตต์ V (Voltage) มีหน่วยเป็น โวลต์ปริมาณแรงดันซึ่งในนี้มีค่าเท่ากับ 215.4 โวลต์ (Current) มีหน่วยเป็น แอมแปร์จะแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งในนี้มีค่าคือ 1.72 แอมแปร์ และ ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F.) ซึ่งในนี้มีค่าคือ 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 การรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บค่าไว้ในฐานข้อมูล

หลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลมายัง Cloud IOT Server ผ่าน Module Wi-Fi ESP 8662 แล้ว Thingspeak จะทำการเก็บค่าและพล็อตกราฟค่าพารามิเตอร์ตามเวลาจริงที่เราส่งข้อมูล



รูปที่ 5.23 กราฟจาก Thingspeak

จากรูปที่ 5.23 แสดงการพล็อตกราฟของ Thingspeak ซึ่งข้อมูลถูกส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และค่าที่อ่านได้นี้จะถูกส่งไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลของ Thingspeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

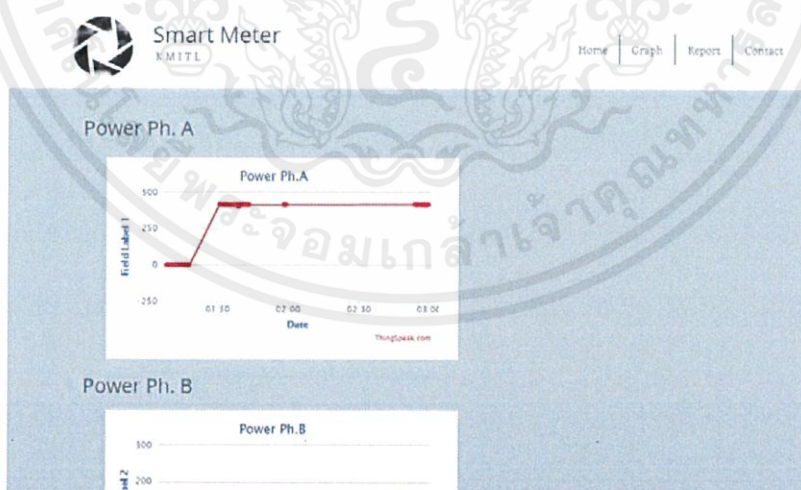
created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6	field7	field8
2015-03-2	1	12.34	1.7	24.6	17.1				
2015-03-2	2	222	3.9	65.3	18.9				
2015-03-3	3	9.6	1.6	23.6	19.3				
2015-03-3	4	9.8	8.5	194.7	26.2				
2015-03-3	5	9.6	2.3	34	17				
2015-03-3	6	9.8	6.8	128.7	19.3				
2015-03-3	7	9.8	-4.8	-52.7	6.5				
2015-03-3	8	9.7	-3.4	-36.6	8.3				
2015-03-3	9	9.6	-11.1	-42.8	5.3				
2015-03-3	10	9.6	0.9	19.1	27.7				
2015-03-3	11	9.6	0.8	14.6	24.6				
2015-03-3	12	9.6	2.7	43.7	14.7				
2015-03-3	13	9.6	6.8	129.6	16.9				
2015-03-3	14	9.6	6.5	132.3	21.7				
2015-03-3	15	9.6	-3.1	-42.7	16.2				
2015-03-3	16	9.6	-4.9	-48	4.9				
2015-03-3	17	9.8	2.1	35.8	15.3				
2015-03-3	18	9.8	-2	-23.4	8.6				
2015-03-3	19	9.7	-3.7	-38.1	7.5				
2015-03-3	20	9.7	-2.8	-30.5	8.1				
2015-03-3	21	9.8	-6.2	-51	5				
2015-03-3	22	9.7	-2.5	-33.5	11				

### รูปที่ 5.24 ผลการเก็บค่าของ Thingspeak

จากรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นถึงผลการเก็บค่าที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ในฐานข้อมูลของ Thingspeak เพื่อนำไปแสดงผลบนเว็บไซต์ต่อไป

### 5.6 ผลการแสดงผลบนเว็บไซต์

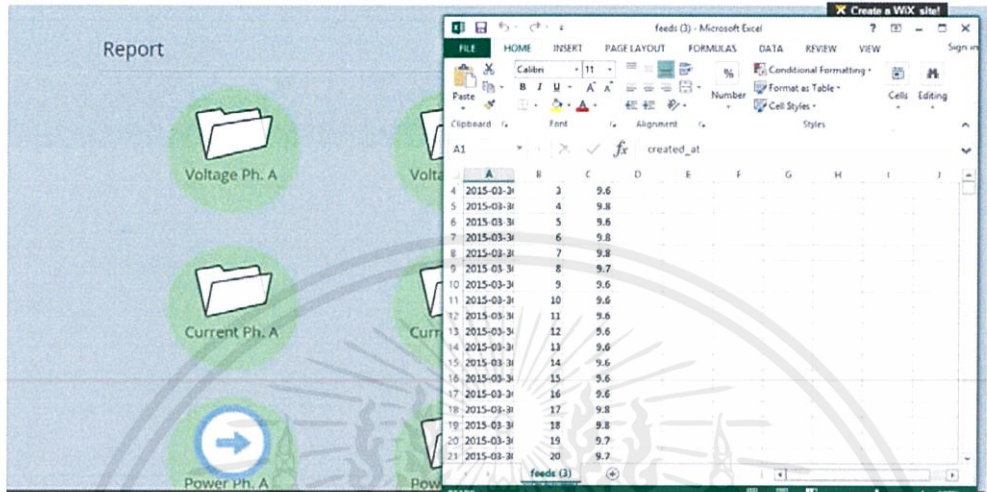
การแสดงผลบนเว็บไซต์นั้น ได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.6 ซึ่งจะเป็นการดึงค่าจาก Thingspeak มาแสดงผลบนเว็บไซต์



รูปที่ 5.25 การแสดงกราฟค่าพารามิเตอร์บนเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.25 แสดงให้เห็นการนำกราฟจากฐานข้อมูล Thingspeak มาแสดงบนเว็บไซต์จะมีการ Refresh ใหม่ในทุกๆ 15 วินาทีที่กราฟที่แสดงคือ Load Curve หลังจากการกดปุ่ม Graph ซึ่งกราฟที่พล็อต คือ แกน X คือ เวลา และ แกน Y คือ กำลังไฟฟ้า (Power)

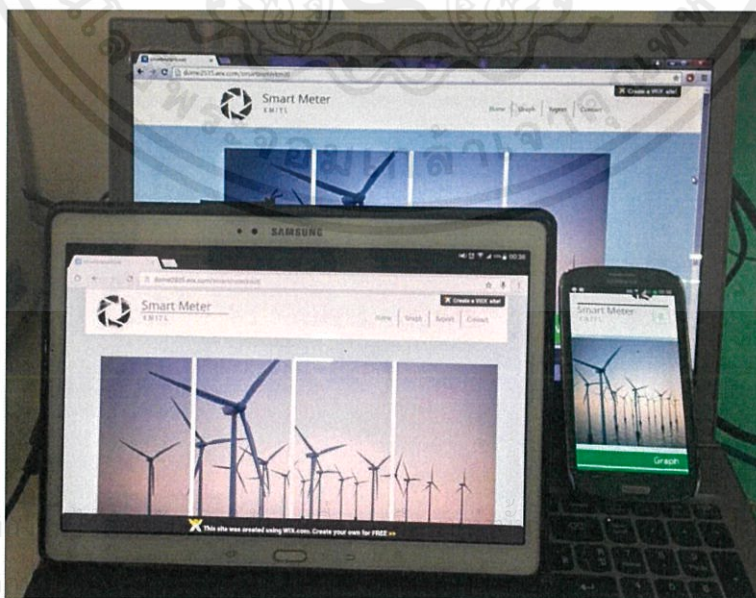


รูปที่ 5.26 หน้าเว็บในส่วนแสดงรายงานในเมนู Report

จากรูปที่ 5.26 เป็นรายงานค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้า หลังจากกดปุ่ม Report จะดาวน์โหลดไฟล์ Excel ของค่าพารามิเตอร์ที่เราเลือก ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเก็บค่าทุกๆ 15 วินาที

### 5.7 การแสดงค่าด้วยอุปกรณ์อื่นๆ

การใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะสามารถเข้าถึงหน้าเว็บไซต์ด้วยอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต ที่มีการรองรับการใช้งานบนเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 การแสดงค่าร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ

## บทที่ 6

### บทสรุปข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

#### 6.1 บทสรุป

จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับมิเตอร์อัจฉริยะ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งมีเตอร์อัจฉริยะสามารถทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ ที่เรียกรวมๆว่า “ระบบสมาร์ทพาวเวอร์” (Smart Power) โดยระบบจะประกอบไปด้วย ระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า เครือข่ายไร้สาย มิเตอร์อัจฉริยะ และตัวของผู้ใช้งานเอง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ ฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) และระบบพลังงานหมุนเวียนได้และเนื่องด้วยในปัจจุบันอัตราการขยายตัวด้านเกษตรที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้อากาศอาจเกิดปัญหาพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อกิจกรรมทางการเกษตรและกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งกลุ่มสนใจในส่วนของมิเตอร์อัจฉริยะ 3 เฟส ซึ่งมีเตอร์อัจฉริยะนี้สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน พลังงานที่ใช้ และยังสามารถดูเทียบย้อนหลังเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมา อีกทั้งยังสามารถดูค่าไฟฟ้า และกราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันบนเว็บไซต์ ซึ่งทางกลุ่มมีความเชื่อมั่นว่ามิเตอร์อัจฉริยะนี้จะสามารถเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ประกอบการทางด้านการเกษตรภายในประเทศ ได้อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับประเทศในส่วนของระบบการผลิตไฟฟ้าและยังเป็นการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าของผู้ประกอบการด้านการเกษตรในแต่ละเดือนอีกด้วย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ 3 เฟส ที่พิกัดแรงดัน 220V กระแสไฟฟ้า 10 A และยังมีในส่วนของหน้าเว็บไซต์เพื่อใช้ในการแสดงค่าไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันและกราฟที่แสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่ได้จัดทำขึ้นนั้นสามารถวัดพลังงานไฟฟ้าจากภาระที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ได้โดยมีการแสดงผลในส่วนของจอ LCD และหน้าเว็บไซต์ และยังมีการเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะกับ Power Meter

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า มิเตอร์วัดไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถบันทึกและแสดงค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงค่าปริมาณต่างๆผ่านหน้าเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรับรู้และทราบถึงพฤติกรรมของตัวเอง ซึ่งสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้งานอย่างสิ้นเปลืองลงได้ รวมไปถึงแนวทางสำหรับการติดตั้งระบบสมาร์ทกริดและระบบสมาร์ทฟาร์มในอนาคตอีกด้วย ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับระบบสมาร์ทฟาร์มและระบบพลังงานหมุนเวียนในอนาคตได้

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้พบว่ามีข้อเสนอแนะและข้อควรระวังในการพัฒนาและใช้งานมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณี 6.2.1 การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ หาก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะควรที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. ในการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าควรจะต้องเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ จะส่งผลให้มีเตอร์อัจฉริยะมีความถูกต้องแม่นยำในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้ามากขึ้น
2. สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่จะนำไปใช้ประมวลผลนั้น ต้องมีการผ่านวงจรปรับสภาพแรงสัญญาณเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเกิดการใช้งานเกินพิกัดนอกจากนี้สัญญาณวัดอาจจะต้องผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณความถี่สูงไปรบกวนการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ในการออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานเป็นสำคัญ จึงต้องมีการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้พลังงานต่ำ และยังต้องมีการประมวลผลที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถตอบสนองต่อการวัดพลังงานในภาระที่แตกต่างกันออกไป

### 6.2.2 การใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะบนหน้าเว็บไซต์

ในการใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะบนหน้าเว็บไซต์ควรที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. การใช้งานหน้าเว็บไซต์จำเป็นต้องมีเว็บเบราว์เซอร์ที่รองรับการใช้งานได้เต็มรูปแบบ เพื่อใช้ในการเข้าถึงเว็บไซต์ของมิเตอร์อัจฉริยะและใช้งานได้สมบูรณ์แบบ
2. การใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะนี้ได้มีการเขียนขึ้นเว็บไซต์จริง สามารถเข้าถึงเว็บไซต์ผ่านเครือข่ายinternet ได้จากที่ใดก็ได้ และสามารถเข้าถึงเว็บไซต์ได้ด้วยอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Smart Phone , Tablet

### 6.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้น เพื่อความหลากหลายในการใช้งาน ดังนี้

1. การเลือกอุปกรณ์มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะควรมีราคาที่ไม่แพงมาก ซึ่งจะทำให้มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ และสามารถนำมาใช้ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าได้จริง
2. ในส่วนของการรับข้อมูลของฐานข้อมูลบน Internet (Thingspeak) ควรจะมีความถี่ในการเก็บข้อมูลที่มากกว่านี้ เพื่อความละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณได้
3. ในส่วนของการแสดงค่าพารามิเตอร์เป็นตัวเลขจากเว็บไซต์นั้น ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้อง Download เป็นไฟล์ Excel เสียก่อน
4. ในส่วนของการแสดงปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าบนเว็บไซต์ สามารถปรับปรุงให้มีการแจ้งเตือนเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้เอง
5. มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถพัฒนาไปถึงการสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานบนระบบของสมาร์ทโฟนได้ เพื่อความสะดวกมากขึ้นต่อผู้ใช้งานมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Soma ShekaraSreenadh Reddy Depuru, Lingfeng Wang, Vijay Devabhaktuni and Nikhil Gudi, “Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status,” **Power Systems Conference and Exposition(PSCE), IEEE-PES,2011**
- [2] DammindaAlahakoon, Xinghuo Yu, “Advanced Analytics for Harnessing the Power of Smart Meter Big Data” **International Workshop on Intelligent Energy Systems (IWIES),IEEEInternational Workshop on,2013**
- [3] Giuseppe Del Prete, Carmine Landi, “Real-Time Smart Meter With Embedded Web Server Capability,” **Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), IEEE International,2012**
- [4] Shang-WenLuan,Jen-HaoTeng , Shun-YuChan , Lain-Chyrwang,“Development of a smart power meter for AMI based on ZigBee communication” **Power Electronics and Drive Systems, PEDS, 2009.**
- [5] Rahman, M.M. , Mto, A., “Technologies required for efficient operation of a smart meter network” **Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6<sup>th</sup> IEEE Conference on, 2011**
- [6] Garpetun, L., “Smart meters in operation center” **Electricity Distribution (CIRED 2013), 22<sup>nd</sup> International Conference and Exhibition on, 2013**
- [7] Bernard Neenanและ Ross C. Hemphill, “Societal Benefits of Smart Metering Investments” Vol. 21, Issue 8 1040-6190
- [8] ปารเมศ กันศิริ และ นางสาวพิชญา กันธิยะ, “เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2553**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับพลังงานหมุนเวียนและฟาร์มเกษตร Smart Meter for Renewable Energy and Farms

วศิน เขมะวิชานุรัตน์ วศิน อนันต์นาวิสูตรณ์และวันชัย ศิริแสงชัยกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail: wasin\_kema@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบแสดงผลการวัดพลังงานไฟฟ้าชนิด 3 เฟสแรงดัน 220 V กระแส 10 A ความถี่ 50Hz โดยใช้ไอซีเบอร์ MCP3906A , Arduino MEGA 2560 R3 และ Arduino Nano R3 ในการวัดค่าแรงดันกระแสและกำลังไฟฟ้าซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ส่วนรับ-ส่งข้อมูลและเก็บค่าและส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในรูปตัวเลขและกราฟเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบตัวเลขค่าใช้จ่ายประมาณการได้ว่า มากหรือน้อยกว่าเดือนที่ผ่านมา ซึ่งสามารถควบคุมหรือลดการใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองได้

**คำสำคัญ:** มิเตอร์, กำลังไฟฟ้า

### Abstract

This paper presents the design and development of energy measuring and display for 3 phase 220 V 10 A with 50 Hz frequency by using ICs' MCP3906A , Arduino MEGA 2560 R3 and Arduino Nano R3 for measuring voltage, current and power. The operation of this meter composes of three parts; i.e. power measurement, data acquisition, and the display in monitoring in both digits and graph. This module can provide the electrical charge and can be used for estimating the cost of electric charge so that the next month charge can be estimated and compared to the past month so that the electric charge can be controlled.

**Keywords:** Meter, Real power

### 1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของทุกคนทั้งในด้านการสื่อสาร การคมนาคม การศึกษา เศรษฐกิจและในด้านการเกษตร ประเทศไทยเป็นผู้นำโลกในการผลิตและส่งออกข้าว ยาง สับปะรดกระป๋อง และกุ้งกุลาดำ เป็นผู้นำภูมิภาคเอเชียในการส่งออกเนื้อไก่ และโคกถัณฑ์อื่นๆ และเลี้ยงคนได้มากกว่าสี่เท่าของประชากรทั้งประเทศ จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ระบุว่าในปี 2557 ได้มีอัตราการขยายตัวด้านการเกษตรร้อยละ 3.0 – 4.0 จากในปี 2556 ที่มีอัตราการขยายตัวด้านการเกษตรเพียงร้อยละ 1.1 โดยด้านเกษตรพืชมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.2 - 4.2 ด้านปศุสัตว์มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.0 – 3.0 ด้านประมงมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 - 3.2

ด้านการบริการทางการเกษตรมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 – 1.8 และด้านป่าไม้มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 – 4.0 จากอัตราการขยายตัวทางด้านการเกษตรที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมด้านการเกษตรมากขึ้นด้วย จึงต้องมีการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้รู้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ จึงสามารถจัดการและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ดีขึ้น มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น งานวิจัยเกี่ยวกับ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Soma Shekara Sreenadh และคณะ [1] ได้กล่าวถึงการออกแบบการใช้งาน, การใช้งานและการบำรุงรักษา โครงสร้างพื้นฐานมิเตอร์อัจฉริยะ การใช้งานที่หลากหลายและข้อดีของ มิเตอร์อัจฉริยะ Daminda Alahakoon และคณะ [2] ได้กล่าวถึงการนำไปใช้ในหลายประเทศทั่วโลกและเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน สำหรับการควบคุมข้อมูลมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Giuseppe Del Prete และ Carmine Landi [3] ได้กล่าวถึงมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะโดยมีจุดมุ่งหมายในการใช้ต้นทุนต่ำที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยมีการรวบรวมข้อมูลผ่านโปรโตคอล Controller Area Network (CAN) และการใช้งานบนเครือข่ายเน็ตเวิร์กเว็บไซท์เพื่อในการใช้พลังงานไฟฟ้า Shang-Wen Luan และคณะ [4] ได้กล่าวถึงมิเตอร์อัจฉริยะชิปที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายและระบบการดำเนินการและการบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระบบสมาร์ทชิป (Zigbee) จะรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเหตุการณ์ไฟฟ้าส่งไปยังระบบประมวลผล

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะสามารถหาได้จากผลคูณของแรงดันชั่วขณะที่ตกคร่อมโหลดกับกระแสชั่วขณะที่ไหลล้นนั้นจะได้สมการของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะดังนี้

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (2.1)$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} [\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)] \quad (2.2)$$

## 2.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย(Average Power)

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นที่มีลักษณะเป็นรายคาบหรือรูปคลื่นรายคาบ (Periodic Waveform) สามารถหาได้จากกรณินทิเกรตฟังก์ชันตลอดคาบเวลา แล้วหารผลลัพธ์นี้ด้วยคาบเวลา จากสมการ

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt \quad (2.3)$$

$$P_{avg} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.4)$$

## 2.3 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน(Complex Power)

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเกิดจากผลคูณเฟสเซอร์แรงดันและเฟสเซอร์กระแส สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนได้จากสมการ

$$S = V_{rms} I_{rms}^* \quad (2.5)$$

$$S = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) + j V_{rms} I_{rms} \sin(\theta_v - \theta_i) \quad (2.6)$$

ส่วนจริงของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน เรียกว่ากำลังไฟฟ้าจริง หรือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Real or Average Power) และเรียกส่วนจินตภาพของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ว่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนจึงสามารถกำหนดใหม่ได้เป็น

$$S = P + jQ \quad (2.7)$$

## 2.4 ตัวประกอบกำลัง(Power Factor)

ตัวประกอบกำลัง คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง(P; Watt) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน(S; VA) โดยตัวประกอบกำลังมีค่าเปลี่ยนแปลงไปลักษณะการะไฟฟ้า

$$PF = \frac{RealPower}{ApparentPower} = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.8)$$

## 2.5 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

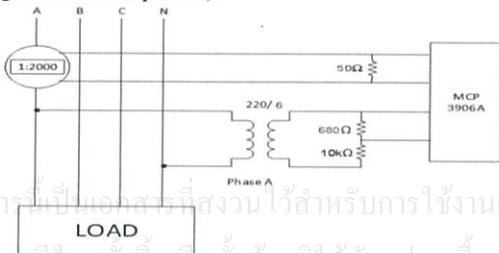
มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้หลายอย่าง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและปริมาณหน่วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไป อีกทั้งยังสามารถเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าและติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านระบบสื่อสารได้อีกด้วย

## 3. การออกแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

### 3.1 การออกแบบวงจรวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสด้วย

#### MCP3906A

MCP 3906Aเป็นไอซีสำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยการคูณสัญญาณ 2 สัญญาณคือแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จะให้สัญญาณเอาต์พุตในรูปแบบพัลส์ซึ่งมีความถี่แปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (average active real power)



รูปที่ 3.1 วงจรวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสด้วย ไอซี MCP 3906A

### 3.2 การออกแบบวงจรปรับสภาพแรงดันและตรวจจับกระแสสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

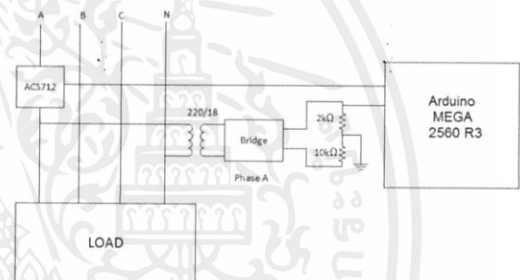
ในการส่งสัญญาณขาเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อตรวจจับและลดทอนสัญญาณให้อยู่ในระดับที่นำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

#### 3.2.1 การออกแบบวงจรปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าสามเฟส (Voltage Sensor)

การใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณแรงดันที่เป็นบวกและใช้วงจรแบ่งแรงดันที่ปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อป้อนเอาต์พุตเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.2.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

การใช้โมดูลวัดปริมาณกระแส (Current Sensor Module) ที่ใช้ไอซีในตระกูล ACS712 3 ตัว ในการวัดกระแสทั้งสามเฟส



รูปที่ 3.4 วงจรปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าและตรวจจับกระแสไฟฟ้าสามเฟสสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

## 4. ขอฟต์แวร์รับ-ส่งค่า และแสดงผลบนอินเทอร์เนต

### 4.1 การออกแบบโปรแกรมของ Arduino

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ โปรแกรมArduino ซึ่งการออกแบบจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ส่วนของการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่รับค่ามาจาก MCP 3906A ทั้ง 3 ตัว ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่แบบพัลส์ เมื่อเข้ามาทางด้านขาดิจิตอลแล้วตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าสัญญาณความถี่และนับค่าจากสัญญาณที่รับเข้ามา สำหรับส่วนที่สอง คือ ส่วนที่คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าที่รับจะมาจากวงจรตรวจจับแรงดันและกระแสของทั้ง 3 เฟส หลังจากรับค่าทั้งสองส่วนเข้ามาแล้วก็จะนำค่าที่ได้นี้ไปคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง และค่าพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำไปแสดงผลผ่านจอแอลซีดี (LCD) แล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ทั้งหมดยังมีไว้ดูแลตนเองและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์

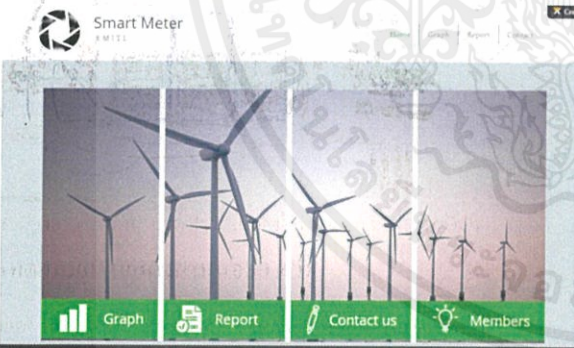
การเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์โดยผ่านโมดูล Wi-Fi ESP8266 ที่เชื่อมต่อ Internet (Wi-Fi) ซึ่งส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบ Cloud IOT Server เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงเป็นการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่าน Internet Wi-Fi

4.3 การออกแบบระบบ Cloud IOT Server

ทางกลุ่มเลือกใช้ Module Wi-FiESP 8266 โดยส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยัง Cloud IOT Server ทางกลุ่มได้เลือกใช้บริการ www.thingspeak.com ซึ่ง Thingspeak คือผู้ให้บริการจัดการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และเก็บข้อมูลที่ได้นำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งไม่ว่าเราจะอยู่ที่ใดก็จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เก็บไว้ได้ผ่านเครื่องอินเทอร์เน็ตใช้ในการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ ไว้ก่อนที่จะนำมาแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ต่อไป โดยข้อมูลที่ส่งต้องเก็บค่าได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง

4.4 การออกแบบหน้าเว็บไซต์

ทางกลุ่มเลือกใช้ผู้ให้บริการสร้างและจัดการแบบฟอร์มเว็บไซต์ www.wix.com ซึ่งสะดวกต่อการสร้างเว็บไซต์ สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าได้สามารถแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ ปัจจุบัน ได้ตลอดเวลา สามารถแสดงกราฟพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าได้สามารถดูข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าย้อนหลังกลับไปได้



รูปที่ 4.2 หน้าเว็บไซต์ของ SMART METER

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดลองการวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้ (Smart Meter) กับแหล่งอ้างอิง (มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า รุ่น PX120 ASRAS)

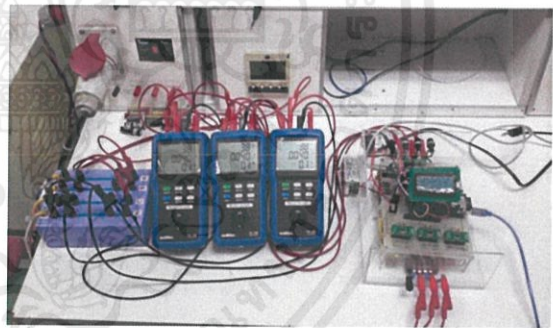
ค่าปริมาณทางไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	มอเตอร์ 3 เฟส	โหลด	โหลด	มอเตอร์
			ใส่ 2 โหลด ต่อเฟส	ใส่ 3 โหลด ต่อเฟส	3 เฟส + โหลดไฟ 3โหลด ต่อเฟส
กำลังไฟฟ้า จริงอ้างอิง (W)	เฟส A	240.0	377.7	567.4	756.1
	เฟส B	265.7	375.6	564.3	774.2
	เฟส C	235.4	377.4	557.4	747.4
กำลังไฟฟ้า จริงที่วัดได้ (W)	เฟส A	238.5	380.2	574.4	760.1
	เฟส B	263.7	380.5	569.8	775.3
	เฟส C	237.0	387.1	567.2	754.5

การเปรียบเทียบความผิดพลาด ปริมาณทางไฟฟ้า  

$$(\%error = \frac{|truevalue - measurevalue|}{truevalue})$$
 เป็นดังนี้

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

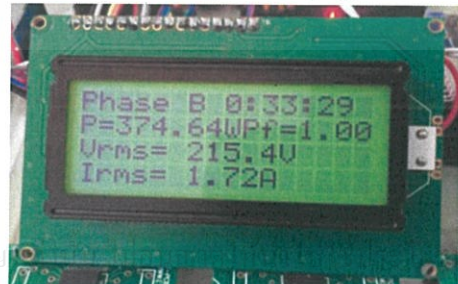
แรงดันไฟ ฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า จริง	กำลังไฟฟ้า เสมือน	ค่าประกอบ กำลังไฟฟ้า
0.30%	0.84%	1.01%	1.25%	1.16%



รูปที่ 5.1 วงจรชุดทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้ากับกระแสแบบต่างๆ

5.2 การทดสอบการแสดงผลค่าบนจอ LCD

มิเตอร์อัจฉริยะที่ได้ถูกจัดสร้างขึ้นนั้น ถูกออกแบบขึ้นให้มีการแสดงค่าออกทางหน้าจอแสดงผล(LCD Display)



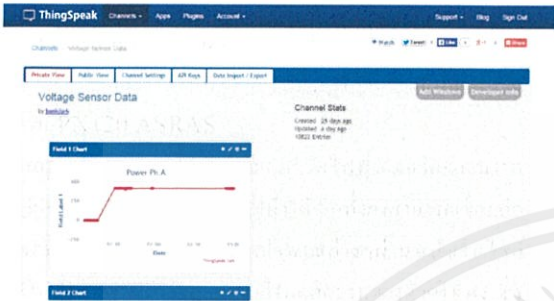
รูปที่ 5.2 การแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD การนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและการค้า ไม่ควรนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัย หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

### 5.3 การรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บค่าไว้ใน

#### ฐานข้อมูล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลมายัง Cloud IOT Server ผ่าน Module Wi-Fi ESP 8662แล้ว Thingspeak จะทำการเก็บค่าและพล็อตกราฟค่าพารามิเตอร์ตามเวลาจริง



รูปที่ 5.3 กราฟจาก Thingspeak

Time	Power	...
2015-09-27 12:58	3.7	46.4
2015-09-27 13:02	3.7	46.4
2015-09-27 13:06	3.8	46.4
2015-09-27 13:10	3.8	46.4
2015-09-27 13:14	3.8	46.4
2015-09-27 13:18	3.8	46.4
2015-09-27 13:22	3.8	46.4
2015-09-27 13:26	3.8	46.4
2015-09-27 13:30	3.8	46.4
2015-09-27 13:34	3.8	46.4
2015-09-27 13:38	3.8	46.4
2015-09-27 13:42	3.8	46.4
2015-09-27 13:46	3.8	46.4
2015-09-27 13:50	3.8	46.4
2015-09-27 13:54	3.8	46.4
2015-09-27 13:58	3.8	46.4
2015-09-27 14:02	3.8	46.4
2015-09-27 14:06	3.8	46.4
2015-09-27 14:10	3.8	46.4
2015-09-27 14:14	3.8	46.4
2015-09-27 14:18	3.8	46.4
2015-09-27 14:22	3.8	46.4
2015-09-27 14:26	3.8	46.4
2015-09-27 14:30	3.8	46.4
2015-09-27 14:34	3.8	46.4
2015-09-27 14:38	3.8	46.4
2015-09-27 14:42	3.8	46.4
2015-09-27 14:46	3.8	46.4
2015-09-27 14:50	3.8	46.4
2015-09-27 14:54	3.8	46.4
2015-09-27 14:58	3.8	46.4
2015-09-27 15:02	3.8	46.4
2015-09-27 15:06	3.8	46.4
2015-09-27 15:10	3.8	46.4
2015-09-27 15:14	3.8	46.4
2015-09-27 15:18	3.8	46.4
2015-09-27 15:22	3.8	46.4
2015-09-27 15:26	3.8	46.4
2015-09-27 15:30	3.8	46.4
2015-09-27 15:34	3.8	46.4
2015-09-27 15:38	3.8	46.4
2015-09-27 15:42	3.8	46.4
2015-09-27 15:46	3.8	46.4
2015-09-27 15:50	3.8	46.4
2015-09-27 15:54	3.8	46.4
2015-09-27 15:58	3.8	46.4
2015-09-27 16:02	3.8	46.4
2015-09-27 16:06	3.8	46.4
2015-09-27 16:10	3.8	46.4
2015-09-27 16:14	3.8	46.4
2015-09-27 16:18	3.8	46.4
2015-09-27 16:22	3.8	46.4
2015-09-27 16:26	3.8	46.4
2015-09-27 16:30	3.8	46.4
2015-09-27 16:34	3.8	46.4
2015-09-27 16:38	3.8	46.4
2015-09-27 16:42	3.8	46.4
2015-09-27 16:46	3.8	46.4
2015-09-27 16:50	3.8	46.4
2015-09-27 16:54	3.8	46.4
2015-09-27 16:58	3.8	46.4
2015-09-27 17:02	3.8	46.4
2015-09-27 17:06	3.8	46.4
2015-09-27 17:10	3.8	46.4
2015-09-27 17:14	3.8	46.4
2015-09-27 17:18	3.8	46.4
2015-09-27 17:22	3.8	46.4
2015-09-27 17:26	3.8	46.4
2015-09-27 17:30	3.8	46.4
2015-09-27 17:34	3.8	46.4
2015-09-27 17:38	3.8	46.4
2015-09-27 17:42	3.8	46.4
2015-09-27 17:46	3.8	46.4
2015-09-27 17:50	3.8	46.4
2015-09-27 17:54	3.8	46.4
2015-09-27 17:58	3.8	46.4
2015-09-27 18:02	3.8	46.4
2015-09-27 18:06	3.8	46.4
2015-09-27 18:10	3.8	46.4
2015-09-27 18:14	3.8	46.4
2015-09-27 18:18	3.8	46.4
2015-09-27 18:22	3.8	46.4
2015-09-27 18:26	3.8	46.4
2015-09-27 18:30	3.8	46.4
2015-09-27 18:34	3.8	46.4
2015-09-27 18:38	3.8	46.4
2015-09-27 18:42	3.8	46.4
2015-09-27 18:46	3.8	46.4
2015-09-27 18:50	3.8	46.4
2015-09-27 18:54	3.8	46.4
2015-09-27 18:58	3.8	46.4
2015-09-27 19:02	3.8	46.4
2015-09-27 19:06	3.8	46.4
2015-09-27 19:10	3.8	46.4
2015-09-27 19:14	3.8	46.4
2015-09-27 19:18	3.8	46.4
2015-09-27 19:22	3.8	46.4
2015-09-27 19:26	3.8	46.4
2015-09-27 19:30	3.8	46.4
2015-09-27 19:34	3.8	46.4
2015-09-27 19:38	3.8	46.4
2015-09-27 19:42	3.8	46.4
2015-09-27 19:46	3.8	46.4
2015-09-27 19:50	3.8	46.4
2015-09-27 19:54	3.8	46.4
2015-09-27 19:58	3.8	46.4
2015-09-27 20:02	3.8	46.4
2015-09-27 20:06	3.8	46.4
2015-09-27 20:10	3.8	46.4
2015-09-27 20:14	3.8	46.4
2015-09-27 20:18	3.8	46.4
2015-09-27 20:22	3.8	46.4
2015-09-27 20:26	3.8	46.4
2015-09-27 20:30	3.8	46.4
2015-09-27 20:34	3.8	46.4
2015-09-27 20:38	3.8	46.4
2015-09-27 20:42	3.8	46.4
2015-09-27 20:46	3.8	46.4
2015-09-27 20:50	3.8	46.4
2015-09-27 20:54	3.8	46.4
2015-09-27 20:58	3.8	46.4
2015-09-27 21:02	3.8	46.4
2015-09-27 21:06	3.8	46.4
2015-09-27 21:10	3.8	46.4
2015-09-27 21:14	3.8	46.4
2015-09-27 21:18	3.8	46.4
2015-09-27 21:22	3.8	46.4
2015-09-27 21:26	3.8	46.4
2015-09-27 21:30	3.8	46.4
2015-09-27 21:34	3.8	46.4
2015-09-27 21:38	3.8	46.4
2015-09-27 21:42	3.8	46.4
2015-09-27 21:46	3.8	46.4
2015-09-27 21:50	3.8	46.4
2015-09-27 21:54	3.8	46.4
2015-09-27 21:58	3.8	46.4
2015-09-27 22:02	3.8	46.4
2015-09-27 22:06	3.8	46.4
2015-09-27 22:10	3.8	46.4
2015-09-27 22:14	3.8	46.4
2015-09-27 22:18	3.8	46.4
2015-09-27 22:22	3.8	46.4
2015-09-27 22:26	3.8	46.4
2015-09-27 22:30	3.8	46.4
2015-09-27 22:34	3.8	46.4
2015-09-27 22:38	3.8	46.4
2015-09-27 22:42	3.8	46.4
2015-09-27 22:46	3.8	46.4
2015-09-27 22:50	3.8	46.4
2015-09-27 22:54	3.8	46.4
2015-09-27 22:58	3.8	46.4
2015-09-27 23:02	3.8	46.4
2015-09-27 23:06	3.8	46.4
2015-09-27 23:10	3.8	46.4
2015-09-27 23:14	3.8	46.4
2015-09-27 23:18	3.8	46.4
2015-09-27 23:22	3.8	46.4
2015-09-27 23:26	3.8	46.4
2015-09-27 23:30	3.8	46.4
2015-09-27 23:34	3.8	46.4
2015-09-27 23:38	3.8	46.4
2015-09-27 23:42	3.8	46.4
2015-09-27 23:46	3.8	46.4
2015-09-27 23:50	3.8	46.4
2015-09-27 23:54	3.8	46.4
2015-09-27 23:58	3.8	46.4
2015-09-27 00:02	3.8	46.4
2015-09-27 00:06	3.8	46.4
2015-09-27 00:10	3.8	46.4
2015-09-27 00:14	3.8	46.4
2015-09-27 00:18	3.8	46.4
2015-09-27 00:22	3.8	46.4
2015-09-27 00:26	3.8	46.4
2015-09-27 00:30	3.8	46.4
2015-09-27 00:34	3.8	46.4
2015-09-27 00:38	3.8	46.4
2015-09-27 00:42	3.8	46.4
2015-09-27 00:46	3.8	46.4
2015-09-27 00:50	3.8	46.4
2015-09-27 00:54	3.8	46.4
2015-09-27 00:58	3.8	46.4
2015-09-27 01:02	3.8	46.4
2015-09-27 01:06	3.8	46.4
2015-09-27 01:10	3.8	46.4
2015-09-27 01:14	3.8	46.4
2015-09-27 01:18	3.8	46.4
2015-09-27 01:22	3.8	46.4
2015-09-27 01:26	3.8	46.4
2015-09-27 01:30	3.8	46.4
2015-09-27 01:34	3.8	46.4
2015-09-27 01:38	3.8	46.4
2015-09-27 01:42	3.8	46.4
2015-09-27 01:46	3.8	46.4
2015-09-27 01:50	3.8	46.4
2015-09-27 01:54	3.8	46.4
2015-09-27 01:58	3.8	46.4
2015-09-27 02:02	3.8	46.4
2015-09-27 02:06	3.8	46.4
2015-09-27 02:10	3.8	46.4
2015-09-27 02:14	3.8	46.4
2015-09-27 02:18	3.8	46.4
2015-09-27 02:22	3.8	46.4
2015-09-27 02:26	3.8	46.4
2015-09-27 02:30	3.8	46.4
2015-09-27 02:34	3.8	46.4
2015-09-27 02:38	3.8	46.4
2015-09-27 02:42	3.8	46.4
2015-09-27 02:46	3.8	46.4
2015-09-27 02:50	3.8	46.4
2015-09-27 02:54	3.8	46.4
2015-09-27 02:58	3.8	46.4
2015-09-27 03:02	3.8	46.4
2015-09-27 03:06	3.8	46.4
2015-09-27 03:10	3.8	46.4
2015-09-27 03:14	3.8	46.4
2015-09-27 03:18	3.8	46.4
2015-09-27 03:22	3.8	46.4
2015-09-27 03:26	3.8	46.4
2015-09-27 03:30	3.8	46.4
2015-09-27 03:34	3.8	46.4
2015-09-27 03:38	3.8	46.4
2015-09-27 03:42	3.8	46.4
2015-09-27 03:46	3.8	46.4
2015-09-27 03:50	3.8	46.4
2015-09-27 03:54	3.8	46.4
2015-09-27 03:58	3.8	46.4
2015-09-27 04:02	3.8	46.4
2015-09-27 04:06	3.8	46.4
2015-09-27 04:10	3.8	46.4
2015-09-27 04:14	3.8	46.4
2015-09-27 04:18	3.8	46.4
2015-09-27 04:22	3.8	46.4
2015-09-27 04:26	3.8	46.4
2015-09-27 04:30	3.8	46.4
2015-09-27 04:34	3.8	46.4
2015-09-27 04:38	3.8	46.4
2015-09-27 04:42	3.8	46.4
2015-09-27 04:46	3.8	46.4
2015-09-27 04:50	3.8	46.4
2015-09-27 04:54	3.8	46.4
2015-09-27 04:58	3.8	46.4
2015-09-27 05:02	3.8	46.4
2015-09-27 05:06	3.8	46.4
2015-09-27 05:10	3.8	46.4
2015-09-27 05:14	3.8	46.4
2015-09-27 05:18	3.8	46.4
2015-09-27 05:22	3.8	46.4
2015-09-27 05:26		



ภาคผนวก ข.  
MCP3906A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# MCP3905A/05L/06A

## Energy Metering ICs with Active Real Power Pulse Output

### Features

- Supplies active (real) power measurement for single-phase, residential energy metering
- Supports IEC 62053 International Energy Metering Specification and legacy IEC 1036/61036/687 Specifications
- Two multi-bit, DAC, second-order, 16-bit, Delta-Sigma Analog-to-Digital Converters (ADCs)
- Reduced pulse width of calibration output frequency and mechanical counter drive for low power meter designs (**MCP3905L**)
- Increased output frequency constant options for meter design (**MCP3905L**)
- 0.1% typical measurement error over **500:1** dynamic range (**MCP3905A / MCP3905L**)
- 0.1% typical measurement error over **1000:1** dynamic range (**MCP3906A**)
- Programmable Gain Amplifier (PGA) for small signal inputs supports low value shunt current sensor:
  - **16:1** PGA - MCP3905A / MCP3905L
  - **32:1** PGA - MCP3906A
- Ultra-low drift on-chip reference: 15 ppm/°C (typ.)
- Direct drive for electromagnetic mechanical counter and two-phase stepper motors
- Low  $I_{DD}$  of 4 mA (typ.)
- Tamper output pin for negative power indication
- Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Supplies instantaneous real power on  $HF_{OUT}$  for meter calibration

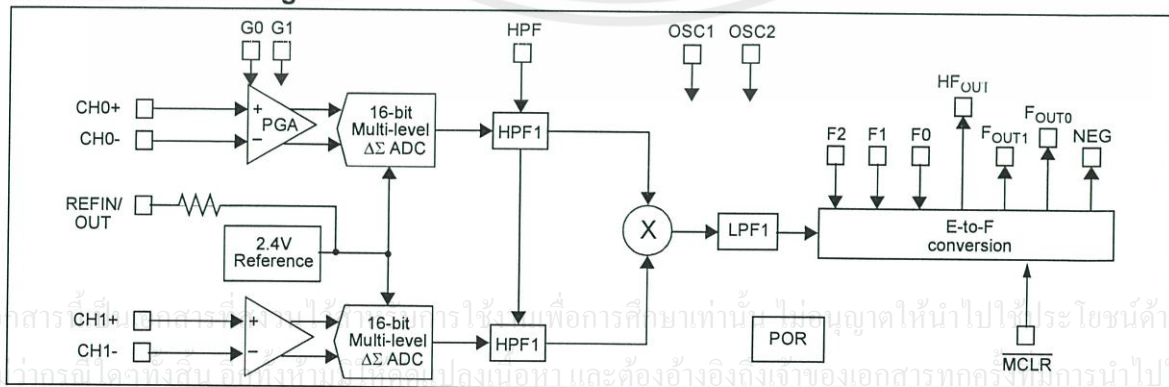
### Description

The MCP3905A/05L/06A devices are energy-metering ICs designed to support the IEC 62053 international metering standard specification. They supply a frequency output proportional to the average active real power, as well as a higher-frequency output proportional to the instantaneous power for meter calibration. The MCP3905L offers reduced pulse width of calibration output frequency and mechanical counter drive for lower power meter designs. They include two 16-bit, Delta-Sigma ADCs for a wide range of  $I_B$  and  $I_{MAX}$  currents and/or small shunt (<200  $\mu$ Ohms) meter designs. It includes an ultra-low drift voltage reference with < 15 ppm/°C through a specially designed band gap temperature curve for the minimum gradient across the industrial temperature range. A fixed-function DSP block is on-chip for active real-power calculation. A no-load threshold block prevents any current creep measurements. A Power-On Reset (POR) block restricts meter performance during low-voltage situations. These accurate energy metering ICs with high field reliability are available in the industry standard pinout.

### Package Type

24-Pin SSOP			
DV <sub>DD</sub>	1	24	F <sub>OUT0</sub>
HPF	2	23	F <sub>OUT1</sub>
AV <sub>DD</sub>	3	22	HF <sub>OUT</sub>
NC	4	21	D <sub>GND</sub>
CH0+	5	20	NEG
CH0-	6	19	NC
CH1-	7	18	OSC2
CH1+	8	17	OSC1
MCLR	9	16	G0
REFIN/OUT	10	15	G1
A <sub>GND</sub>	11	14	F0
F2	12	13	F1

### Functional Block Diagram



# MCP3905A/05L/06A

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings †

$V_{DD}$ .....	7.0V
Digital inputs and outputs w.r.t. $A_{GND}$ .....	-0.6V to $V_{DD} + 0.6V$
Analog input w.r.t. $A_{GND}$ .....	-6V to +6V
$V_{REF}$ input w.r.t. $A_{GND}$ .....	-0.6V to $V_{DD} + 0.6V$
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Ambient temp. with power applied .....	-65°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds) .....	+300°C
ESD on the analog inputs (HBM,MM) .....	5.0 kV, 500V
ESD on all other pins (HBM,MM) .....	5.0 kV, 500V

† **Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all parameters apply at  $AV_{DD} = DV_{DD} = 4.5V - 5.5V$ , Internal  $V_{REF}$ , HPF turned on (AC mode),  $A_{GND}, D_{GND} = 0V$ ,  $MCLK = 3.58 MHz$ ;  $T_A = -40°C$  to  $+85°C$ .

Parameter	Sym	Min	Typ.	Max	Units	Comment
<b>Overall Measurement Accuracy</b>						
Energy Measurement Error	E	—	0.1	—	% $F_{OUT}$	Channel 0 swings 1:500 range, MCP3905A, MCP3905L only (Note 1, Note 4)
		—	0.1	—	% $F_{OUT}$	Channel 0 swings 1:1000 range, MCP3906A only (Note 1, Note 4)
No-Load Threshold/Minimum Load	NLT	—	0.0015	—	% $F_{OUT}$ Max	Disabled when $F2, F1, F0 = 0, 1, 1$ (Note 5, Note 6)
Phase Delay Between Channels		—	—	1/MCLK	s	HPF = 0 and 1, < 1 MCLK (Note 4, Note 6, Note 7)
AC Power Supply Rejection (output frequency variation)	AC PSRR	—	0.01	—	% $F_{OUT}$	$F2, F1, F0 = 0, 1, 1$ (Note 3)
DC Power Supply Rejection (output frequency variation)	DC PSRR	—	0.01	—	% $F_{OUT}$	HPF = 1, Gain = 1 (Note 3)
System Gain Error		—	3	10	% $F_{OUT}$	(Note 2, Note 5)
<b>ADC/PGA Specifications</b>						
Offset Error	$V_{OS}$	—	2	5	mV	Referred to Input
Gain Error Match		—	0.5	—	% $F_{OUT}$	(Note 5)
<b>Internal Voltage Reference</b>						
Voltage		—	2.4	—	V	
Tolerance		—	±2	—	%	
Tempco		—	15	—	ppm/°C	

**Note 1:** Measurement error = (Energy Measured By Device - True Energy)/True Energy \* 100%. Accuracy is measured with signal ( $\pm 660$  mV) on Channel 1.  $F_{OUT0}, F_{OUT1}$  pulse outputs. Valid from 45 Hz to 65 Hz. See typical performance curves for higher frequencies and increased dynamic range.

**2:** Does not include internal  $V_{REF}$ . Gain = 1, CH0 = 470 mVDC, CH1 = 660 mVDC, difference between measured output frequency and expected transfer function.

**3:** Percent of  $HF_{OUT}$  output frequency variation; Includes external  $V_{REF} = 2.5V$ , CH1 = 100 mVRMS @ 50 Hz, CH2 = 100 mVRMS @ 50 Hz,  $AV_{DD} = 5V + 1V_{pp}$  @ 100 Hz. DC PSRR: 5V  $\pm 500$  mV

**4:** Error applies down to 60 degree lead (PF = 0.5 capacitive) and 60 degree lag (PF = 0.5 inductive).

**5:** Refer to Section 4.0 "Device Overview" for complete description.

**6:** Specified by characterization, not production tested.

**7:** 1 MCLK period at 3.58 MHz is equivalent to less than <0.005 degrees at 50 or 60 Hz.

# MCP3905A/05L/06A

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD} = DV_{DD} = 4.5V - 5.5V$ , Internal $V_{REF}$ , HPF turned on (AC mode), $A_{GND}, D_{GND} = 0V$ , $MCLK = 3.58 MHz$ ; $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ .						
Parameter	Sym	Min	Typ.	Max	Units	Comment
<b>Reference Input</b>						
Input Range		2.2	—	2.6	V	
Input Impedance		3.2	—	—	k $\Omega$	
Input Capacitance		—	—	10	pF	
<b>Analog Inputs</b>						
Maximum Signal Level		—	—	$\pm 1$	V	CH0+, CH0-, CH1+, CH1- to $A_{GND}$
Differential Input Voltage Range Channel 0		—	—	$\pm 470/G$	mV	G = PGA Gain on Channel 0
Differential Input Voltage Range Channel 1		—	—	$\pm 660$	mV	
Input Impedance		390	—	—	k $\Omega$	Proportional to $1/MCLK$ frequency
Bandwidth (Notch Frequency)		—	14	—	kHz	Proportional to $MCLK$ frequency, $MCLK/256$
<b>Oscillator Input</b>						
Frequency Range	MCLK	1	—	4	MHz	
<b>Power Specifications</b>						
Operating Voltage		4.5	—	5.5	V	$AV_{DD}, DV_{DD}$
$I_{DD,A}$	$I_{DD,A}$	—	2.7	3.0	mA	$AV_{DD}$ pin only
$I_{DD,D}$	$I_{DD,D}$	—	1.2	2.0	mA	$DV_{DD}$ pin only

- Note 1:** Measurement error = (Energy Measured By Device - True Energy)/True Energy \* 100%. Accuracy is measured with signal ( $\pm 660$  mV) on Channel 1.  $F_{OUT0}, F_{OUT1}$  pulse outputs. Valid from 45 Hz to 65 Hz. See typical performance curves for higher frequencies and increased dynamic range.
- 2:** Does not include internal  $V_{REF}$ . Gain = 1, CH0 = 470 mVDC, CH1 = 660 mVDC, difference between measured output frequency and expected transfer function.
- 3:** Percent of  $HF_{OUT}$  output frequency variation; Includes external  $V_{REF} = 2.5V$ , CH1 = 100 mVRMS @ 50 Hz, CH2 = 100 mVRMS @ 50 Hz,  $AV_{DD} = 5V + 1V_{pp}$  @ 100 Hz. DC PSRR:  $5V \pm 500$  mV
- 4:** Error applies down to 60 degree lead (PF = 0.5 capacitive) and 60 degree lag (PF = 0.5 inductive).
- 5:** Refer to **Section 4.0 "Device Overview"** for complete description.
- 6:** Specified by characterization, not production tested.
- 7:** 1 MCLK period at 3.58 MHz is equivalent to less than  $<0.005$  degrees at 50 or 60 Hz.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = 4.5V - 5.5V$ , $A_{GND}, D_{GND} = 0V$ .						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Temperature Ranges</b>						
Specified Temperature Range	$T_A$	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	$T_A$	-40	—	+125	$^{\circ}C$	(Note)
Storage Temperature Range	$T_A$	-65	—	+150	$^{\circ}C$	

**Note:** The MCP3905A/05L/06A operate over this extended temperature range, but with reduced performance. In any case, the Junction Temperature ( $T_J$ ) must not exceed the Absolute Maximum specification of  $+150^{\circ}C$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

## TIMING CHARACTERISTICS

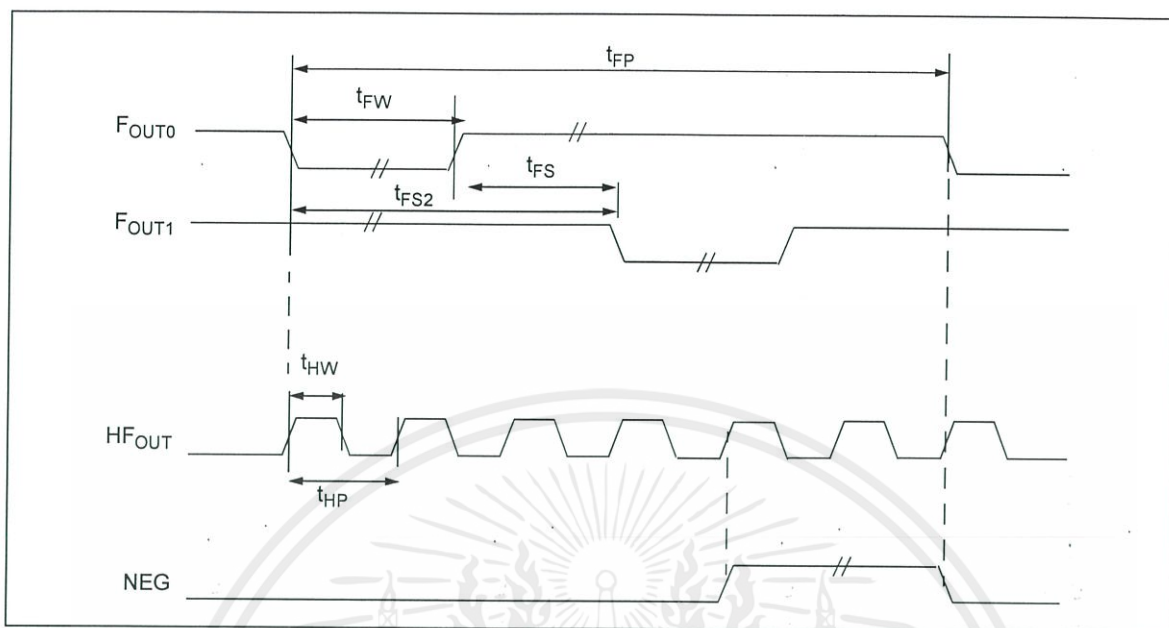
**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all parameters apply at  $V_{DD} = DV_{DD} = 4.5V - 5.5V$ ,  $A_{GND}, D_{GND} = 0V$ ,  $MCLK = 3.58 MHz$ ;  $T_A = -40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ .

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Comment
<b>Frequency Output</b>						
$F_{OUT0}$ and $F_{OUT1}$ Pulse Width (Logic Low) for MCP3905A, MCP3906A devices	$t_{FW}$	—	275	—	ms	984376 MCLK periods (Note 1)
$HF_{OUT}$ Pulse Width for MCP3905A, MCP3906A devices	$t_{HW}$	—	90	—	ms	322160 MCLK periods (Note 2)
$F_{OUT0}$ and $F_{OUT1}$ Pulse Width (Logic Low) for MCP3905L device	$t_{FW}$	—	130	—	ms	465344 MCLK periods (Note 1)
$HF_{OUT}$ Pulse Width for MCP3905L device	$t_{HW}$	—	65	—	ms	232672 MCLK periods (Note 2)
$F_{OUT0}$ and $F_{OUT1}$ Pulse Period	$t_{FP}$	Refer to Equation 4-1			s	
$HF_{OUT}$ Pulse Period	$t_{HP}$	Refer to Equation 4-2			s	
$F_{OUT0}$ to $F_{OUT1}$ Falling-Edge Time	$t_{FS2}$	—	$0.5 t_{FP}$	—		
$F_{OUT0}$ to $F_{OUT1}$ Min Separation	$t_{FS}$	—	4/MCLK	—		
$F_{OUT0}$ and $F_{OUT1}$ Output High Voltage	$V_{OH}$	4.5	—	—	V	$I_{OH} = 10 mA, DV_{DD} = 5.0V$
$F_{OUT0}$ and $F_{OUT1}$ Output Low Voltage	$V_{OL}$	—	—	0.5	V	$I_{OL} = 10 mA, DV_{DD} = 5.0V$
$HF_{OUT}$ Output High Voltage	$V_{OH}$	4.0	—	—	V	$I_{OH} = 5 mA, DV_{DD} = 5.0V$
$HF_{OUT}$ Output Low Voltage	$V_{OL}$	—	—	0.5	V	$I_{OL} = 5 mA, DV_{DD} = 5.0V$
High-Level Input Voltage (All Digital Input Pins)	$V_{IH}$	2.4	—	—	V	$DV_{DD} = 5.0V$
Low Level Input Voltage (All Digital Input Pins)	$V_{IL}$	—	—	0.85	V	$DV_{DD} = 5.0V$
Input Leakage Current		—	—	$\pm 3$	$\mu A$	$V_{IN} = 0, V_{IN} = DV_{DD}$
Pin Capacitance		—	—	10	pF	Note 3

- Note 1:** If output pulse period ( $t_{FP}$ ) falls below 984376\*2 MCLK periods for MCP3905A/6A and 465344\*2 MCLK periods for MCP3905L, then  $t_{FW} = 1/2 t_{FP}$ .
- Note 2:** If output pulse period ( $t_{HP}$ ) falls below 322160\*2 MCLK periods for MCP3905A/6A and 232672\*2 MCLK periods for MCP3905L, then  $t_{HW} = 1/2 t_{HP}$ . When F2, F1, F0 = 011,  $t_{HW}$  is fixed to 18  $\mu s$  (64 MCLK periods).
- Note 3:** Specified by characterization, not production tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MCP3905A/05L/06A



**FIGURE 1-1:** Output Timings for Pulse Outputs and Negative Power Pin.

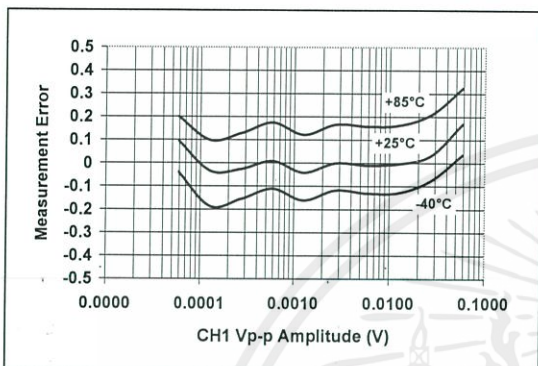
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

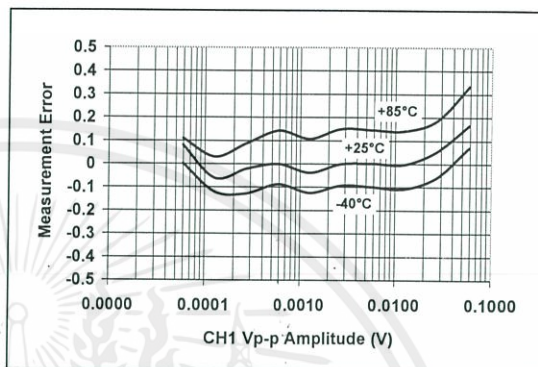
## 2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

**Note:** The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

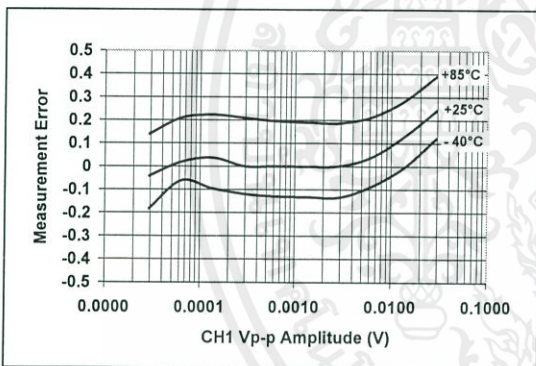
**Note:** Unless otherwise specified,  $DV_{DD}, AV_{DD} = 5V$ ;  $A_{GND}, D_{GND} = 0V$ ;  $V_{REF} = \text{Internal}$ ,  $HPF = 1$  (AC mode),  $MCLK = 3.58 \text{ MHz}$ .



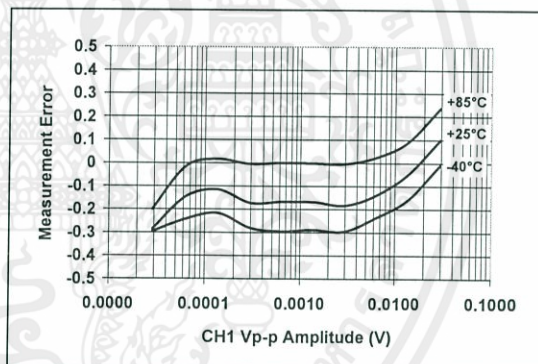
**FIGURE 2-1:** Measurement Error,  
Gain = 8 PF = 1.



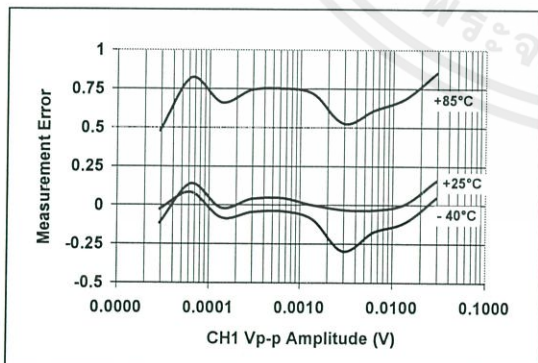
**FIGURE 2-4:** Measurement Error,  
Gain = 8, PF = 0.5.



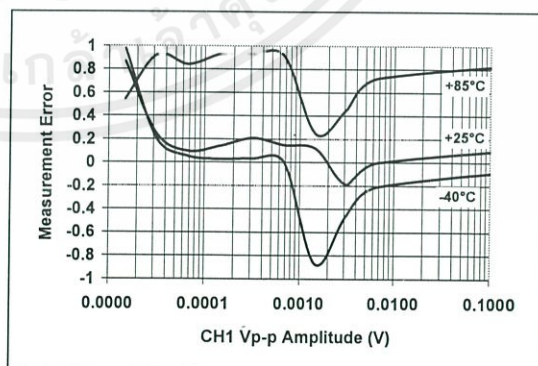
**FIGURE 2-2:** Measurement Error,  
Gain = 16, PF = 1.



**FIGURE 2-5:** Measurement Error,  
Gain = 16, PF = 0.5.



**FIGURE 2-3:** Measurement Error,  
Gain = 32, PF = 1.



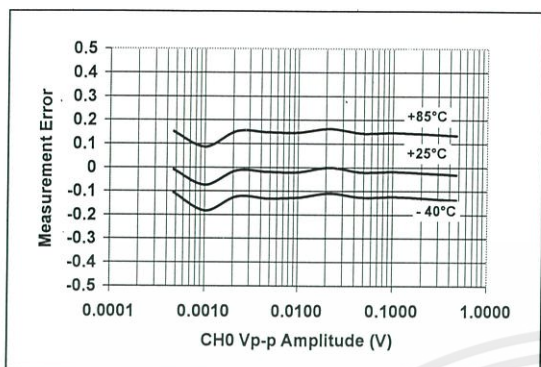
**FIGURE 2-6:** Measurement Error,  
Gain = 32, PF = 0.5.

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ

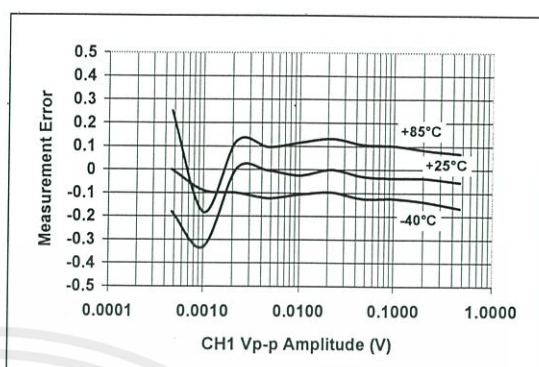
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

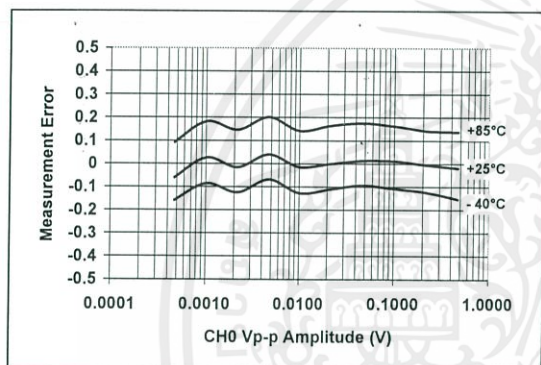
Note: Unless otherwise specified,  $DV_{DD}$ ,  $AV_{DD} = 5V$ ;  $A_{GND}$ ,  $D_{GND} = 0V$ ;  $V_{REF} = \text{Internal}$ ,  $HPF = 1$  (AC mode),  $MCLK = 3.58 \text{ MHz}$ .



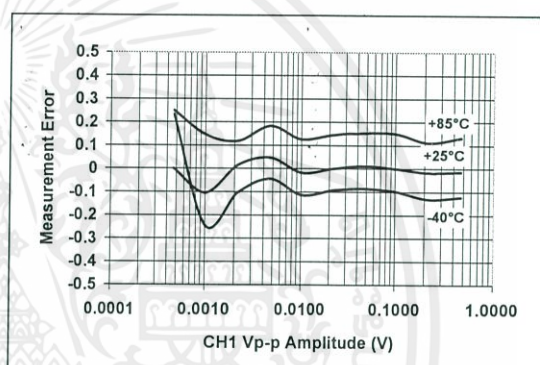
**FIGURE 2-7:** Measurement Error,  
Gain = 1, PF = 1.



**FIGURE 2-9:** Measurement Error,  
Gain = 1, PF = + 0.5.



**FIGURE 2-8:** Measurement Error,  
Gain = 2, PF = 1.

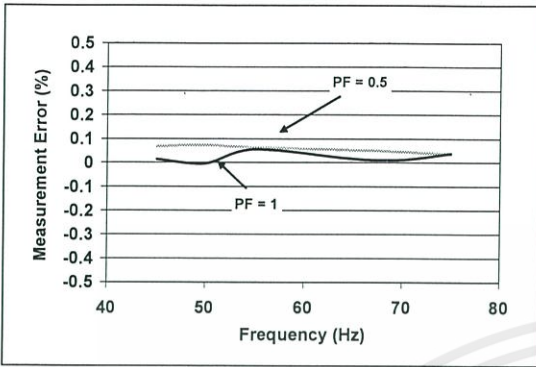


**FIGURE 2-10:** Measurement Error,  
Gain = 2, PF = + 0.5.

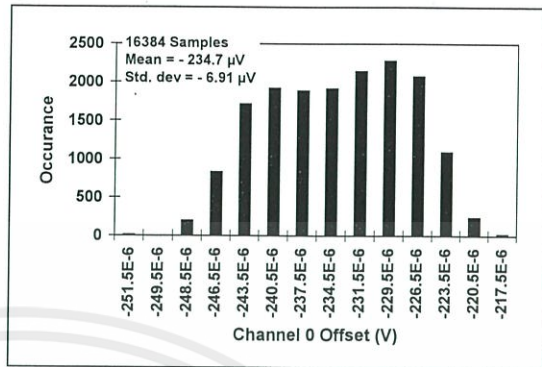
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

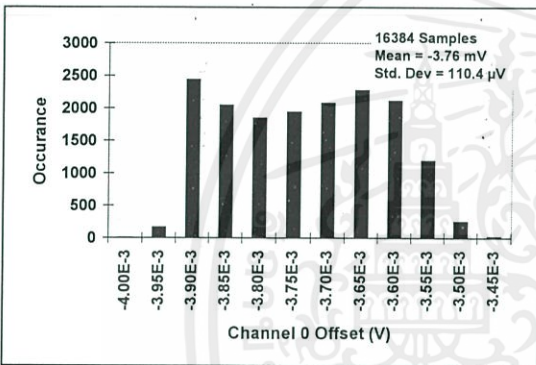
**Note:** Unless otherwise specified,  $V_{DD}$ ,  $AV_{DD}$  = 5V;  $A_{GND}$ ,  $D_{GND}$  = 0V;  $V_{REF}$  = Internal, HPF = 1 (AC mode), MCLK = 3.58 MHz.



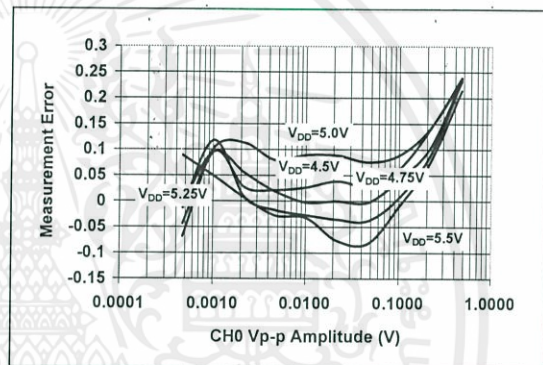
**FIGURE 2-11:** Measurement Error vs. Input Frequency.



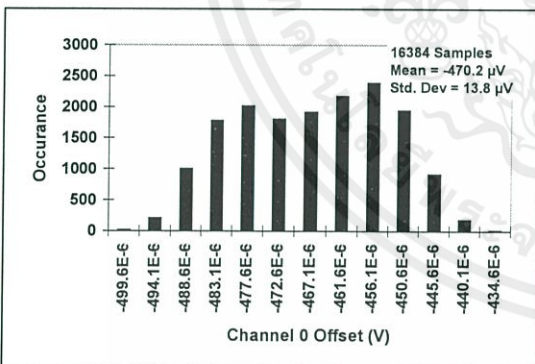
**FIGURE 2-14:** Channel 0 Offset Error (DC Mode, HPF Off),  $G = 16$ .



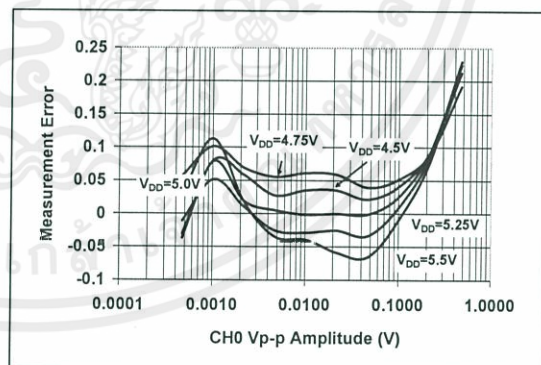
**FIGURE 2-12:** Channel 0 Offset Error (DC Mode, HPF off),  $G = 1$ .



**FIGURE 2-15:** Measurement Error vs.  $V_{DD}$  ( $G = 16$ ).



**FIGURE 2-13:** Channel 0 Offset Error (DC Mode, HPF off),  $G = 8$ .

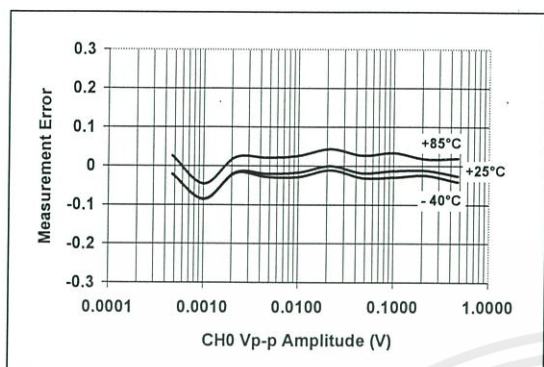


**FIGURE 2-16:** Measurement Error vs.  $V_{DD}$ ,  $G = 16$ , External  $V_{REF}$ .

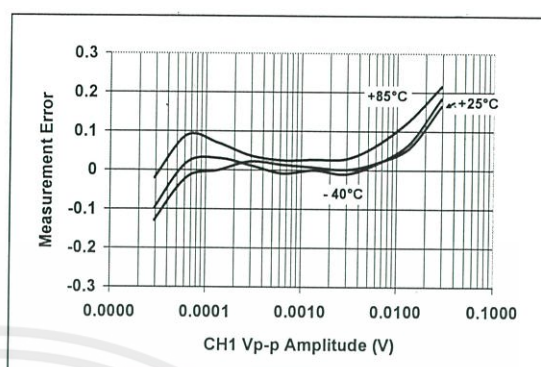
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

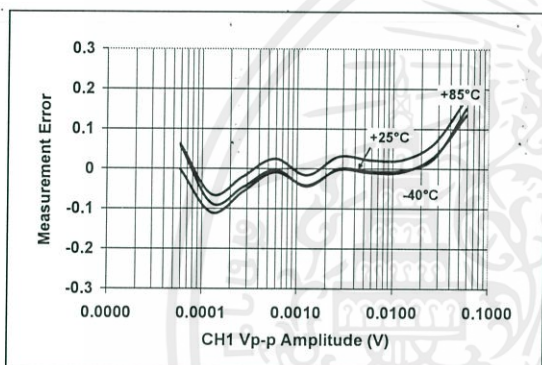
**Note:** Unless otherwise specified,  $DV_{DD}$ ,  $AV_{DD} = 5V$ ;  $A_{GND}$ ,  $D_{GND} = 0V$ ;  $V_{REF} = \text{Internal}$ ,  $HPF = 1$  (AC mode),  $MCLK = 3.58 \text{ MHz}$ .



**FIGURE 2-17:** Measurement Error w/ External  $V_{REF}$  ( $G = 1$ ).



**FIGURE 2-19:** Measurement Error w/ External  $V_{REF}$  ( $G = 16$ ).



**FIGURE 2-18:** Measurement Error w/ External  $V_{REF}$  ( $G = 8$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

## 3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE

Pin No.	Symbol	Function
1	DV <sub>DD</sub>	Digital Power Supply Pin
2	HPF	High-Pass Filters Control Logic Pin
3	AV <sub>DD</sub>	Analog Power Supply Pin
4	NC	No Connect
5	CH0+	Non-Inverting Analog Input Pin for Channel 0 (Current Channel)
6	CH0-	Inverting Analog Input Pin for Channel 0 (Current Channel)
7	CH1-	Inverting Analog Input Pin for Channel 1 (Voltage Channel)
8	CH1+	Non-Inverting Analog Input Pin for Channel 1 (Voltage Channel)
9	MCLR	Master Clear Logic Input Pin
10	REFIN/OUT	Voltage Reference Input/Output Pin
11	A <sub>GND</sub>	Analog Ground Pin, Return Path for internal analog circuitry
12	F2	Frequency Control for HF <sub>OUT</sub> Logic Input Pin
13	F1	Frequency Control for F <sub>OUT0/1</sub> Logic Input Pin
14	F0	Frequency Control for F <sub>OUT0/1</sub> Logic Input Pin
15	G1	Gain Control Logic Input Pin
16	G0	Gain Control Logic Input Pin
17	OSC1	Oscillator Crystal Connection Pin or Clock Input Pin
18	OSC2	Oscillator Crystal Connection Pin or Clock Output Pin
19	NC	No Connect
20	NEG	Negative Power Logic Output Pin
21	D <sub>GND</sub>	Digital Ground Pin, Return Path for Internal Digital Circuitry
22	HF <sub>OUT</sub>	High-Frequency Logic Output Pin (Intended for Calibration)
23	F <sub>OUT1</sub>	Differential Mechanical Counter Logic Output Pin
24	F <sub>OUT0</sub>	Differential Mechanical Counter Logic Output Pin

### 3.1 Digital V<sub>DD</sub> (DV<sub>DD</sub>)

DV<sub>DD</sub> is the power supply pin for the digital circuitry within the MCP3905A/05L/06A devices.

This pin requires appropriate bypass capacitors and should be maintained to 5V ±10% for specified operation. Refer to Section 5.0 “Applications Information”.

### 3.2 High-Pass Filter Input Logic Pin (HPF)

HPF controls the state of the high-pass filter in both input channels. A logic ‘1’ enables both filters, removing any DC offset coming from the system or the device. A logic ‘0’ disables both filters allowing DC voltages to be measured.

### 3.3 Analog V<sub>DD</sub> (AV<sub>DD</sub>)

AV<sub>DD</sub> is the power supply pin for the analog circuitry within the MCP3905A/05L/06A devices.

This pin requires appropriate bypass capacitors and should be maintained to 5V ±10% for specified operation. Refer to Section 5.0 “Applications Information”.

### 3.4 Current Channel (CH0-, CH0+)

CH0- and CH0+ are the fully differential analog voltage input channels for the current measurement, containing a PGA for small-signal input, such as shunt current sensing. The linear and specified region of this channel is dependant on the PGA gain. This corresponds to a maximum differential voltage of ±470 mV/GAIN and maximum absolute voltage, with respect to A<sub>GND</sub>, of ±1V. Up to ±6V can be applied to these pins without the risk of permanent damage.

Refer to Section 1.0 “Electrical Characteristics”.

# MCP3905A/05L/06A

## 3.5 Voltage Channel (CH1-,CH1+)

CH1- and CH1+ are the fully differential analog voltage input channels for the voltage measurement. The linear and specified region of these channels have a maximum differential voltage of  $\pm 660$  mV and a maximum absolute voltage of  $\pm 1$ V, with respect to  $A_{GND}$ . Up to  $\pm 6$ V can be applied to these pins without the risk of permanent damage.

Refer to **Section 1.0 “Electrical Characteristics”**.

## 3.6 Master Clear (MCLR)

MCLR controls the reset for both delta-sigma ADCs, all digital registers, the SINC filters for each channel and all accumulators post multiplier. A logic '0' resets all registers and holds both ADCs in a Reset condition. The charge stored in both ADCs is flushed and their output is maintained to 0x0000h. The only block consuming power on the digital power supply during Reset is the oscillator circuit.

## 3.7 Reference (REFIN/OUT)

REFIN/OUT is the output for the internal 2.4V reference. This reference has a typical temperature coefficient of 15 ppm/°C and a tolerance of  $\pm 2\%$ . In addition, an external reference can also be used by applying voltage to this pin within the specified range. This pin requires appropriate bypass capacitors to  $A_{GND}$ , even when using the internal reference only. Refer to **Section 5.0 “Applications Information”**.

## 3.8 Analog Ground ( $A_{GND}$ )

$A_{GND}$  is the ground connection to internal analog circuitry (ADCs, PGA, band gap reference, POR). To ensure accuracy and noise cancellation, this pin must be connected to the same ground as  $D_{GND}$ , preferably with a star connection. If an analog ground plane is available, it is recommended that this device be tied to this plane of the PCB. This plane should also reference all other analog circuitry in the system.

## 3.9 Frequency Control Logic Pins (F2, F1, F0)

F2, F1 and F0 select the high-frequency output and low-frequency output pin ranges by changing the value of the constants  $F_C$  and  $H_{FC}$  used in the device transfer function.  $F_C$  and  $H_{FC}$  are the frequency constants that define the period of the output pulses for the device.

## 3.10 Gain Control Logic Pins (G1, G0)

G1 and G0 select the PGA gain on Channel 0 from three different values: 1, 8 and 16.

## 3.11 Oscillator (OSC1, OSC2)

OSC1 and OSC2 provide the master clock for the device. A resonant crystal or clock source with a similar sinusoidal waveform must be placed across these pins to ensure proper operation. The typical clock frequency specified is 3.579545 MHz. However, the clock frequency can be with the range of 1 MHz to 4 MHz without disturbing measurement error. Appropriate load capacitance should be connected to these pins for proper operation.

A full-swing, single-ended clock source may be connected to OSC1 with proper resistors in series to ensure no ringing of the clock source due to fast transient edges.

## 3.12 Negative Power Output Logic Pin (NEG)

NEG detects the phase difference between the two channels and will go to a logic '1' state when the phase difference is greater than  $90^\circ$  (i.e., when the measured real power is negative). The output state is synchronous with the rising-edge of  $HF_{OUT}$  and maintains the logic '1' until the real power becomes positive again and  $HF_{OUT}$  shows a pulse.

## 3.13 Ground Connection ( $D_{GND}$ )

$D_{GND}$  is the ground connection to internal digital circuitry (SINC filters, multiplier, HPF, LPF, digital-to-frequency converter and oscillator). To ensure accuracy and noise cancellation,  $D_{GND}$  must be connected to the same ground as  $A_{GND}$ , preferably with a star connection. If a digital ground plane is available, it is recommended that this device be tied to this plane of the Printed Circuit Board (PCB). This plane should also reference all other digital circuitry in the system.

## 3.14 High-Frequency Output ( $HF_{OUT}$ )

$HF_{OUT}$  is the high-frequency output of the device and supplies the instantaneous real-power information. The output is a periodic pulse output, with its period proportional to the measured real power, and to the  $HF_C$  constant defined by F0, F1 and F2 pin logic states. This output is the preferred output for calibration due to faster output frequencies, giving smaller calibration times. Since this output gives instantaneous real power, the  $2\omega$  ripple on the output should be noted. However, the average period will show minimal drift.

## 3.15 Frequency Output ( $F_{OUT0}$ , $F_{OUT1}$ )

$F_{OUT0}$  and  $F_{OUT1}$  are the frequency outputs of the device that supply the average real-power information. The outputs are periodic pulse outputs, with its period proportional to the measured real power, and to the  $F_C$  constant, defined by F0 and F1 pin logic states. These pins include high-output drive capability for direct use of electromechanical counters and 2-phase stepper motors. Since this output supplies average real power, any  $2\omega$  ripple on the output pulse period is minimal.

# MCP3905A/05L/06A

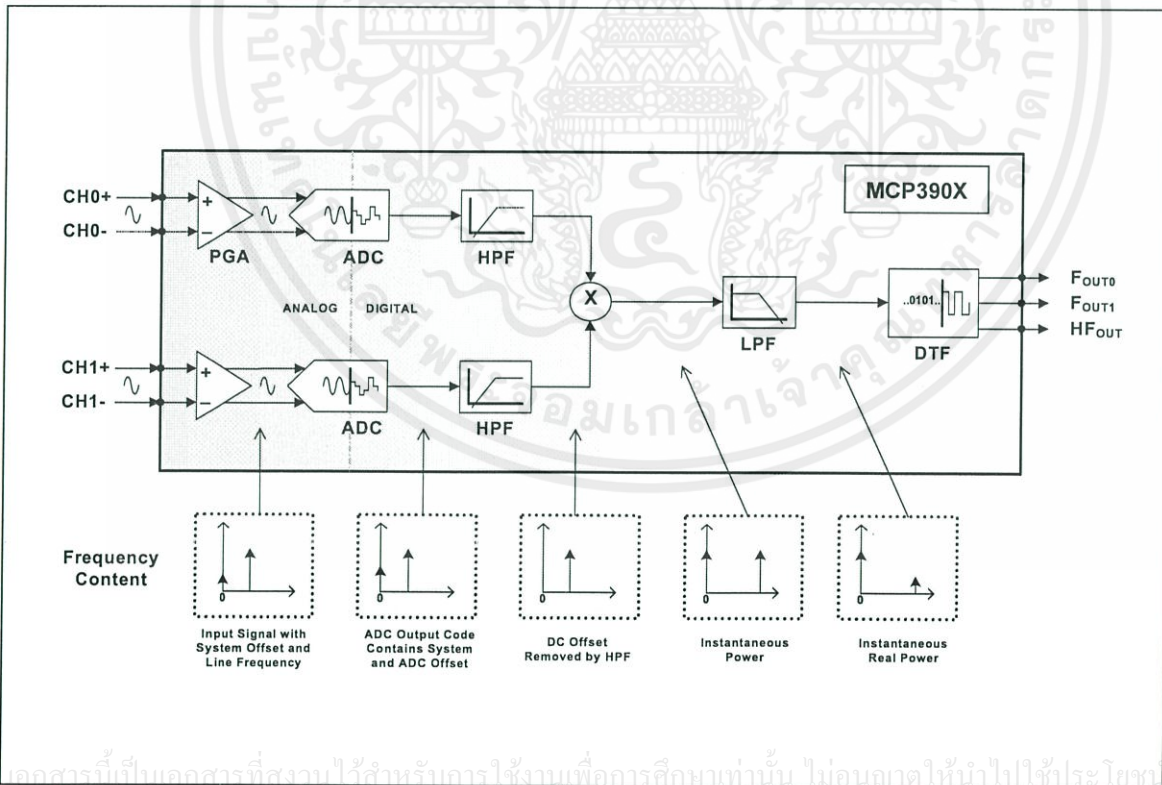
## 4.0 DEVICE OVERVIEW

The MCP3905A/05L/06A devices are energy metering ICs that supply a frequency output proportional to active (real) power, and higher frequency output proportional to the instantaneous power for meter calibration. Both channels use 16-bit, second-order, delta-sigma ADCs that oversample the input at a frequency equal to MCLK/4, allowing for wide dynamic range input signals. A Programmable Gain Amplifier (PGA) increases the usable range on the current input channel (Channel 0). The calculation of the active power, and the filtering associated with this calculation is performed in the digital domain, ensuring better stability and drift performance. Figure 4-1 represents the simplified block diagram of the MCP3905A/05L/06A, detailing its main signal processing blocks.

Two digital high-pass filters cancel the system offset on both channels such that the real-power calculation does not include any circuit or system offset. After being high-pass filtered, the voltage and current signals are multiplied to give the instantaneous power signal. This signal does not contain the DC offset components, such that the averaging technique can be efficiently used to give the desired active-power output.

The instantaneous power signal contains the real-power information; it is the DC component of the instantaneous power. The averaging technique can be used with both sinusoidal and non-sinusoidal waveforms, as well as for all power factors. The instantaneous power is thus low-pass filtered in order to produce the instantaneous real-power signal.

A digital-to-frequency converter accumulates the instantaneous active real power information to produce output pulses with a frequency proportional to the average real power. The low-frequency pulses present at the F<sub>OUT0</sub> and F<sub>OUT1</sub> outputs are designed to drive electromechanical counters and two-phase stepper motors displaying the real-power energy consumed. Each pulse corresponds to a fixed quantity of real energy, selected by the F2, F1 and F0 logic settings. The HF<sub>OUT</sub> output has a higher frequency setting and less integration period such that it can represent the instantaneous real-power signal. Due to the shorter accumulation time, it enables the user to proceed to faster calibration under steady load conditions (see Section 4.7 “F<sub>OUT0/1</sub> and HF<sub>OUT</sub> Output Frequencies”).



**FIGURE 4-1:** Simplified MCP3905A/05L/06A Block Diagram with Frequency Contents.

# MCP3905A/05L/06A

## 4.1 Analog Inputs

The MCP3905A/05L/06A analog inputs can be connected directly to the current and voltage transducers (such as shunts or current transformers). Each input pin is protected by specialized ESD structures that are certified to pass 5 kV HBM and 500V MM contact charge. These structures also allow up to  $\pm 6V$  continuous voltage to be present at their inputs without the risk of permanent damage.

Both channels have fully differential voltage inputs for better noise performance. The absolute voltage at each pin relative to  $A_{GND}$  should be maintained in the  $\pm 1V$  range during operation in order to ensure the measurement error performance. The common-mode signals should be adapted to respect both the previous conditions and the differential input voltage range. For best performance, the common-mode signals should be referenced to  $A_{GND}$ .

The current channel comprises a PGA on the front-end to allow for smaller signals to be measured without additional signal conditioning. The maximum differential voltage specified on Channel 0 is equal to  $\pm 470$  mV/Gain (see Table 4-1). The maximum peak voltage specified on Channel 1 is equal to  $\pm 660$  mV.

**TABLE 4-1: MCP3905A/MCP3905L GAIN SELECTIONS**

G1	G0	CH0 Gain	Maximum CH0 Voltage
0	0	1	$\pm 470$ mV
0	1	2	$\pm 235$ mV
1	0	8	$\pm 60$ mV
1	1	16	$\pm 30$ mV

**TABLE 4-2: MCP3906A GAIN SELECTIONS**

G1	G0	CH0 Gain	Maximum CH0 Voltage
0	0	1	$\pm 470$ mV
0	1	32	$\pm 15$ mV
1	0	8	$\pm 60$ mV
1	1	16	$\pm 30$ mV

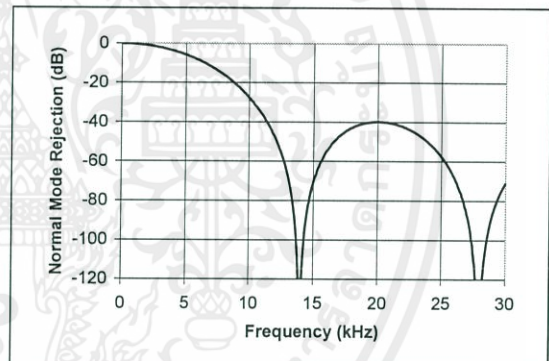
## 4.2 16-Bit Delta-Sigma A/D Converters

The ADCs used in the MCP3905A/05L/06A for both current and voltage channel measurements are delta-sigma ADCs. They comprise a second-order, delta-sigma modulator using a multi-bit DAC and a third-order SINC filter. The delta-sigma architecture is very appropriate for the applications targeted by the MCP3905A/05L/06A because it is a waveform-oriented converter architecture that can offer both high linearity and low distortion performance throughout a wide input dynamic range. It also creates minimal requirements for the anti-aliasing filter design. The multi-bit architec-

ture used in the ADC minimizes quantization noise at the output of the converters without disturbing the linearity.

Both ADCs have a 16-bit resolution, allowing wide input dynamic range sensing. The oversampling ratio of both converters is 64. Both converters are continuously converting during normal operation. When the MCLR pin is low, both converters will be in Reset and output code 0x0000h. If the voltage at the inputs of the ADC is larger than the specified range, the linearity is no longer specified. However, the converters will continue to produce output codes until their saturation point is reached. The DC saturation point is around 700 mV for Channel 0 and 1V for Channel 1, using internal voltage reference.

The clocking signals for the ADCs are equally distributed between the two channels in order to minimize phase delays to less than 1 MCLK period (see Section 3.2, "High-Pass Filter Input Logic Pin (HPF)"). The SINC filters main notch is positioned at  $MCLK/256$  (14 kHz with  $MCLK = 3.58$  MHz), allowing the user to be able to measure wide harmonic content on either channel. The magnitude response of the SINC filter is shown in Figure 4-2.



**FIGURE 4-2: SINC Filter Magnitude Response (MCLK = 3.58 MHz).**

## 4.3 Ultra-Low Drift $V_{REF}$

The MCP3905A/05L/06A devices contain an internal voltage reference source specially designed to minimize drift over temperature. This internal  $V_{REF}$  supplies reference voltage to both current and voltage channels ADCs. The typical value of this voltage reference is  $2.4V \pm 100$  mV. The internal reference has a very low typical temperature coefficient of  $\pm 15$  ppm/ $^{\circ}C$ , allowing the output frequencies to have minimal variation with respect to temperature since they are proportional to  $(1/V_{REF})^2$ .

The output pin for the voltage reference is REFIN/OUT. Appropriate bypass capacitors must be connected to the REFIN/OUT pin for proper operation (see Section 5.0 "Applications Information"). The

# MCP3905A/05L/06A

voltage reference source impedance is typically  $4\text{ k}\Omega$ , which enables this voltage reference to be overdriven by an external voltage reference source.

If an external voltage reference source is connected to the REFIN/OUT pin, the external voltage will be used as the reference for both current and voltage channel ADCs. The voltage across the source resistor will then be the difference between the internal and external voltage. The allowed input range for the external voltage source goes from 2.2V to 2.6V for accurate measurement error. A  $V_{REF}$  value outside of this range will cause additional heating and power consumption due to the source resistor, which might affect measurement error.

## 4.4 Power-On Reset (POR)

The MCP3905A/05L/06A devices contain an internal POR circuit that monitors analog supply voltage  $AV_{DD}$  during operation. This circuit ensures correct device startup at system power-up and system power-down events. The POR circuit has built-in hysteresis and a timer to give a high degree of immunity to potential ripple and noise on the power supplies, allowing proper settling of the power supply during power-up. A  $0.1\text{ }\mu\text{F}$  decoupling capacitor should be mounted as close as possible to the  $AV_{DD}$  pin, providing additional transient immunity (see Section 5.0 “Applications Information”).

The threshold voltage is typically set at 4V, with a tolerance of about  $\pm 5\%$ . If the supply voltage falls below this threshold, the MCP3905A/05L/06A devices will be held in a Reset condition (equivalent to applying logic '0' on the  $MCLR$  pin). The typical hysteresis value is approximately 200 mV in order to prevent glitches on the power supply.

Once a power-up event has occurred, an internal timer prevents the part from outputting any pulse for approximately 1s (with  $MCLK = 3.58\text{ MHz}$ ), thereby preventing potential metastability due to intermittent resets caused by an unsettled regulated power supply. Figure 4-3 illustrates the different conditions for a power-up and a power-down event in the typical conditions.

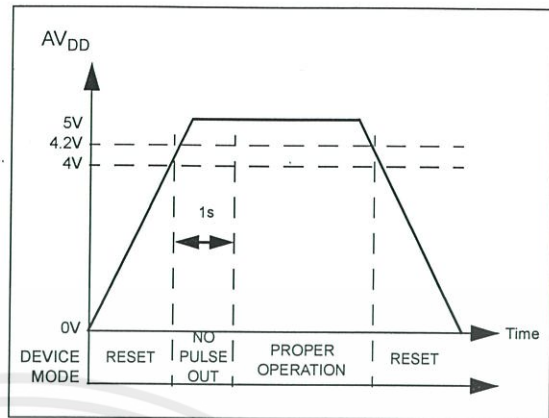


FIGURE 4-3: Power-on Reset Operation.

## 4.5 High-Pass Filters and Multiplier

The active real-power value is extracted from the DC instantaneous power. Therefore, any DC offset component present on Channel 0 and Channel 1 affects the DC component of the instantaneous power and will cause the real-power calculation to be erroneous. In order to remove DC offset components from the instantaneous power signal, a high-pass filter has been introduced on each channel. Since the high-pass filtering introduces phase delay, identical high-pass filters are implemented on both channels. The filters are clocked by the same digital signal, ensuring a phase difference between the two channels of less than one  $MCLK$  period. Under typical conditions ( $MCLK = 3.58\text{ MHz}$ ), this phase difference is less than  $0.005^\circ$ , with a line frequency of 50 Hz. The cut-off frequency of the filter (4.45 Hz) has been chosen to induce minimal gain error at typical line frequencies, allowing sufficient settling time for the desired applications. The two high-pass filters can be disabled by applying logic '0' to the HPF pin.

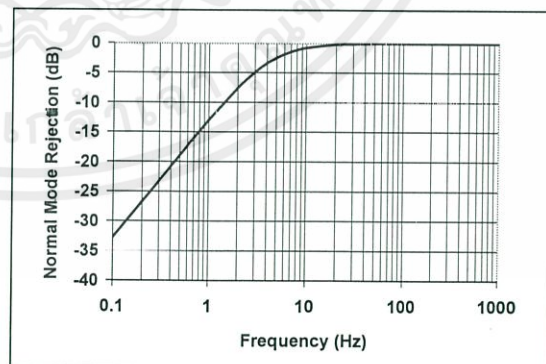


FIGURE 4-4: HPF Magnitude Response ( $MCLK = 3.58\text{ MHz}$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

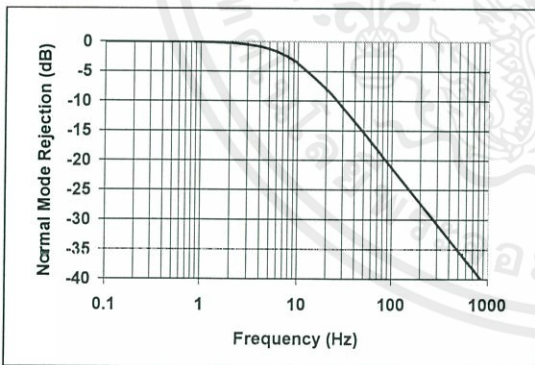
# MCP3905A/05L/06A

The multiplier output gives the product of the two high-pass filtered channels, corresponding to instantaneous real power. Multiplying two sine wave signals by the same  $\omega$  frequency gives a DC component and a  $2\omega$  component. The instantaneous power signal contains the real power of its DC component, while also containing  $2\omega$  components coming from the line frequency multiplication. These  $2\omega$  components come for the line frequency (and its harmonics) and must be removed in order to extract the real-power information. This is accomplished using the low-pass filter and DTF converter.

## 4.6 Low-Pass Filter and DTF Converter

The MCP3905A/05L/06A low-pass filter is a first-order IIR filter that extracts the active real-power information (DC component) from the instantaneous power signal. The magnitude response of this filter is detailed in Figure 4-5. Due to the fact that the instantaneous power signal has harmonic content (coming from the  $2\omega$  components of the inputs), and since the filter is not ideal, there will be some ripple at the output of the low-pass filter at the harmonics of the line frequency.

The cut-off frequency of the filter (8.9 Hz) has been chosen to have sufficient rejection for commonly-used line frequencies (50 Hz and 60 Hz). With a standard input clock (MCLK = 3.58 MHz) and a 50 Hz line frequency, the rejection of the  $2\omega$  component (100 Hz) will be more than 20 dB. This equates to a  $2\omega$  component containing 10 times less power than the main DC component (i.e., the average active real power).



**FIGURE 4-5:** LPF Magnitude Response (MCLK = 3.58 MHz).

The output of the low-pass filter is accumulated in the digital-to-frequency converter. This accumulation is compared to a different digital threshold for  $F_{OUT0/1}$  and  $HF_{OUT}$ , representing a quantity of real energy measured by the part. Every time the digital threshold on  $F_{OUT0/1}$  or  $HF_{OUT}$  is crossed, the part will output a pulse (See Section 4.7 “ $F_{OUT0/1}$  and  $HF_{OUT}$  Output Frequencies”).

The equivalent quantity of real energy required to output a pulse is much larger for the  $F_{OUT0/1}$  outputs than the  $HF_{OUT}$ . This is such that the integration period for the  $F_{OUT0/1}$  outputs is much larger. This larger integration period acts as another low-pass filter so that the output ripple due to the  $2\omega$  components is minimal. However, these components are not totally removed, since realized low-pass filters are never ideal. This will create a small jitter in the output frequency. Averaging the output pulses with a counter or a MCU in the application will then remove the small sinusoidal content of the output frequency and filter out the remaining  $2\omega$  ripple.

$HF_{OUT}$  is intended to be used for calibration purposes due to its instantaneous power content. The shorter integration period of  $HF_{OUT}$  demands that the  $2\omega$  component be given more attention. Since a sinusoidal signal average is zero, averaging the  $HF_{OUT}$  signal in steady-state conditions will give the proper real energy value.

## 4.7 $F_{OUT0/1}$ and $HF_{OUT}$ Output Frequencies

The thresholds for the accumulated energy are different for  $F_{OUT0/1}$  and  $HF_{OUT}$  (i.e., they have different transfer functions). The  $F_{OUT0/1}$  allowed output frequencies are quite low in order to allow superior integration time (see Section 4.6 “Low-Pass Filter and DTF Converter”). The  $F_{OUT0/1}$  output frequency can be calculated with the following equation:

### EQUATION 4-1: $F_{OUT}$ FREQUENCY OUTPUT EQUATION

$$F_{OUT}(Hz) = \frac{8.06 \times V_0 \times V_1 \times G \times F_C}{(V_{REF})^2}$$

Where:

- $V_0$  is the RMS differential voltage on Channel 0
- $V_1$  is the RMS differential voltage on Channel 1
- $G$  is the PGA gain on Channel 0 (current channel)
- $F_C$  is the frequency constant selected
- $V_{REF}$  is the voltage reference

For a given DC input  $V$ , the DC and RMS values are equivalent. For a given AC input signal with peak-to-peak amplitude of  $V$ , the equivalent RMS value is  $V/\sqrt{2}$ , assuming purely sinusoidal signals. Note that since the real power is the product of two RMS inputs, the output frequencies of AC signals are half of the DC inputs ones, again assuming purely sinusoidal AC signals. The constant  $F_C$  depends on the  $F_{OUT0}$  and  $F_{OUT1}$  digital settings. Table 4-3 shows  $F_{OUT0/1}$  output frequencies for the different logic settings.

# MCP3905A/05L/06A

The high-frequency output  $HF_{OUT}$  has lower integration times and, thus, higher frequencies. The output frequency value can be calculated with the following equation:

## EQUATION 4-2: $HF_{OUT}$ FREQUENCY OUTPUT EQUATION

$$HF_{OUT}(Hz) = \frac{8.06 \times V_0 \times V_1 \times G \times HF_C}{(V_{REF})^2}$$

Where:

$V_0$  is the RMS differential voltage on channel 0  
 $V_1$  is the RMS differential voltage on channel 1  
 $G$  is the PGA gain on channel 0 (current channel)  
 $HF_C$  is the frequency constant selected  
 $V_{REF}$  is the voltage reference

The constant  $HF_C$  depends on the  $F_{OUT0}$  and  $F_{OUT1}$  digital settings with the Table 4-4.

The detailed timings of the output pulses are described in the **Timing Characteristics** table (see **Section 1.0 "Electrical Characteristics"** and Figure 1-1).

## MINIMAL OUTPUT FREQUENCY FOR NO-LOAD THRESHOLD

The MCP3905A/05L/06A devices also include, on each output frequency, a no-load threshold circuit that will eliminate any creep effects in the meter. The outputs will not show any pulse if the output frequency falls below the no-load threshold. The minimum output frequency on  $F_{OUT0/1}$  and  $HF_{OUT}$  is equal to 0.0015% of the maximum output frequency (respectively  $F_C$  and  $HF_C$ ) for each of the F2, F1 and F0 selections (see Table 4-3 and Table 4-4); except when F2, F1, F0 = 011. In this last configuration, the no-load threshold feature is disabled. The selection of  $F_C$  will determine the start-up current load. In order to respect the IEC standards requirements, the meter will have to be designed to allow start-up currents compatible with the standards by choosing the  $F_C$  value matching these requirements. For additional applications information on no-load threshold, startup current and other meter design points, refer to AN994, "IEC Compliant Active Energy Meter Design Using The MCP3905/6", (DS00994).

TABLE 4-3: MCP3905L OUTPUT FREQUENCY SETTINGS

F2	F1	F0	$HF_C$	$HF_C$ (Hz)	$HF_C$ (Hz), MCLK= 3.58 MHz	$HF_{OUT}$ (Hz), w/ full scale AC inputs	$F_C$ (Hz)	$F_C$ (Hz), MCLK= 3.58 MHz
0	0	0	$64XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{21}$	1.71
0	0	1	$32XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{20}$	3.41
0	1	0	$16XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{19}$	6.83
0	1	1	$2048XF_C$	$MCLK/2^7$	27968.75	6070.12	$MCLK/2^{18}$	13.66
1	0	0	$8XF_C$	$MCLK/2^{16}$	54.62	11.85	$MCLK/2^{19}$	6.83
1	0	1	$64XF_C$	$MCLK/2^{16}$	54.62	11.85	$MCLK/2^{22}$	0.85
1	1	0	$32XF_C$	$MCLK/2^{16}$	54.62	11.85	$MCLK/2^{21}$	1.71
1	1	1	$16XF_C$	$MCLK/2^{16}$	54.62	11.85	$MCLK/2^{20}$	3.41

TABLE 4-4: MCP3905A/06A OUTPUT FREQUENCY SETTINGS

F2	F1	F0	$HF_C$	$HF_C$ (Hz)	$HF_C$ (Hz), MCLK= 3.58 MHz	$HF_{OUT}$ (Hz), w/ full scale AC inputs	$F_C$ (Hz)	$F_C$ (Hz), MCLK= 3.58 MHz
0	0	0	$64XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{21}$	1.71
0	0	1	$32XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{20}$	3.41
0	1	0	$16XF_C$	$MCLK/2^{15}$	109.25	23.71	$MCLK/2^{19}$	6.83
0	1	1	$2048XF_C$	$MCLK/2^7$	27968.75	6070.12	$MCLK/2^{18}$	13.66
1	0	0	$128XF_C$	$MCLK/2^{14}$	219.51	47.42	$MCLK/2^{21}$	1.71
1	0	1	$64XF_C$	$MCLK/2^{14}$	219.51	47.42	$MCLK/2^{20}$	3.41
1	1	0	$32XF_C$	$MCLK/2^{14}$	219.51	47.42	$MCLK/2^{19}$	6.83
1	1	1	$16XF_C$	$MCLK/2^{14}$	219.51	47.42	$MCLK/2^{18}$	13.66

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.0 APPLICATIONS INFORMATION

### 5.1 Meter Design using the MCP3905A/05L/06A

For all applications information, refer to AN994, "IEC Compliant Active Energy Meter Design Using The MCP3905/6" (DS00994). This application note includes all required energy meter design information, including the following:

- Meter rating and current sense choices
- Shunt design
- PGA selection
- F2, F1, F0 selection
- Meter calibration
- Anti-aliasing filter design
- Compensation for parasitic shunt inductance
- EMC design
- Power supply design
- No-Load threshold
- Start-up current
- Accuracy Testing Results from MCP3905-based meter
- EMC Testing Results from MCP3905-based meter



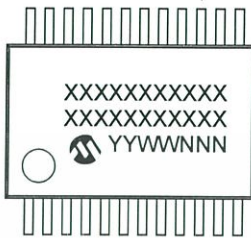
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

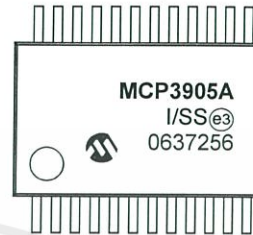
## 6.0 PACKAGING INFORMATION

### 6.1 Package Marking Information

24-Lead SSOP



Examples:

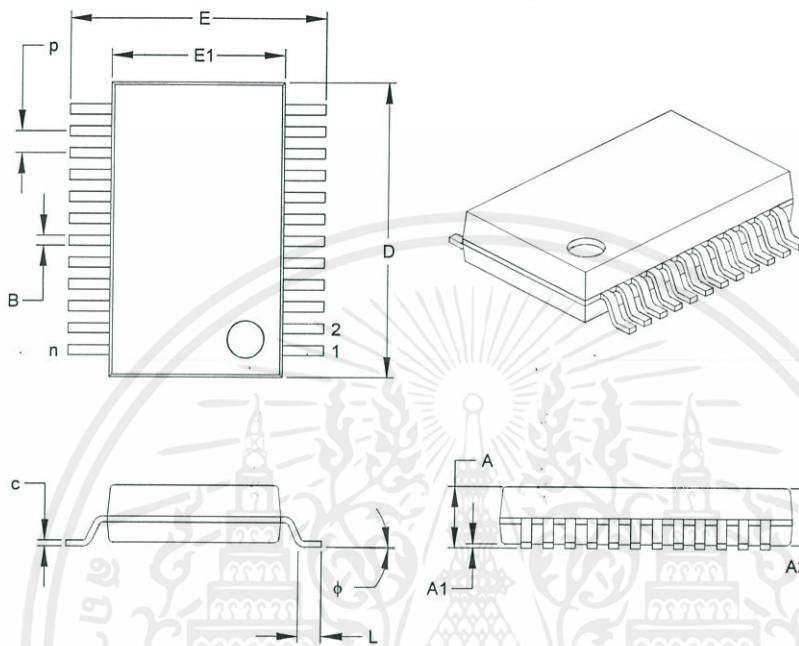


<b>Legend:</b>	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
	(e3)	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.
<b>Note:</b>	In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.	

# MCP3905A/05L/06A

## 24-Lead Plastic Shrink Small Outline (SS) (SSOP)

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	INCHES			MILLIMETERS*		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		24			24	
Pitch	p		.026			0.65	
Overall Height	A	.068	.073	.078	1.73	1.86	1.99
Molded Package Thickness	A2	.066	.068	.070	1.68	1.73	1.78
Standoff	A1	.002	.005	.008	0.05	0.13	0.21
Overall Width	E	.301	.307	.311	7.65	7.80	7.90
Molded Package Width	E1	.205	.209	.212	5.20	5.30	5.38
Overall Length	D	.318	.323	.328	8.07	8.20	8.33
Foot Length	L	.025	.030	.037	0.63	0.75	0.95
Lead Thickness	c	.004	.006	-	0.09	0.15	-
Foot Angle	φ	0°	4°	8°	0°	4°	8°
Lead Width	B	.010	-	.015	0.25	-	0.38

\* Controlling Parameter

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-150

Drawing No. C04-301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

---

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPENDIX A: REVISION HISTORY****Revision A (September 2006)**

- Original Release of this Document.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

---

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

## PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

<u>PART NO.</u>	<u>-X</u>	<u>/XX</u>	<b>Examples:</b>
Device	Temperature Range	Package	
Device:	MCP3905A: Energy Metering IC MCP3905AT: Energy Metering IC (Tape and Reel) MCP3905L: Energy Metering IC MCP3905LT: Energy Metering IC (Tape and Reel) MCP3906A: Energy Metering IC MCP3906AT: Energy Metering IC (Tape and Reel)		a) MCP3905A-I/SS: Industrial Temperature, 24LD SSOP. b) MCP3905AT-I/SS: Tape and Reel, Industrial Temperature, 24LD SSOP.
Temperature Range:	I = -40°C to +85°C		a) MCP3905L-I/SS: Industrial Temperature, 24LD SSOP. b) MCP3905LT-I/SS: Tape and Reel, Industrial Temperature, 24LD SSOP.
Package:	SS = Plastic Shrink Small Outline (209 mil Body), 24-lead		a) MCP3906A-I/SS: Industrial Temperature, 24LD SSOP. b) MCP3906AT-I/SS: Tape and Reel, Industrial Temperature, 24LD SSOP.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MCP3905A/05L/06A

---

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:**

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

**Trademarks**

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELOQ, microID, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE, PowerSmart, rPIC, and SmartShunt are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


AmpLab, FilterLab, Migratable Memory, MXDEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Linear Active Thermistor, Mindi, MiWi, MPASM, MPLIB, MPLINK, PICKIT, PICDEM, PICDEM.net, PICLAB, PICTail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rLAB, rPICDEM, Select Mode, Smart Serial, SmartTel, Total Endurance, UNI/O, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2006, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
== ISO/TS 16949:2002 ==**

*Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona, Gresham, Oregon and Mountain View, California. The Company's quality system processes and procedures are for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.*


**MICROCHIP**
**WORLDWIDE SALES AND SERVICE**
**AMERICAS**

**Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 480-792-7200  
Fax: 480-792-7277  
Technical Support:  
<http://support.microchip.com>  
Web Address:  
[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**Atlanta**  
Alpharetta, GA  
Tel: 770-640-0034  
Fax: 770-640-0307

**Boston**  
Westborough, MA  
Tel: 774-760-0087  
Fax: 774-760-0088

**Chicago**  
Itasca, IL  
Tel: 630-285-0071  
Fax: 630-285-0075

**Dallas**  
Addison, TX  
Tel: 972-818-7423  
Fax: 972-818-2924

**Detroit**  
Farmington Hills, MI  
Tel: 248-538-2250  
Fax: 248-538-2260

**Kokomo**  
Kokomo, IN  
Tel: 765-864-8360  
Fax: 765-864-8387

**Los Angeles**  
Mission Viejo, CA  
Tel: 949-462-9523  
Fax: 949-462-9608

**Santa Clara**  
Santa Clara, CA  
Tel: 408-961-6444  
Fax: 408-961-6445

**Toronto**  
Mississauga, Ontario,  
Canada  
Tel: 905-673-0699  
Fax: 905-673-6509

**ASIA/PACIFIC**

**Asia Pacific Office**  
Suites 3707-14, 37th Floor  
Tower 6, The Gateway  
Harbour City, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: 852-2401-1200  
Fax: 852-2401-3431

**Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733  
Fax: 61-2-9868-6755

**China - Beijing**  
Tel: 86-10-8528-2100  
Fax: 86-10-8528-2104

**China - Chengdu**  
Tel: 86-28-8665-5511  
Fax: 86-28-8665-7889

**China - Fuzhou**  
Tel: 86-591-8750-3506  
Fax: 86-591-8750-3521

**China - Hong Kong SAR**  
Tel: 852-2401-1200  
Fax: 852-2401-3431

**China - Qingdao**  
Tel: 86-532-8502-7355  
Fax: 86-532-8502-7205

**China - Shanghai**  
Tel: 86-21-5407-5533  
Fax: 86-21-5407-5066

**China - Shenyang**  
Tel: 86-24-2334-2829  
Fax: 86-24-2334-2393

**China - Shenzhen**  
Tel: 86-755-8203-2660  
Fax: 86-755-8203-1760

**China - Shunde**  
Tel: 86-757-2839-5507  
Fax: 86-757-2839-5571

**China - Wuhan**  
Tel: 86-27-5980-5300  
Fax: 86-27-5980-5118

**China - Xian**  
Tel: 86-29-8833-7250  
Fax: 86-29-8833-7256

**ASIA/PACIFIC**

**India - Bangalore**  
Tel: 91-80-4182-8400  
Fax: 91-80-4182-8422

**India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631  
Fax: 91-11-4160-8632

**India - Pune**  
Tel: 91-20-2566-1512  
Fax: 91-20-2566-1513

**Japan - Yokohama**  
Tel: 81-45-471-6166  
Fax: 81-45-471-6122

**Korea - Gumi**  
Tel: 82-54-473-4301  
Fax: 82-54-473-4302

**Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200  
Fax: 82-2-558-5932 or  
82-2-558-5934

**Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-646-8870  
Fax: 60-4-646-5086

**Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065  
Fax: 63-2-634-9069

**Singapore**  
Tel: 65-6334-8870  
Fax: 65-6334-8850

**Taiwan - Hsin Chu**  
Tel: 886-3-572-9526  
Fax: 886-3-572-6459

**Taiwan - Kaohsiung**  
Tel: 886-7-536-4818  
Fax: 886-7-536-4803

**Taiwan - Taipei**  
Tel: 880-2-2500-0010  
Fax: 886-2-2508-0102

**Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351  
Fax: 66-2-694-1350

**EUROPE**

**Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-3910  
Fax: 43-7242-2244-393

**Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

**France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

**Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

**Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

**Netherlands - Druenen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

**Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

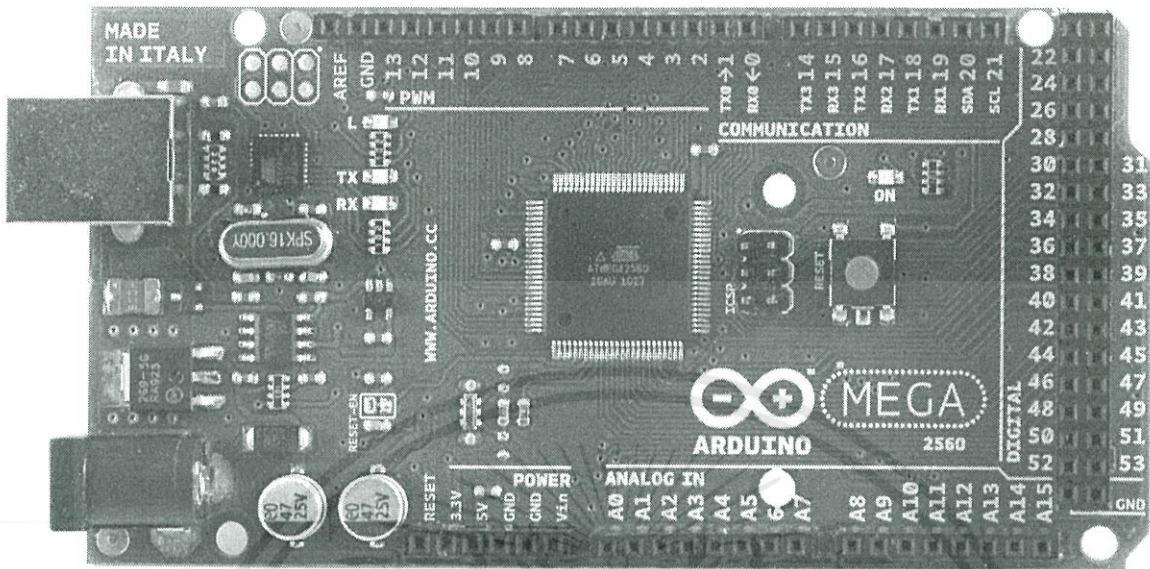
**UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5869  
Fax: 44-118-921-5820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 08/29/06 นำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Arduino MEGA 2560



## Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

## Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino  
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies  
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS



# Technical Specification

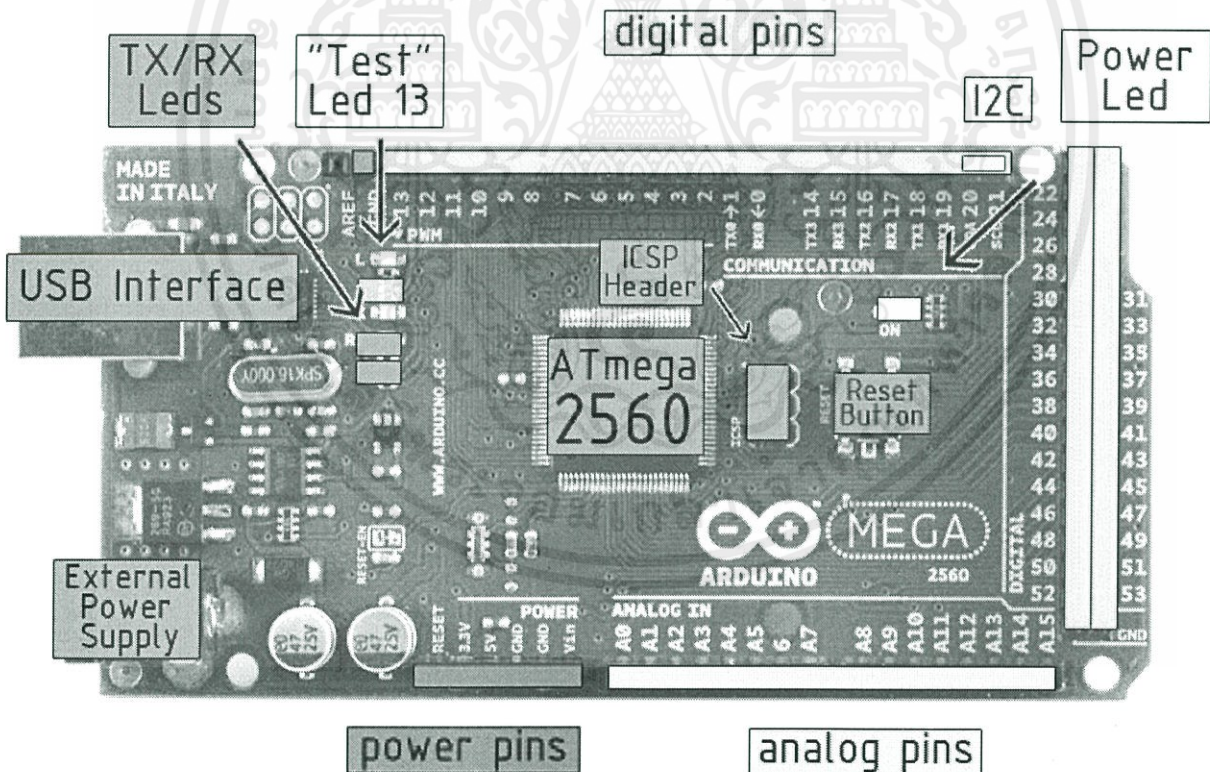


EAGLE files: [\\_arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิ **radiospares** องค์กร **RADIONICS** ทุกรูปแบบ มีการนำไปใช้

ALLIED ELECTRONICS  
AN ELECTRONIC COMPONENTS COMPANY

## Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I<sup>2</sup>C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I<sup>2</sup>C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



Radiospares

RADIONICS



## Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

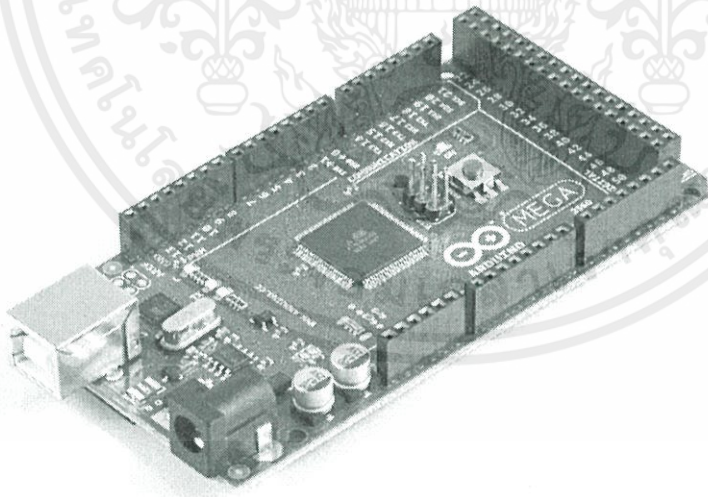
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

## Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



เอก เป็นเอก RS งานใช้ **RADIOSPARES** สึก **RADIONICS** หน้า **A** ประโยชน์ด้านการค้า

ALLIED ELECTRONICS  
ANALOGIC ELECTRONICS

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

## USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

## Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I<sup>2</sup>C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RADIOSPARES

RADIONICS



# How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

## Linux Install

## Windows Install

## Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

## Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>  
Arduino-0017>Examples>  
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

**In Tools>Board select MEGA**

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```

Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink$
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
  
```



Done compiling.

Press Compile button  
(to check for errors)



Upload



TX RX Flashing



Blinking Led!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RADIOSPARES

RADIONICS





# Terms & Conditions



## 1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

## 2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

## 3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

## 4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



## Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.

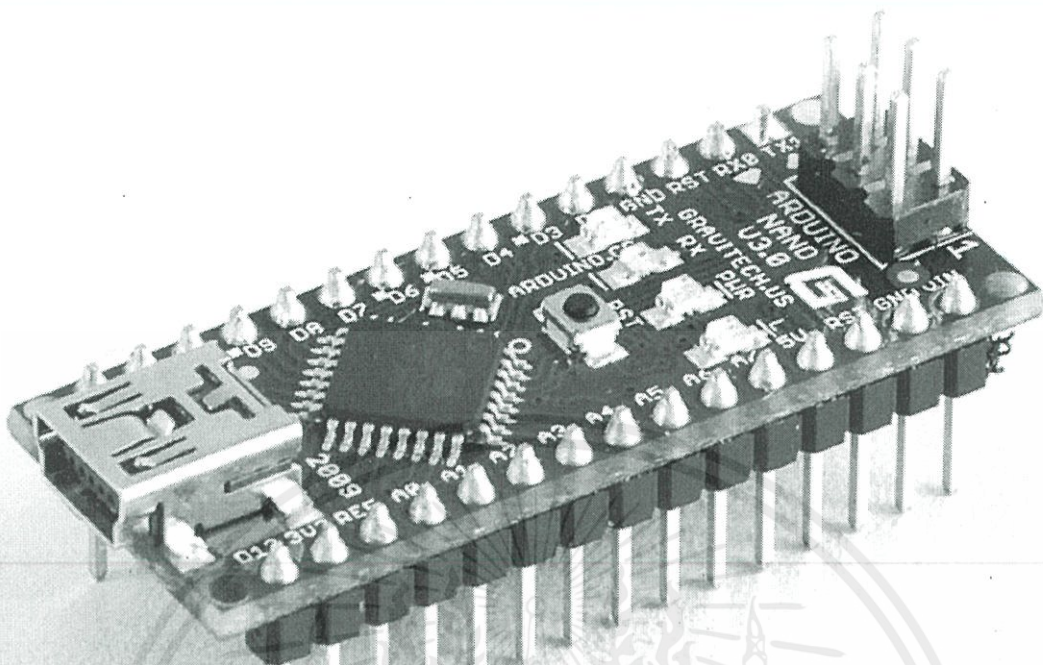
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้สำหรับการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้เราทราบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS





## Product Overview

The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328 (Arduino Nano 3.0) or ATmega168 (Arduino Nano 2.x). It has more or less the same functionality of the Arduino Duemilanove, but in a different package. It lacks only a DC power jack, and works with a Mini-B USB cable instead of a standard one. The Nano was designed and is being produced by Gravitech.

## Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino  
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

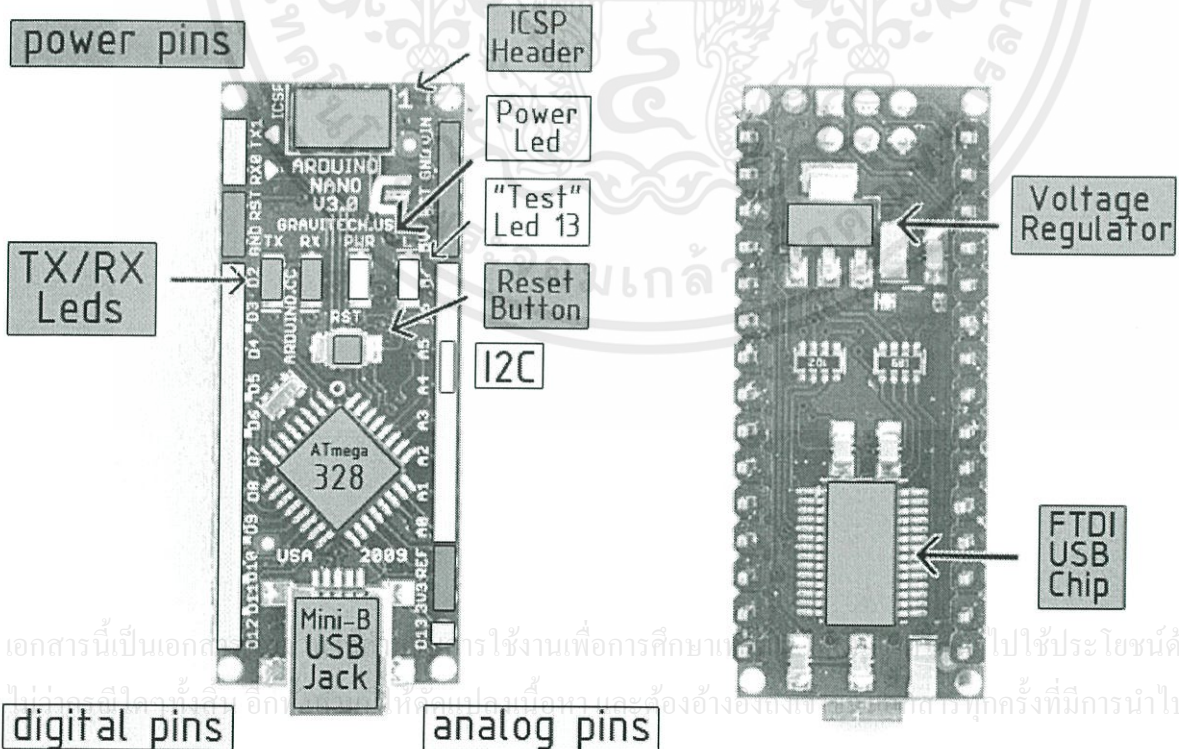
Arduino Nano 3.0 (ATmega328): [schematic](#), [Eagle files](#).

Arduino Nano 2.3 (ATmega168): [manual](#) (pdf), [Eagle files](#). *Note:* since the free version of Eagle does not handle more than 2 layers, and this version of the Nano is 4 layers, it is published here unrouted, so users can open and use it in the free version of Eagle.

## Summary

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

## the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของทางบริษัทฯ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การใช้งานเพื่อการศึกษาและเพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
 การทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและจะดำเนินคดีตามกฎหมายอย่างจริงจัง  
 ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ ไม่สามารถรับประกันความถูกต้องของข้อมูลใดๆ ที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้  
 บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใดๆ ที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

## Power

The Arduino Nano can be powered via the Mini-B USB connection, 6-20V unregulated external power supply (pin 30), or 5V regulated external power supply (pin 27). The power source is automatically selected to the highest voltage source.

The FTDI FT232RL chip on the Nano is only powered if the board is being powered over USB. As a result, when running on external (non-USB) power, the 3.3V output (which is supplied by the FTDI chip) is not available and the RX and TX LEDs will flicker if digital pins 0 or 1 are high.

## Memory

The ATmega168 has 16 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega168 has 1 KB of SRAM and 512 bytes of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)); the ATmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM.

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Nano can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the FTDI USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Nano has 8 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega168 ports](#).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS



## Communication

The Arduino Nano has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega168 and ATmega328 provide UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An FTDI FT232RL on the board channels this serial communication over USB and the [FTDI drivers](#) (included with the Arduino software) provide a virtual com port to software on the computer. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the FTDI chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Nano's digital pins.

The ATmega168 and ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega168 or ATmega328 [datasheet](#).

## Programming

The Arduino Nano can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Diecimila, Duemilanove, or Nano w/ ATmega168" or "Arduino Duemilanove or Nano w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega168 or ATmega328 on the Arduino Nano comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Nano is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the FT232RL is connected to the reset line of the ATmega168 or ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Nano is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Nano. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

## Linux Install

## Windows Install

## Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you'll need to install the FTDI Drivers to let your PC talk to the board. First **Plug the Arduino to your PC via USB cable.**

## Blink led

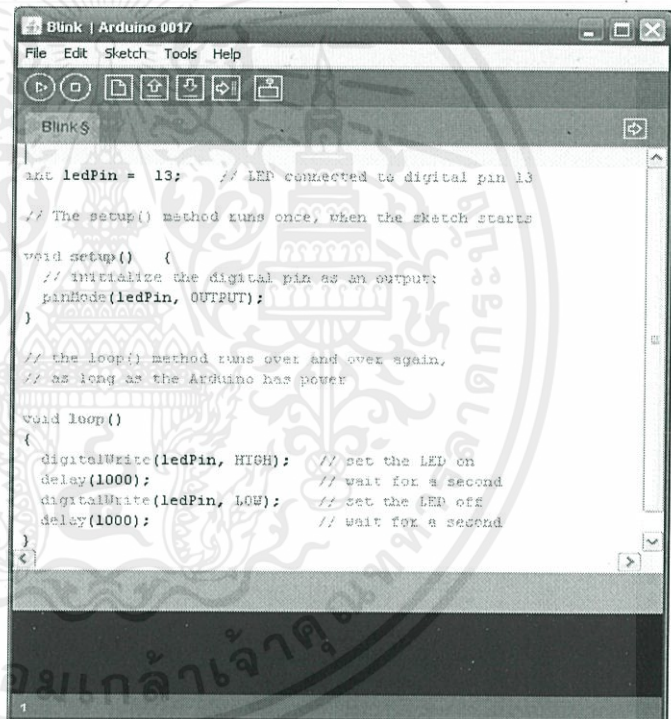
Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>  
Arduino-0017>Examples>  
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select Arduino NANO and with the AtMEGA you're using (probably 328)

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.



```

Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink $
// LED connected to digital pin 13
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // set the LED off
  delay(1000);                // wait for a second
}
  
```



Done compiling.

Press Compile button  
(to check for errors)



Upload



TX RX Flashing

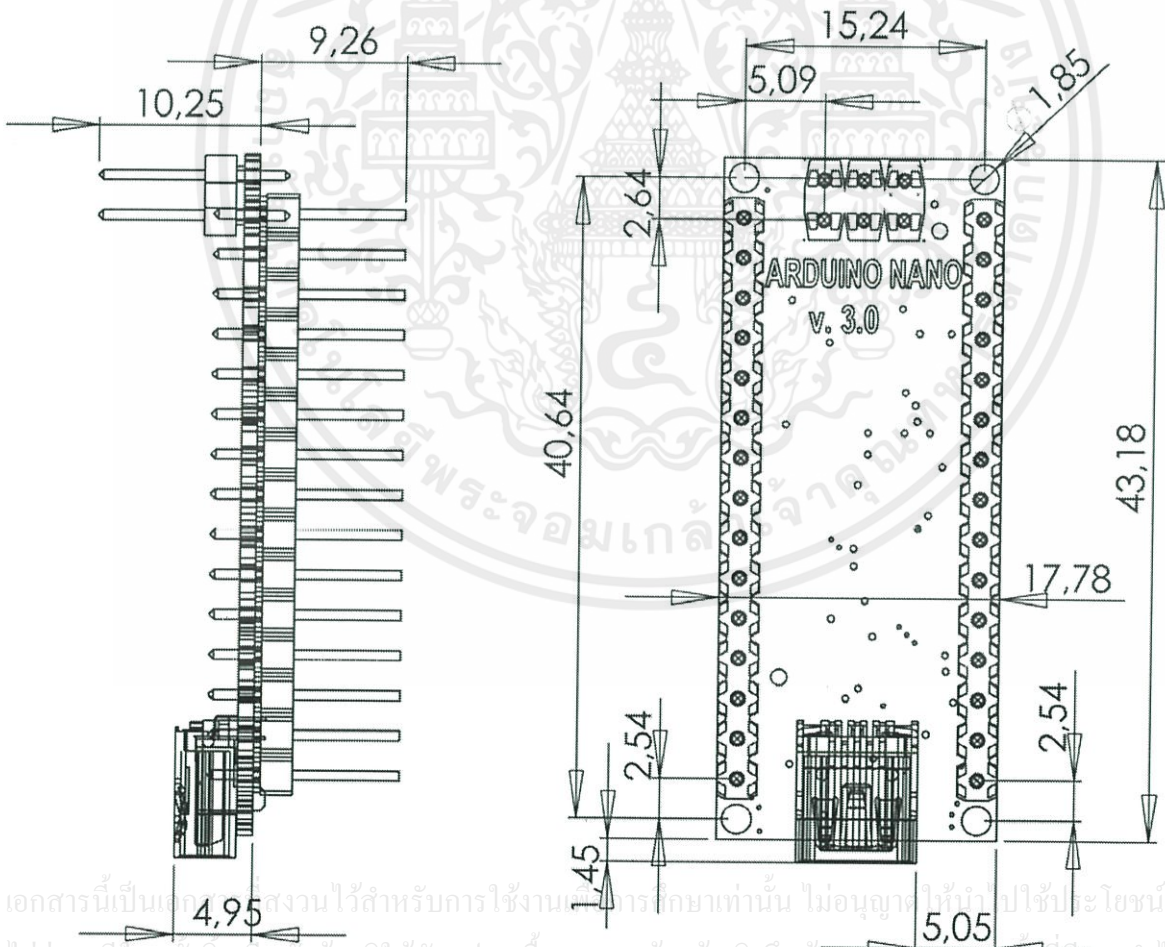
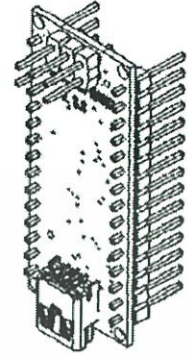


Blinking Led!

การคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากท่านไปใช้

Dimensioned Drawing



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS





## 1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

## 2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

## 3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

## 4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายวศิน เขมะวิชานุรัตน์

วัน เดือน ปีเกิด 4 กันยายน 2536

ที่อยู่ 988/4ถนน แสงชูโต ตำบล ท่าม่วง อำเภอ ท่าม่วง  
จังหวัด กาญจนบุรี 71110

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวิสุทธรังษี จังหวัด กาญจนบุรี

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

SCG Paperแผนก Maintenance AndOperate ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 ถึง 30 พฤษภาคม 2557

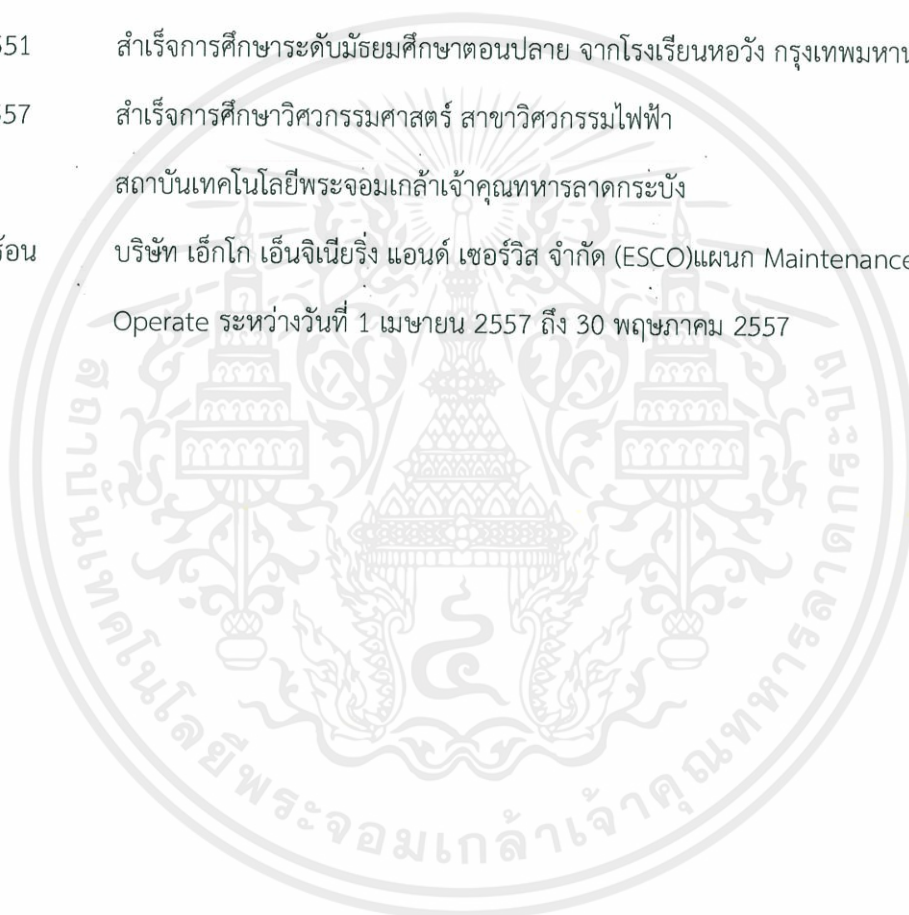
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นาย วศิน อนันต์นาวิณสรณ์  
 วัน เดือน ปีเกิด 10 ตุลาคม 2535  
 ที่อยู่ 217/60 ซอย พหลโยธิน 50 ถนน พหลโยธิน แขวง คลอง  
 ถนน เขต สายไหม กรุงเทพมหานคร 10220

### ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร  
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท เอ็กโก เอ็นจิเนียริง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด (ESCO) แผนก Maintenance And  
 Operate ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 ถึง 30 พฤษภาคม 2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นาย วันชัย ศิริแสงชัยกุล  
 วัน เดือน ปีเกิด 22 มิถุนายน 2535  
 ที่อยู่ 37/110 ซอย ลาดปลาเค้า 62 ถนน ลาดปลาเค้า  
 แขวง อนุสาวรีย์เขต บางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

### ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร  
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท กัลฟ์ เจพี จำกัด (GULF JP) แผนก Maintenance And  
 Operate ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 ถึง 30 พฤษภาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้